

Proje No: 104M566

**Dolgulu Betonarme Çerçevelerin Çelik Tel Donatı
Uygulamasıyla Depreme Karşı Güçlendirilmesi**

Y.Doç.Dr. Erdem CANBAY
Tuğçe SEVİL

MART 2008
ANKARA

ÖNSÖZ

TÜBİTAK desteğiyle ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda kullanıcı dostu, yeni güçlendirme teknikleri geliştirilmektedir. Bu çalışmalar sırasında elde edilen bilgi birikimini kullanarak ekonomik olarak daha cazip yeni bir güçlendirilme yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu araştırma projesinin amacı, depreme dayanıklı olmayan ve halen kullanılmakta olan binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayacak farklı yeni bir yöntem geliştirmek ve bu yeni yöntemin yapıya gerekli dayanım ve yanal rijitliği sağladığını deneysel olarak kanıtlamak olmuştur. Bu çalışmada, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan çelik tel donatıların, yapıların güçlendirilmesi alanında da kullanılmasının olanakları araştırılmıştır.

Bu yeni önerilen yöntem, çelik tel donatıların harç içine uygun hacimsel oranda eklenerek tuğla duvar üzerine uygulanması esasına dayanmaktadır. Bu uygulama ile tuğla dolgulu duvarların perde duvara benzer bir davranış sergilemelerini sağlamak amaçlanmıştır. Dolgulu betonarme çerçevelerin çelik tel donatı uygulamasıyla depreme karşı güçlendirilmesi konulu araştırma projesi 1 Temmuz 2005 ile 1 Ocak 2008 tarihleri arasında 30 aylık bir süre kapsamında gerçekleştirilmiş ve proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----|
| ÖNSÖZ..... | 1 |
| İÇİNDEKİLER..... | 2 |
| TABLO LİSTESİ..... | 4 |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | 6 |
| ÖZET..... | 12 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| LİTERATÜR ÖZETİ..... | 14 |
| MALZEME DENEYLERİ..... | 17 |
| GİRİŞ..... | 17 |
| GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER..... | 18 |
| MALZEME ÖZELLİKLERİ..... | 19 |
| Çimento..... | 19 |
| İnce Agrega..... | 20 |
| Çelik Tel..... | 21 |
| Akışkanlaştırıcı..... | 21 |
| Bağlama Ajanı..... | 22 |
| Su..... | 22 |
| DENEYSEL PROGRAM..... | 22 |
| Karışım Oranları..... | 22 |
| Duvar üzerinde Uygulamalar..... | 22 |
| Numune Hazırlama..... | 23 |
| Basınç Dayanımının Belirlenmesi..... | 24 |
| Eğilme Dayanımının Belirlenmesi..... | 25 |
| Eğilme Sonrası Basınç Dayanımının Belirlenmesi..... | 27 |
| Yapışma Dayanımının Belirlenmesi..... | 28 |
| DENEY SONUÇLARI..... | 30 |
| PANEL DENEYLERİ..... | 35 |
| GİRİŞ..... | 35 |
| GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER..... | 35 |
| İlk Seri Panel Deneyleri..... | 35 |
| İkinci Seri Panel Deneyleri..... | 41 |

| | |
|--|-----|
| ÇERÇEVE DENEYLERİ..... | 64 |
| GİRİŞ | 64 |
| ANA DENEY ELEMANLARININ HAZIRLANMASI | 64 |
| Kolon ve Kiriş Etriyelerinin Üretimi | 64 |
| Kolon ve Kirişlerin Üretimi | 65 |
| Deney Elemanlarının Detayları..... | 65 |
| Temellerin Üretimi | 68 |
| Beton Dökümleri..... | 69 |
| Tuğla Duvar Örülmesi ve Sıvanması..... | 71 |
| Ankraj ve Güçlendirme İşlemleri..... | 71 |
| ANA DENEY ELEMANLARININ ÖZELLİKLERİ | 75 |
| MALZEMELER..... | 76 |
| Beton..... | 76 |
| Çelik | 77 |
| Dolgu..... | 78 |
| Tuğla Örme Harcı..... | 79 |
| Sıva Harcı..... | 80 |
| Çelik Tel İçeren Harç..... | 81 |
| Çelik Tel İçermeyen Harç | 81 |
| Polipropilen Fiber İçeren Harç | 82 |
| DENEY DÜZENEĞİ VE YÜKLEME SİSTEMİ | 83 |
| GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER | 85 |
| DENEY SONUÇLARI VE GÖZLEMLENEN DAVRANIŞ..... | 87 |
| SONUÇ | 140 |
| REFERANSLAR..... | 143 |
| PROJE ÖZET BİLGİ FORMU..... | 147 |

TABLO LİSTESİ

Tablo

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Çimento Üzerinde Yapılan Deneyler | 18 |
| 2 | Çimento Hamuru ve Harcı için Deneyler | 18 |
| 3 | Agrega üzerinde Yapılan Deneyler | 19 |
| 4 | Harç üzerinde Yapılan Deneyler | 19 |
| 5 | Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri..... | 20 |
| 6 | Portland Çimentosunun Kimyasal Kompozisyonu | 20 |
| 7 | İnce Agreganın Özellikleri..... | 21 |
| 8 | İnce Agreganın Elek Analizi..... | 21 |
| 9 | Kübik Harçların Basınç Dayanımları | 31 |
| 10 | Harçların Yapışma Dayanımları..... | 31 |
| 11 | Prizmatik Numunelerin Eğilme Dayanımları | 32 |
| 12 | Eğilme Sonrası Basınç Dayanımları | 33 |
| 13 | İlk Seri Panel Eleman Özellikleri ve İsimleri..... | 36 |
| 14 | İlk Seri Panel Eleman Örme Harcı Karışım Oranları..... | 36 |
| 15 | İlk Seri Panel Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları | 36 |
| 16 | İlk Seri Panel Eleman Çelik Tel İçeren Harç Karışım Oranları | 37 |
| 17 | İlk Seri Panel Örme Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa) | 37 |
| 18 | İlk Seri Panel Çelik Tel İçeren Harç Silindir Deney Sonuçları (MPa) | 37 |
| 19 | İlk Seri Duvar Elemanlarının Yük Taşıma Kapasiteleri | 38 |
| 20 | İkinci Seri Panel Eleman Özellikleri ve İsimleri | 41 |
| 21 | İkinci Seri Panel Eleman Strain Gage Uygulamaları..... | 42 |
| 22 | İkinci Seri Panel Eleman Örme Harcı Karışım Oranları | 42 |
| 23 | İlk Seri Panel Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları | 43 |
| 24 | İkinci Seri Panel Örme Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa)..... | 43 |
| 25 | İkinci Seri Panel Sıva Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa) | 43 |
| 26 | İkinci Seri Panel Çelik Tel İçeren Harç Silindir Deney Sonuçları (MPa)..... | 43 |
| 27 | İkinci Seri Duvar Elemanlarının Yük Taşıma Kapasiteleri..... | 44 |
| 28 | Deney Elemanlarına Verilen Kısaltılmış İsimler ve Eleman Özellikleri..... | 76 |
| 29 | Çerçevelerin Beton Karışım Oranları | 76 |
| 30 | Çerçeve Elemanlarının Beton Dayanımları (MPa)..... | 77 |

| | | |
|----|--|----|
| 31 | Donatı Olarak Kullanılan Çelik Çubukların Özellikleri | 78 |
| 32 | Tuğla Basınç Deneyleri Sonuçları | 78 |
| 33 | Çerçeve Eleman Tuğla Örme Harcı Karışım Oranları | 79 |
| 34 | Çerçeve Elemanlarının Tuğla Örme Harç Dayanımları (MPa)..... | 79 |
| 35 | Çerçeve Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları | 80 |
| 36 | Çerçeve Elemanlarının Sıva Harç Dayanımları (MPa) | 80 |
| 37 | Çerçeve Eleman Çelik Tel İçeren Harç Karışım Oranları | 81 |
| 38 | Çerçeve Elemanlarının Çelik Tel İçeren Harç Dayanımları (MPa)..... | 81 |
| 39 | Çerçeve Eleman Çelik Tel İçermeyen Harç Karışım Oranları..... | 82 |
| 40 | Çerçeve Elemanlarının Çelik Tel İçermeyen Harç Dayanımları (MPa)..... | 82 |
| 41 | Çerçeve Eleman Polipropilen Fiber İçeren Harç Karışım Oranları..... | 83 |
| 42 | Çerçeve Elemanlarının Polipropilen Fiber İçeren Harç Dayanımları (MPa).. | 83 |
| 43 | Çerçeve Elemanlarının Deney Sonuçları..... | 87 |

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil

| | |
|--|----|
| 1 Harçların Duvar Üzerine Uygulamaları | 23 |
| 2 Basınç Dayanımı Deney Görüntüleri | 25 |
| 3 Eğilme Dayanımı Deney Görüntüleri | 27 |
| 4 Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deney Görüntüleri | 28 |
| 5 Yapışma Dayanımı Deney Görüntüleri | 30 |
| 6 İlk Seri Panel Elemanları | 38 |
| 7 NPP-3 Panel Elemanı Deney Görüntüleri..... | 39 |
| 8 SF1P-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri | 40 |
| 9 İkinci Seri Panel Elemanları..... | 45 |
| 10 2SNPP-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri | 46 |
| 11 2SSF1PD-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri | 47 |
| 12 NPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 47 |
| 13 NPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 48 |
| 14 PP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 48 |
| 15 PP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 49 |
| 16 SF1P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 49 |
| 17 SF1P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 50 |
| 18 SF2P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 50 |
| 19 SF2P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 51 |
| 20 2SNPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 51 |
| 21 2SNPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 52 |
| 22 2SPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 52 |
| 23 2SPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 53 |
| 24 2SPP1 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 53 |
| 25 2SPP2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 54 |
| 26 2SPP3 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 54 |
| 27 2SSF1P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 55 |
| 28 2SSF1P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 55 |
| 29 2SSF1P1 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 56 |
| 30 2SSF1P1 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri..... | 56 |

| | | |
|----|--|----|
| 31 | 2SSF1P1(2) Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri..... | 57 |
| 32 | 2SSF1P1(2) Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama..... | 57 |
| 33 | 2SSF1P2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 58 |
| 34 | 2SSF1P2 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri..... | 58 |
| 35 | 2SSF2P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 59 |
| 36 | 2SSF2P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 59 |
| 37 | 2SSF1PD Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 60 |
| 38 | 2SSF1PD Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 60 |
| 39 | 2SSF1PD2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri..... | 61 |
| 40 | 2SSF1PD2 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 61 |
| 41 | 2SSF2PD Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri | 62 |
| 42 | 2SSF2PD Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri..... | 62 |
| 43 | 2SSF2PD3 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri..... | 63 |
| 44 | 2SSF2PD3 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri | 63 |
| 45 | Deney Elemanlarının Boyutları | 65 |
| 46 | Deney elemanlarının donatı biçim düzeni..... | 66 |
| 47 | Kolon ve Kiriş Donatı Detayları..... | 67 |
| 48 | Kolon ve Kiriş Donatı Görüntüleri | 68 |
| 49 | Temel Kirişi Donatı Görüntüleri..... | 69 |
| 50 | Çerçeve Elemanı Beton Döküm Öncesi Görüntüsü..... | 70 |
| 51 | Çerçeve Elemanı Beton Döküm Sonrası Görüntüsü | 70 |
| 52 | Çerçeve Eleman Tuğla Duvar Örme İşlemi Görüntüsü..... | 72 |
| 53 | Çerçeve Eleman Sıva Yapım İşlemi Görüntüsü | 72 |
| 54 | Çerçeve Eleman Ankraj İşlemi Görüntüsü..... | 73 |
| 55 | Çerçeve Eleman Çelik Tel İçeren Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü..... | 73 |
| 56 | Çerçeve Eleman Polipropilen Fiber İçeren Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü..... | 74 |
| 57 | Çerçeve Eleman Çelik Tel ve/veya Polipropilen Fiber İçermeyen Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü | 74 |
| 58 | Çerçeve Eleman Deney Düzeneği ve Yükleme Sistemi Görüntüleri..... | 84 |
| 59 | TS1 (REFBM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi..... | 88 |
| 60 | TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 88 |

| | |
|--|-----|
| 61 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 89 |
| 62 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi | 89 |
| 63 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi | 90 |
| 64 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 90 |
| 65 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi | 91 |
| 66 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 91 |
| 67 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 92 |
| 68 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 92 |
| 69 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi | 93 |
| 70 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi | 93 |
| 71 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 94 |
| 72 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 94 |
| 73 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 95 |
| 74 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi..... | 95 |
| 75 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi | 96 |
| 76 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi | 96 |
| 77 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 97 |
| 78 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 97 |
| 79 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 98 |
| 80 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi..... | 98 |
| 81 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi..... | 99 |
| 82 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 99 |
| 83 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 100 |
| 84 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi | 100 |
| 85 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi | 101 |
| 86 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 101 |
| 87 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi..... | 102 |
| 88 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 102 |
| 89 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 103 |
| 90 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi..... | 103 |
| 91 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi | 104 |
| 92 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi..... | 104 |
| 93 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 105 |

| | |
|---|-----|
| 94 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 105 |
| 95 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi | 106 |
| 96 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi | 106 |
| 97 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi | 107 |
| 98 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi..... | 107 |
| 99 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 108 |
| 100 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 108 |
| 101 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi..... | 109 |
| 102 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi | 109 |
| 103 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi | 110 |
| 104 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 110 |
| 105 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 111 |
| 106 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 111 |
| 107 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi..... | 112 |
| 108 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi | 112 |
| 109 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi..... | 113 |
| 110 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 113 |
| 111 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi..... | 114 |
| 112 TS6 (REFB) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi..... | 114 |
| 113 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 115 |
| 114 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 115 |
| 115 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi | 116 |
| 116 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi | 116 |
| 117 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 117 |
| 118 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi | 117 |
| 119 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 118 |
| 120 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 118 |
| 121 TS6 (REFB) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 119 |
| 122 TS6 (REFB) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi | 119 |
| 123 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi | 120 |
| 124 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 120 |
| 125 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 121 |
| 126 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi..... | 121 |

| | |
|--|-----|
| 127 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi..... | 122 |
| 128 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi | 122 |
| 129 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi | 123 |
| 130 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi..... | 123 |
| 131 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 124 |
| 132 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 124 |
| 133 TS7 (REF2ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi..... | 125 |
| 134 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi..... | 125 |
| 135 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi | 126 |
| 136 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi..... | 126 |
| 137 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi | 127 |
| 138 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi..... | 127 |
| 139 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi | 128 |
| 140 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi | 128 |
| 141 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 129 |
| 142 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi | 129 |
| 143 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi | 130 |
| 144 TS8 (PPF2ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi | 130 |
| 145 Referans Elemanlarına Ait İkinci Kat Zarf Eğrileri..... | 131 |
| 146 Güçlendirilmiş Elemanlara Ait İkinci Kat Zarf Eğrileri..... | 131 |
| 147 TS1 (REFBM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü..... | 132 |
| 148 TS1 (REFBM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 132 |
| 149 TS2 (SF2NABM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü | 133 |
| 150 TS2 (SF2NABM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 133 |
| 151 TS3 (SF1ABM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü..... | 134 |
| 152 TS3 (SF1ABM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü..... | 134 |
| 153 TS4 (SF2ABM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü..... | 135 |
| 154 TS4 (SF2ABM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü..... | 135 |
| 155 TS5 (REFBA) Elemanı Deney Öncesi Görünümü | 136 |
| 156 TS5 (REFBA) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 136 |
| 157 TS6 (REFB) Elemanı Deney Öncesi Görünümü..... | 137 |
| 158 TS6 (REFB) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 137 |
| 159 TS7 (REF2ABM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü | 138 |

| | |
|--|-----|
| 160 TS7 (REF2ABM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 138 |
| 161 TS8 (PPF2ABM) Elemanı Deney Öncesi Görünümü | 139 |
| 162 TS8 (PPF2ABM) Elemanı Deney Sonrası Görünümü | 139 |

ÖZET

Ülkemizdeki binaların çoğunun deprem dayanımı yetersizdir. Betonarme dolgu kullanarak güçlendirme fazlaca inşaat işi gerektirmektedir. ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında, yapının boşaltılmasını gerektirmeyen, ekonomik ve kolay teknikler üzerinde çalışılmaktadır. Bu projede inşaat sektöründe kullanılan çelik tel donatıların güçlendirme alanında kullanılmasının olanakları araştırılmıştır.

Kullanılan çimento, agrega ve ana deneylerde kullanılan harcın fiziksel özellikleri malzeme deneyleriyle belirlenmiştir. İki seri harç kullanılarak yapılan eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri sonucunda ana deneylerde kullanılacak optimum harç elde edilmiştir. Harcın tuğla dolgulu duvarlara uygulanmasıyla güçlendirilen betonarme çerçeveler tersinir tekrarlı yükler altında denenmiştir.

Çerçeve deneylerinden önce çerçevelerdeki güçlendirilmiş dolgu duvarların doğru şekilde modellenebilmesi ve bu duvarların yük altında davranışları hakkında bilgi sahibi olabilmek için iki seri halinde panel deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çerçeve deneyleri kapsamında toplam 10 deney yapılması düşünülmüştür. Belirtilen deney sayısının 8 adeti tamamlanmıştır. Kalan 2 deney de 2008 Mart ayı ikinci haftası içerisinde yapılacaktır. Gerçekleştirilen deneylerin 4 adeti referans deney, diğer 4'ü ise güçlendirilmiş çerçeve deneyleri olarak yapılmıştır.

Gerçekleştirilen çerçeve deneyleri ile başarılı sonuçlar elde edilmiş ve çelik tel donatıların tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin depreme karşı güçlendirilmesinde oldukça etkili oldukları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Dolgu, Güçlendirme, Çelik Tel Donatı, Tuğla Dolgu Duvar, Betonarme Çerçeve, Tersinir Tekrarlı Yük, Panel, Polipropilen Fiber.

ABSTRACT

Seismic resistance of many buildings in Turkey is insufficient. Strengthening using R/C infills requires huge construction work. Feasible and easy techniques that do not require evacuating the structure are being studied in Structural Mechanics Laboratory of METU. In this project, possibilities of using steel fiber reinforcement in strengthening were investigated.

Physical properties of cement, aggregate, and the mortar used in main tests were determined by material tests. After performing flexural strength and compressive strength tests using two different mortars, the optimum mortar to be used in main tests was obtained. R/C frames strengthened by applying the mortar to brick infilled walls were tested under reversed cyclic loads.

Before frame tests two series of panel tests were performed to correctly model the strengthened infill walls of frames and to gather information about the behavior of walls under load.

It was planned to perform 10 frame tests. 8 of the stated tests were done. Other two remaining tests will be performed in the second week of March 2008. Among the performed tests, 4 were done as reference tests, and the other 4 were done as strengthened frame tests.

Successful results were obtained from the performed frame tests. Steel fiber reinforcement was observed to be very effective in seismic strengthening masonry infilled R/C frames.

Keywords: R/C Infill, Strengthening, Steel Fiber Reinforcement, Brick Infilled Wall, R/C frame, Reversed Cyclic Load, Panel, Polypropylene Fiber.

LİTERATÜR ÖZETİ

Projenin deneysel kısmına başlanmadan önce, kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Kaynakların tümü hakkında burada bahsetmek mümkün olmayacağından literatür detaylarına girilmeyecek, sadece araştırma konusunun literatürdeki yerini belirtmek amacıyla kısa bir literatür özeti verilecektir. Bu alanda yurt içi ve uluslararası literatür taranarak elde edilen kaynakların bir bölümünün listesi ise referanslar bölümünde verilecektir. Kapsamlı literatür çalışması doktora tezinin bir bölümünü oluşturmaktadır ve tezde yer alacaktır.

Lifli beton konusunda literatür tarandığında bu konunun 1970'li yıllara kadar gittiği görülmektedir. Ancak teknolojik ve malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak lif kalitesi ve çeşitleri de o yıllara göre değişmiştir. Ayrıca, lifli beton inşaatın birçok alanına girmiştir. Burada sadece son yıllarda çıkmış, bu projenin amacına yakın ve uygun makalelere yer verilmeye çalışılacaktır.

Yapıların onarımı ve güçlendirilmesiyle ilgili deneyler halihazırda tüm hızıyla ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında devam etmektedir. Bu projenin amacı çelik tel donatıların harç içine uygun hacimsel oranda eklenerek tuğla duvar üzerine uygulanması ile yapı davranışının iyileştirilmesidir. ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında 1970 yılından beri onarım-güçlendirme araştırmaları yapılmaktadır. Onarım-güçlendirme konusunda yapılmış çalışmalarla ilgili hemen hemen tüm yayınlar proje grubunun elindedir. Bundan dolayı onarım-güçlendirme hakkında burada bir literatür çalışması verilmeyip, bu projede fark yaratacak olan çelik tel donatılar hakkında kısa bir literatür taraması verilecektir.

Balaguru ve Najm (2004) [4] yüksek hacimsel çelik tel donatı oranlarıyla yüksek performanslı beton karışımları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Alışıl gelmiş karışım şekilleriyle 30 mm uzunluğunda uçları kancalı çelik tel donatıları %3.75 oranlarına kadar çıkararak yüksek performanslı betonlar elde etmişlerdir. Elde edilen beton akıcı ve çalışılabilir olmuş ve çelik tel donatı beton harcı içerisinde düzgün olarak dağılmıştır. Önerilen karışım oranlarıyla 74 ile 100 MPa arasında beton basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu deney elemanlarının eğilme dayanımları 12 ile 24 MPa

ve yarma çekme dayanımları ise 13 ile 17 MPa arasında değişmiştir. Bu çalışmadaki beton karışımlarının eğilme toklukları normal orandaki çelik tel donatılı betona göre iki ile üç kat arasında olmuştur. Ucu kancalı çelik tel donatılar düz çelik tel donatılar ve polipropilen macro liflere oranla en yüksek tokluğu göstermişlerdir.

Balendran, Zhou, Nadeem ve Leung (2002) [5] çelik tel donatıların yüksek mukavemetli normal ve hafif betonların dayanım ve sünekliğine etkilerini incelemişlerdir. Kullandıkları deney elemanları 90 ile 115 MPa arasında değişmiştir. Çelik tel donatı oranı ise hacimsel olarak %1 seçilmiştir. Boyut etkisini görebilmek amacıyla değişik büyüklükte elemanlar üzerinde yarma silindir deneyleri ve üç noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Az miktarda kullanılan çelik tel donatının dayanıma etkisi az olmakla birlikte yarma çekme dayanımını, eğilme dayanımını ve tokluğunu önemli ölçüde artırmıştır. Bu artış normal betona göre hafif betonda çok daha fazladır. Ayrıca deney elemanlarının boyutları büyüdükçe yarma ve eğilme dayanımında önemli düşüşler kaydedilmiş ve kırılma şekli daha gevrekleşmiştir.

Eren ve Çelik (1997) [15] yaptıkları bir çalışmada silika tozunun ve çelik tel donatının yüksek mukavemetli betonun özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda beton yarıma çekme gerilmesiyle çelik tel donatının hacimsel oranı arasında doğrusal bir ilişki belirlemişlerdir. Silika tozunun beton basınç dayanımı üzerine önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra çelik tel donatının hacimsel oranının ve uzunluğunun çapına oranının beton basınç dayanımına etkisinin çok az olduğu görülmüştür.

Nataraja, Dhang ve Gupta (1999) [24] çelik tel donatılı betonun basınç altındaki gerilme-birim deformasyon eğrisini çıkartmışlardır. Deneylerde 30 ile 50 MPa arasında değişen beton kullanılmıştır. Çelik tel donatının hacimsel oranı %0.5 ile %1 arasında, uzunluğunun çapına oranı ise 55 ile 82 arasında değiştirilmiştir. Deneyler sonucunda çelik tel donatının eklenmesi betonun tokluğunu önemli ölçüde artırmıştır.

Song ve Hwang (2004) [28] yüksek mukavemetli çelik tel donatılı betonun mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneylerde ucu kancalı 35 mm uzunluğunda ve

0.55 mm çapında elik tel donatılar kullanmışlardır. Betona katılan %1.5 hacimsel oranında elik tel donatı beton basınç dayanımını %13 oranında artırmıştır. Betonun eğilme ve yarma çekme dayanımı eklenen elik tel donatı oranıyla doğrusal olarak artmıştır. Katılan elik tel donatı en çok eğilme dayanımını daha sonra yarma çekme dayanımını ve son olarak basınç dayanımını etkili olarak artırmıştır.

MALZEME DENEYLERİ

GİRİŞ

Ana deneyleri gerçekleştirmeden önce; deneylerde kullanılan çimento, agrega, ve ana deneylerde kullanılacak olan harcın fiziksel özelliklerini belirlemek için ön malzeme deneyleri yapılmıştır. Çimentonun kimyasal kompozisyonu Çimsa-Mersin tarafından yürütülen deneylerle belirlenmiştir.

Agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla ince agrega elek analizi, hafif madde oranı belirlenmesi, birim hacim ağırlık belirlenmesi, ve ince agrega özgül ağırlık ve absorpsiyon belirlenmesi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çimentonun fiziksel özelliklerini tayin etmeye yönelik deneyler ise kıvam suyu, priz süresi, hacim sabitliği, özgül ağırlık, incelik (Blaine), ve basınç dayanımı deneylerini içermiştir. Basınç dayanımı deneyleri 7 ve 28 günlük yaşlarda gerçekleştirilmiştir.

Sonraki aşamada, kullanılacak olan harcın karışım oranları saptanmıştır. Harç çimento, ince agrega, su ve akışkanlaştırıcı içermiştir. Harcın basınç dayanımı 7 ve 28 günlük yaşlarda yapılan deneylerle belirlenmiştir. Harcın mekanik özelliklerini elde etmek amacıyla yapılan deneyler, eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneylerini de kapsamıştır. Eğilme deneyleri 70×70×320 mm'lik kalıplar kullanılarak yapılmıştır.

Deneylere geçilmeden önce, çelik tel içermeyen referans harcı ve %1, %2, ve %4 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlarla bir duvara 20 mm kalınlığında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Bu uygulamaların ardından, referans harcı ve %1 ve %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlarla 7 ve 28 günlük yaşlarda eğilme dayanımı deneyleri ve eğilme sonrası basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, harcın yapışma dayanımını belirlemek amacıyla harç üzerinde yapışma deneyleri yapılmıştır. Yapışma deneyleri referans harcı ve %1 ve %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlar için 28 günlük yaşta gerçekleştirilmiştir.

Bütün deneyleri tamamladıktan sonra, bu sefer ek olarak harç için bağlama ajanı da içeren aynı harçla yeni bir seri eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri yürütülmüştür. Bu deneyler referans harcı ve %1 ve %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlar için gerçekleştirilmiştir.

GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

Deneylerde kullanılan malzeme özelliklerinin belirlenmesinde ASTM (American Society for Testing and Materials) ve TS (Türk Standardları) yöntemleri izlenmiştir.

Çimento, çimento hamuru ve harcı, agrega ve ana deneylerde kullanılan harç için gerçekleştirilen deneylerin tipleri sırasıyla **Tablo 1, 2, 3, ve 4**'de listelenmiştir. İlgili ASTM ve TS standartları da bu tablolarda verilmiştir.

Tablo 1 Çimento Üzerinde Yapılan Deneyler

| Deneyler | İlgili Standartlar |
|-----------------|---------------------------|
| Özgül Ağırlık | ASTM C 188 |
| İncelik | ASTM C 204 |

Tablo 2 Çimento Hamuru ve Harcı için Deneyler

| Deneyler | İlgili Standartlar |
|----------------------|---------------------------|
| Çimento Hamuru için: | |
| Kıvam Suyu | ASTM C 187 |
| Priz Süresi | ASTM C 191 |
| Hacim Sabitliği | TS EN 196-3 |
| Çimento Harcı için: | |
| Basınç Dayanımı | ASTM C 109 |

Tablo 3 Agrega üzerinde Yapılan Deneyler

| Deneyler | İlgili Standardlar |
|--|---------------------------|
| Agreganın Birim Hacim Ağırlığı | ASTM C 29 |
| Agregadaki Hafif Madde Oranı | ASTM C 123 |
| İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Absorpsiyonu | ASTM C 128 |
| İnce Agreganın Elek Analizi | ASTM C 136 |

Tablo 4 Harç üzerinde Yapılan Deneyler

| Deneyler | İlgili Standardlar |
|--------------------------------|---------------------------|
| Sertleşmiş Harç için: | |
| Basınç Dayanımı | ASTM C 109 |
| Eğilme Dayanımı | TS EN 196-1 |
| Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı | TS EN 196-1 |
| Yapışma Dayanımı | TS EN 1015-12 |

MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi verilmektedir.

- **Çimento**

Ön deneylerde normal Türk Portland Çimentosu, CEM I 42.5 R, kullanılmıştır. (Bu tür çimento ASTM Tip I Çimentoya karşılık gelmektedir.)

Çimentonun fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu **Tablo 5** ve **6**'da gösterilmiştir.

Tablo 5 Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

| Fiziksel Özellikler | Belirlenen | ASTM C 150 Limitleri |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Özgül Ağırlık | 3.18 | - |
| Blaine İnceliği (cm ² /g) | 3540 | min. 2800 |
| Priz Süresi (min) | | |
| Başlangıç | 217 | min. 45 |
| Bitiş | 311 | max. 375 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | | |
| 7 günlük | 34.6 | min. 19.3 |
| 28 günlük | 44.6 | - |

Tablo 6 Portland Çimentosunun Kimyasal Kompozisyonu

| Oksit | Belirlenen (%) | ASTM C 150 Limitleri |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| CaO | 62.67 | - |
| SiO ₂ | 19.18 | - |
| Al ₂ O ₃ | 5.18 | - |
| Fe ₂ O ₃ | 3.07 | - |
| MgO | 1.99 | maksimum 6.0 % |
| SO ₃ | 2.67 | maksimum 3.5 % |
| K ₂ O | 0.70 | - |
| Na ₂ O | 0.48 | - |
| LOI | 2.89 | maksimum 3.0 % |

- **İnce Agrega**

Deneylerde ince agregası olarak doğal dere kumu kullanılmıştır. Agreganın özgül ağırlık ve absorpsiyonu, ve gradasyonu sırasıyla **Tablo 7** ve **8**'de sunulmuştur.

Tablo 7 İnce Agreganın Özellikleri

| Özellik | Belirlenen |
|------------------|------------|
| Özgül Ağırlık | |
| Kuru | 2.46 |
| KYD | 2.55 |
| Absorbsiyon, (%) | 3.60 |

Tablo 8 İnce Agreganın Elek Analizi

| Elek Açıklığı | Kümülatif Geçen (%) | |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| | İnce Agregası | ASTM C 33 Gereklere |
| 3/8" (9.5 mm) | 100 | 100 |
| No.4 (4.75 mm) | 95.90 | 95-100 |
| No.8 (2.36 mm) | 70.90 | 80-100 |
| No.16 (1.18 mm) | 47.70 | 50-85 |
| No.30 (600 µm) | 28.43 | 25-60 |
| No.50 (300 µm) | 12.33 | 10-30 |
| No.100 (150 µm) | 5.77 | 2-10 |

- **Çelik Tel**

Deneylerde kullanılan çelik tel, ASTM A 820 ve TS 10513'e uygunluk sağlayan soğuk çekilmiş, sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, ve birbirlerine tutkalla birleştirilmiş bir teldir. Uygulama alanı püskürtme beton ve şap betonlarıdır. Üzerinde kaplama bulunmamaktadır. Çelik tel 30 mm. Uzunlukta ve 0.55 mm. Çapa sahiptir. 16750 fiber/kg. içerir. Telin minimum çekme dayanımı 1100 N/mm² dir.

- **Akışkanlaştırıcı**

Harç karışımlarında normal priz alan bir akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı kullanıma hazır, harcın kohezyonunu ve işlenebilirliğini artıran bir sıvı

katkı maddesidir. Kullanım amacı çimento bazlı yüzeyler, tuğla duvar, ve alçı duvar üzerine kolayca uygulanabilen, işlenebilirliği yüksek, kaliteli sıva yapabilmektir. Özgül ağırlığı 1.10 ± 0.02 kg/l'dir. Çimento ağırlığının %0.1- 0.2'si kadar uygulanmalıdır. Karışım suyu çimento/kum karışımına katılmadan suya ilave edilmelidir.

- **Bağlama Ajanı**

İkinci seri eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneylerinin harç karışımlarında su geçirimsiz bir bağlama ajanı kullanılmıştır. Bu ajan iyi bir yapışma ve su geçirimsizlik istenen yerlerde çimento harçlarına eklenen, sıvı sentetik bir kauçuk emülsiyondur. Özgül ağırlığı 1.02 ± 0.02 kg/l şeklindedir. Bağlama ajanı uygulamaya bağlı olarak karışım suyuna 1:1 – 1:4 oranlarında eklenir.

- **Su**

Harç karışımlarında Ankara şehir suyu şebekesinden alınan musluk suyu karışım suyu olarak kullanılmıştır.

DENEYSEL PROGRAM

- **Karışım Oranları**

Harç üzerinde gerçekleştirdikten denemeler sonucunda, harcın optimum işlenebilirliğini sağlayan karışım oranları elde edilmiştir. Agregaya bağlayıcı oranı 2.75, su bağlayıcı oranı 0.57 olarak elde edilmiştir. Akışkanlaştırıcının uygulama oranı çimentonun ağırlıkça % 0.15'i şeklindedir. Bağlama ajanı su ajan oranı 1.0 olarak uygulanmıştır.

- **Duvar üzerinde Uygulamalar**

Deneylerden önce, çelik tel içermeyen referans harcı ve %1, %2 ve %4 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlarla bir duvar üzerine 20 mm kalınlıklarda

uygulamalar gerçekleştirilmiştir. (**Şekil 1**) Genel olarak, harç bir mala ile duvara atıldığında duvara yapışmalıdır. Referans harcı durumunda harç duvara kolaylıkla yapışmıştır. Ancak, %4 hacimsel oran durumunda harç duvara yapışmamıştır, ve %1 ve %2 hacimsel oran durumlarında harç ancak mala ile düzelterek zorlukla duvara sabitlenmiştir. Yapışma kullanılacak olan harçta aranılan önemli bir özellik olduğundan, deneylerin referans harcı ve %1 ve %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlarla yürütülmesine karar verilmiştir.



Şekil 1 Harçların Duvar Üzerine Uygulamaları

- **Numune Hazırlama**

Basınç dayanımı için harçlar ASTM C 305'de belirtilen şekilde karıştırıcı kanadı (palet) ve karıştırma kabından oluşan bir elektrikli mekanik karıştırıcı ile hazırlanmıştır. Deneyler için toplam altı adet 50 mm'lik kübik numune hazırlanmıştır.

Eğilme dayanımı deneyleri için harçların miktarları uygun bir şekilde mekanik karıştırıcıyı doldurmaya yetecek kadar olmadığından, karıştırıcının kenarlarına yapışacakları düşünülerek, harçlar el ile hazırlandı.

Standard bir harç için eğilme dayanımı deneylerinde kullanılan kalıbın boyutları 40×40×160 mm'dir. Çalışmada kullanılan çelik tellerin boyutları standard kalıbın boyutlarından daha büyük boyutlarda kalıp kullanılmasını gerektirmiştir. Bu yüzden, eğilme dayanımı deneyleri için 70×70×320 mm'lik kalıplar kullanılmıştır.

Eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri referans harcı ve %1, %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlarla yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyleri için her harç karışımından altı adet prizmatik numune hazırlanmıştır. Ayrıca, bağlama ajanı içeren ikinci seri deneyler için de her harç karışımından altı adet prizmatik numune hazırlanmıştır. Eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri için eğilmede kırılan her prizmanın parçalarından iki adet 75 mm'lik kübik numune elde edilmiştir. Böylelikle, her harç karışımından oniki adet numune sağlanmıştır.

Yapışma deneyleri referans harcı ve %1, %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlar için gerçekleştirilmiştir. Her harç karışımı deneyler için yeterli miktar olan 6 kg şeklinde hazırlanmıştır. Her harç karışımı için beş adet tuğla kullanılarak, yapışma deneylerinde kullanılmak üzere toplam 15 numune hazırlanmıştır.

- **Basınç Dayanımının Belirlenmesi**

Ertesi gün kalıplar söküldükten sonra, numuneler 23.0 ± 2.0 °C sıcaklıktaki doygun kireçli suya konulmuştur. Kübik numunelerin basınç dayanımları 7 ve 28 günlük yaşlarda tayin edilmiştir. Deneyler ASTM C 109' a uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyler için **Şekil 2**'de gösterilen test makinesi kullanılmıştır. Test makinesinin gösterdiği toplam maksimum yük kaydedilmiştir ve **Denklem 1**'de belirtildiği üzere basınç dayanımı değerleri toplam maksimum yükün yüklenen yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (1)$$

burada f_m MPa cinsinden basınç dayanımı, P N cinsinden toplam maksimum yük, A mm²cinsinden yüklenen yüzeyin alanıdır.



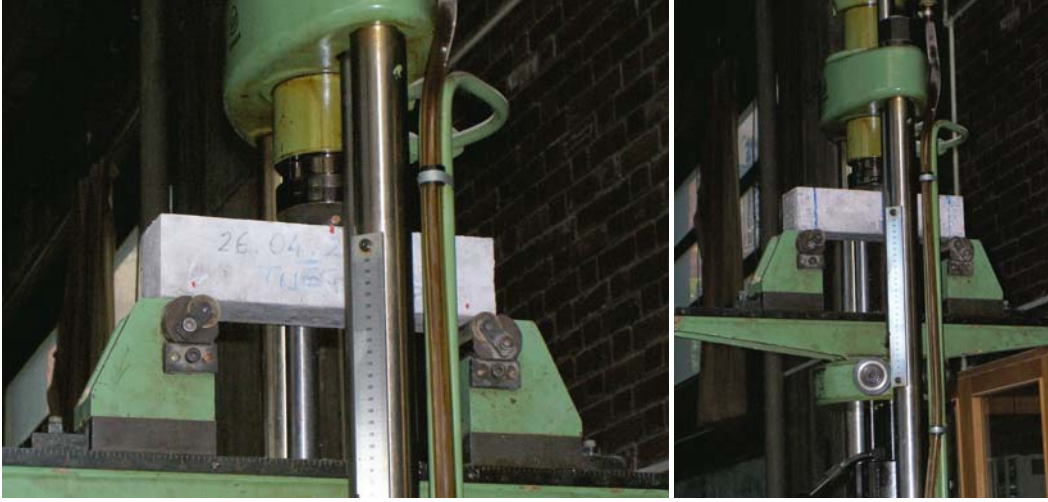
Şekil 2 Basınç Dayanımı Deney Görüntüleri

- **Eğilme Dayanımının Belirlenmesi**

70×70×320 mm boyutlarındaki prizmatik numunelerin eğilme dayanımları orta nokta yüklemesi ile basit kiriş kullanılarak 7 ve 28 günlük yaşlarda ölçülmüştür. Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık 260 mm olarak alınmıştır. Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu 70 mm olarak bilinmesine rağmen, ölçüldükten sonra bu uzunluğun gerçekte 75 mm olduğu görülmüştür. Deneyler TS EN 196-1'e göre gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı deney görüntüleri **Şekil 3**'de gösterilmiştir. Prizmatik numunelerin eğilme dayanımları **Denklem 2**'ye göre hesaplanmıştır.

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (2)$$

burada R_f N/mm² cinsinden eğilme dayanımı, F_f N cinsinden prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet, l mm cinsinden mesnet silindirleri arasındaki uzaklık, ve b mm cinsinden prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğudur.



a) Referans Harcı



b) %1 Hacimsel Oranda Çelik Tel içeren Harç



c) %2 Hacimsel Oranda Çelik Tel içeren Harç

Şekil 3 Eğilme Dayanımı Deney Görüntüleri

- **Eğilme Sonrası Basınç Dayanımının Belirlenmesi**

Prizmaların her bir parçasının uç kısımları kesilerek 75 mm'lik kübik numuneler elde edilmiştir. Kübik numunelerin basınç dayanımları 7 ve 28 günlük yaşlarda belirlenmiştir. Deneyler TS EN 196-1'e göre yapılmıştır. Eğilme sonrası basınç dayanımı deney görüntüleri **Şekil 4**'te sunulmuştur. Test makinesinin gösterdiği toplam maksimum yük kaydedilmiştir ve **Denklem 3**'de görüldüğü üzere basınç dayanımı değerleri toplam maksimum yükün yüklenen yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

$$R_c = \frac{F_c}{5625} \quad (3)$$

burada R_c N/mm² cinsinden basınç dayanımı, F_c N cinsinden kırılmadaki en büyük yük, 5625 mm² cinsinden yüklenen yüzeyin alanıdır.



Şekil 4 Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deney Görüntüleri

- **Yapışma Dayanımının Belirlenmesi**

Harçların yapışma dayanımları 28 günlük yaşlarda belirlenmiştir. Deneyler TS EN 1015-12'ye göre gerçekleştirilmiştir. Yapışma dayanımı deney görüntüleri **Şekil 5**'te verilmiştir. Test makinesinin gösterdiği toplam maksimum yük kaydedilmiştir ve **Denklem 4**'de görüldüğü üzere yapışma dayanımı değerleri toplam maksimum yükün yüklenen yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (4)$$

burada f_u N/mm²cinsinden yapışma dayanımı, F_u N cinsinden kopmadaki en büyük yük, A mm²cinsinden yüklenen yüzeyin alanıdır .

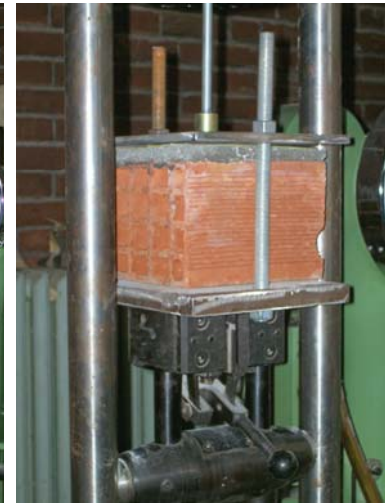
Ortalama yapışma dayanımı her harç için beş adet numunede belirlenen yapışma dayanımlarının aritmetik ortalaması alınıp, en yakın 0.1 N/mm²ye yuvarlatılarak hesaplanır.



Elemanların Hazırlanması



28 Gün sonra Başlıkların Takılması





Elemanların Test Edilmesi

Şekil 5 Yapışma Dayanımı Deney Görüntüleri

DENEY SONUÇLARI

Kübik harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları **Tablo 9**'da sunulmuştur. Referans harcı ve %1,%2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçların 28 günlük yapışma dayanımları **Tablo 10**'da verilmiştir. Prizmatik numunelerin, referans harcı ve %1, %2 hacimsel oranlarda çelik tel içeren harçlar, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları **Tablo 11**'de, eğilme sonrası basınç dayanımları **Tablo 12**'de gösterilmiştir. Tablolardaki ortalama değerleri öncelikle bütün numunelerin dayanım sonuçlarının ortalaması alınıp, daha sonra ortalamanın 0.9 ve 1.1 katları hesaplanarak, aralığın dışındaki sonuçların atılması, ve sadece aralığın içindeki sonuçların ortalamasının alınması yoluyla hesaplanmıştır.

İki seri harç kullanılarak 7 ve 28 günlerde gerçekleştirilen eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri sonucunda çimento, ince agrega, su ve akışkanlaştırıcı içeren harç ile yapılan ilk seri deney sonuçlarının ikinci seriye göre daha yüksek oldukları gözlemlenmiştir. İstenilen dayanımı veren optimum harç olan ilk seride kullanılan harç ana deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu harcın tuğla dolgulu duvarlara uygulanması suretiyle güçlendirilen betonarme çerçeveler deprem yüklerini temsil eden tersinir tekrarlı yükler altında denenmiştir.

Tablo 9 Kübik Harçların Basınç Dayanımları (kgf/cm²)

| Numune | 7 Günlük | 28 Günlük |
|-----------------|--------------|--------------|
| 1 | 301.3 | 407.4 |
| 2 | 327.6 | 403.1 |
| 3 | 329.6 | 382.7 |
| Ortalama | 319.5 | 397.7 |

Tablo 10 Harçların Yapışma Dayanımları (N/mm²)

| | Numune | 28 Günlük |
|---|-----------------|-------------|
| Referans Harcı | 1 | 0.94 |
| | 2 | 1.14 |
| | 3 | 1.15 |
| | 4 | 0.51 |
| | 5 | 1.38 |
| | Ortalama | 1.02 |
| %1 Hacimsel Oranda Çelik Tel İçeren Harç | 1 | 1.96 |
| | 2 | 1.83 |
| | 3 | 1.80 |
| | 4 | 1.58 |
| | 5 | 1.47 |
| | Ortalama | 1.73 |
| %2 Hacimsel Oranda Çelik Tel İçeren Harç | 1 | 1.78 |
| | 2 | 1.95 |
| | 3 | 1.68 |
| | 4 | 2.35 |
| | 5 | 1.82 |
| | Ortalama | 1.92 |

Tablo 11 Prizmatik Numunelerin Eğilme Dayanımları (N/mm²)

| Numune | İlk Seri | | | İkinci Seri | | |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| | 7 Günlük | 28 Günlük | 7 Günlük | 7 Günlük | 28 Günlük | 28 Günlük |
| Referans Harcı | | | | | | |
| 1 | 6.47 | 7.40 | 5.55 | 6.84 | | |
| 2 | 6.38 | 7.21 | 5.53 | 6.29 | | |
| 3 | 6.29 | 7.58 | 5.18 | 6.47 | | |
| Ortalama | 6.38 | 7.40 | 5.42 | 6.53 | | |
| %1 Hacimsel Oranda | | | | | | |
| 1 | 6.47 | 6.75 | 5.36 | 6.47 | | |
| Çelik Tel İçeren Harç | | | | | | |
| 2 | 6.38 | 6.75 | 5.36 | 7.03 | | |
| 3 | 6.29 | 7.30 | 5.27 | 6.93 | | |
| Ortalama | 6.38 | 6.93 | 5.33 | 6.81 | | |
| %2 Hacimsel Oranda | | | | | | |
| 1 | 6.93 | 8.14 | 6.29 | 6.84(X) | | |
| Çelik Tel İçeren Harç | | | | | | |
| 2 | 6.19 | 7.40 (X) | 5.73 | 9.52 (X) | | |
| 3 | 6.56 | 10.17 (X) | 6.47 | 9.06 | | |
| Ortalama | 6.56 | 8.14 | 6.16 | 9.06 | | |

(X) Dayanım değerleri atılmıştır.

Tablo 12 Eğilme Sonrası Basınç Dayanımları (kgf/cm²)

| Numune | İlk Seri | | İkinci Seri | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 7 Günlük | 28 Günlük | 7 Günlük | 28 Günlük |
| Referans Harcı | | | | |
| 1 | 304.5 (X) | 430.2 | 216.7 | 229.3 (X) |
| 2 | 281.9 | 430.9 | 217.8 | 239.0(X) |
| 3 | 262.6 | 408.9 | 199.6 | 244.8 |
| 4 | 268.5 | 429.4 | 204.1 | 301.6(X) |
| 5 | 201.1 (X) | 440.4 | 221.2 | 309.6 (X) |
| 6 | 271.0 | * | 225.5 | 296.9 |
| Ortalama | 271.0 | 428.0 | 214.2 | 270.9 |
| %1 Hacimsel Oranda | | | | |
| 1 | 295.9 | 429.5 | 221.2 | 290.0 |
| Çelik Tel İçeren Harç | | | | |
| 2 | 294.7 | 425.2 | 181.6 (X) | 250.4 (X) |
| 3 | 266.7 (X) | 322.7 (X) | 190.8 | 331.8 (X) |
| 4 | 306.1 | 436.7 | 225.8 (X) | 267.0 |
| 5 | 305.9 | 379.1 | 233.6 (X) | 270.9 |
| 6 | 317.3 | 437.0 | 166.4 (X) | 334.7 (X) |
| Ortalama | 304.0 | 421.5 | 206.0 | 276.0 |

| Numune | İlk Seri | | İkinci Seri | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 7 Günlük | 28 Günlük | 7 Günlük | 28 Günlük |
| %2 Hacimsel Oranda | | | | |
| 1 | 283.6 | 416.2 | 218.8 | 331.6 |
| Çelik Tel İçeren Harç | | | | |
| 2 | 269.8 | 404.4 | 209.9 | 318.9 |
| 3 | 277.6 | 388.7 | 232.9 | 281.5 (X) |
| 4 | 300.2 | 416.3 | 196.2 (X) | 314.5 |
| 5 | 302.9 | 388.0 | 231.5 | 310.0 |
| 6 | 284.1 | 375.5 | 230.3 | 339.9 |
| Ortalama | 286.4 | 398.2 | 224.7 | 323.0 |

(X) Dayanım değerleri atılmıştır.

* Kesme sırasındaki bir problem yüzünden numune kullanılamamıştır.

PANEL DENEYLERİ

GİRİŞ

Betonarme çerçevelerin çelik telli harç uygulanarak güçlendirilmesinde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi amacıyla yapılması planlanan çerçeve deneylerine başlanılmadan önce, çerçevelerdeki güçlendirilmiş dolgu duvarların doğru şekilde modellenebilmesi ve bu duvarların yük altında davranışları hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla iki seri halinde panel deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde 70 cm* 70 cm boyutlu ve 7.5 cm kalınlıklı kare tuğla duvarlar diyagonal doğrultuda yüklenmiştir.

Deney düzeneği, destek amacıyla konulmuş iki ağır beton kütesinin arasında oluşturulmuştur. Deney elemanı bu düzenek içerisinde yere paralel konumdaki metal levhaların üzerine yerleştirilmiştir. Bu metal levhaların arası elemanın yükleme altında yatay hareketini sürtünme etkisine maruz kalmadan serbestçe gerçekleştirmesini sağlamak için yağlanmış ve buraya demir bilyeler konulmuştur. Duvar elemanının düzenek içerisine yerleştirildiği diyagonal doğrultusundaki köşelerine içleri alçıyla doldurulmuş demir köşegenler yerleştirilmiştir. Bu köşegenler düzeneğin bir tarafında ağır beton kütleyle, diğer tarafta ise yükün uygulandığı hidrolik krikoya dayanmaktadır. Duvar üzerindeki yer değiştirmeleri ölçebilmek amacıyla 6 yönde komparatör yerleştirilmiştir.

GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

- **İlk Seri Panel Deneyleri**

İlk seri panel deneyleri çerçevesinde 12 adet deney gerçekleştirilmiştir. Önce üç adet sıvasız ve üç adet sıvalı olmak üzere altı adet referans, ardından farklı şekillerde güçlendirilmiş altı adet sıvalı duvar elemanı test edilmiştir. Sıvalı duvar elemanlarında sıva kalınlığı her iki yüzde yaklaşık 10'ar mm. olacak şekilde üretilmiştir. Referans numuneleri dışında kalan elemanlardan üçünde tek yüzeye 1 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik tel içeren harç kullanılmıştır. Geri kalan

üç adet elemanda ise tek yüzeye 2 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik tel içeren harç kullanılmıştır. Elemanlar özellikleri ve isimleriyle **Tablo 13'** de verilmiştir.

Tablo 13 İlk Seri Panel Eleman Özellikleri ve İsimleri

| Deney Elemanı | Deney Elemanının İsmi |
|--|------------------------------|
| Sivasız Referans Duvar Elemanları | NPP-1, NPP-2, NPP-3 |
| Sıvalı Referans Duvar Elemanları | PP-1, PP-2, PP-3 |
| 1 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Tel İçeren Harç | SF1P-1, SF1P-2, SF1P-3 |
| 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Tel İçeren Harç | SF2P-1, SF2P-2, SF2P-3 |

İlk seri panel elemanlarını örnek için kullanılan harcın karışım oranları **Tablo 14'**de, sıva için kullanılan harcın karışım oranları ise **Tablo 15'**de verilmiştir.

Tablo 14 İlk Seri Panel Eleman Örme Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 35 | 9 |
| 0-3 mm Agregası | 300 | 76 |
| Kireç | 20 | 5 |
| Su | 39 | 10 |
| Toplam | 394 | 100 |

Tablo 15 İlk Seri Panel Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 30 | 8 |
| 0-3 mm Agregası | 250 | 71 |
| Kireç | 25 | 7 |
| Su | 49 | 14 |
| Toplam | 354 | 100 |

İlk seri panel elemanlara sıvanın üzerine uygulanan çelik tel içeren harcın 1 m³'ü için karışım oranları **Tablo 16**'da gösterilmiştir.

Tablo 16 İlk Seri Panel Eleman Çelik Tel İçeren Harç Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 42.5 R) | 578.70 | 21.78 |
| 0-3 mm Agrega | 1591.44 | 59.90 |
| Su | 329.86 | 12.42 |
| Akışkanlaştırıcı | 0.87 | 0.03 |
| Çelik Tel | 156.0 | 5.87 |
| Toplam | 2656.87 | 100.0 |

İlk seri panel örme harcından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 17**'de, panel çelik tel içeren harcından alınan silindirlerin deney sonuçları ise **Tablo 18**'de sunulmuştur.

Tablo 17 İlk Seri Panel Örme Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa)

| Yaş | Silindir Numarası | | | Ortalama |
|------------|-------------------|-----|-----|----------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 7 Günlük | 2.7 | 2.4 | 1.6 | 2.2 |
| 28 Günlük | 2.8 | 2.6 | 3.0 | 2.8 |
| Deney Günü | 3.6 | 3.3 | 3.5 | 3.5 |

Tablo 18 İlk Seri Panel Çelik Tel İçeren Harç Silindir Deney Sonuçları (MPa)

| Yaş | Silindir Numarası | | | Ortalama |
|------------|-------------------|------|------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Deney Günü | 23.0 | 20.7 | 20.0 | 21.2 |

Deneyler sonucundaki duvar elemanlarının yük taşıma kapasiteleri **Tablo 19**'da gösterilmiştir. İlk seri panel deneyleri görüntüleri **Şekil 6, 7, 8**'de verilmiştir.

Tablo 19 İlk Seri Duvar Elemanlarının Yük Taşıma Kapasiteleri

| Panel | Yük Taşıma Kapasitesi (ton) | Ortalama Yük Taşıma Kapasitesi (ton) |
|--------|-----------------------------|--------------------------------------|
| NPP-1 | * | 1.06 |
| NPP-2 | 0.96 | |
| NPP-3 | 1.15 | |
| PP-1 | 3.01 | 3.25 |
| PP-2 | 4.15 | |
| PP-3 | 2.58 | |
| SF1P-1 | 7.85 | 7.25 |
| SF1P-2 | 7.00 | |
| SF1P-3 | 6.89 | |
| SF2P-1 | 11.31 | 10.55 |
| SF2P-2 | 9.78 | |
| SF2P-3 | 10.56 | |

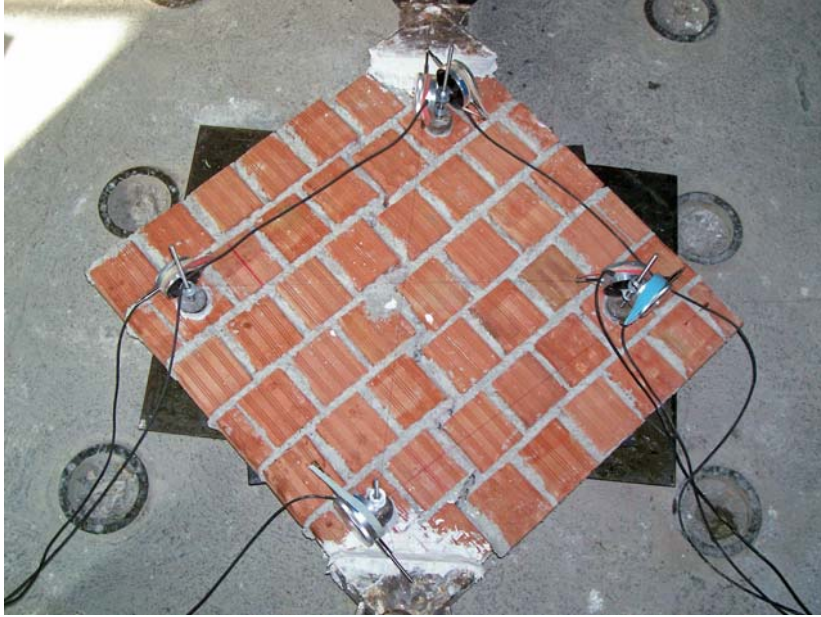
* Deney sırasında düzenekten kaynaklanan bir sorun nedeniyle sağlıklı deney verisi alınamamıştır.



Şekil 6 İlk Seri Panel Elemanları



Deney Öncesi NPP-3 Panel Elemanı

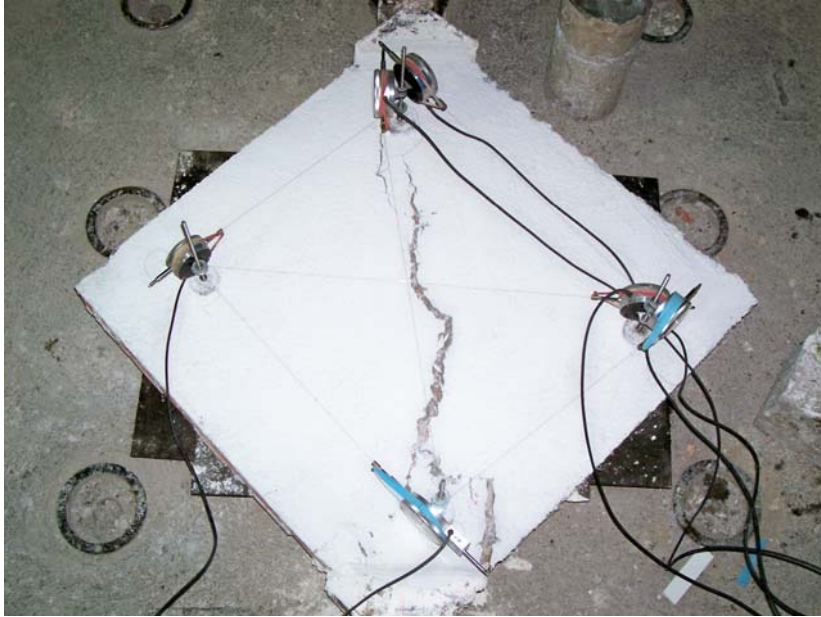


Deney Sonrası NPP-3 Panel Elemanı

Şekil 7 NPP-3 Panel Elemanı Deney Görüntüleri



Deney Öncesi SF1P-2 Panel Elemanı



Deney Sonrası SF1P-2 Panel Elemanı

Şekil 8 SF1P-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri

- **İkinci Seri Panel Deneyleri**

İkinci seri kapsamında 20 adet panel elemanı üretilmiştir. Beş adet sıvasız ve üç adet sıvalı olmak üzere sekiz adet referans, ve farklı şekillerde güçlendirilmiş on iki adet sıvalı duvar elemanı denenmiştir. Sıvalı duvar elemanlarında sıva kalınlığı her iki yüzde yaklaşık 6 mm.' dir. Referans numuneleri dışındaki elemanlardan üçünde tek yüzeye 1 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik telli harç kullanılmıştır. Diğer üç adet elemanda ise tek yüzeye 2 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik telli harç kullanılmıştır. Geri kalan altı adet elemanın ise üçüne iki yüzeye de 1 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik telli harç uygulanmıştır. Diğer üç adet elemana ise çift taraflı 2 cm kalınlığında %2'lik hacimsel oranda çelik telli harç uygulanmıştır. Elemanlar özellikleri ve isimleriyle **Tablo 20**'de verilmiştir.

Tablo 20 İkinci Seri Panel Eleman Özellikleri ve İsimleri

| Deney Elemanı | Deney Elemanının İsmi |
|---|--|
| Sıvasız Referans Duvar Elemanları | 2SNPP-1, 2SNPP-2, 2SNPP-3, 2SNPP-4, 2SNPP-5 |
| Sıvalı Referans Duvar Elemanları | 2SPP-1, 2SPP-2, 2SPP-3 |
| Tek Yüzde 1 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Duvar Elemanları | 2SSF1P-1, 2SSF1P-2, 2SSF1P-3 |
| Tek Yüzde 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Duvar Elemanları | 2SSF2P-1, 2SSF2P-2, 2SSF2P-3 |
| Çift Yüzde 1 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Duvar Elemanları | 2SSF1PD-1, 2SSF1PD-2, 2SSF1PD-3 |
| Çift Yüzde 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Duvar Elemanları | 2SSF2PD-1, 2SSF2PD-2, 2SSF2PD-3 |

İkinci seri deneylerde ilk seriden farklı olarak bazı elemanlarda basınç ve/veya çekme doğrultusundaki uzamaların ölçülmesi için komparatörlerle yapılan ölçümlere ek olarak strain gage uygulaması yapılmıştır. Deneylerde 6, 8 ve 12 cm uzunluklarında strain gage kullanılmıştır. Çeşitli elemanlara uygulanan strain gage adedi ve uzunlukları **Tablo 21**'de verilmiştir.

Tablo 21 İkinci Seri Panel Eleman Strain Gage Uygulamaları

| Deney Elemanı | Uygulanan Strain Gage |
|---------------------|--|
| 2SPP1 | 1 adet 6 cm'lik basınç yönünde |
| 2SPP2 | 1 adet 8 cm'lik basınç yönünde |
| 2SPP3 | 1 adet 12 cm'lik basınç yönünde |
| 2SSF1P1, 2SSF1P1(2) | 2 adet birbirine dik 6 cm'lik basınç ve çekme yönünde |
| 2SSF1P2 | 2 adet birbirine dik 8 cm'lik basınç ve çekme yönünde |
| 2SSF1PD2 | 2 adet birbirine dik 12 cm'lik basınç ve çekme yönünde |
| 2SSF2PD3 | 2 adet birbirine dik 6 cm'lik basınç ve çekme yönünde |

İkinci seri panel elemanlarını örnek için kullanılan harcın karışım oranları **Tablo 22**'de, panel elemanların sıvası için kullanılan harcın karışım oranları ise **Tablo 23**'de verilmiştir. İkinci seri panel elemanlara sıvanın üzerine uygulanan çelik tel içeren harcın 1 m³'ü için karışım oranları ilk seri ile aynıdır.

Tablo 22 İkinci Seri Panel Eleman Örneği Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|--------------|--------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 50 | 13 |
| 0-3 mm Agregat | 250 | 67 |
| Kireç | 25 | 7 |
| Su | 50 | 13 |
| Toplam | 375 | 100 |

Tablo 23 İlk Seri Panel Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 25 | 9 |
| 0-3 mm Agregası | 98 | 33 |
| Elenmiş 0-3 mm Agregası | 98 | 33 |
| Kireç | 25 | 9 |
| Su | 45 | 16 |
| Toplam | 291 | 100 |

İkinci seri panel örme harcından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 24**'de, panel sıva harcından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 25**'de, ve panel çelik tel içeren harcından alınan silindirlerin deney sonuçları ise **Tablo 26**'da sunulmuştur.

Tablo 24 İkinci Seri Panel Örme Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa)

| Yaş | Silindir Numarası | | | Ortalama |
|------------|--------------------------|----------|----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Deney Günü | 8.9 | 10.6 | 10.5 | 10.0 |

Tablo 25 İkinci Seri Panel Sıva Harcı Silindir Deney Sonuçları (MPa)

| Yaş | Silindir Numarası | | | Ortalama |
|------------|--------------------------|----------|----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Deney Günü | 4.1 | 4.4 | 3.5 | 4.0 |

Tablo 26 İkinci Seri Panel Çelik Tel İçeren Harç Silindir Deney Sonuçları (MPa)

| Yaş | Silindir Numarası | | | Ortalama |
|------------|--------------------------|----------|----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Deney Günü | 27.0 | 30.7 | 30.0 | 29.2 |

Panel deneyleri sonucunda duvar elemanlarının yük taşıma kapasiteleri **Tablo 27**'de gösterilmiştir.

Tablo 27 İkinci Seri Duvar Elemanlarının Yük Taşıma Kapasiteleri

| Panel | Yük Taşıma Kapasitesi (ton) | Ortalama Yük Taşıma Kapasitesi (ton) |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 2SNPP-1 | 4.53 | 4.41 |
| 2SNPP-2 | 3.90 | |
| 2SNPP-3 | 4.90 | |
| 2SNPP-4 | 4.69 | |
| 2SNPP-5 | 4.04 | |
| 2SPP-1 | 5.43 | 5.76 |
| 2SPP-2 | 6.25 | |
| 2SPP-3 | 5.61 | |
| 2SSF1P-1, 2SSF1P-1(2) | 6.12, 6.55 * | 8.53 |
| 2SSF1P-2 | 7.78 | |
| 2SSF1P-3 | 11.27 | |
| 2SSF2P-1 | 13.19 | 11.97 |
| 2SSF2P-2 | 10.74 | |
| 2SSF2P-3 | ** | |
| 2SSF1PD-1 | 10.68 | 13.45 |
| 2SSF1PD-2 | 16.40 | |
| 2SSF1PD-3 | 13.27 | |
| 2SSF2PD-1 | 10.19 | 12.89 |
| 2SSF2PD-2 | 12.32 | |
| 2SSF2PD-3 | 16.17 | |

* Deney sırasında düzeneden kaynaklanan bir sorun nedeniyle eleman düzeneğe tekrar yerleştirilip deney tekrarlanmıştır.

** Deneye hazırlık esnasında eleman düzeneğe yerleştirilirken kırılmış, bu sebepten dolayı deney yapılamamıştır.

İkinci seri panel deneyleri görüntüleri **Şekil 9, 10, 11**'de verilmiştir.



Şekil 9 İkinci Seri Panel Elemanları

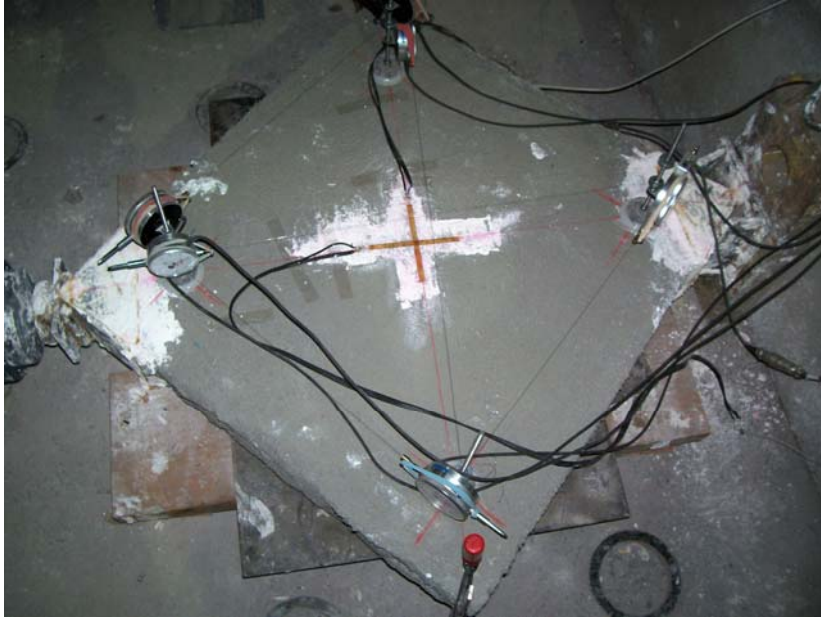


Deney Öncesi 2SNPP-2 Panel Elemanı



Deney Sonrası 2SNPP-2 Panel Elemanı

Şekil 10 2SNPP-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri



Deney Öncesi 2SSF1PD-2 Panel Elemanı

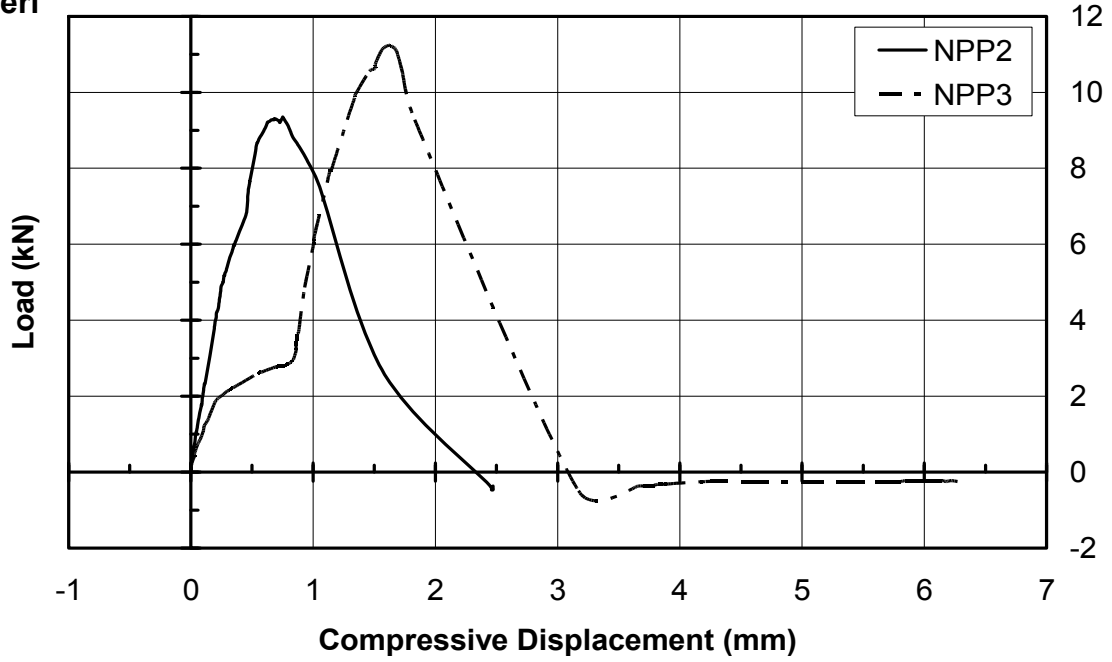


Deney Sonrası 2SSF1PD-2 Panel Elemanı

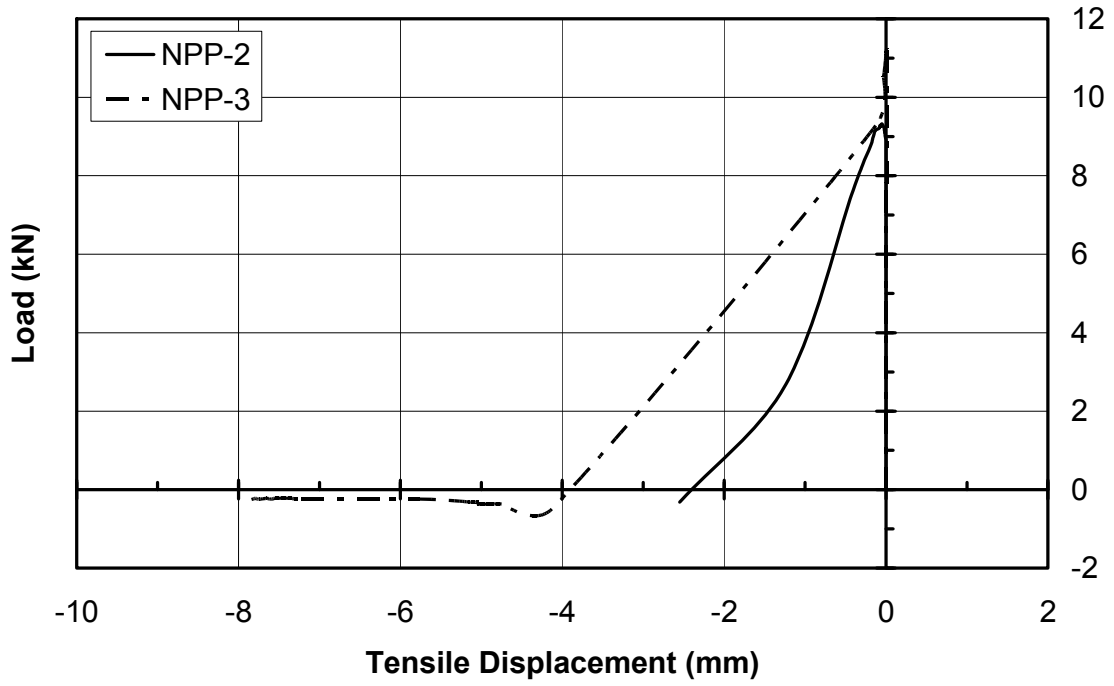
Şekil 11 2SSF1PD-2 Panel Elemanı Deney Görüntüleri

İlk seri ve ikinci seri panel deneyleri sonucunda duvar elemanlarının basınç ve/veya çekme yönündeki yük-deplasman eğrileri **Şekil 12-44**'de sunulmuştur.

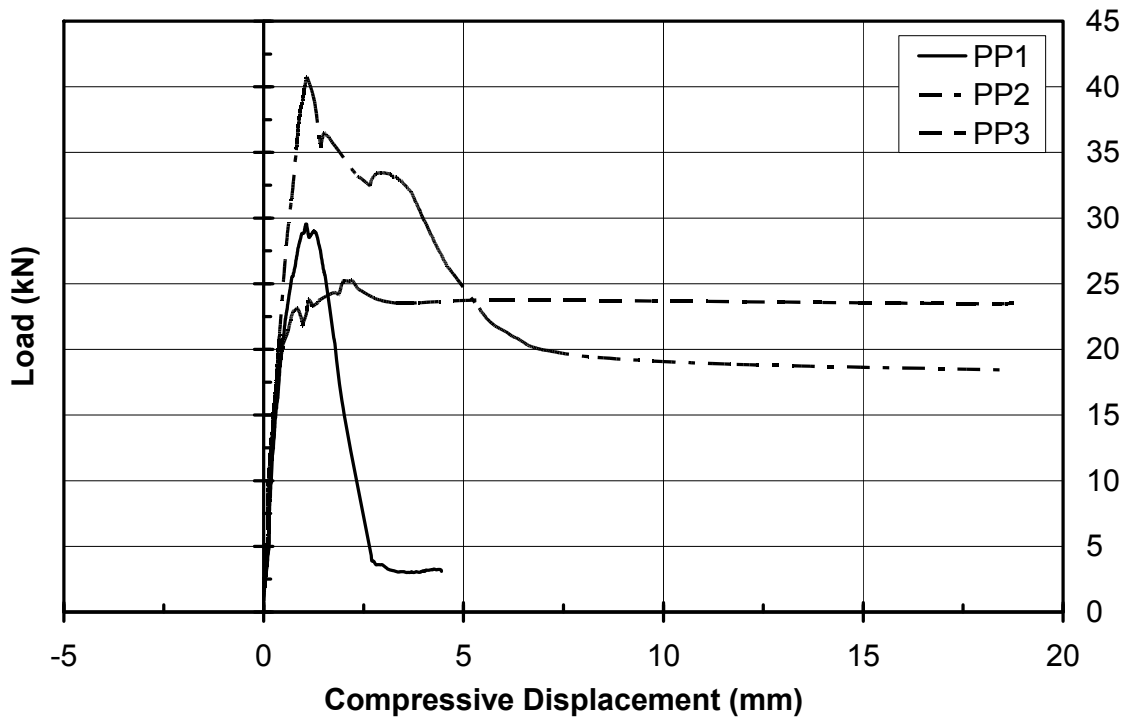
1.Seri



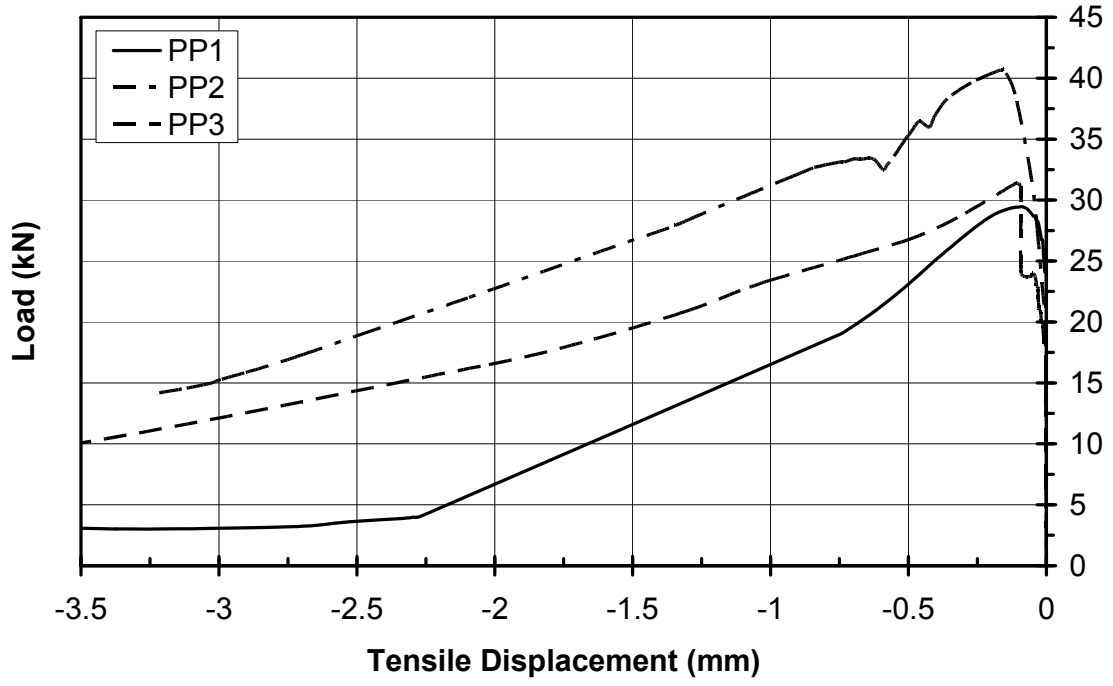
Şekil 12 NPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



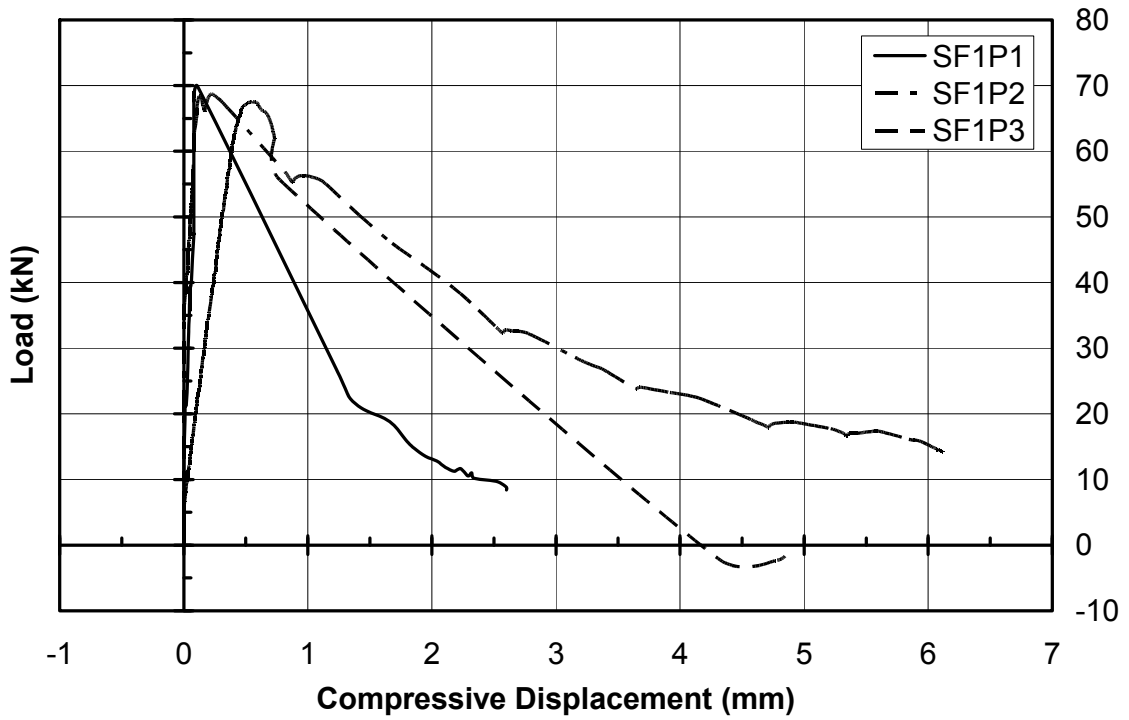
Şekil 13 NPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



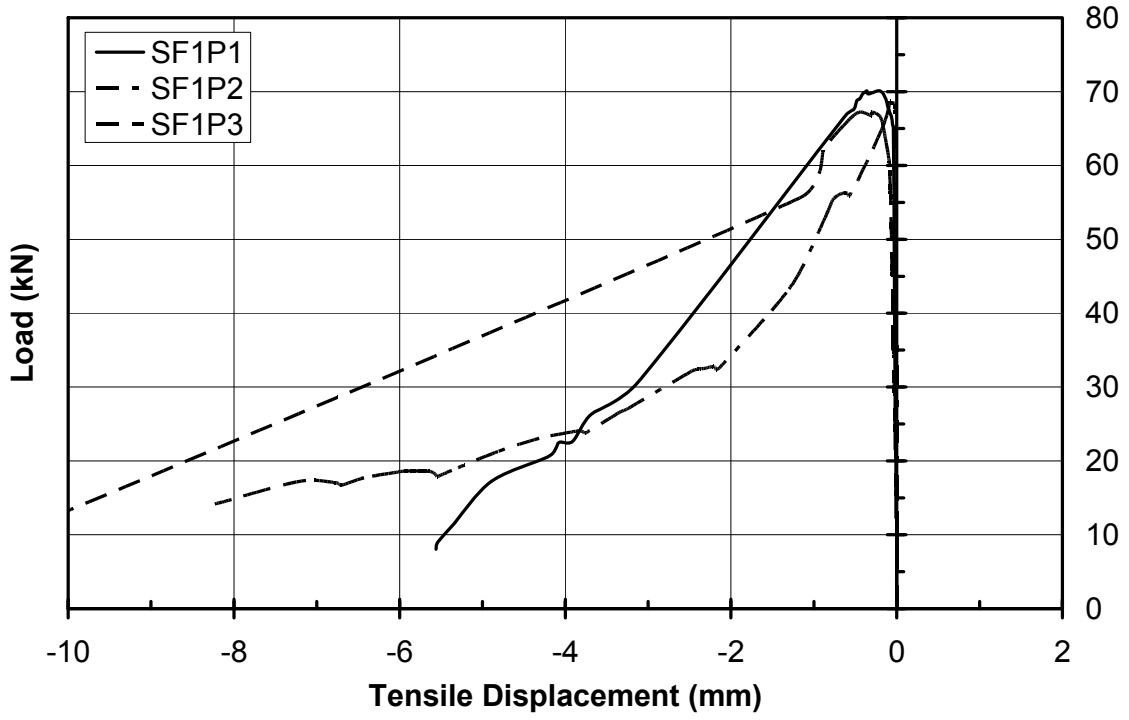
Şekil 14 PP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



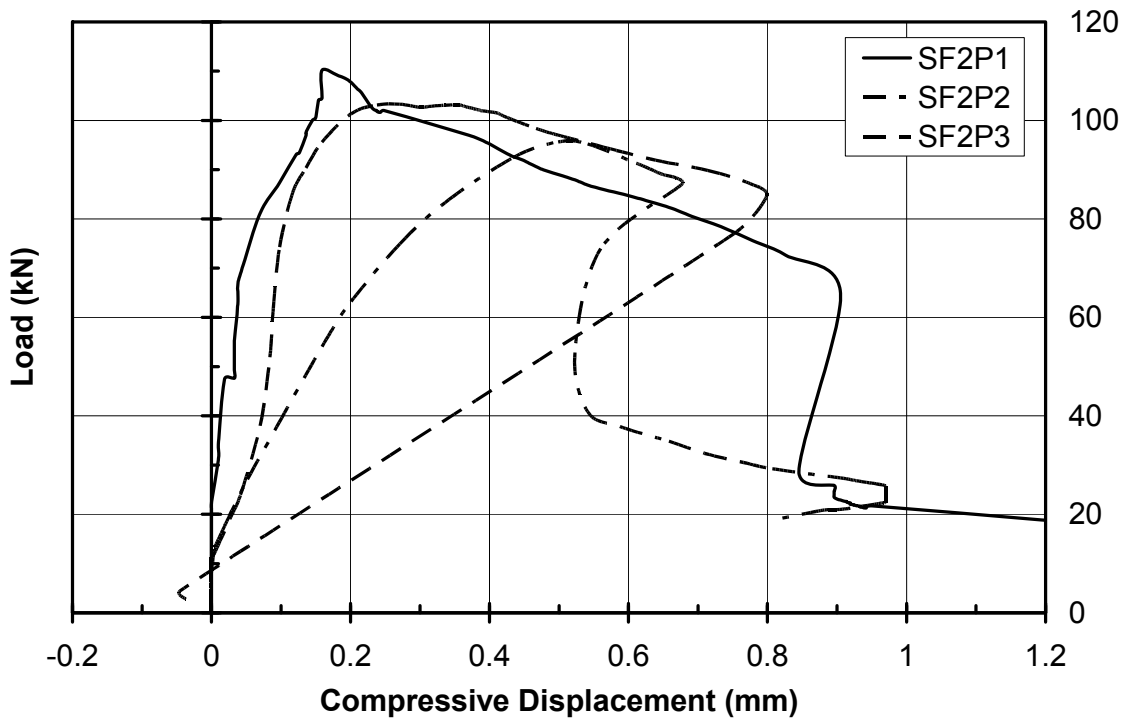
Şekil 15 PP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



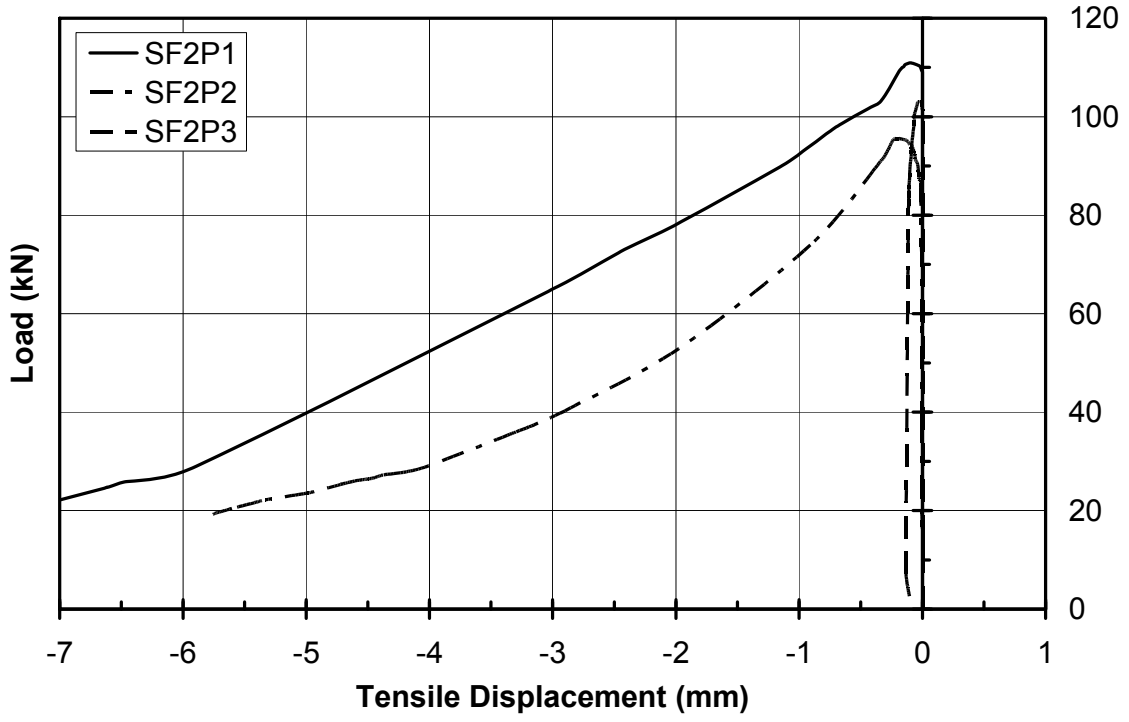
Şekil 16 SF1P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



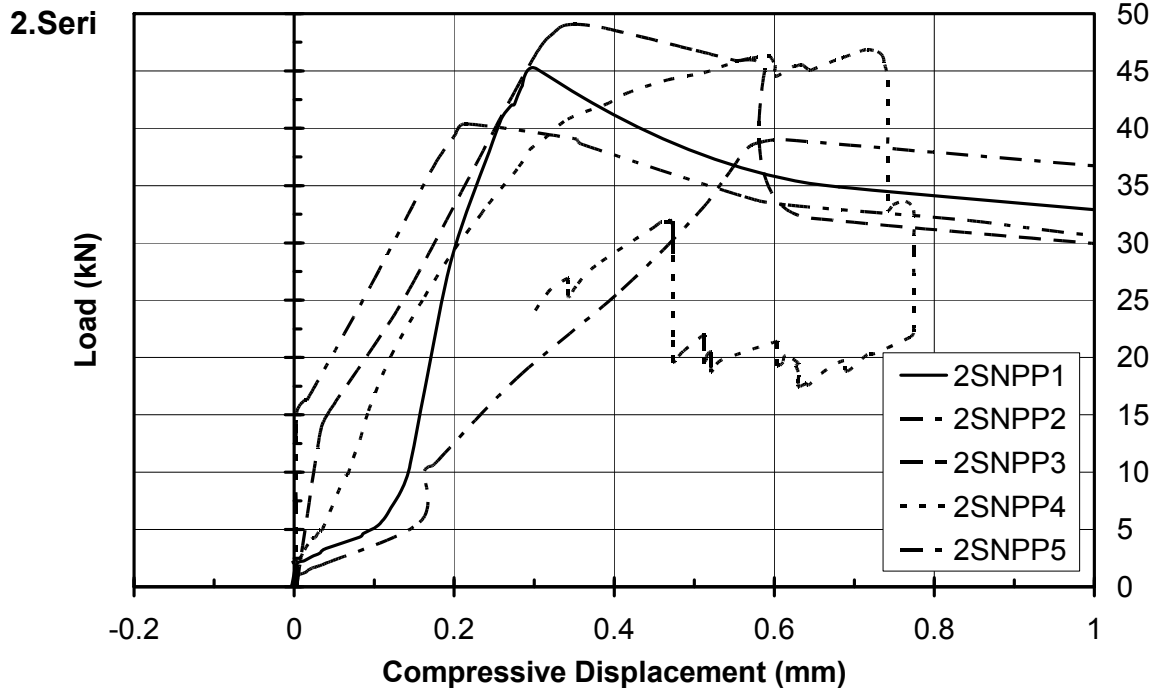
Şekil 17 SF1P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



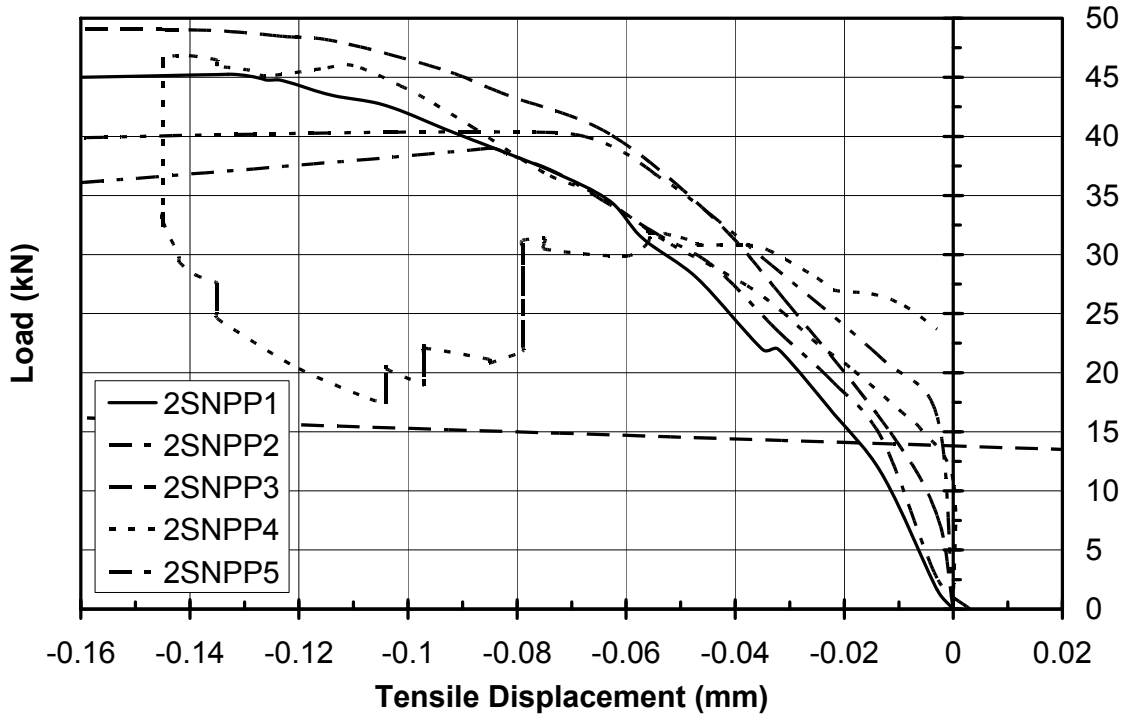
Şekil 18 SF2P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



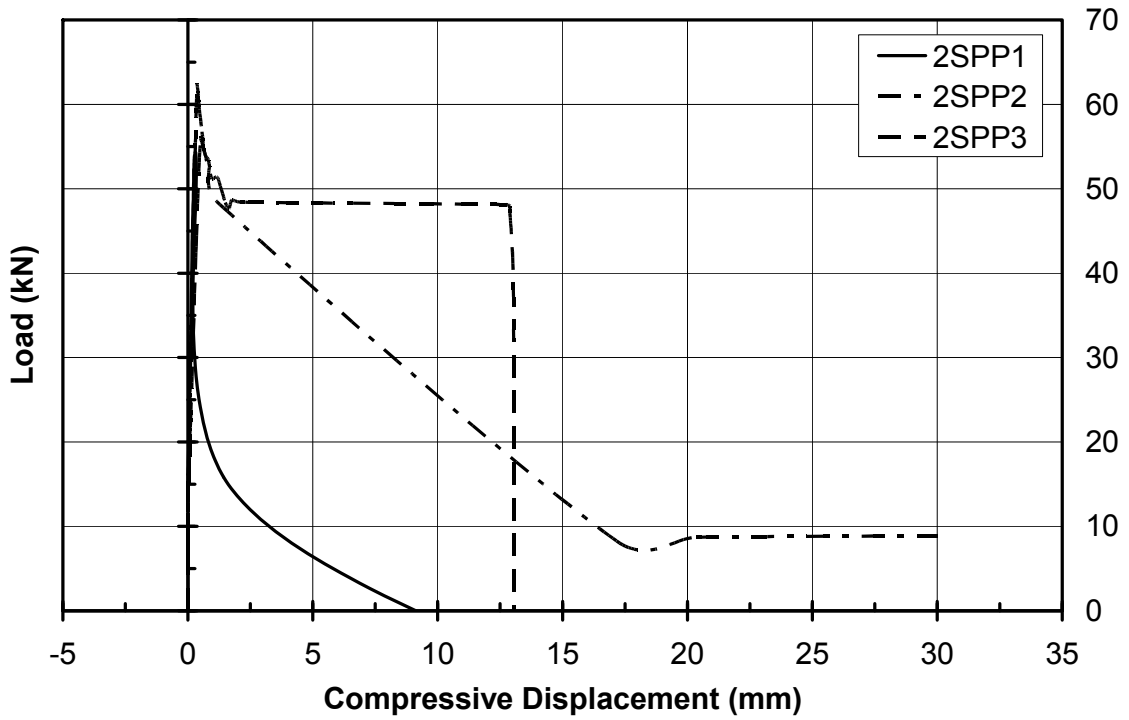
Şekil 19 SF2P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



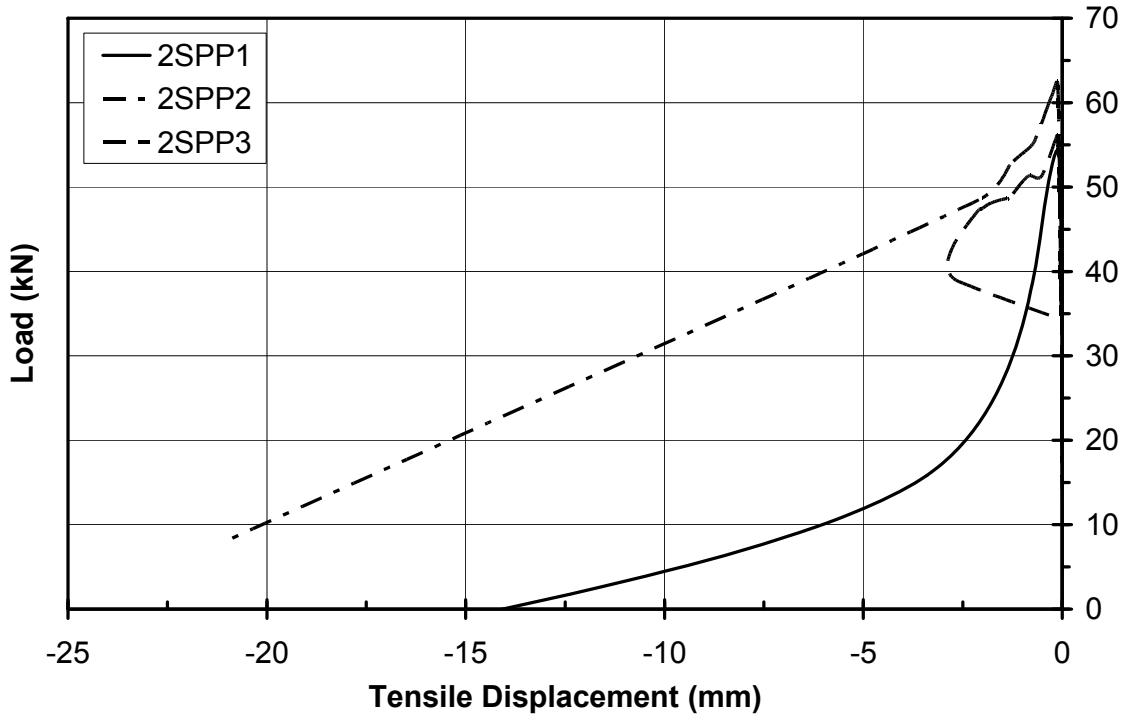
Şekil 20 2SNPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



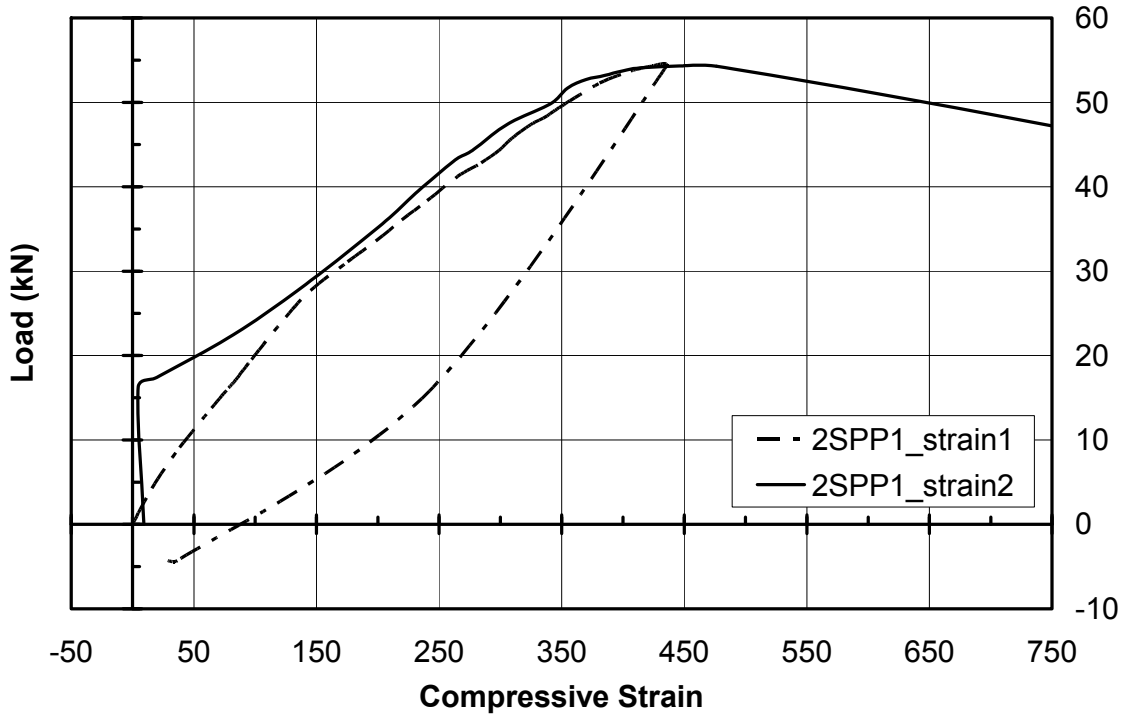
Şekil 21 2SNPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



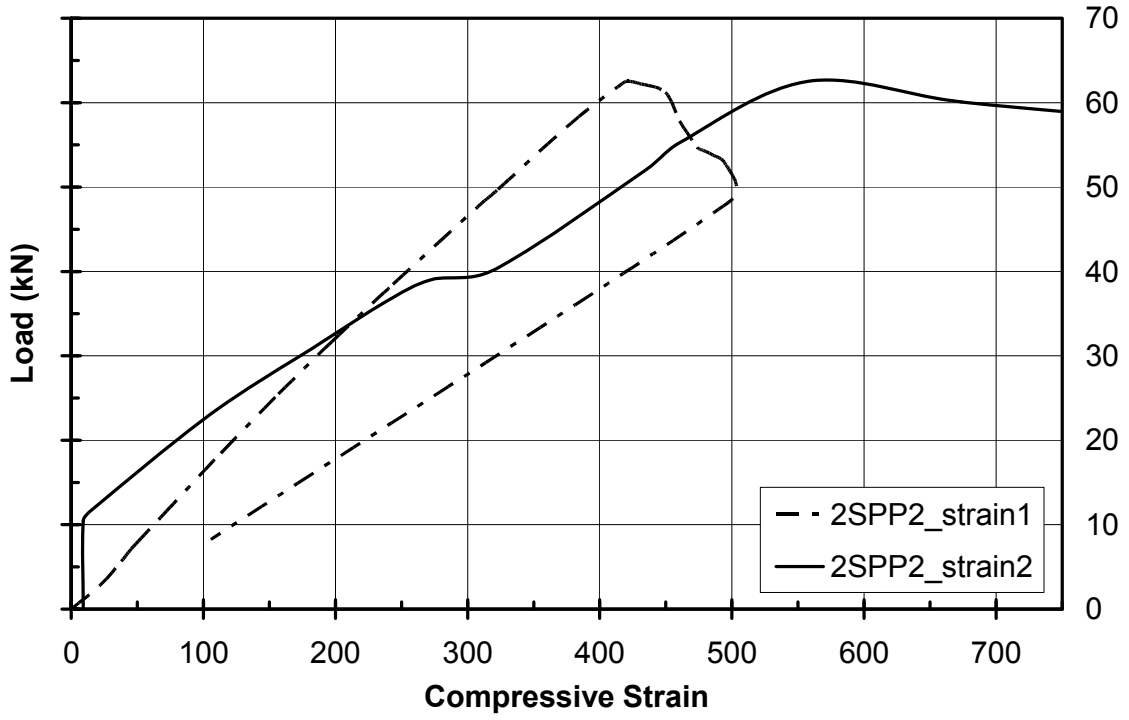
Şekil 22 2SPP Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



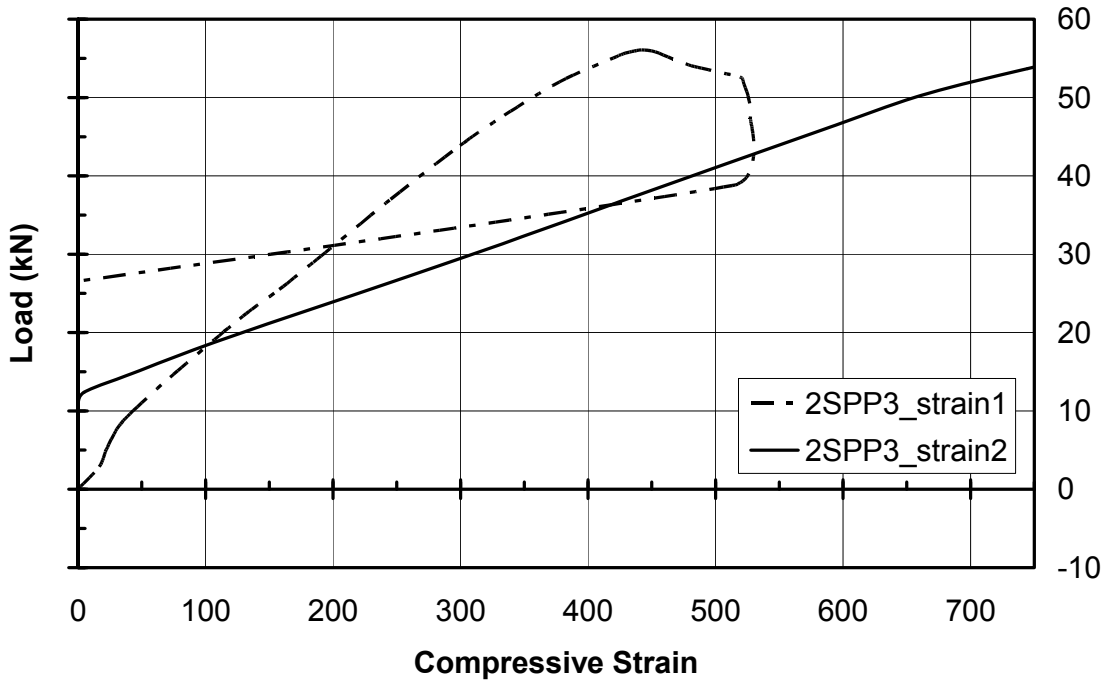
Şekil 23 2SPP Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



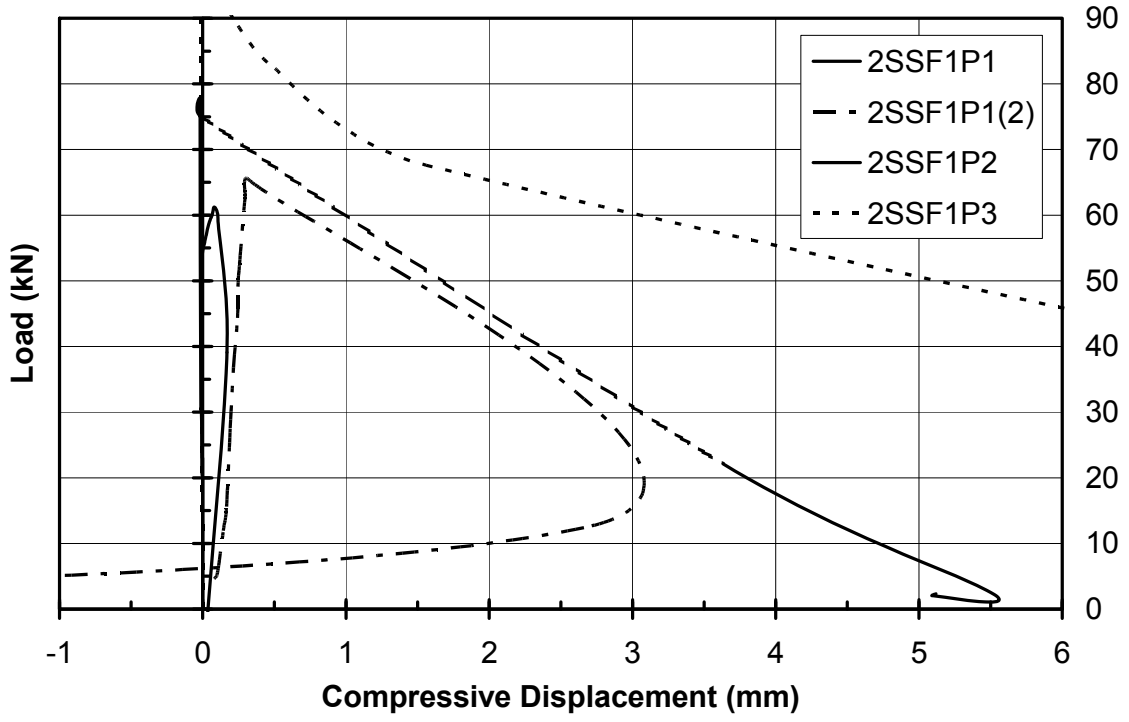
Şekil 24 2SPP1 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



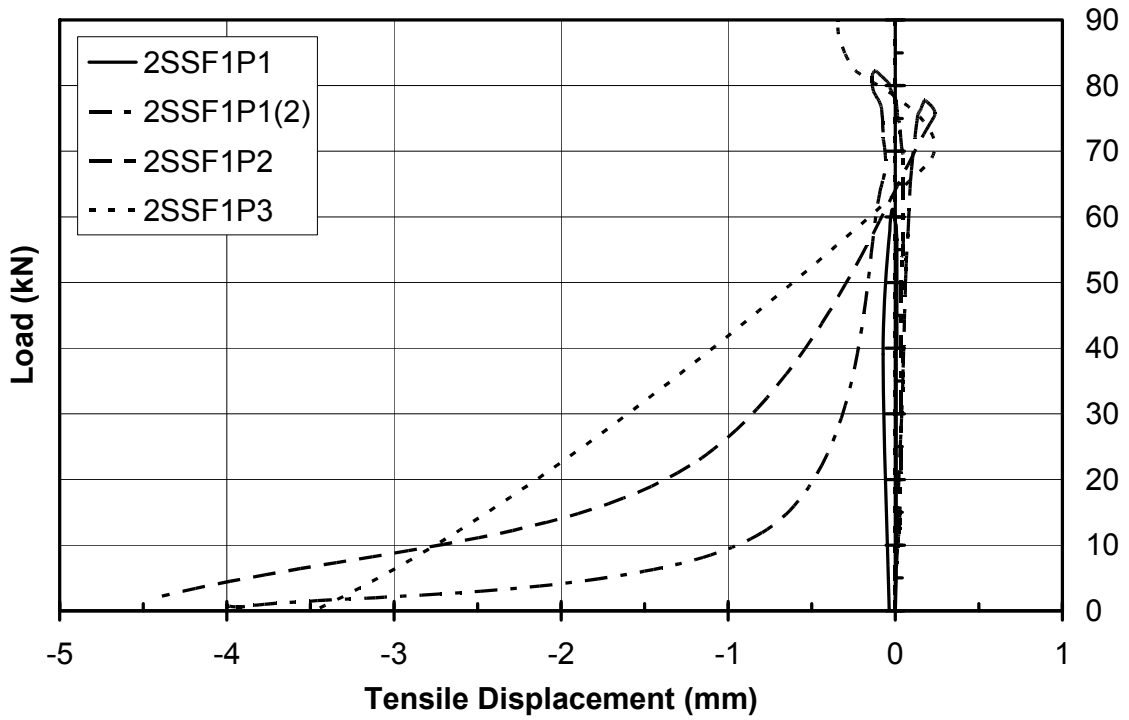
Şekil 25 2SPP2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



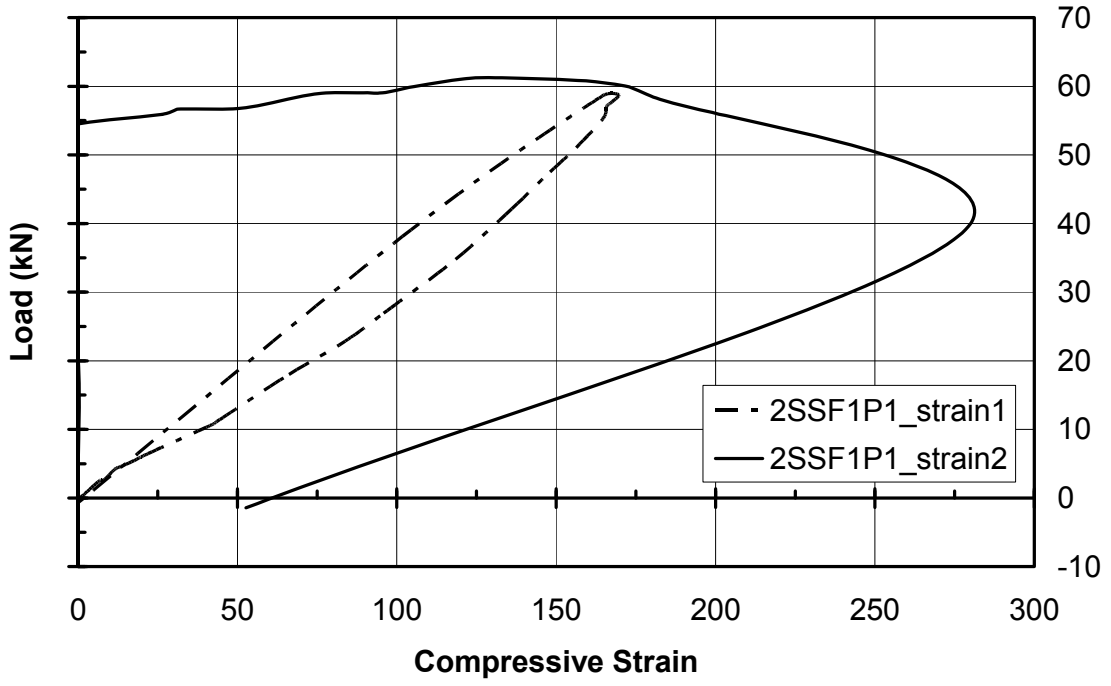
Şekil 26 2SPP3 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



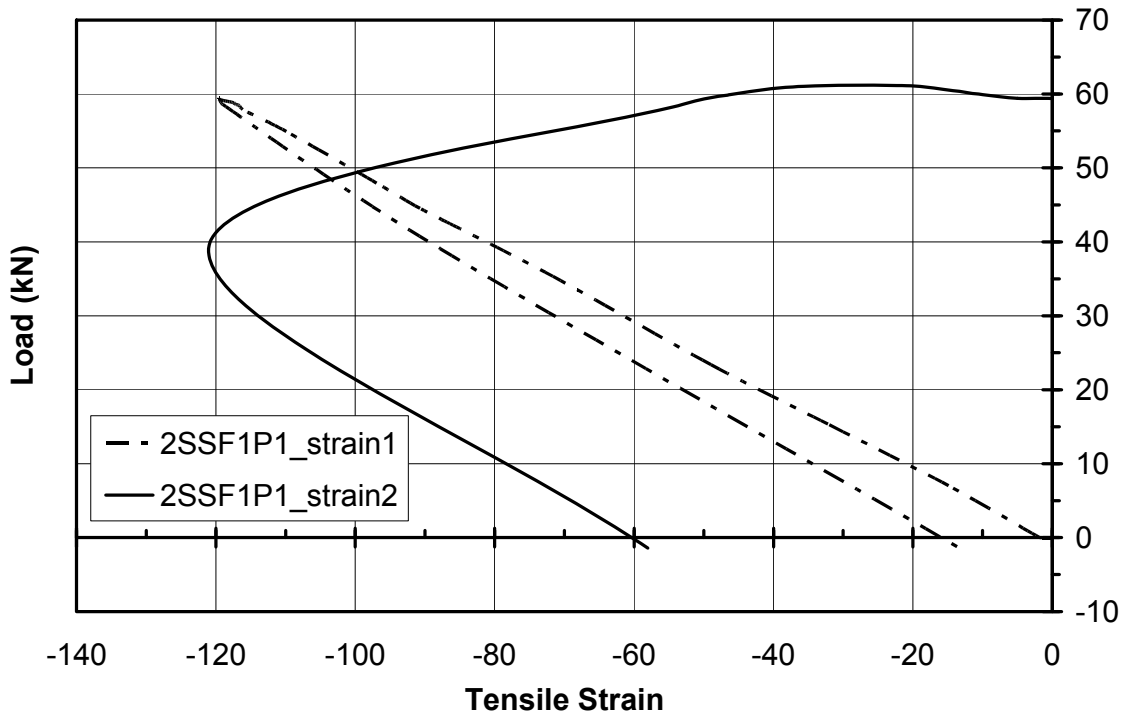
Şekil 27 2SSF1P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



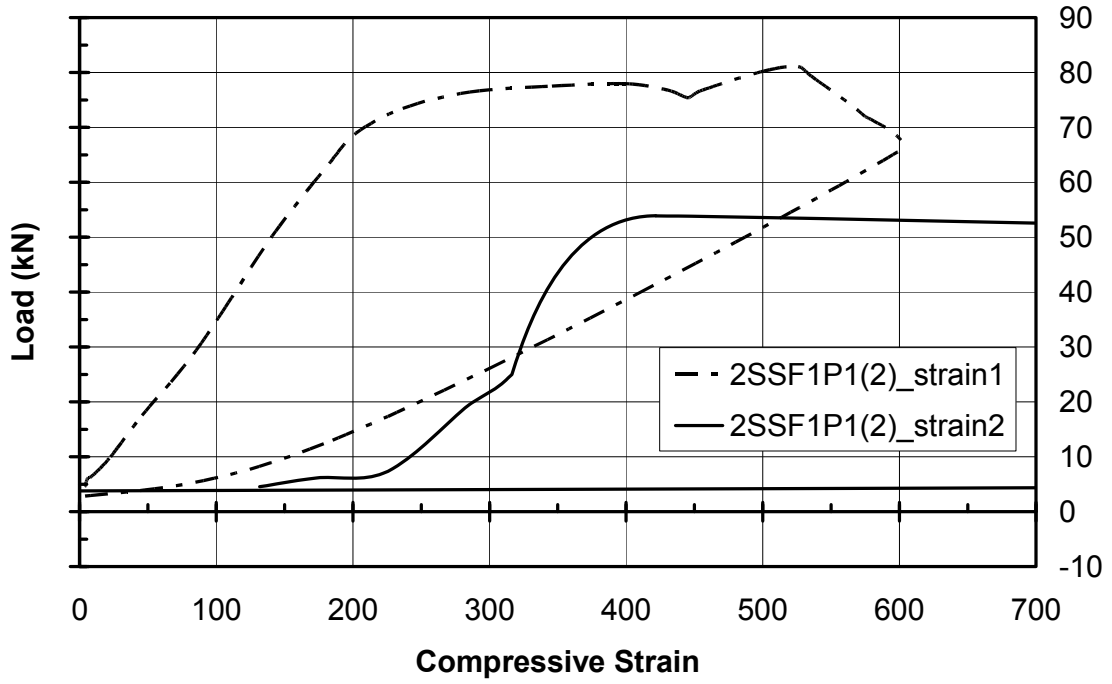
Şekil 28 2SSF1P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



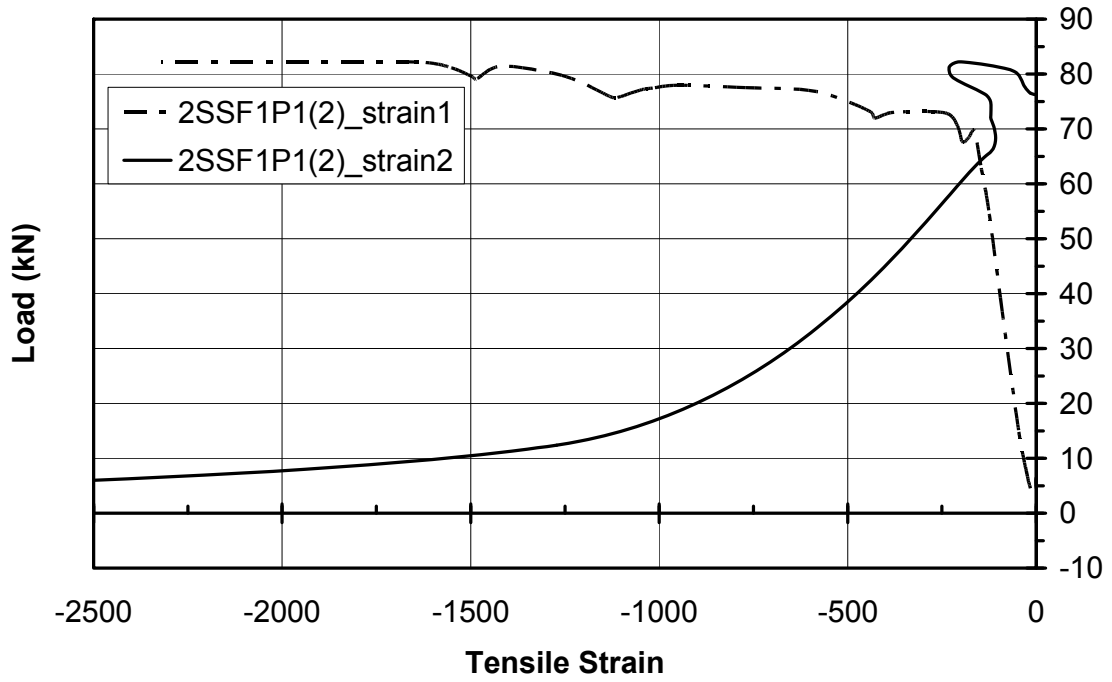
Şekil 29 2SSF1P1 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



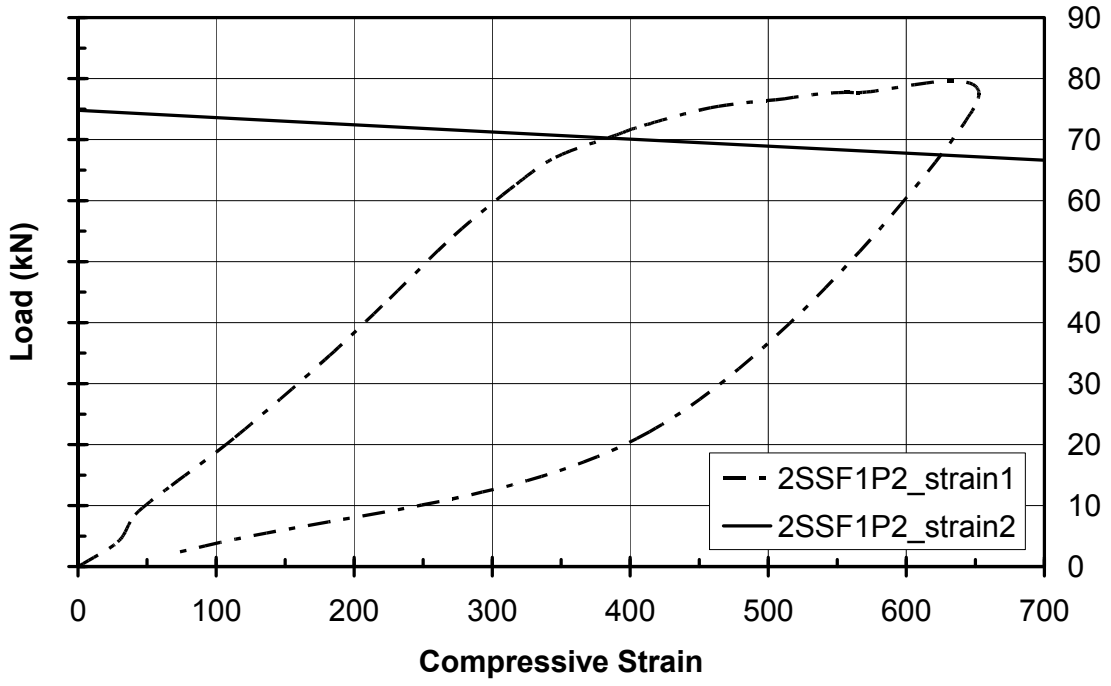
Şekil 30 2SSF1P1 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



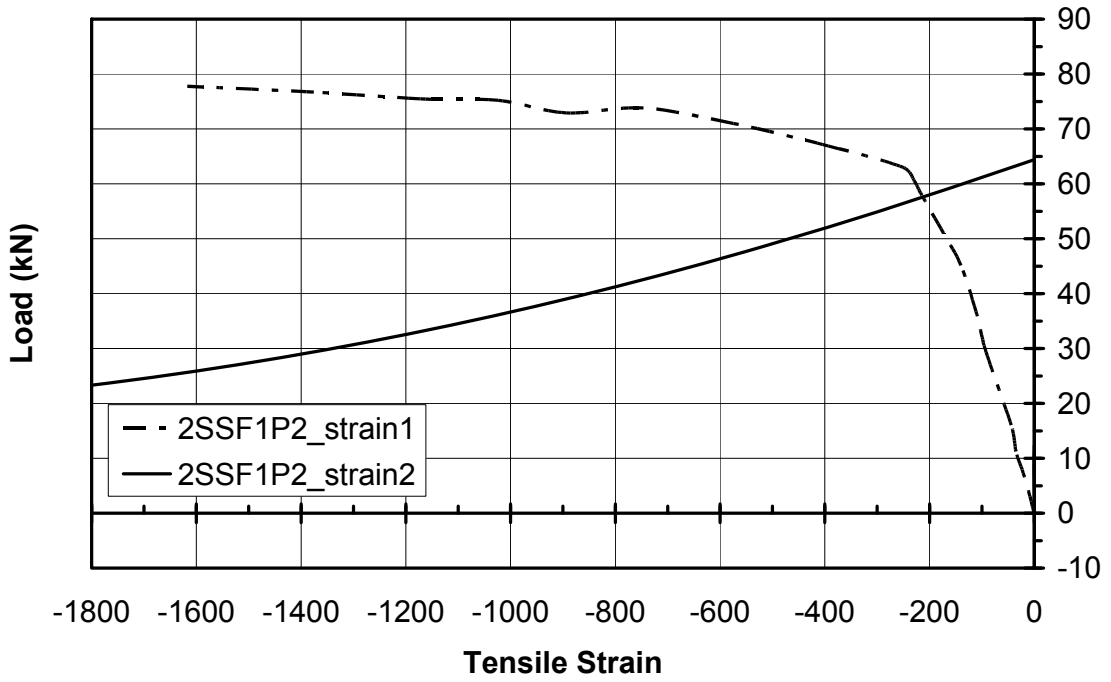
Şekil 31 2SSF1P1(2) Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



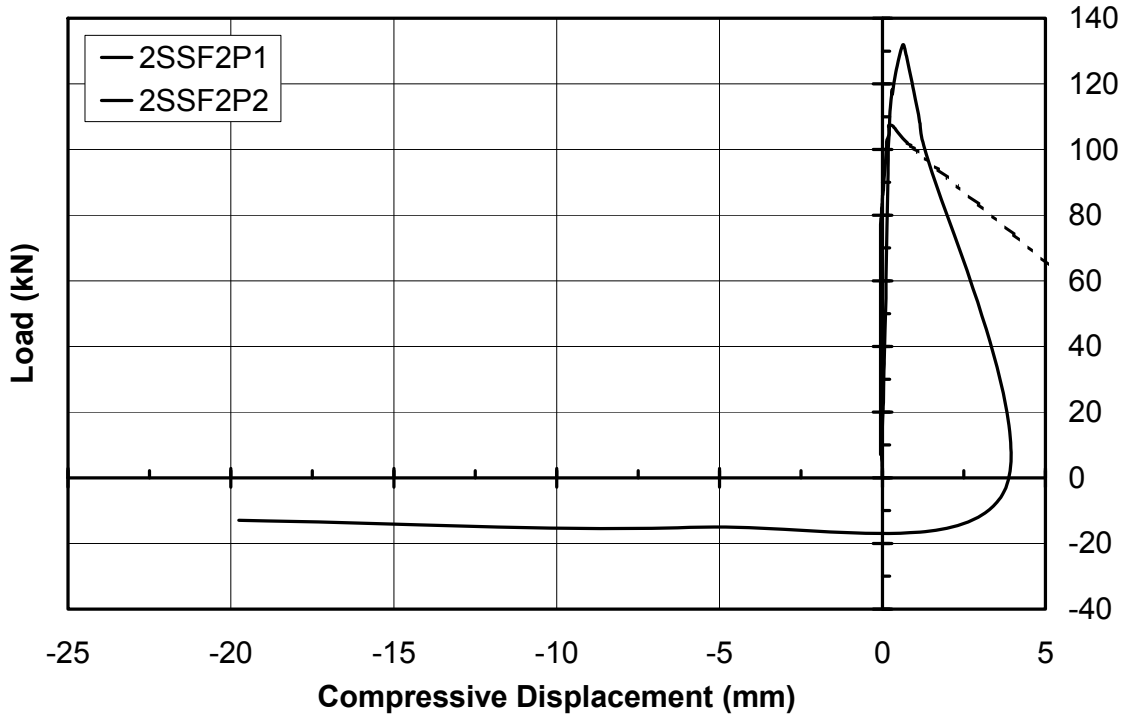
Şekil 32 2SSF1P1(2) Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



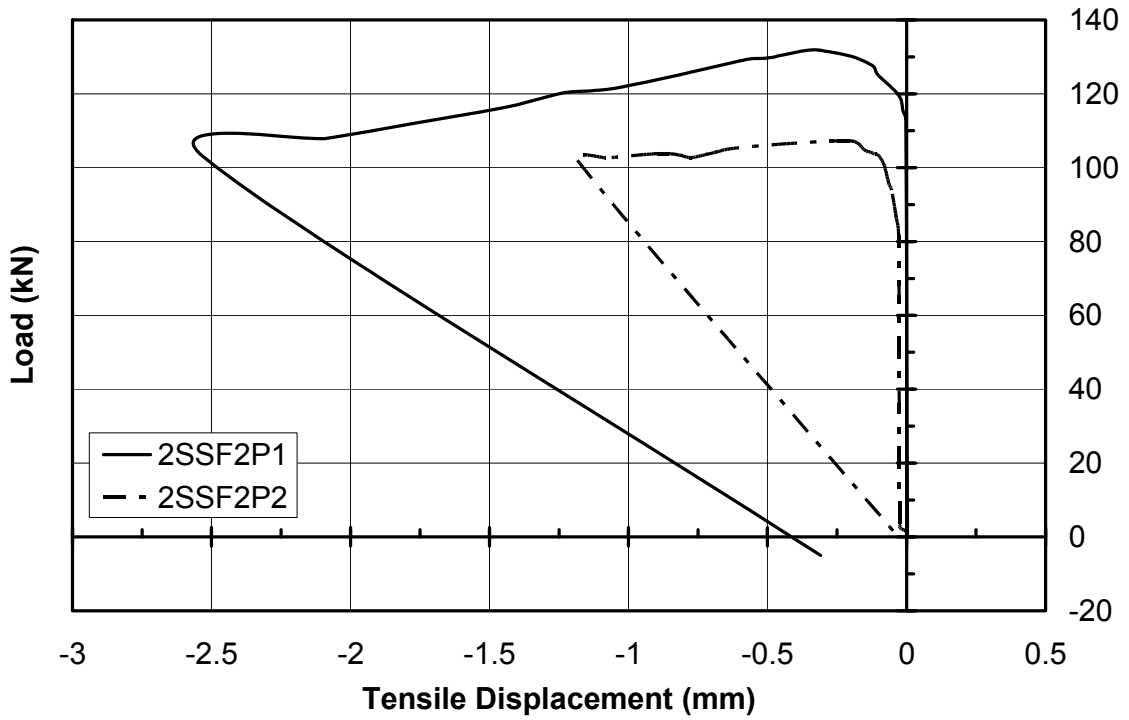
Şekil 33 2SSF1P2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



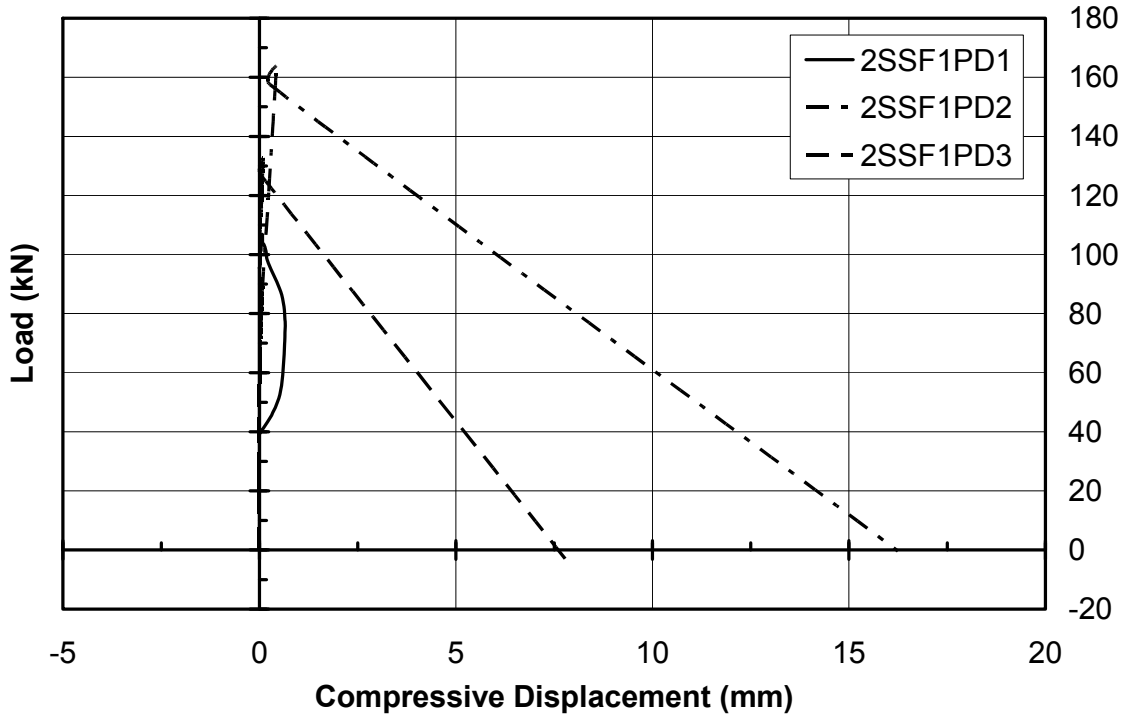
Şekil 34 2SSF1P2 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



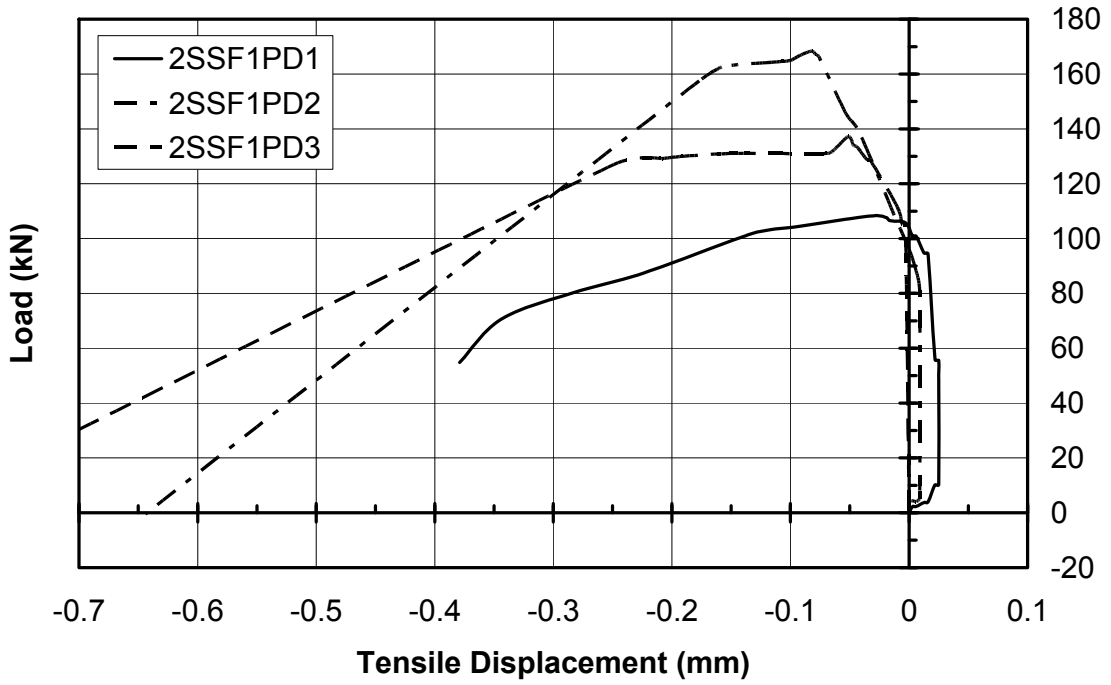
Şekil 35 2SSF2P Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



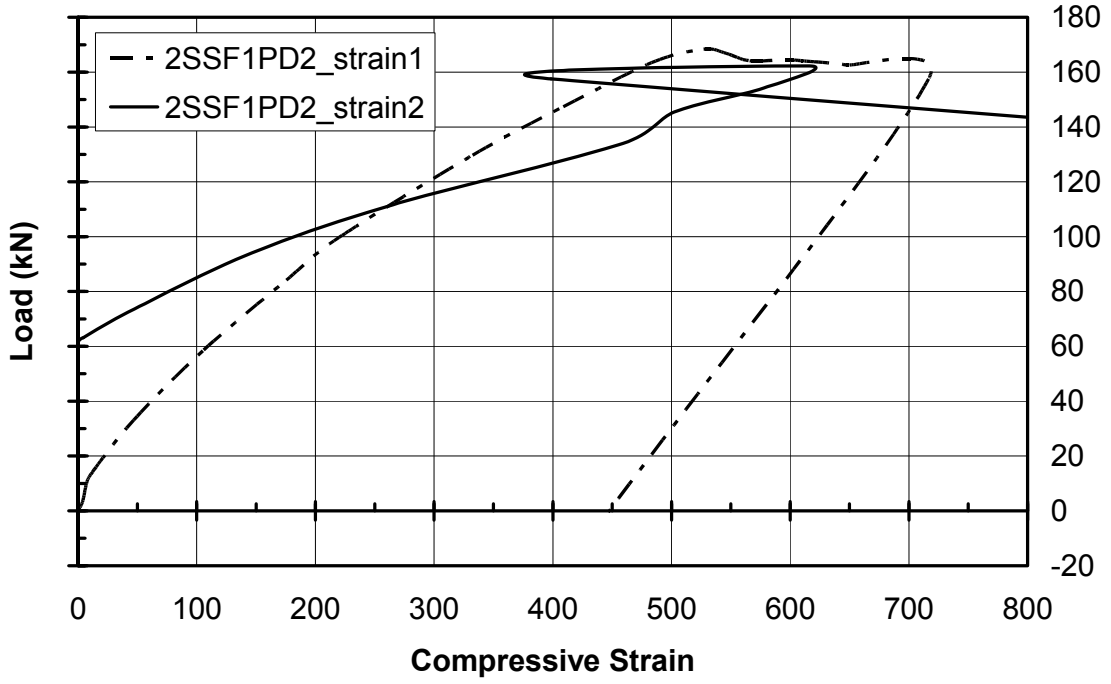
Şekil 36 2SSF2P Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



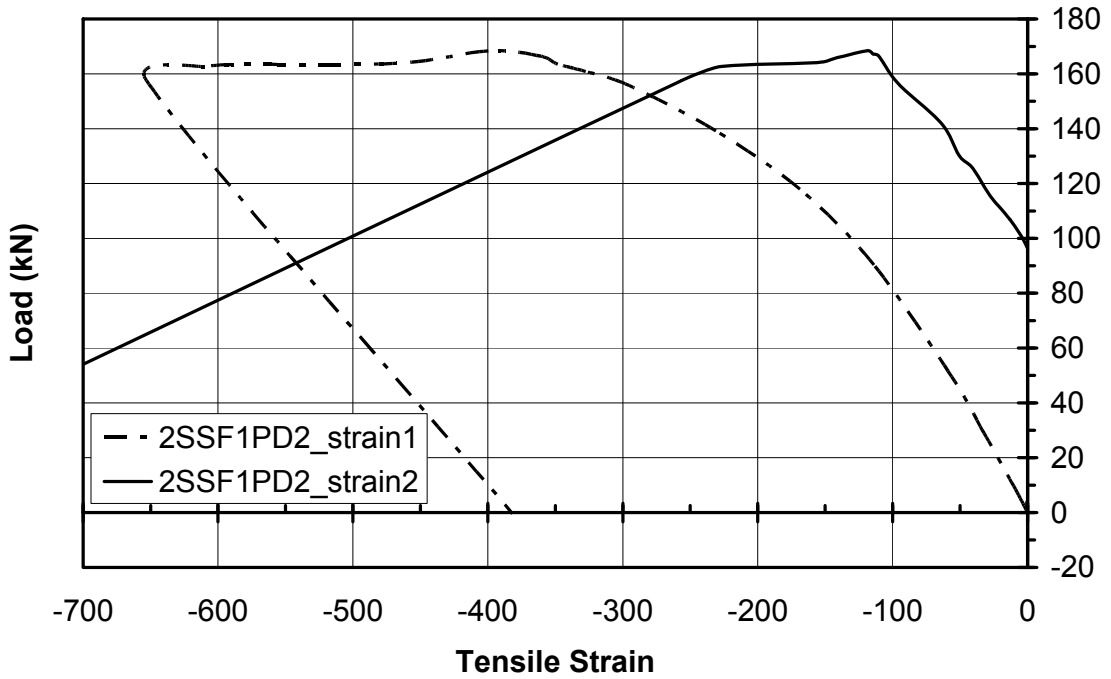
Şekil 37 2SSF1PD Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



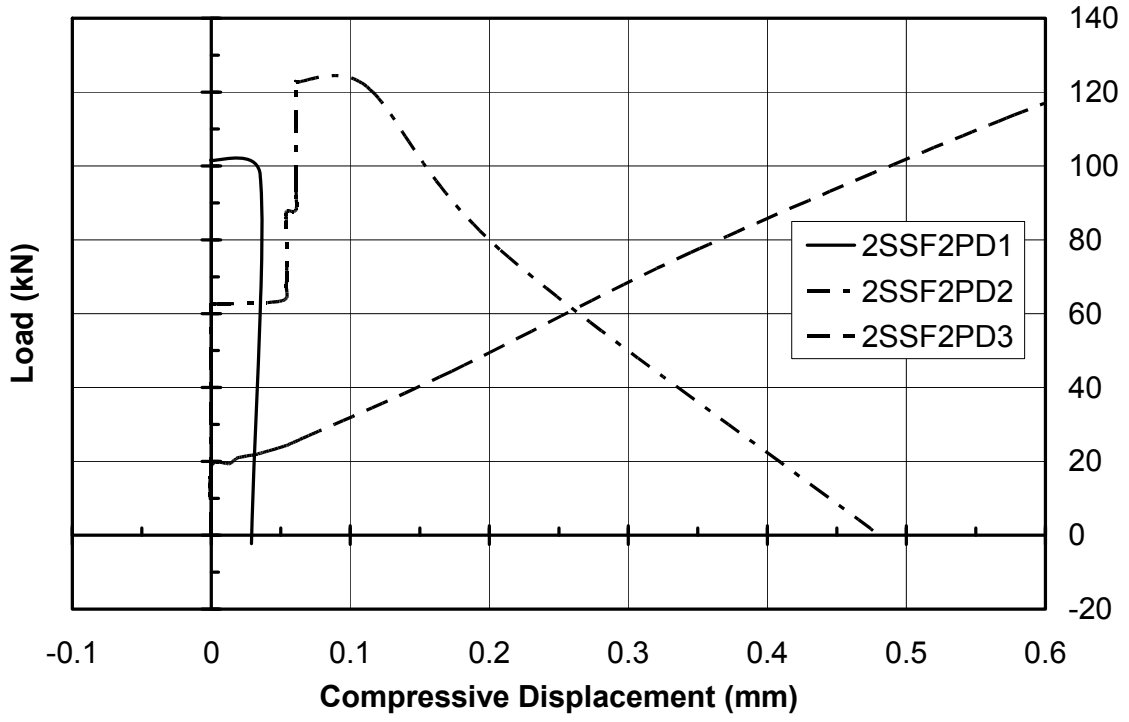
Şekil 38 2SSF1PD Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



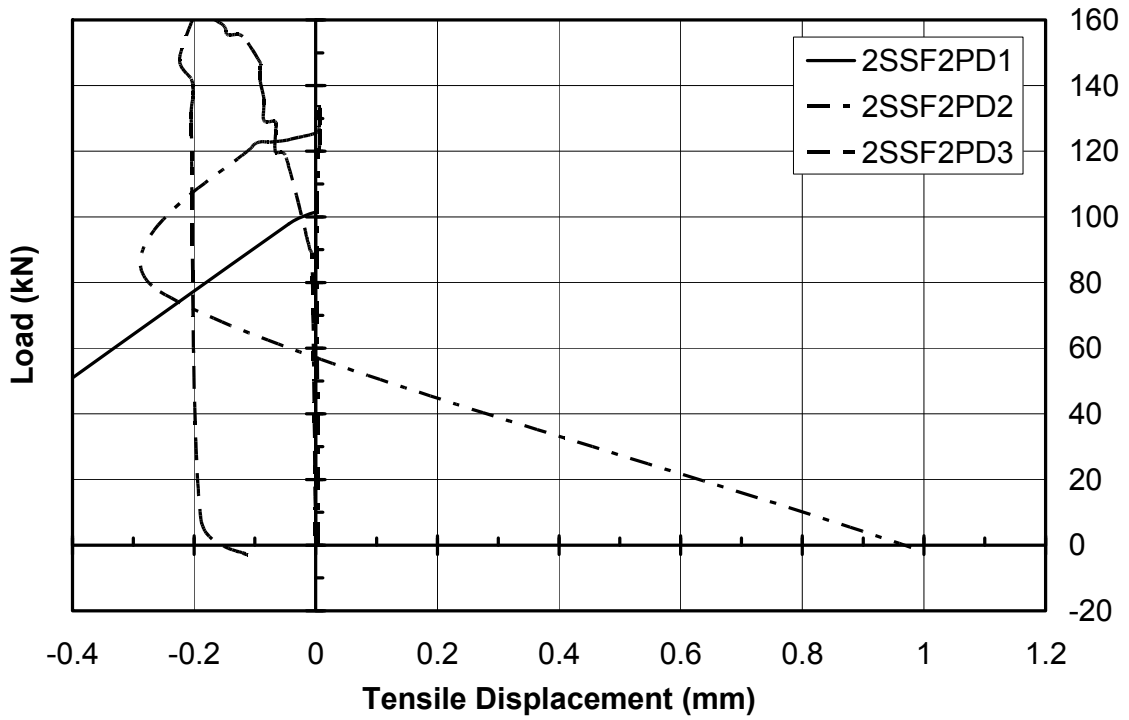
Şekil 39 2SSF1PD2 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



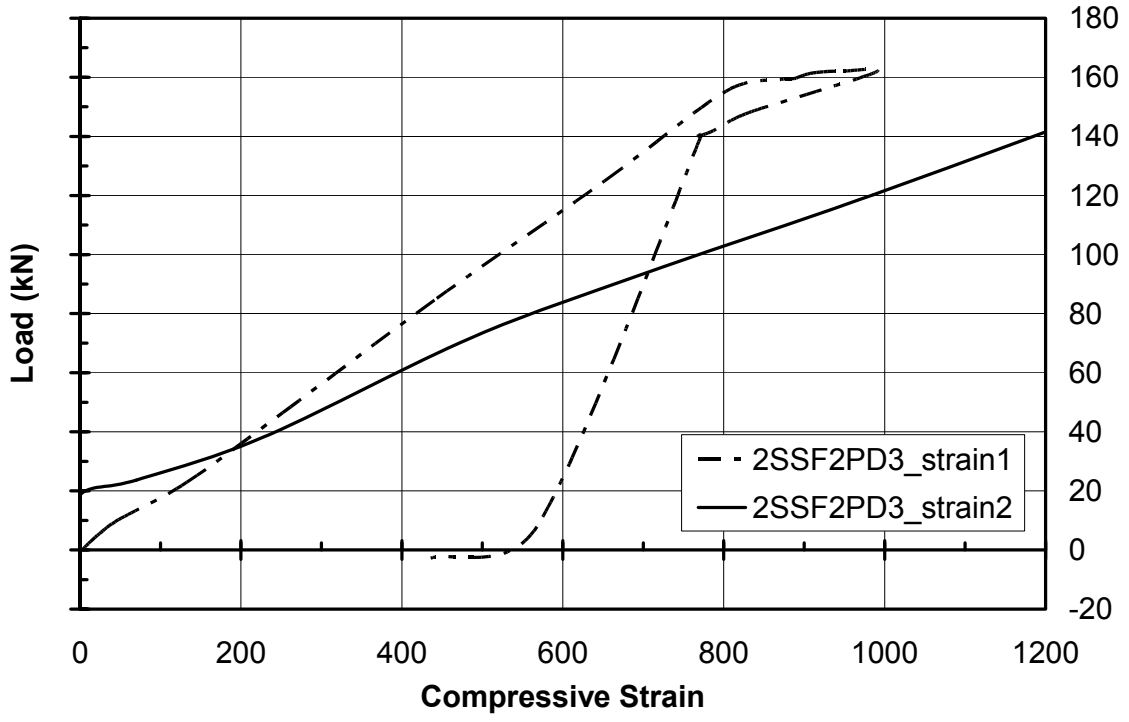
Şekil 40 2SSF1PD2 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



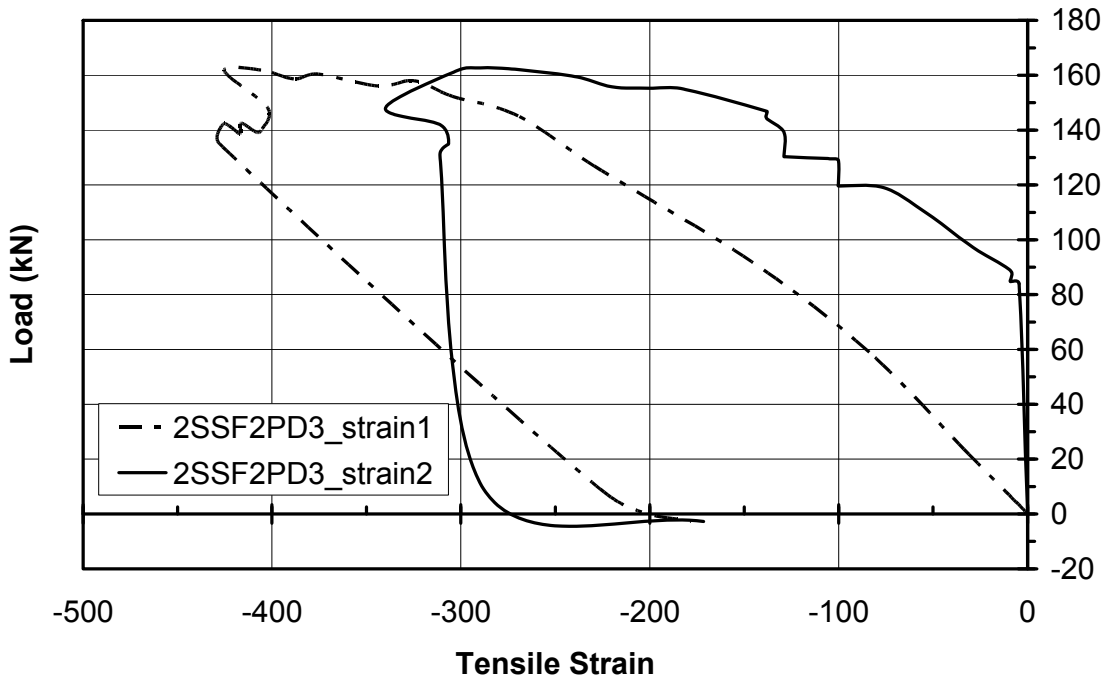
Şekil 41 2SSF2PD Elemanlarına Ait Basınç Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



Şekil 42 2SSF2PD Elemanlarına Ait Çekme Yönündeki Yük-Deplasman Eğrileri



Şekil 43 2SSF2PD3 Elemanına Ait Basınç Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri



Şekil 44 2SSF2PD3 Elemanına Ait Çekme Yönündeki Yük-Birim Uzama Eğrileri

ÇERÇEVE DENEYLERİ

GİRİŞ

Deneylerde kullanılan çimento ve agreganın, ayrıca ana deneylerde kullanılan harcın fiziksel özellikleri malzeme deneyleri ile belirlenmiştir. İki seri harç kullanılarak 7 ve 28 günlerde yapılan eğilme dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneyleri sonucunda çimento, ince agrega, su ve akışkanlaştırıcı içeren harç istenilen dayanımı veren optimum harç olarak ana deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Harcın tuğla dolgulu duvarlara uygulanması yoluyla güçlendirilen betonarme çerçeveler deprem yüklerini temsil eden tersinir tekrarlı yükler altında denenmiştir.

Ayrıca, çerçeve deneylerine başlanılmadan önce çerçevelerdeki güçlendirilmiş dolgu duvarların doğru şekilde modellenebilmesi ve bu duvarların yük altında davranışları hakkında bilgi sahibi olabilmek için iki seri halinde panel deneyleri gerçekleştirilmiştir.

ANA DENEY ELEMANLARININ HAZIRLANMASI

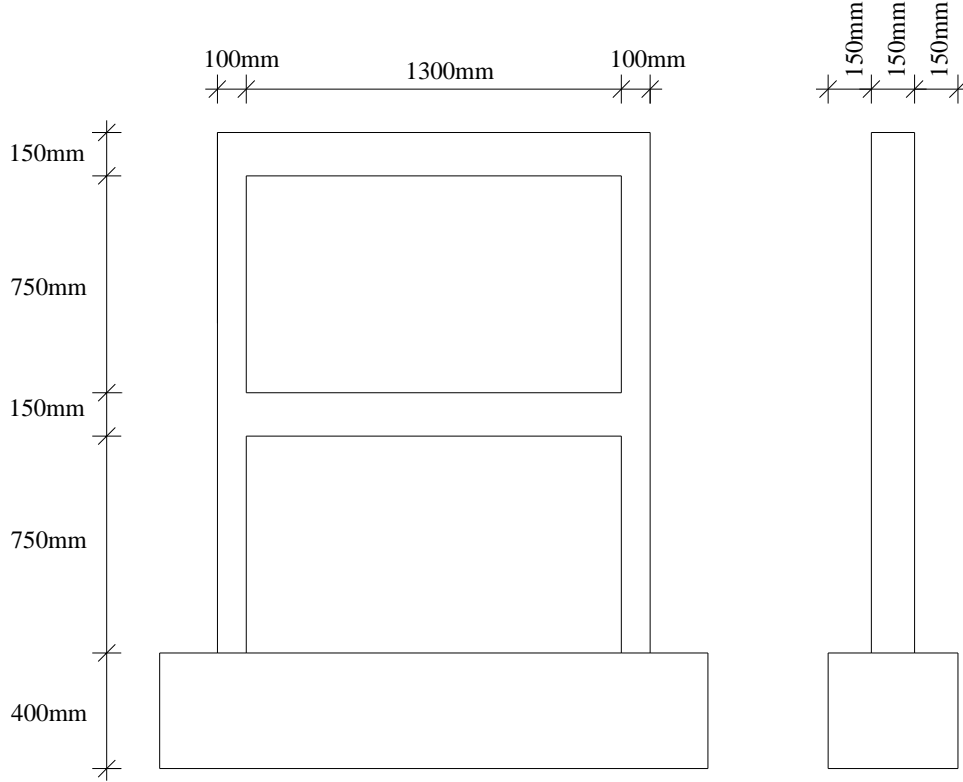
Deney elemanlarının hazırlanması şu aşamaları içermektedir: Donatının hazırlanması, birleştirilmesi ve kalıba yerleştirilmesi, betonun dökülmesi, yeterli mukavemeti kazanan deney elemanının içine tuğla duvarın örülmesi, sıvanması, çelik tel donatılı harcın uygulanması, deney numunesinin yerine yerleştirilmesi, ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi, deney yapılması, deney elemanının deney sonrası sökülerek geçici olarak proje sonuna kadar saklanacağı yere götürülmesi. Ana deney elemanlarının üretiminde $\phi 4$ ve $\phi 8$ 'lik düz donatılar ile $\phi 8$ ve $\phi 16$ 'lık nervürlü donatılar kullanılmıştır.

- **Kolon ve Kiriş Etriyelerinin Üretimi**

10 adet çerçeve deneyi için gerekli miktarda kolon ve kiriş etriyelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

- **Kolon ve Kirişlerin Üretimi**

Kolon ve kiriş etriyelerin üretiminden sonra, çerçevelerin kolon ve kiriş üretimlerine geçilmiştir. Çerçeve elemanları sürekli boyuna donatı içermiştir. Deney elemanlarının boyutları **Şekil 45**'de verilmiştir.

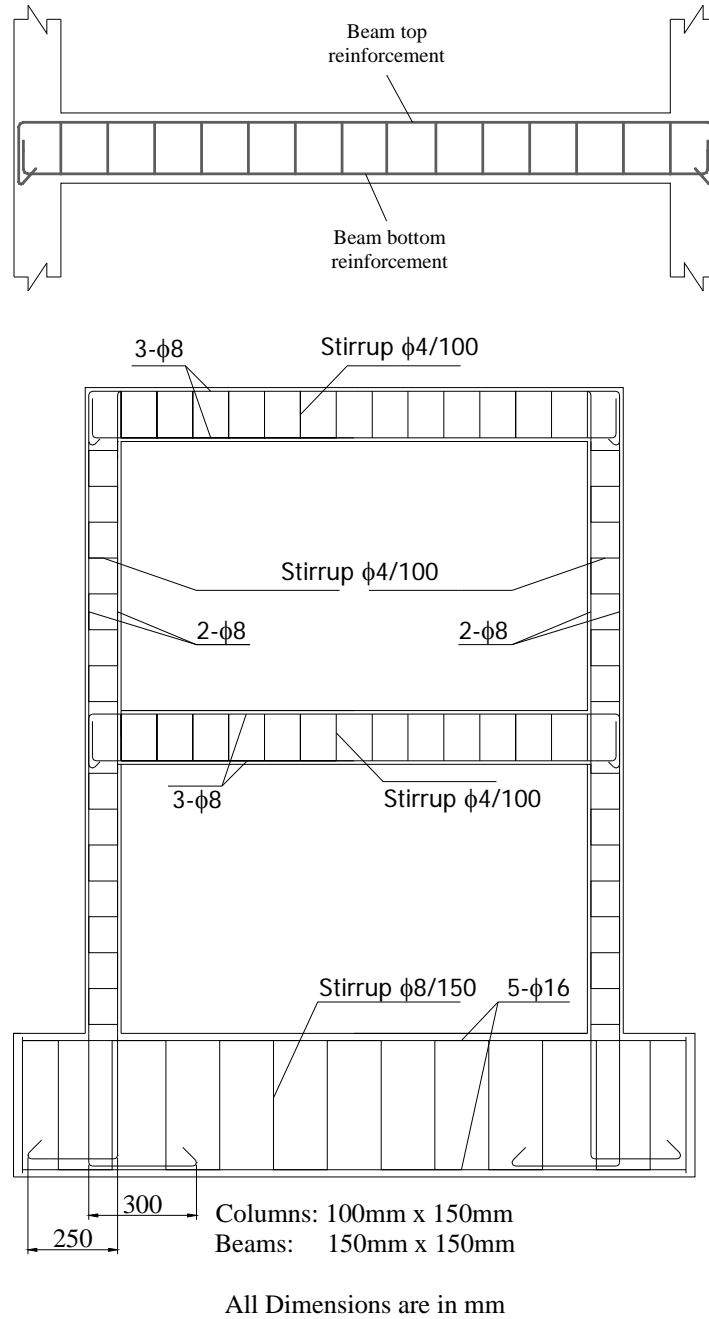


Şekil 45 Deney Elemanlarının Boyutları

- **Deney Elemanlarının Detayları**

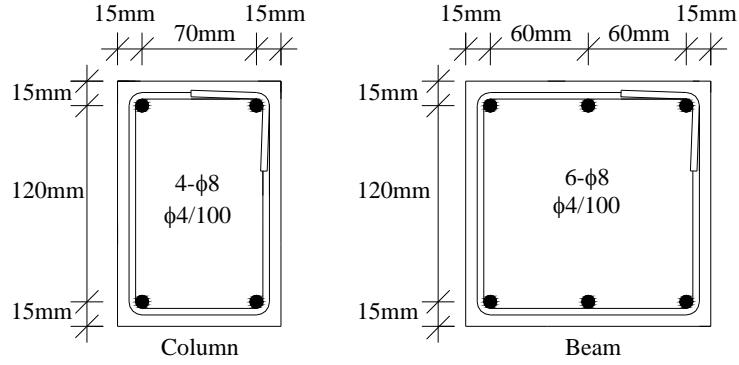
Deney elemanlarının boyutları ve detayları Türkiye'de uygulamada rastlanılan eksiklikleri yansıtacak şekilde seçilmiştir. Kirişlerde 6φ8 düz çelik çubuklar boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Kiriş üst donatısı kolonun içine uzatılmıştır ve aşağıya doğru 90° eğilip, uçlar çengel şekline getirilmiştir. Kiriş alt donatısı kolonun içine uzatılmış olup, uçları yukarıya doğru 90° eğilmiştir. Kolonlarda 4φ8 düz çelik çubuklar boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Kolon dış boyuna donatısı içeriye doğru 90° eğilip, 135° çengel şekline getirilmiştir. Kolon iç boyuna donatısı ise temel kirişinin altında 90° dışarıya doğru eğilip, 135° çengel şekline getirilmiştir. Kolonlar ve

kirişlerde, $\phi 4$ düz çelik çubuklar etriye olarak 100 mm aralıklarla kullanılmıştır. Etriyelerin uçları 90° çengelli olarak üretilmiştir. Çengelin düz kısmı on beş demir çubuk çapı (60 mm) uzatılmıştır. Deney elemanlarının donatı biçim düzeni **Şekil 46**'da gösterilmiştir.



Şekil 46 Deney elemanlarının donatı biçim düzeni

Kolon ve kiriş donatı detayları **Şekil 47**'de gösterilmektedir. Bütün deney elemanları için aynı donatı detayları kullanılmıştır.



Şekil 47 Kolon ve Kiriş Donatı Detayları

Çerçeve elemanlarına ait kolon ve kiriş donatı görüntüleri **Şekil 48**'de verilmiştir.



Donatı Genel Görünüm



Kolon Donatı Görünümü



Kiriş Donatı Görünümü

Şekil 48 Kolon ve Kiriş Donatı Görüntüleri

- **Temellerin Üretimi**

Deney elemanları deney düzeneğinde dikey olarak deneneceğinden, çerçeveleri temele sabitlemeye yarayacak olan temel kirişleri hazırlanıp, çerçeveler ile birlikte dökümü yapılmıştır. Her eleman 1900 mm uzunluğunda, 450 mm genişliğinde ve 400 mm yüksekliğinde kendi temelinde sahiptir.

Temel kirişinde, 5 tanesi kiriş kesitinin üst kısmında 5 tanesi de alt kısmında olmak üzere, 10 ϕ 16 nervürlü çelik çubuklar boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Bu kadar donatı beton alanının 1.1%'sine denk gelmektedir. 8 mm çaplı nervürlü çelik çubuklar etriyeler olarak 150 mm aralıklarda kullanılmıştır. Uçlarda 135°'lik çengeller bulunmaktadır. Çengelin düz kısmı on beş çelik çubuk çapı (120 mm) kadar uzatılmıştır. Temel kirişinin alt ve üst boyuna donatıları aynı tip donatı, 16 mm çaplı nervürlü çelik çubuklar, kullanılarak birbirine kaynaklanmıştır. Çerçeve elemanlarına ait temel kiriş donatı görüntüleri **Şekil 49**'da verilmiştir.



Donatı Genel Görünüm



Temel Kirişi Donatı Görünümü

Şekil 49 Temel Kirişi Donatı Görüntüleri

- **Beton Dökümleri**

Çerçevelerin betonları ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Küremeye özen gösterilmiştir. Kütleme işlemi elemanların betonu nemli tutan ve kimyasal hidrasyon için ideale en yakın sıcaklığı sağlayan ıslak bezle sarılması ile yapılmıştır. Bir çerçeve elemanının betonu 3 karışım halinde dökülmüştür.

Beton dayanımını belirlemek için her karışımdan 3 adet standard silindir deney elemanları alınmıştır. Toplam olarak bir çerçeve elemanı için 1 adet de yedek olmak üzere 10 adet standard silindir alınmış olmaktadır. Deney silindirlerinin çapı 150 mm ve yükseklikleri 300 mm'dir. Silindirler deney elemanları ile aynı koşullarda tutulmuştur.

Beton dökümlerinden önce çerçeve ve silindir kalıpları yağlanmış, daha sonra çerçeve kalıbına donatı yerleştirilmiş, daha sonra ise beton dökümlerine geçilmiştir. Beton döküm öncesi ve sonrası sırasıyla **Şekil 50** ve **Şekil 51**'de sunulmuştur.



Şekil 50 Çerçeve Elemanı Beton Döküm Öncesi Görüntüsü



Şekil 51 Çerçeve Elemanı Beton Döküm Sonrası Görüntüsü

- **Tuğla Duvar Örülmesi ve Sıvanması**

Çerçeve elemanlarının hazırlanma işlemlerinden sonra, tuğla duvar örülmesi işlemleri tamamlanmıştır. Örülen tuğla duvarların üzerine 6 mm kalınlığında sıva yapılmıştır. Tuğla duvar örme ve sıva işlemleri **Şekil 52**, **Şekil 53**'de gösterilmiştir.

- **Ankraj ve Güçlendirme İşlemleri**

Sıva işlemlerinin tamamlanmasının ardından, 3 adet çerçeve elemanının üzerine güçlendirme amaçlı kullanılacak olan hacimsel olarak %2 oranında çelik tel içeren harcın uygulaması yapılmıştır. Bir adet çerçeve elemanında ise güçlendirme malzemesi olarak kullanılan çelik tel ile aynı hacimsel oranda, %2, polipropilen fiber kullanılmıştır. Yine bir adet çerçeve elemanında ise kullanılan güçlendirme malzemelerinin etkisini gözlemlemek amacıyla, çelik tel ve/veya polipropilen fiber içermeyen harç uygulaması yapılmıştır. Yapılacak son iki deneyde bir adet elemana ankraj yapılmadan sıvanın üzerine 1 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması, diğerine ise çelik tel ve polipropilen fiberlerin uygun hacimsel oranlarda karıştırılması ile elde edilecek hibrit fiber uygulaması yapılması düşünülmektedir.

Güçlendirme malzemesi içeren harcın, çelik tel ve/veya polipropilen fiber, uygulanmasından önce çerçevelere ankraj yapılmış, daha sonra güçlendirme işlemlerine geçilmiştir. Ankraj işlemleri için 18 cm uzunluğunda, 8 mm çaplı nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Çubuklar 20 cm aralıklarla, çubuk uzunluğunun 6 cm'i çerçevenin içinde 12 cm'i dışında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir çerçeve için toplam 80 adet ankraj çubuğu kullanılmıştır.

Çerçeve eleman ankraj işlemi **Şekil 54**'te, çelik telli harç ile güçlendirme işlemi **Şekil 55**'te, polipropilen fiber içeren harç ile güçlendirme işlemi **Şekil 56**'da, çelik tel ve/veya polipropilen fiber içermeyen harcın uygulaması ise **Şekil 57**'de sunulmuştur.



Şekil 52 Çerçeve Eleman Tuğla Duvar Örne İşlemi Görüntüsü



Şekil 53 Çerçeve Eleman Sıva Yapım İşlemi Görüntüsü



Şekil 54 Çerçeve Eleman Ankraj İşlemi Görüntüsü



Şekil 55 Çerçeve Eleman Çelik Tel İçeren Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü



Şekil 56 Çerçeve Eleman Polipropilen Fiber İçeren Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü



Şekil 57 Çerçeve Eleman Çelik Tel ve/veya Polipropilen Fiber İçermeyen Harç Kullanılarak Güçlendirme İşlemi Görüntüsü

ANA DENEY ELEMANLARININ ÖZELLİKLERİ

Değişik parametrelerin etkisini görebilmek amacıyla toplam 10 adet olarak yapılması düşünülen deneylerin bulunduğumuz tarih itibariyle 8 adeti yapılmıştır. Geriye kalan 2 adet deney elemanının ise beton dökümleri, tuğla duvar örme ve sıva yapım işlemleri tamamlanmış olup, sadece ankraj ve güçlendirme işlemleri kalmıştır. Bu işlemlerin de yapılmasının ardından elemanlar deneye alınacaktır. Deneylerin en geç 2008 Mart ayı ikinci haftası içerisinde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Bu deneylerin 4 tanesi referans deneyler olarak gerçekleştirilmiştir. Referans deney elemanları bir adet boş çerçeve; bir adet sıvasız, sadece tuğlalı çerçeve; bir adet sıvalı çerçeve ve bir adet sıvalı, ankrajlı, 2 cm kalınlığında çelik tel ve/veya polipropilen fiber içermeyen harç uygulanmış çerçeve olarak üretilmiştir.

Diğer 4 adet deney güçlendirilmiş çerçeve deneyleri olarak yapılmıştır. Bu dört deney elemanından bir adet elemana ankraj yapılmadan sıvanın üzerine 2 cm kalınlığında çelik telli harç uygulanmıştır. İki adet çerçeve elemana ise ankraj yapıp, bir elemana sıvanın üzerine 1 cm, diğerine ise 2 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması yapılmıştır. Bir elemana ise ankraj yapıp, sıvanın üzerine 2 cm kalınlığında, daha önceki deneylerde kullanılan çelik telle aynı hacimsel oranda, polipropilen fiberli harç uygulaması yapılmıştır.

Geriye kalan 2 adet deney elemanında ise bir adet elemana ankraj yapılmadan sıvanın üzerine 1 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması, diğerine ise çelik tel ve polipropilen fiberlerin uygun hacimsel oranlarda karıştırılması ile elde edilecek hibrit fiber uygulaması yapılması düşünülmektedir.

Deneyleri gerçekleştirilen elemanlara verilen kısaltılmış isimler ve eleman özellikleri **Tablo 28**'de verilmiştir.

Tablo 28 Deney Elemanlarına Verilen Kısaltılmış İsimler ve Eleman Özellikleri

| Eleman | Deney | Eleman Özelliği |
|--------|---------|--|
| TS1 | REFBM | Sıvalı Referans Çerçeve |
| TS2 | SF2NABM | Sıvalı, Ankrajsız, 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Çerçeve |
| TS3 | SF1ABM | Sıvalı, Ankrajlı, 1 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Çerçeve |
| TS4 | SF2ABM | Sıvalı, Ankrajlı, 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Çelik Telli Harç Uygulanan Çerçeve |
| TS5 | REFBA | Boş Referans Çerçeve |
| TS6 | REFB | Sıvasız, Sadece Tuğlalı Referans Çerçeve |
| TS7 | REF2ABM | Sıvalı, Ankrajlı, 2 cm Kalınlığında Çelik Tel ve/veya Polipropilen Fiber İçermeyen Harç Uygulanan Referans Çerçeve |
| TS8 | PPF2ABM | Sıvalı, Ankrajlı, 2 cm Kalınlığında %2'lik Hacimsel Oranda Polipropilen Fiberli Harç Uygulanan Çerçeve |

MALZEMELER

- **Beton**

Çerçeveler için kullanılan betonun karışım oranları **Tablo 29**'da sunulmuştur. Karışım oranlarında kullanılan malzemeler ağırlık cinsinden 1 m³ beton için verilmiştir. Çerçeve betonunun hedef basınç dayanımı 10 MPa olarak belirlenmiştir. Beton dayanımını belirlemek için her bir çerçeve elemanı için 10 adet standard silindir deney elemanları alınmıştır. Çerçeve elemanlarının beton dayanımları **Tablo 30**'da gösterilmiştir.

Tablo 29 Çerçevelerin Beton Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------|--------------|--------------------|
| Çimento | 157 | 12 |
| 0-3 mm Agregası | 248 | 19 |
| 3-7 mm Agregası | 496 | 38 |
| 7-15 mm Agregası | 261 | 20 |
| Su | 143 | 11 |
| Toplam | 1305 | 100 |

Tablo 30 Çerçeve Elemanlarının Beton Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|-------------------|------|-----|------|-------------------|------|------|------|-------------------|------|------|------|
| | | 14 Günlük | | | | 28 Günlük | | | | Deney Günü | | | |
| | | Silindir Numarası | | | Ort. | Silindir Numarası | | | Ort. | Silindir Numarası | | | Ort. |
| | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | |
| TS1 | REFBM | 5.9 | 5.6 | 6.5 | 6.0 | 6.5 | 4.6 | 4.8 | 5.3 | 11.1 | 12.6 | 14.4 | 12.7 |
| TS2 | SF2NABM | 9.3 | 8.4 | 9.1 | 8.9 | 9.8 | 9.2 | 7.8 | 8.9 | 15.9 | 14.6 | 13.8 | 14.8 |
| TS3 | SF1ABM | 10.6 | 10.1 | 7.9 | 9.6 | 8.9 | 13.7 | 11.4 | 11.3 | 15.4 | 16.5 | 19.1 | 17.0 |
| TS4 | SF2ABM | 7.1 | 8.2 | 5.5 | 7.0 | 9.7 | 14.4 | 13.8 | 12.6 | 15.0 | 12.1 | 8.8 | 13.6 |
| TS5 | REFBA | 8.0 | 7.5 | 8.0 | 7.8 | 11.8 | 10.4 | 11.9 | 11.4 | 12.6 | 14.0 | 11.3 | 12.7 |
| TS6 | REFB | 8.0 | 8.0 | 8.4 | 8.2 | 12.4 | 12.1 | 10.9 | 11.8 | 12.9 | 13.4 | 13.6 | 13.3 |
| TS7 | REF2ABM | 4.4 | 4.5 | 4.2 | 4.4 | 8.5 | 8.3 | 8.2 | 8.3 | 8.0 | 8.0 | 9.7 | 8.6 |
| TS8 | PPF2ABM | 6.3 | 5.0 | 6.7 | 6.0 | 7.5 | 10.4 | 7.6 | 8.5 | 10.5 | 9.2 | 10.4 | 10.0 |

- **Çelik**

Deney elemanlarının üretiminde $\phi 4$ ve $\phi 8$ 'lik düz donatılar ile $\phi 8$ ve $\phi 16$ nervürlü donatılar kullanılmıştır. Kolonlarda dört, kirişlerde altı $\phi 8$ düz çelik çubuk boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde etriye olarak uçları 90° çengelli $\phi 4$ düz çelik çubuklar kullanılmıştır. Temel kirişlerinde boyuna donatı olarak $\phi 16$ nervürlü çubuk, etriyelerinde ise $\phi 8$ nervürlü çubuklar kullanılmıştır. Uçlarda 135° 'lik çengeller vardır. Boyuna ve enine donatılar aynı çelik grubundan üretilmiştir. Ankraj işlemleri için $\phi 8$ nervürlü çubuklar kullanılmıştır. Değişik çaplardaki çeliklerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini belirlemek için gruptan her bir çelik için rastgele üç adet deney kuponu alınmıştır. Kuponlar çekme altında test edilmiştir. Çelik çubukların tipik özellikleri **Tablo 31**'de verilmiştir.

Tablo 31 Donatı Olarak Kullanılan Çelik Çubukların Özellikleri

| Çubuk Çapı | Özellik | Yer | Akma Gerilmesi, σ_y , MPa | Çekme Gerilmesi, σ_w , MPa |
|------------|----------|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| $\phi 4$ | Düz | Kolon ve Kirişlerde Etriye | 271 | 398 |
| $\phi 8$ | Düz | Kolon ve Kirişlerde Boyuna Donatı | 365 | 511 |
| $\phi 8$ | Nervürlü | Ankraj Çubuğu, Temel Kirişlerinde Etriye | 557 | 782 |
| $\phi 16$ | Nervürlü | Temel Kirişlerinde Boyuna Donatı | 453 | 682 |

- **Dolgu**

Bütün elemanlarda boşluklu tuğla dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Gerçek tuğlayı yansıtmaları için özel üretim yapılmış ve tuğlalar 1/3 ölçeğinde küçültülmüştür. Tuğlalar deliklere paralel doğrultuda yüklenerek test edilmiş ve basınç deneyleri sonuçları **Tablo 32**'de sunulmuştur.

Tablo 32 Tuğla Basınç Deneyleri Sonuçları

| Deney No | Kırılma Yüğü (kN) | Brüt Alan (mm ²) | Brüt Basınç Dayanımı (MPa) | Net Alan (mm ²) | Net Basınç Dayanımı (MPa) |
|----------|-------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | 64.7 | 5865 | 11.0 | 2815 | 23.0 |
| 2 | 81.5 | 5865 | 13.9 | 2815 | 29.0 |
| 3 | 40.6 | 5865 | 6.9 | 2815 | 14.4 |
| 4 | 65.5 | 5865 | 11.2 | 2815 | 23.3 |
| 5 | 108.9 | 5865 | 18.6 | 2815 | 38.7 |
| 6 | 78.0 | 5865 | 13.3 | 2815 | 27.7 |
| 7 | 82.5 | 5865 | 14.1 | 2815 | 29.3 |
| 8 | 77.5 | 5865 | 13.2 | 2815 | 27.5 |
| 9 | 88.2 | 5865 | 15.0 | 2815 | 31.3 |
| 10 | 51.0 | 5865 | 8.7 | 2815 | 18.1 |
| Ort. | | | 13.1 | | 27.3 |

- **Tuğla Örne Harcı**

Çerçeve elemanlarını örmek için kullanılan harcın karışım oranları **Tablo 33**'te verilmiştir. Harcın basınç dayanımı 75 mm çap ve 150 mm yüksekliğe sahip silindirler test edilerek saptanmıştır. Çerçeve elemanlarının tuğla örme harçlarından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 34**'te sunulmuştur.

Tablo 33 Çerçeve Eleman Tuğla Örne Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 13 | 14 |
| 0-3 mm Agregası | 63 | 66 |
| Kireç | 6 | 6 |
| Su | 13 | 14 |
| Toplam | 95 | 100 |

Tablo 34 Çerçeve Elemanlarının Tuğla Örne Harç Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | | Ortalama |
|---------------|--------------|--------------------------|----------|----------|------|-----------------|
| | | Deney Günü | | | | |
| | | Silindir Numarası | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| TS1 | REFBM | 8.3 | 8.1 | 8.8 | 8.4 | |
| TS2 | SF2NABM | 7.8 | 7.5 | 6.9 | 7.4 | |
| TS3 | SF1ABM | 6.0 | 6.5 | 5.4 | 6.0 | |
| TS4 | SF2ABM | 12.1 | 13.6 | 13.0 | 12.9 | |
| TS6 | REFB | 3.0 | 3.6 | 3.7 | 3.4 | |
| TS7 | REF2ABM | 8.4 | 8.6 | 9.2 | 8.7 | |
| TS8 | PPF2ABM | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.8 | |

- **Sıva Harcı**

Çerçeve elemanlarında sıva işlemi yapılırken iç yüzeyde sadece tuğla duvar yüzeyine sıva yapılmış olup, dış yüzeyde ise tuğla duvarla birlikte kolon ve kirişlere de sıva yapılmıştır. Çerçeve elemanların sıvası için kullanılan harcın karışım oranları **Tablo 35**'te verilmiştir. Yapılan sıva 6 mm kalınlıktadır. Harcın basınç dayanımı 75 mm çap ve 150 mm yüksekliğe sahip silindirler test edilerek saptanmıştır. Çerçeve elemanlarının sıva harçlarından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 36**'da gösterilmiştir.

Tablo 35 Çerçeve Eleman Sıva Harcı Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 32.5 R) | 13 | 12 |
| 0-3 mm Agregası | 38 | 34 |
| Elenmiş 0-3 mm Agregası | 38 | 34 |
| Kireç | 6 | 5 |
| Su | 16 | 15 |
| Toplam | 111 | 100 |

Tablo 36 Çerçeve Elemanlarının Sıva Harç Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | | Ortalama |
|---------------|--------------|--------------------------|----------|----------|-----|-----------------|
| | | Deney Günü | | | | |
| | | Silindir Numarası | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| TS1 | REFBM | 8.5 | 8.2 | 7.8 | 8.2 | |
| TS2 | SF2NABM | 7.7 | 6.9 | 6.9 | 7.2 | |
| TS3 | SF1ABM | 7.7 | 6.9 | 7.1 | 7.2 | |
| TS4 | SF2ABM | 7.4 | 7.7 | 7.8 | 7.6 | |
| TS7 | REF2ABM | 5.9 | 5.9 | 6.2 | 6.0 | |
| TS8 | PPF2ABM | 6.7 | 6.2 | 6.9 | 6.6 | |

- **Çelik Tel İçeren Harç**

Çerçeve elemanlara sıvanın üzerine uygulanan %2'lik hacimsel oranda çelik tel içeren harcın karışım oranları **Tablo 37**'de gösterilmiştir. Verilen karışım oranları çerçeveye 1 cm kalınlığında uygulanan harç içindir. Harcın basınç dayanımı 75 mm çap ve 150 mm yüksekliğe sahip silindirler test edilerek saptanmıştır. Çerçeve elemanlarının çelik tel içeren harçlarından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 38**'de sunulmuştur.

Tablo 37 Çerçeve Eleman Çelik Tel İçeren Harç Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Çimento (CEM I 42.5 R) | 11.28 | 21.78 |
| 0-3 mm Agrega | 31.03 | 59.90 |
| Su | 6.43 | 12.41 |
| Akışkanlaştırıcı | 0.02 | 0.04 |
| Çelik Tel | 3.04 | 5.87 |
| Toplam | 51.80 | 100.0 |

Tablo 38 Çerçeve Elemanlarının Çelik Tel İçeren Harç Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | | Ortalama |
|--------|---------|-------------------|------|------|------|----------|
| | | Deney Günü | | | | |
| | | Silindir Numarası | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| TS2 | SF2NABM | 20.7 | 20.4 | 21.3 | 20.8 | |
| TS3 | SF1ABM | 22.1 | 21.6 | 22.3 | 22.0 | |
| TS4 | SF2ABM | 21.5 | 21.2 | 20.1 | 20.9 | |

- **Çelik Tel İçermeyen Harç**

Çerçeve elemanlara sıvanın üzerine uygulanan çelik tel içermeyen harcın karışım oranları **Tablo 39**'da verilmiştir. Verilen karışım oranları çerçeveye 1 cm

kalınlığında uygulanan harç içindir. Harcın basınç dayanımı 75 mm çap ve 150 mm yüksekliğe sahip silindirler test edilerek saptanmıştır. Çerçeve elemanlarının çelik tel içermeyen harçlarından alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 40**'da sunulmuştur.

Tablo 39 Çerçeve Eleman Çelik Tel İçermeyen Harç Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|--------------|--------------------|
| Çimento (CEM I 42.5 R) | 11.28 | 23.13 |
| 0-3 mm Agregası | 31.03 | 63.64 |
| Su | 6.43 | 13.19 |
| Akışkanlaştırıcı | 0.02 | 0.04 |
| Toplam | 48.76 | 100.0 |

Tablo 40 Çerçeve Elemanlarının Çelik Tel İçermeyen Harç Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | |
|--------|---------|-------------------|------|------|----------|
| | | Deney Günü | | | |
| | | Silindir Numarası | | | Ortalama |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| TS7 | REF2ABM | 45.1 | 29.0 | 48.2 | 40.8 |

- **Polipropilen Fiber İçeren Harç**

Sıvanın üzerine uygulanan %2'lik hacimsel oranda polipropilen fiber içeren harcın karışım oranları **Tablo 41**'de sunulmuştur. Verilen karışım oranları çerçeveye 1 cm kalınlığında uygulanan harç içindir. Harcın basınç dayanımı 75 mm çap ve 150 mm yüksekliğe sahip silindirler test edilerek saptanmıştır. Polipropilen fiber içeren harçlardan alınan silindirlerin deney sonuçları **Tablo 42**'de gösterilmiştir.

Tablo 41 Çerçeve Eleman Polipropilen Fiber İçeren Harç Karışım Oranları

| | Ağırlık (kg) | Ağırlıkça oran (%) |
|------------------------|--------------|--------------------|
| Çimento (CEM I 42.5 R) | 11.28 | 22.96 |
| 0-3 mm Agregata | 31.03 | 63.16 |
| Su | 6.43 | 13.09 |
| Akışkanlaştırıcı | 0.02 | 0.04 |
| Polipropilen Fiber | 0.37 | 0.75 |
| Toplam | 49.13 | 100.0 |

Tablo 42 Çerçeve Elemanlarının Polipropilen Fiber İçeren Harç Dayanımları (MPa)

| Eleman | Deney | Yaş | | | |
|--------|---------|-------------------|------|------|----------|
| | | Deney Günü | | | |
| | | Silindir Numarası | | | Ortalama |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| TS8 | PPF2ABM | 29.5 | 29.1 | 29.3 | 29.3 |

DENEY DÜZENEĞİ VE YÜKLEME SİSTEMİ

Çerçeve deneylerinde kullanılan deney düzeneği ve yükleme sistemi güçlü zemin, reaksiyon duvarı, yükleme aleti, enstrümantasyon, ve veri toplama sisteminden oluşmuştur. Yanal yükleme sistemi çerçeve elemanının kirişleri ile aynı hizada olacak şekilde güçlü duvara takılmıştır. Yükleme sistemi hidrolik krika, yük hücresi, adaptörler, ve iki uçta mafsallardan oluşmuştur. Aynı düzeneğe değişik kat sayısı ve yüksekliğine sahip elemanlar test edildiği için yükleme sisteminin güçlü duvar üzerinde rahatça hareket edebilmesini sağlamak için çelik kesitlerden oluşan bir ray sistemi kullanılmıştır. Çerçevelerin deney düzlemine dik deplasman yapma olasılığına karşın deney düzeneğinde yükleme düzlemine dik yönde, yanal destek verecek bir sistem bulunmaktadır. Deneylerde kolon başına 3' er tonluk aksenal yük uygulanmıştır. Bu değer, kolonların aksenal yük kapasitesinin %10' u civarında bir değere karşılık gelmektedir. Çerçeve eleman deneylerine ait deney düzeneği ve yükleme sistemi **Şekil 58**'de sunulmuştur.



Şekil 58 Çerçeve Eleman Deney Düzenegi ve Yükleme Sistemi Görüntüleri

GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

Çerçeve deneyleri kapsamında toplam 10 adet deney yapılması düşünölmüŐtür. Belirtilen deney sayısının Şu ana kadar 8 adeti tamamlanmıştır. Geriye kalan 2 adet deney elemanının ise ankraj ve güçlendirme işlemlerinin tamamlanmasının ardından deneylerin en geç 2008 Mart ayı ikinci haftasında yapılması planlanmaktadır.

Gerçekleştirilen deneylerin 4 adeti referans deney olarak, diğer 4 adeti ise güçlendirilmiş çerçeve deneyleri olarak yapılmıştır.

Yapılan ilk deney referans deney olup, sıvalı çerçeve elemanı TS1'e ait REFBM deneyidir. Bu çerçeve deneyinde, maksimum itme yükü 66.59 kN olup, bu yüke karşılık gelen ikinci kat deplasmanı 6.43 mm olarak ölçölmüŐtür. Aynı çerçeve deneyinde maksimum çekme yükü 66.59 kN olup, bu yükte ikinci katta 6.37 mm deplasman olduğu saptanmıştır.

İkinci çerçeve deneyi referans deney olup, boş çerçeve elemanı olan TS5'e ait REFBA deneyidir. Yatayda maksimum 13.28 kN itme yükü taşımış olup, bu yükte ikinci katta 20.04 mm deplasman yapmıştır. Yine bu çerçeve maksimum 13.28 kN çekme yükünde ikinci katta 20.52 mm deplasman yapmıştır.

Üçüncü deney olan sıvasız, sadece tuğlalı referans çerçeve deneyi TS6 elemanına ait REFB deneyidir. Bu çerçevede maksimum itme yükü 50.23 kN olup, bu yükte ikinci kat seviyesindeki deplasman 14.94 mm olarak ölçölmüŐtür. Maksimum çekme yükü 50.29 kN ve bu yükteki ikinci kat deplasmanı 14.30 mm olmuştur.

Dördüncü çerçeve deneyi ankraj yapılmadan sıvanın üzerine 2 cm kalınlığında çelik tel içeren harç uygulaması yapılmış olan TS2 elemanına ait SF2NABM deneyidir. Bu elemana uygulanan maksimum yatay itme yükü 96.58 kN olmuştur. Bu yatay yük seviyesinde ikinci kat deplasmanı 5.15 mm olmuştur. Çerçeveye

uygulanan maksimum çekme yükü 90.51 kN olup, bu yükteki ikinci kat ötelenmesi 3.70 mm olarak ölçülmüştür.

Beşinci çerçeve deneyi sıvalı, ankrajlı, 1 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması yapılmış olan TS3 elemanına ait SF1ABM deneyidir. Yatayda maksimum 125.66 kN itme yükü uygulanmış olup bu yükte ikinci katta 8.47 mm deplasman ölçülmüştür. Aynı çerçeve maksimum 116.84 kN çekme yükü taşımış olup, bu yükte ikinci katta 7.29 mm deplasman yapmıştır.

Altıncı çerçeve deneyi sıvalı, ankrajlı, 2 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması yapılmış olan TS4 elemanına ait SF2ABM deneyidir. Ölçümler neticesinde maksimum itme yükünün 140.42 kN ve bu yükteki ikinci kat deplasmanının 6.71 mm olduğu tespit edilmiştir. Bu elemana ait maksimum çekme yükü 134.17 kN olup, bu yükteki ikinci kattaki deplasman 8.91 mm olarak ölçülmüştür.

Yedinci deney referans deney olup, sıvalı, ankrajlı, 2 cm kalınlığında çelik tel ve/veya polipropilen fiber içermeyen harç uygulanan çerçeve elemanı olan TS7'ye ait REF2ABM deneyidir. Bu çerçeve deneyinde, maksimum itme yükü 104.52 kN olup, bu yüke karşılık gelen ikinci kat deplasmanı 15.24 mm olarak ölçülmüştür. Aynı çerçeve deneyinde maksimum çekme yükü 101.52 kN olup, bu yükte ikinci katta 15.03 mm deplasman olduğu saptanmıştır.

Sekizinci çerçeve deneyi sıvalı, ankrajlı, 2 cm kalınlığında polipropilen fiber içeren harç uygulanan TS8 elemanına ait PPF2ABM deneyidir. Bu elemana uygulanan maksimum yatay itme yükü 123.85 kN olmuştur. Bu yatay yük seviyesinde ikinci kat deplasmanı 14.19 mm olmuştur. Çerçeveye uygulanan maksimum çekme yükü 113.34 kN olup, bu yükteki ikinci kat ötelenmesi 10.10 mm olarak ölçülmüştür.

Bir çerçeve elemanına ankraj yapılmadan sıvanın üzerine 1 cm kalınlığında çelik telli harç uygulaması, diğerine ise çelik tel ve polipropilen fiberlerin uygun hacimsel oranlarda karıştırılması ile elde edilecek hibrit fiber uygulaması yapılması

planlanan son iki deneyin ise en kısa zaman zarfında gerçekleştirilmesi düşünülmektedir.

DENEY SONUÇLARI VE GÖZLEMLENEN DAVRANIŞ

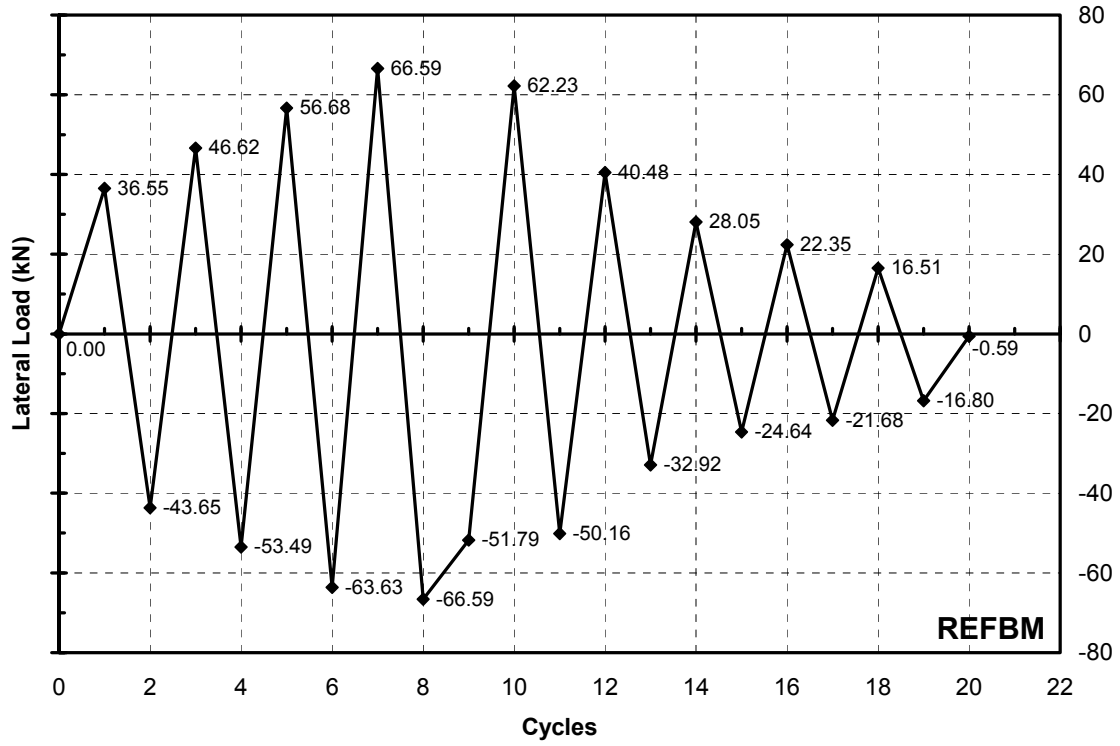
Çerçeve elemanlarının deneyleri sonucunda maksimum itme ve maksimum çekme yükleri o yüklere ait deplasman değerleri ile birlikte **Tablo 43**'de özetlenmiştir.

Tablo 43 Çerçeve Elemanlarının Deney Sonuçları

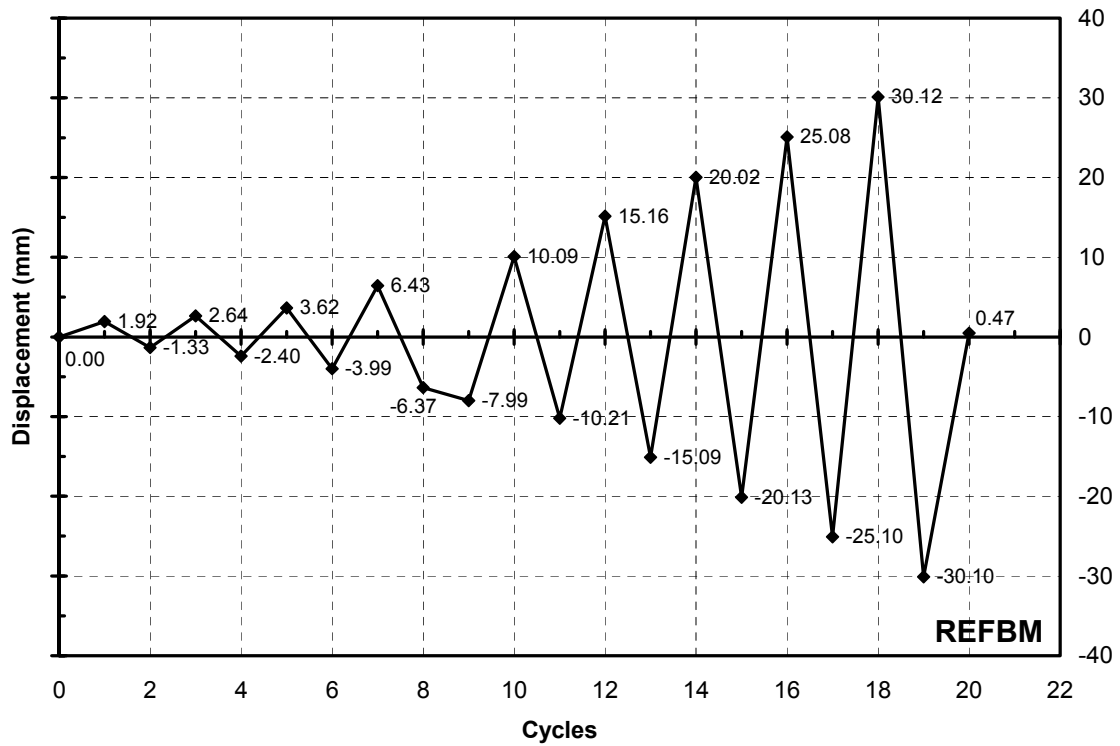
| Eleman | Deney | Maksimum İtme Yükünde | | Maksimum Çekme Yükünde | |
|--------|---------|-----------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | | Yük (kN) | Deplasman (mm) | Yük (kN) | Deplasman (mm) |
| TS1 | REFBM | 66.59 | 6.43 | 66.59 | 6.37 |
| TS2 | SF2NABM | 96.58 | 5.15 | 90.51 | 3.70 |
| TS3 | SF1ABM | 125.66 | 8.47 | 116.84 | 7.29 |
| TS4 | SF2ABM | 140.42 | 6.71 | 134.17 | 8.91 |
| TS5 | REFBA | 13.28 | 20.04 | 13.28 | 20.52 |
| TS6 | REFB | 50.23 | 14.94 | 50.29 | 14.30 |
| TS7 | REF2ABM | 104.52 | 15.24 | 101.52 | 15.03 |
| TS8 | PPF2ABM | 123.85 | 14.19 | 113.34 | 10.10 |

Deneyler sonucunda her bir çerçeve elemanına ait elde edilen eğriler **Şekil 59-144**'te verilmiştir. Referans ve güçlendirilmiş çerçeve deneylerine ait karşılaştırma amacıyla hazırlanan kendi aralarında gruplandırılmış zarf eğrileri ise sırasıyla **Şekil145** ile **Şekil146**'da sunulmuştur.

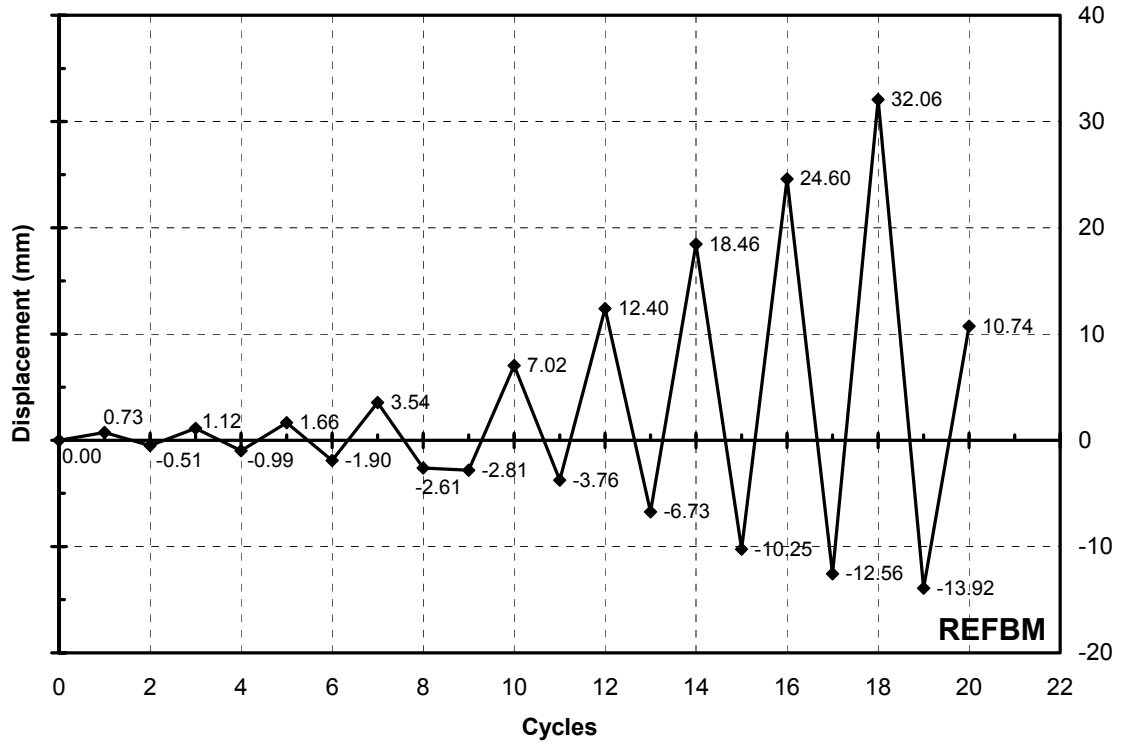
TS1-REFBM



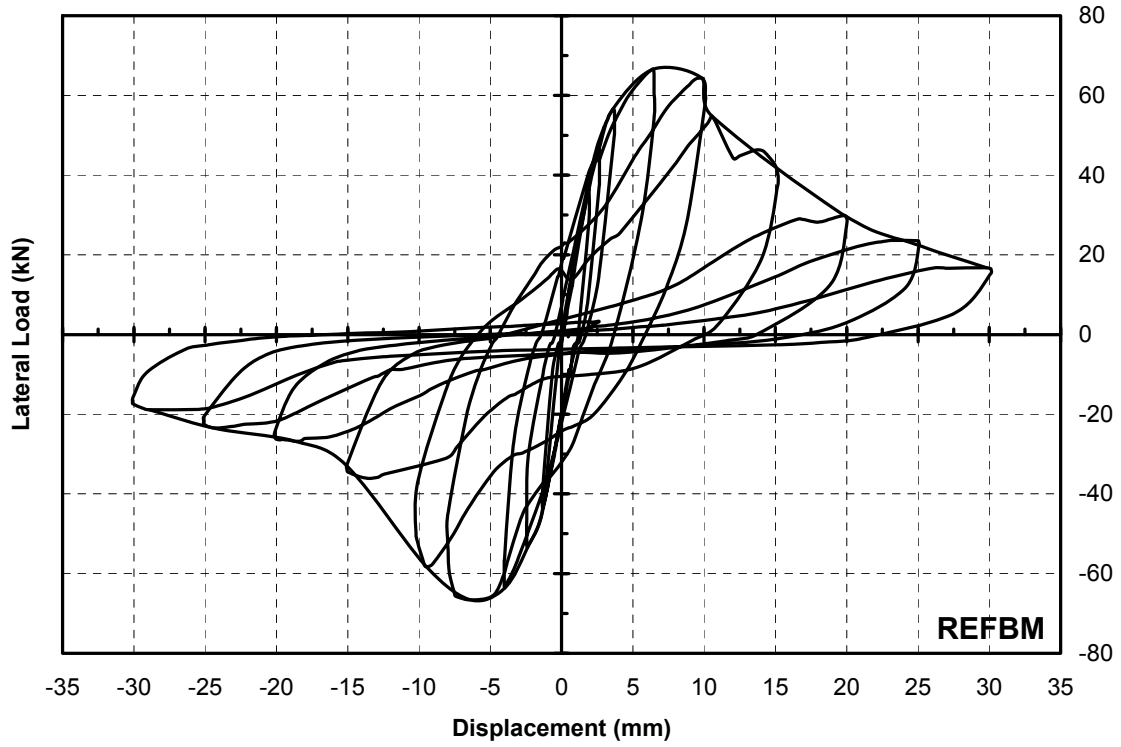
Şekil 59 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Yük Geçmişi Eğrisi



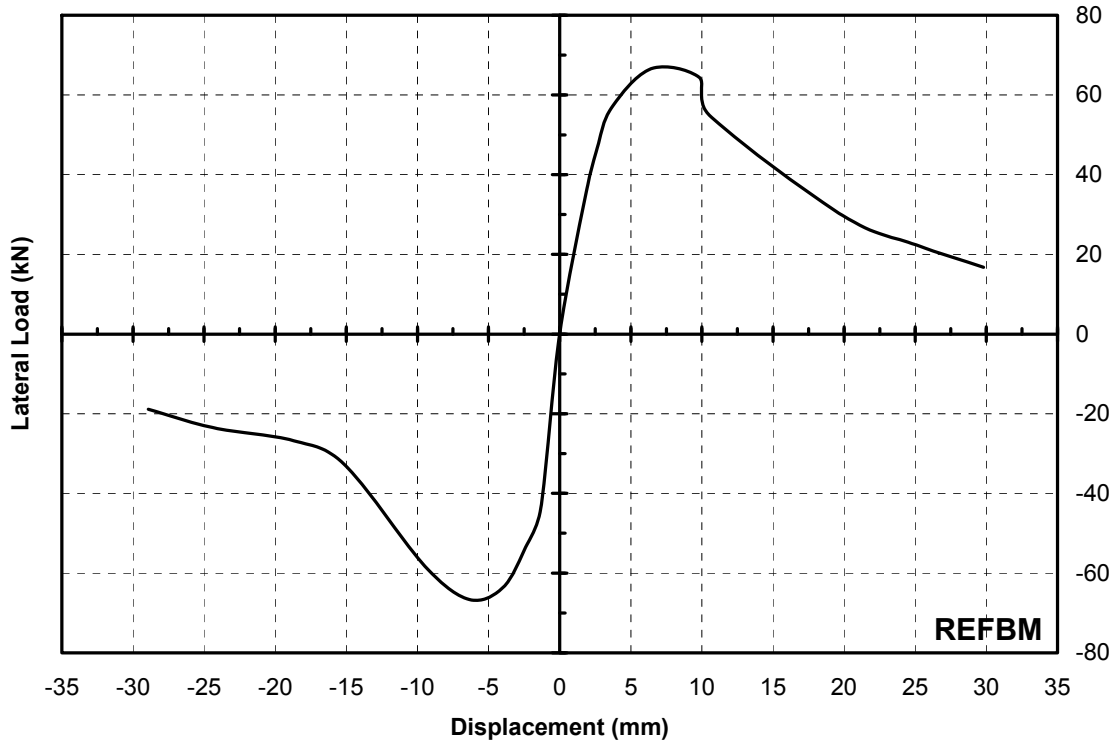
Şekil 60 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmişi Eğrisi



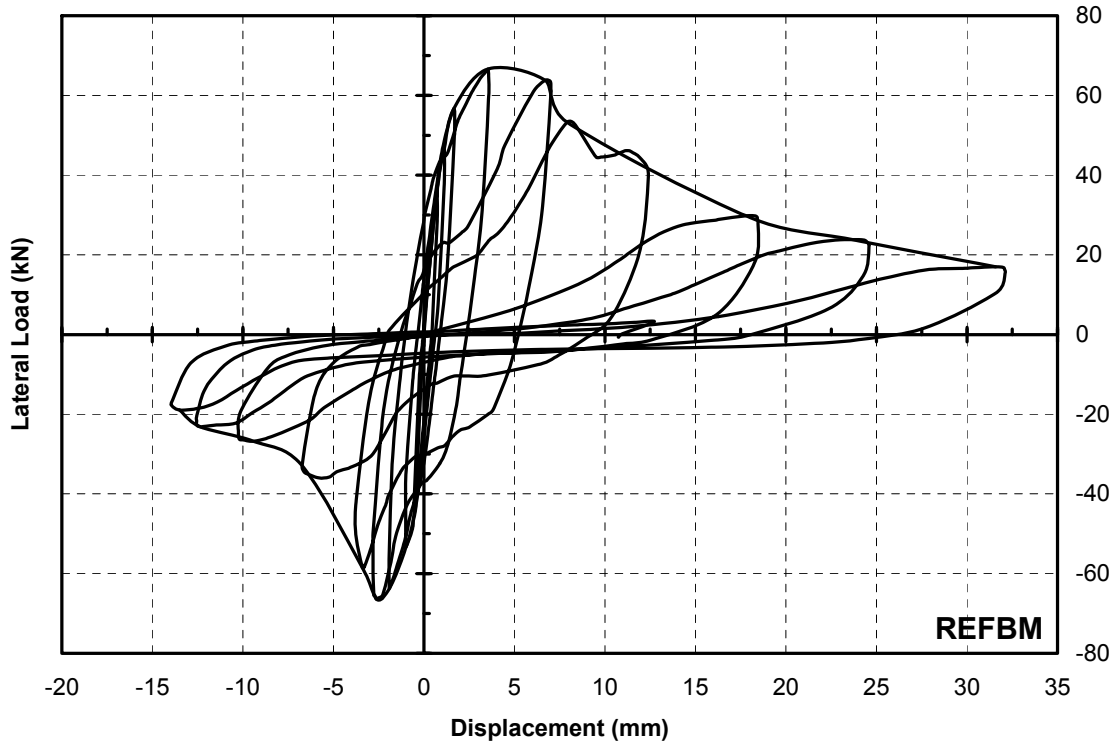
Şekil 61 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



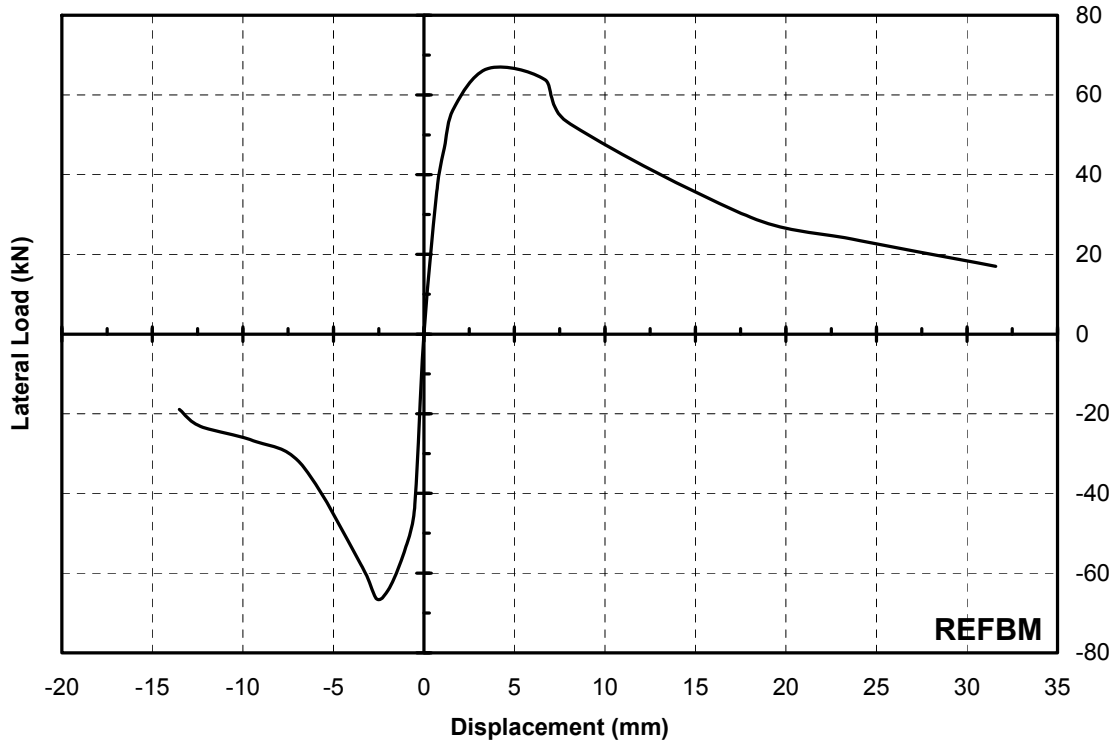
Şekil 62 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



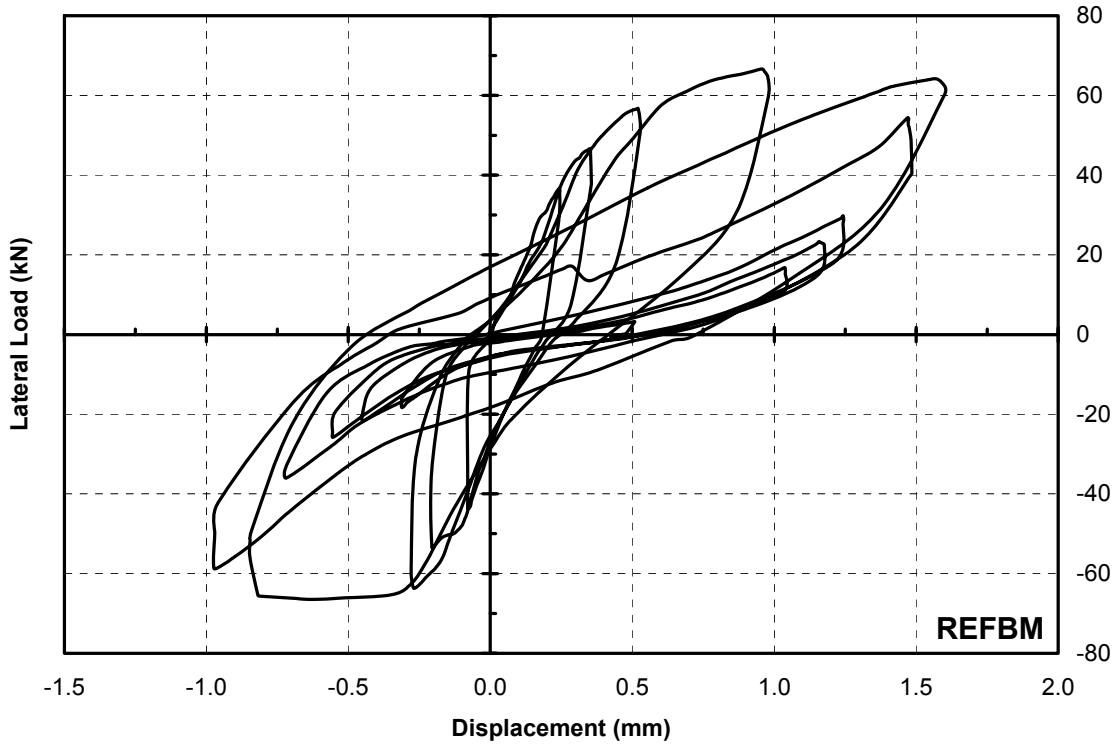
Şekil 63 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



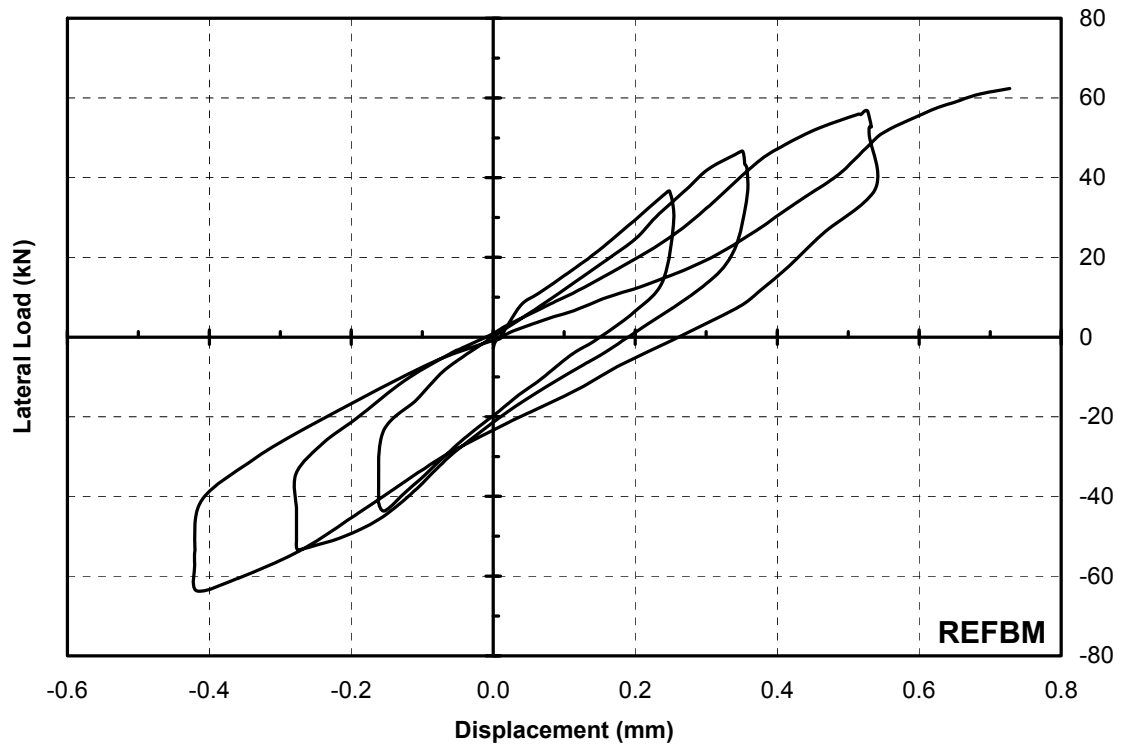
Şekil 64 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



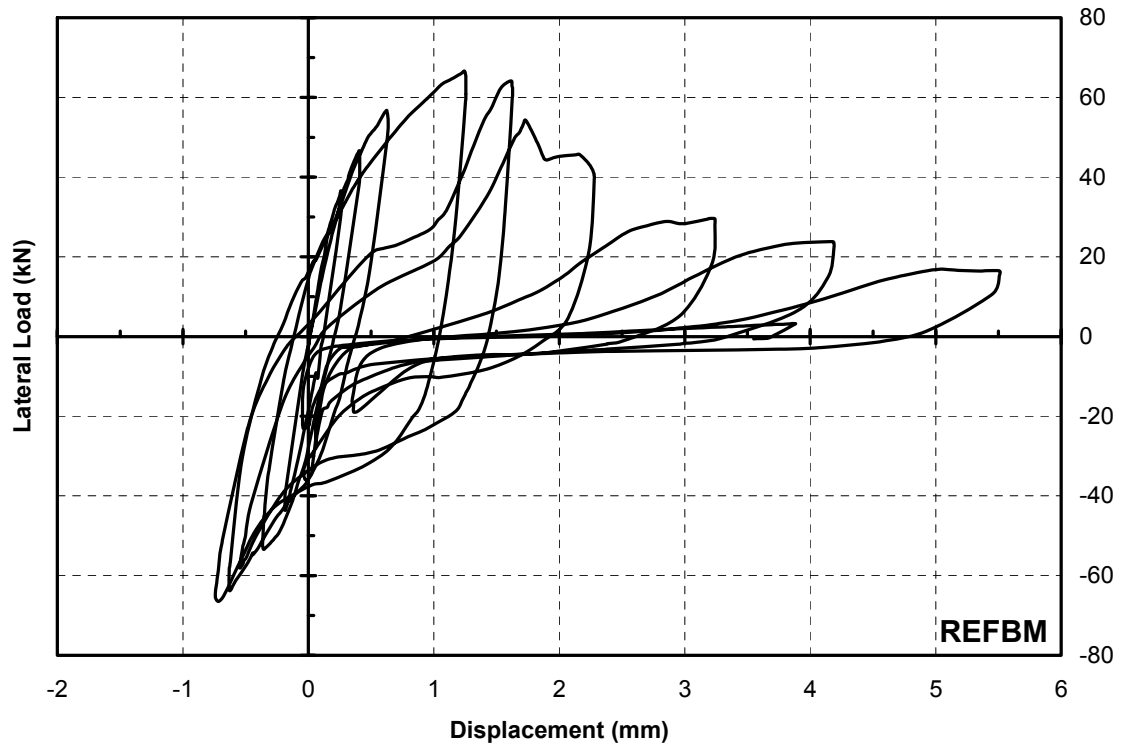
Şekil 65 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi



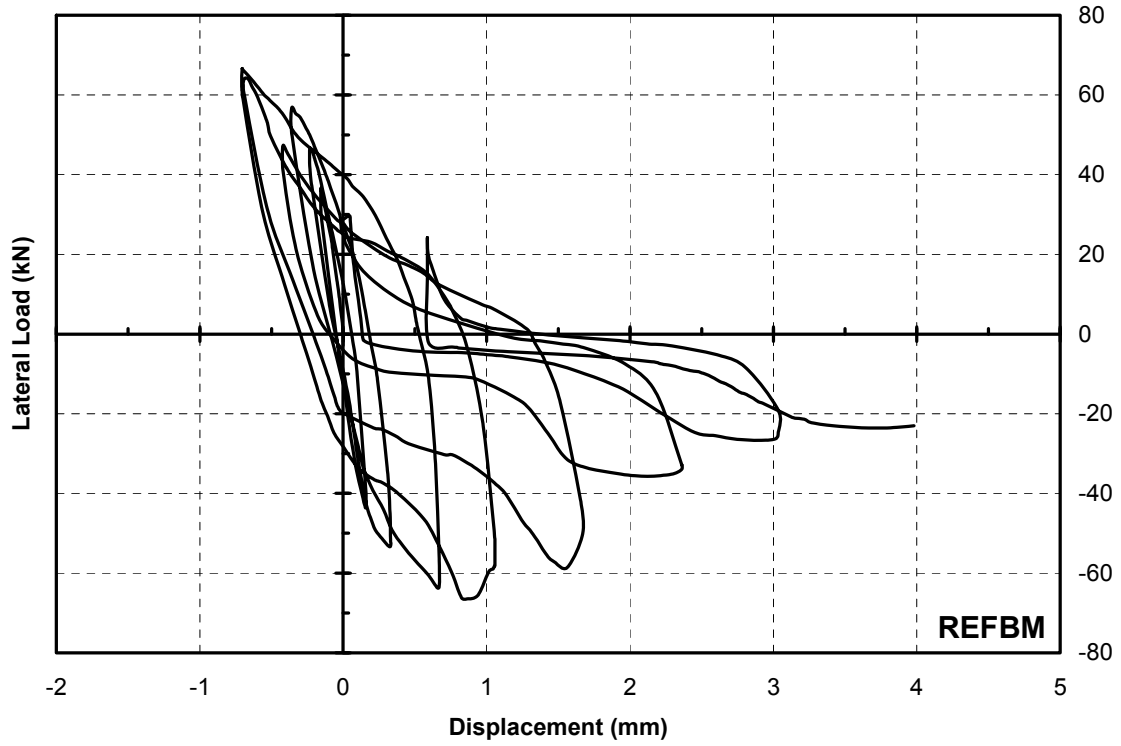
Şekil 66 TS1 (REFBM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



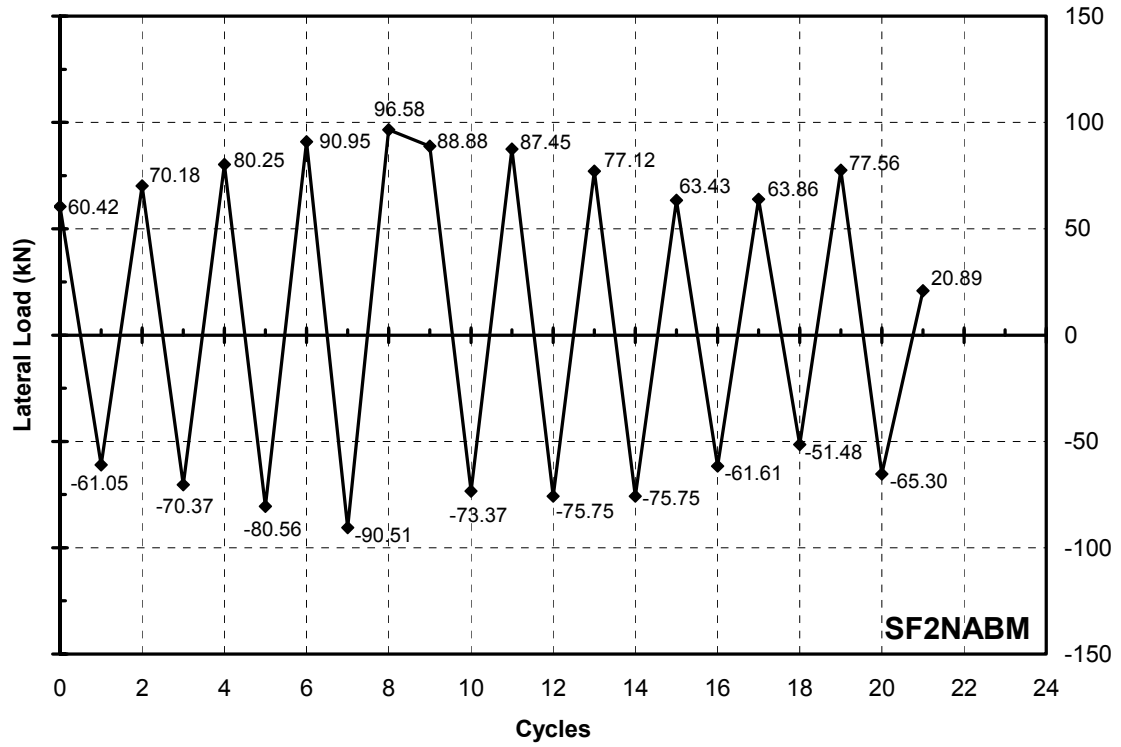
Şekil 67 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



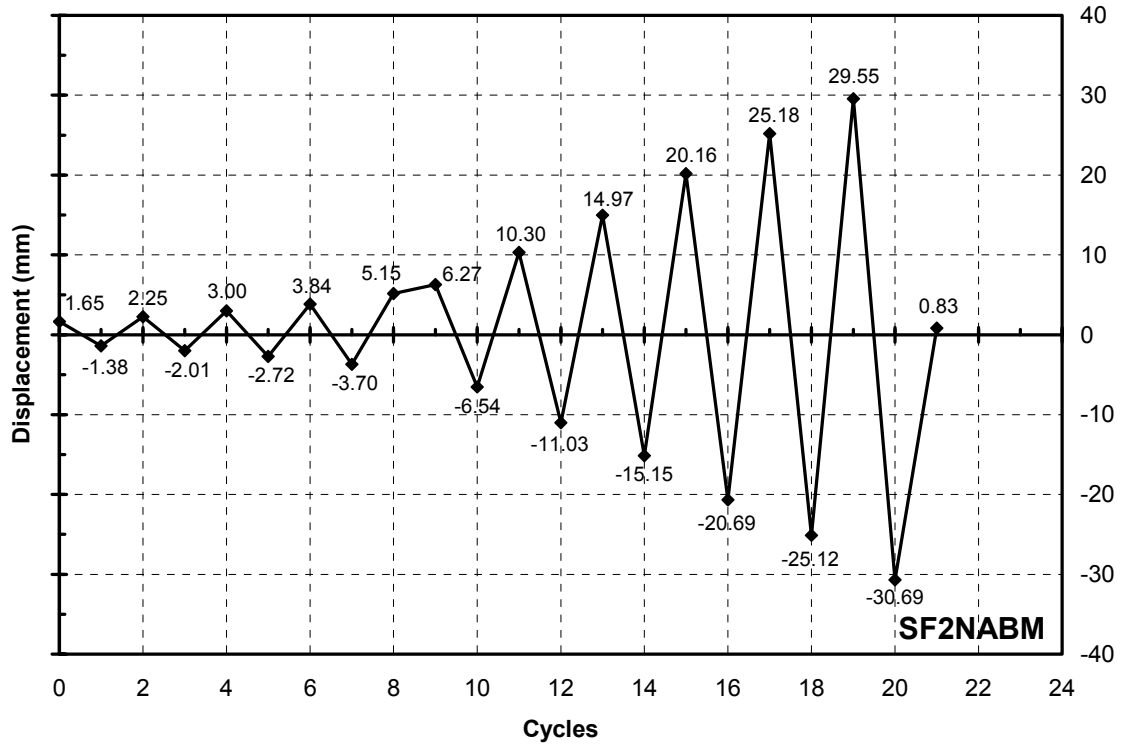
Şekil 68 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi



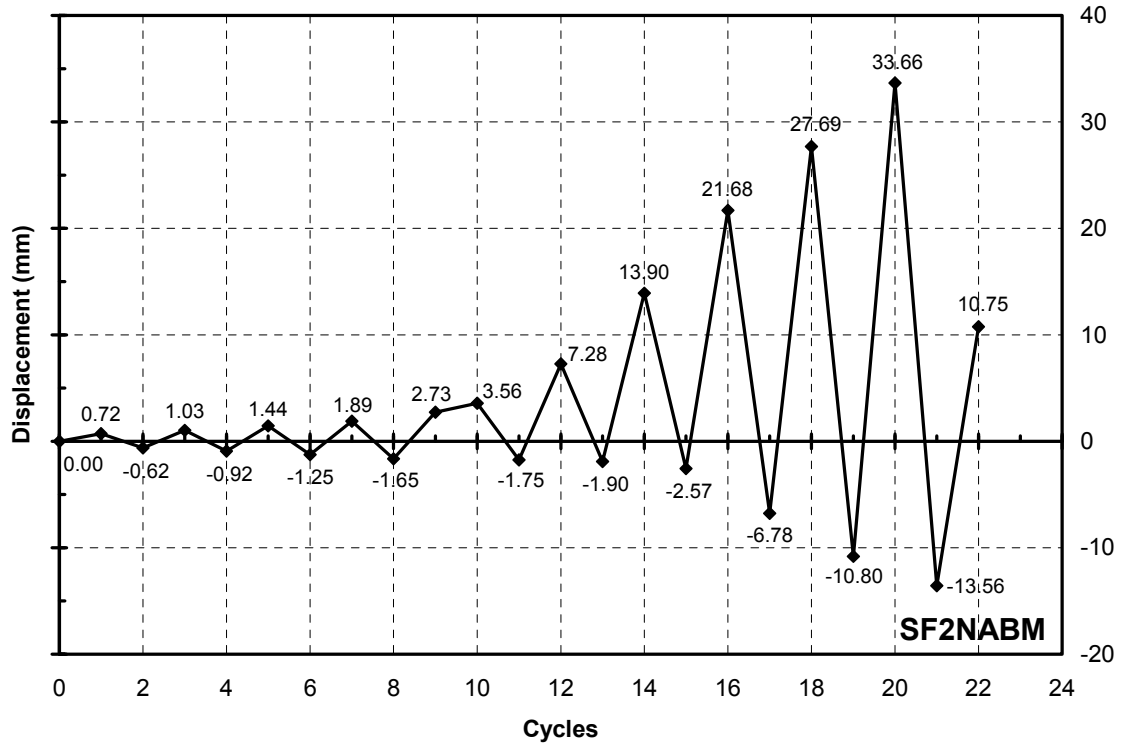
**Şekil 69 TS1 (REFBM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi
TS2-SF2NABM**



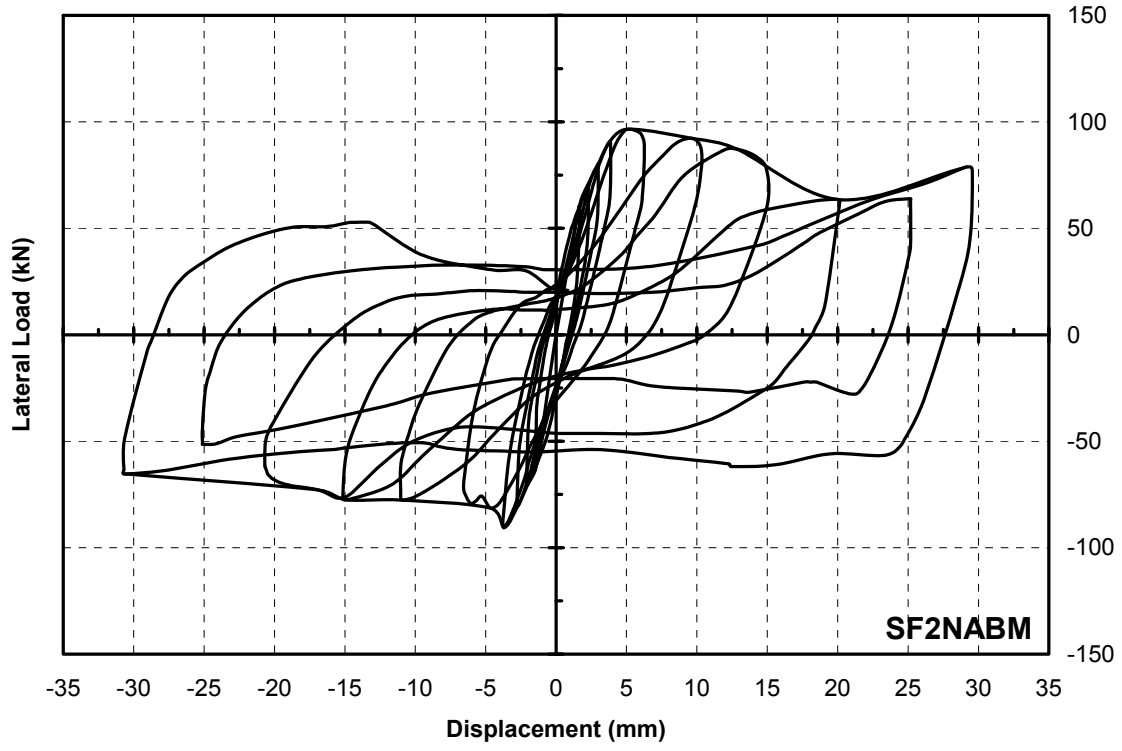
Şekil 70 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Yük Geçmişi Eğrisi



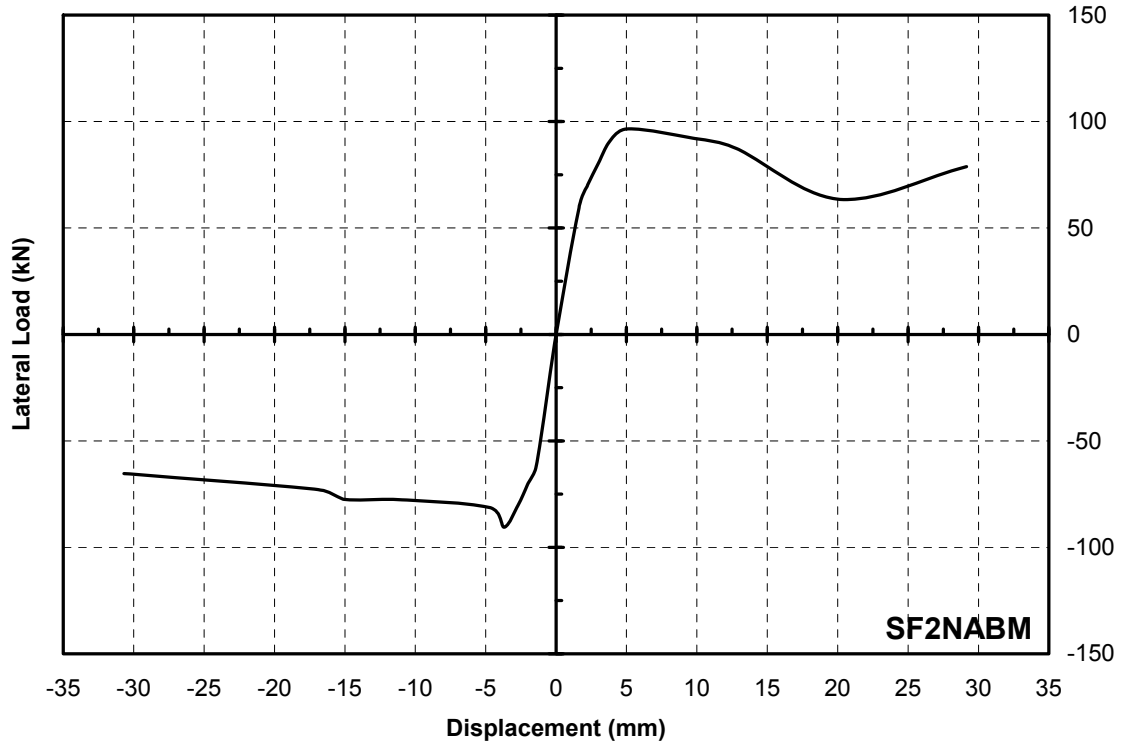
Şekil 71 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



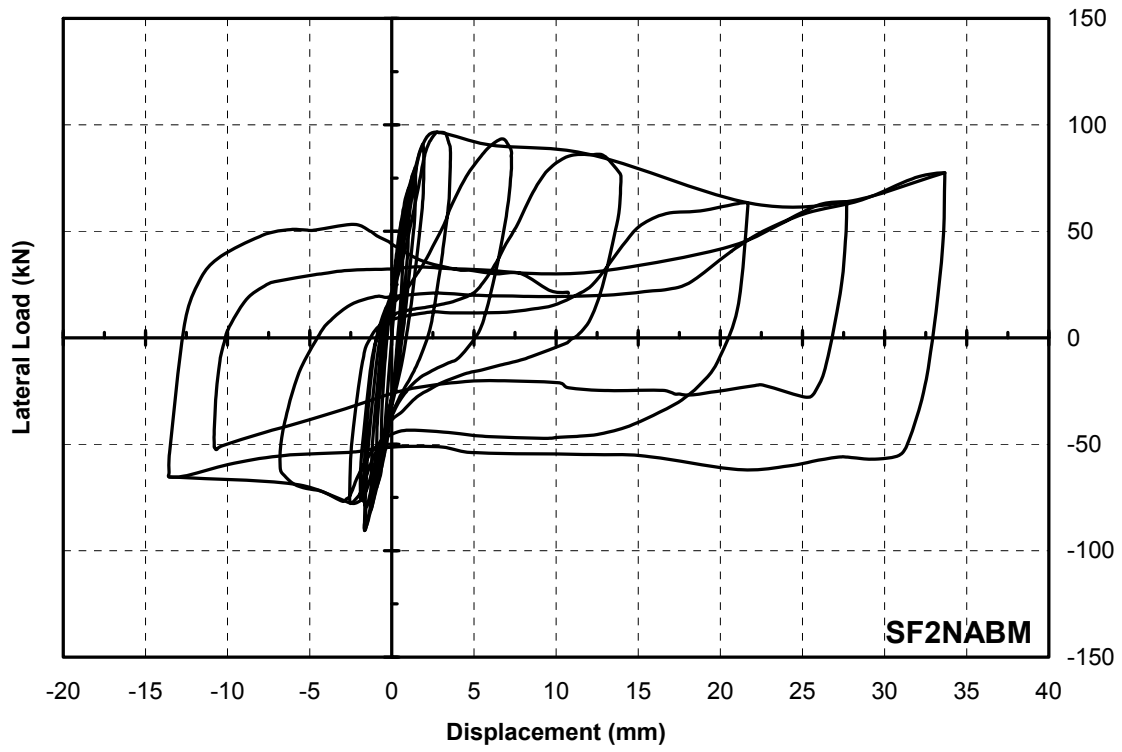
Şekil 72 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



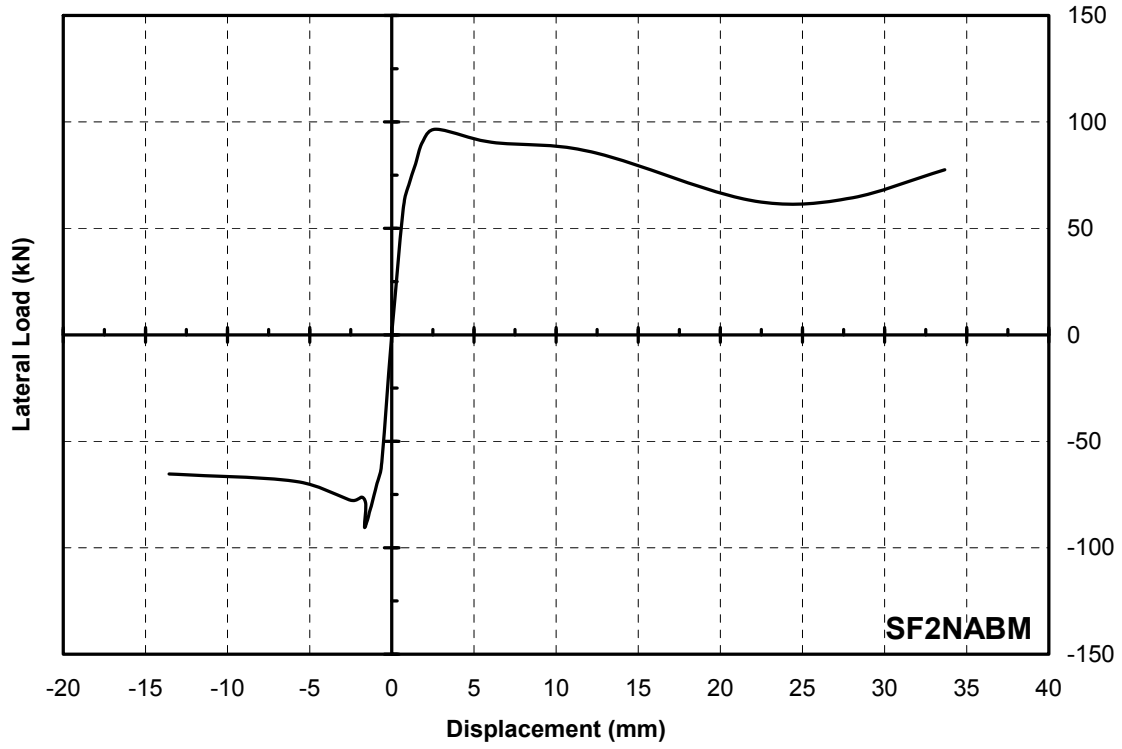
Şekil 73 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



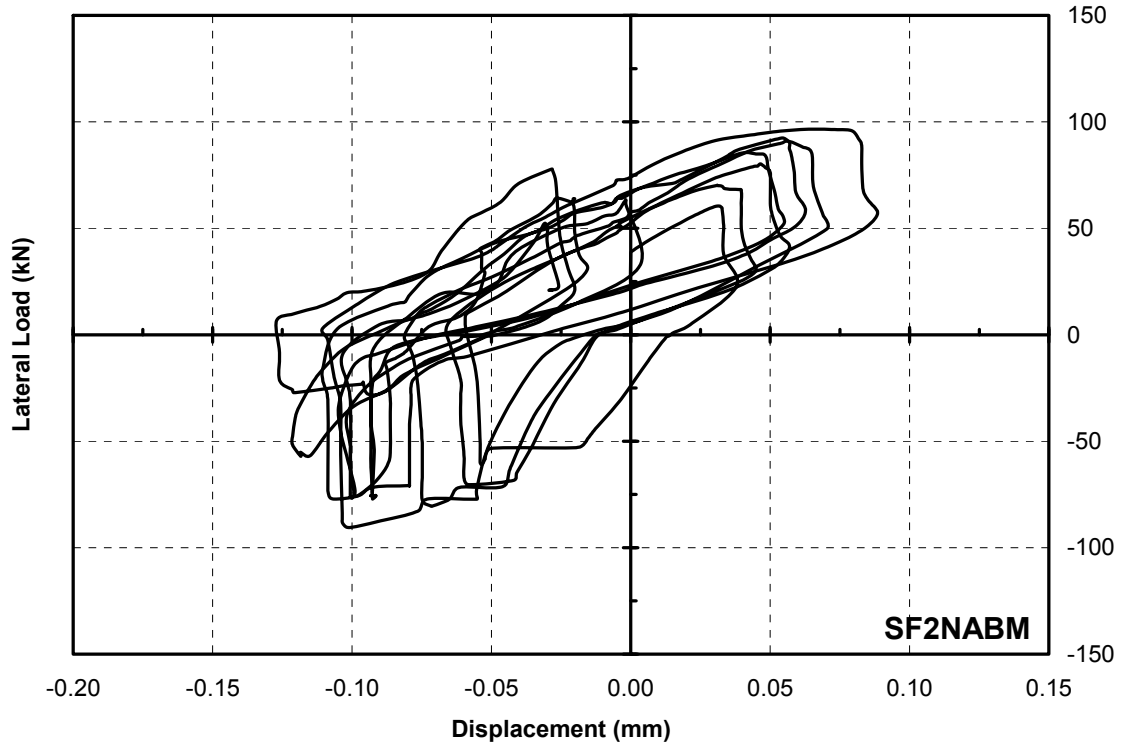
Şekil 74 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



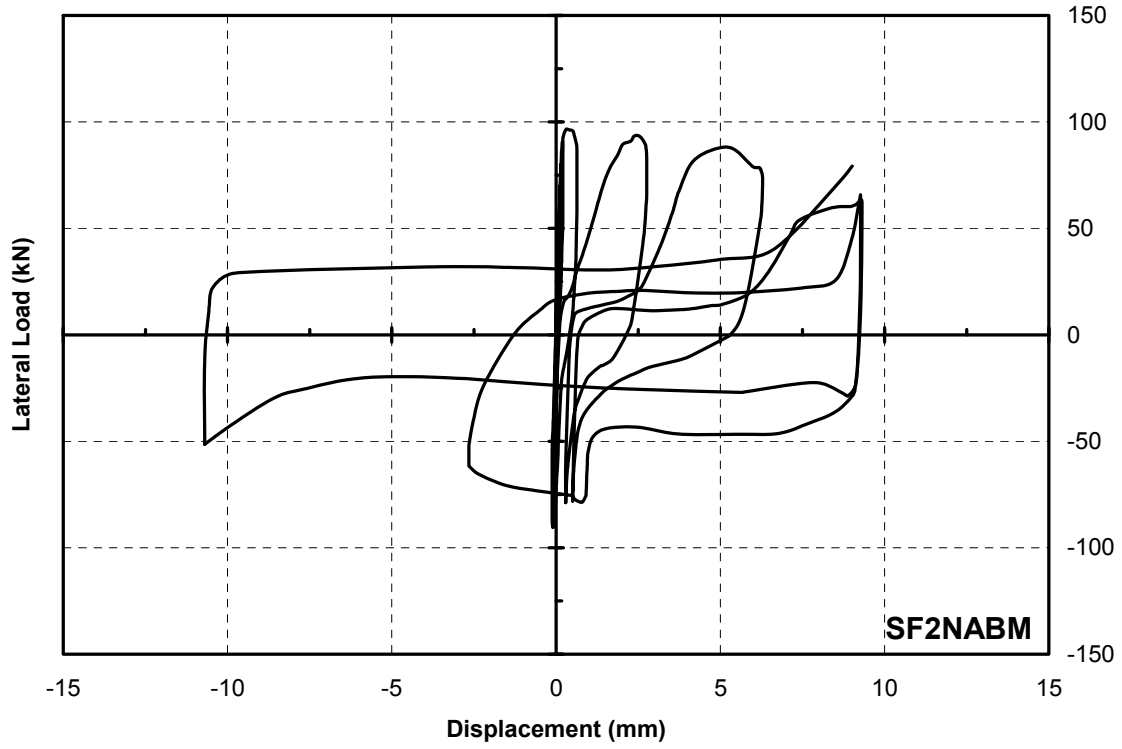
Şekil 75 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



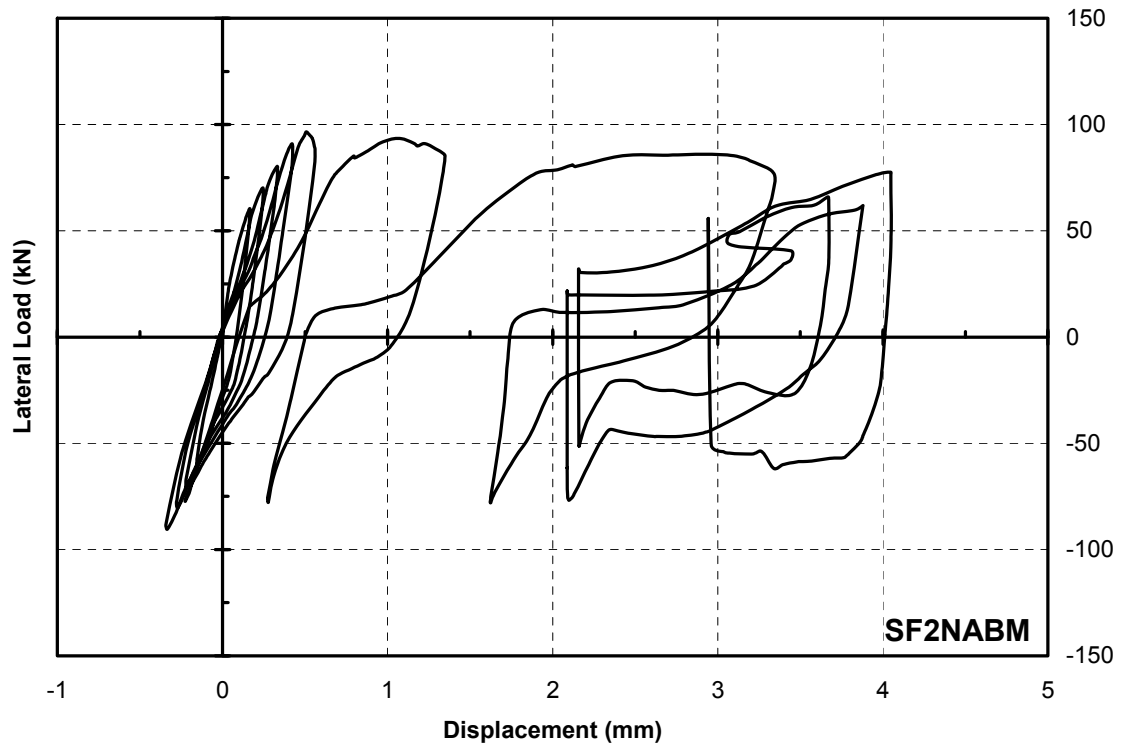
Şekil 76 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi



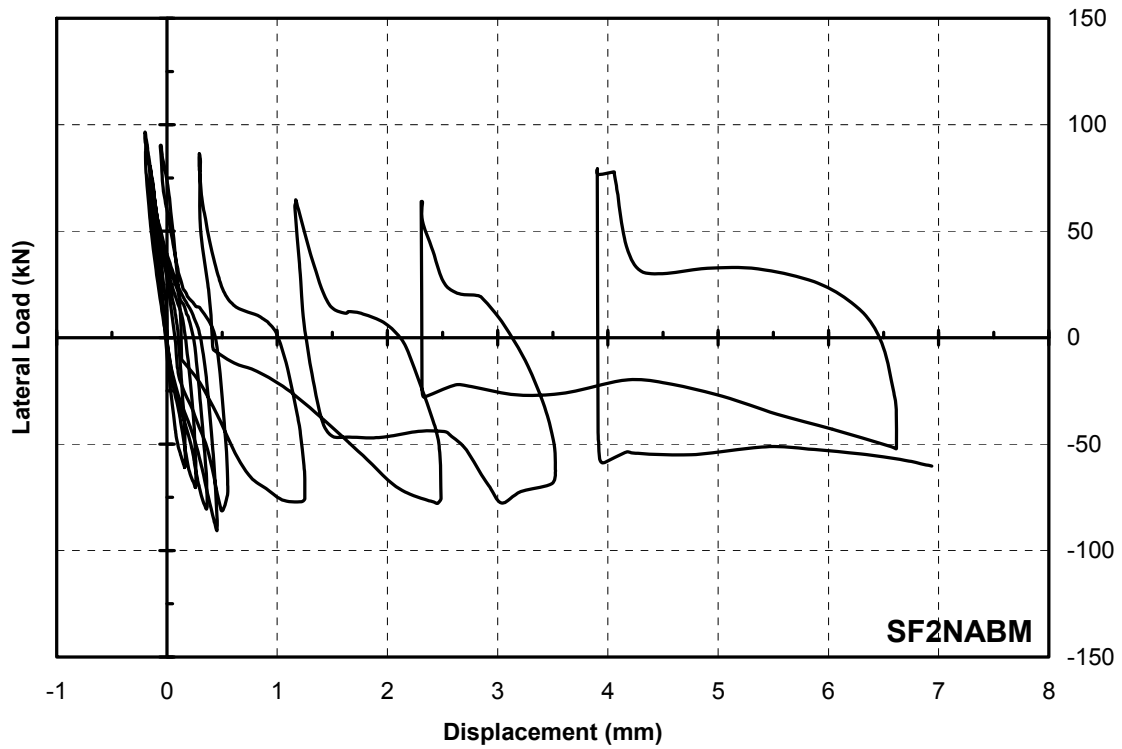
Şekil 77 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



Şekil 78 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi

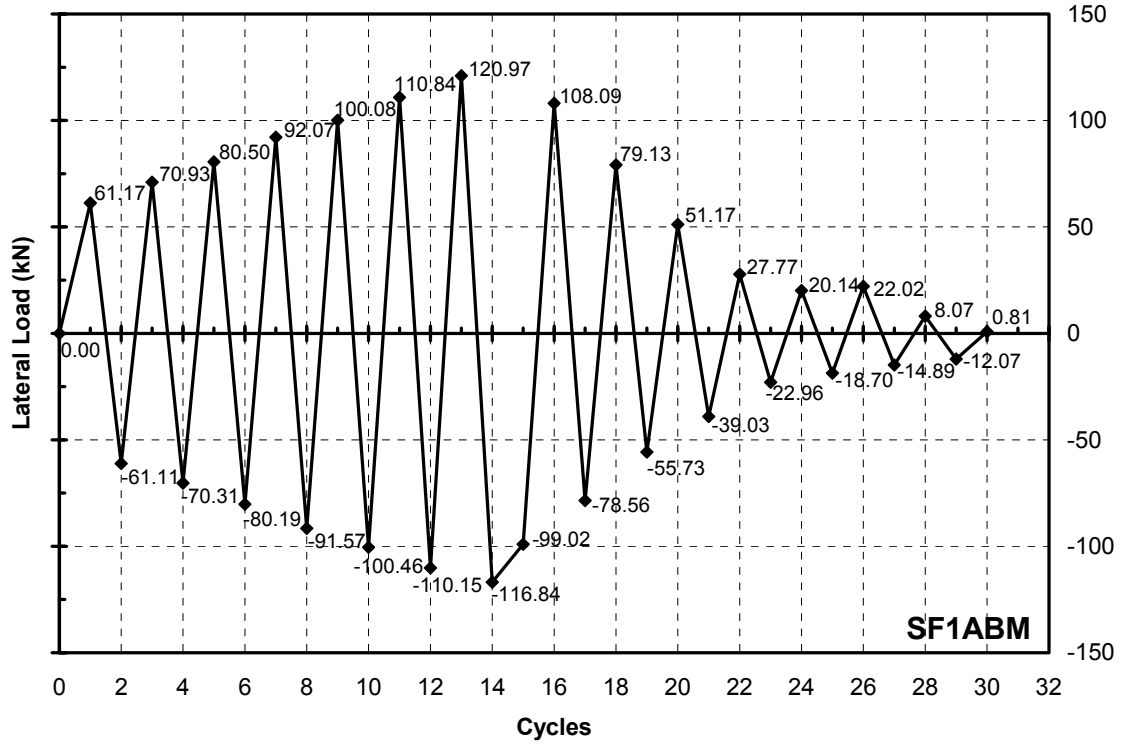


Şekil 79 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi

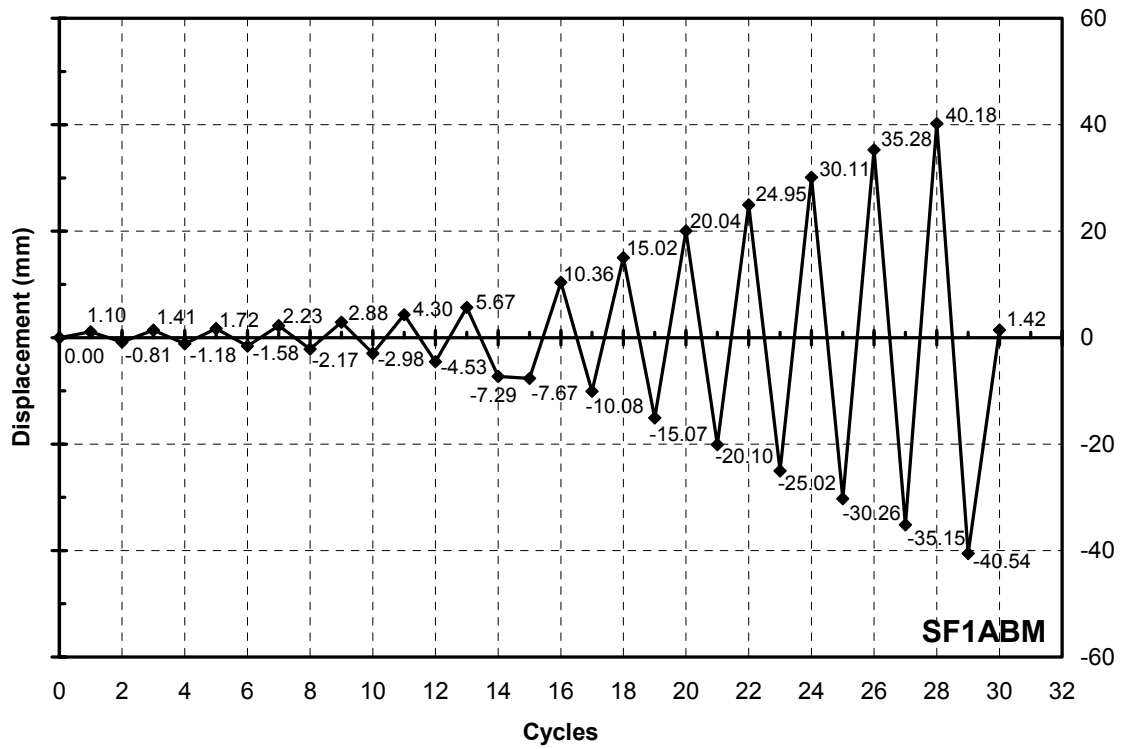


Şekil 80 TS2 (SF2NABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi

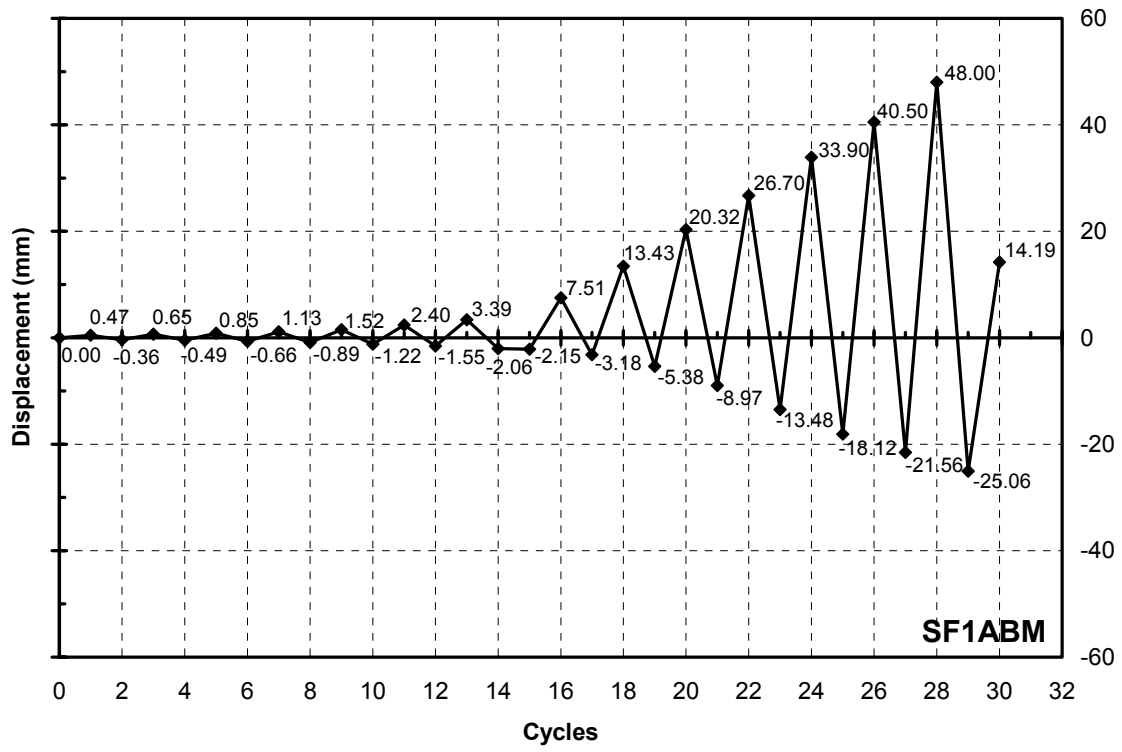
TS3-SF1ABM



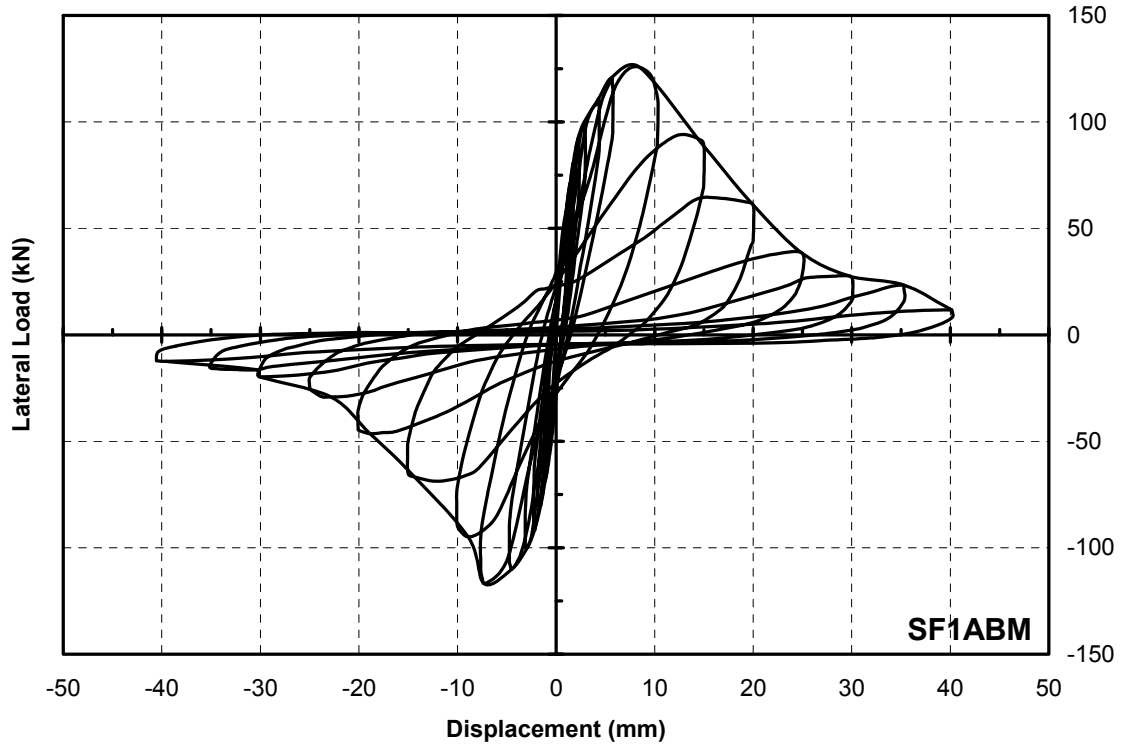
Şekil 81 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Yük Geçmiş Eğrisi



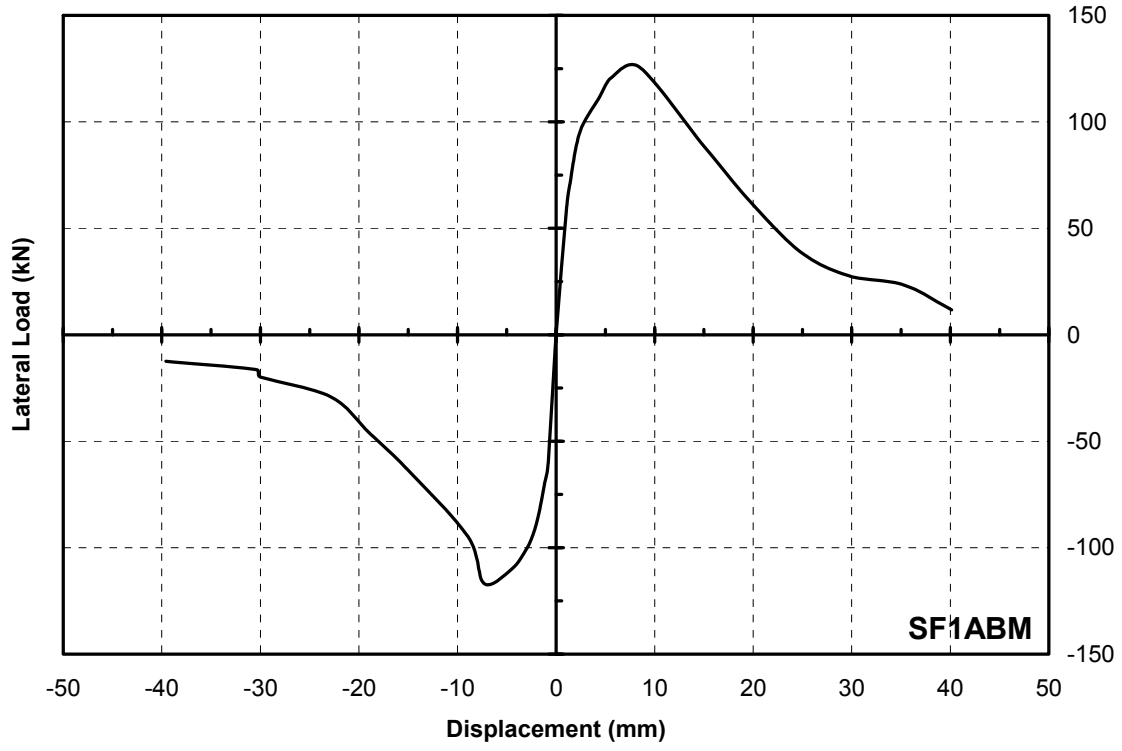
Şekil 82 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



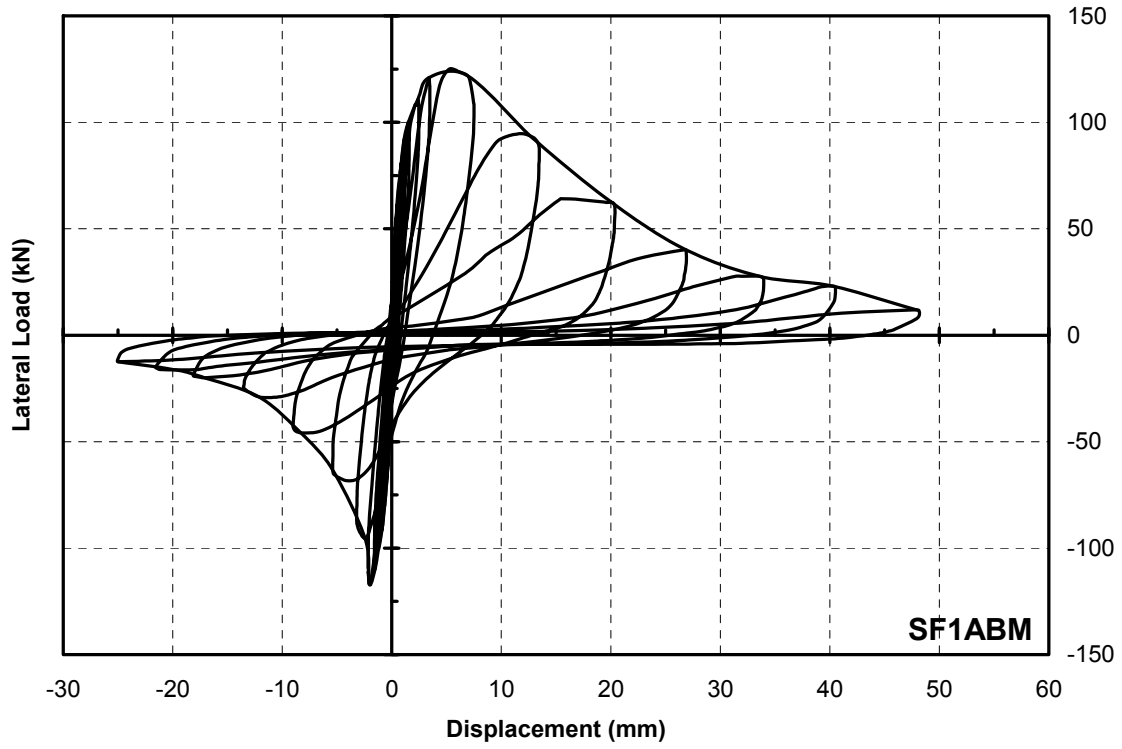
Şekil 83 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



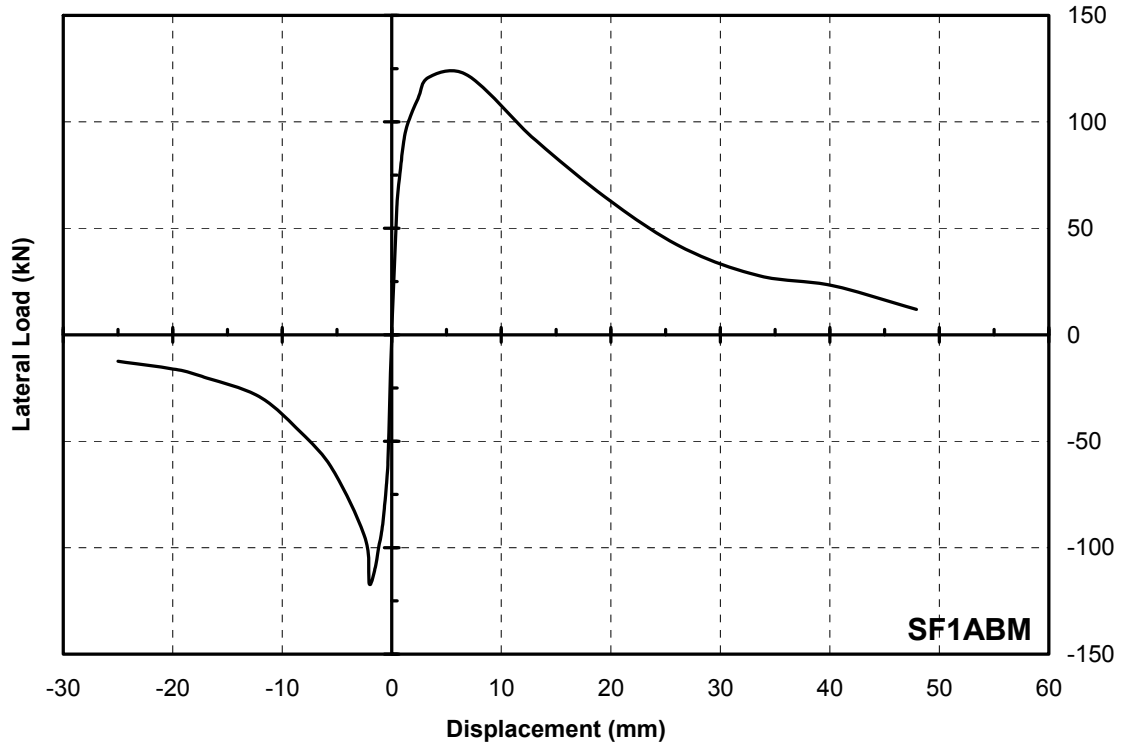
Şekil 84 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



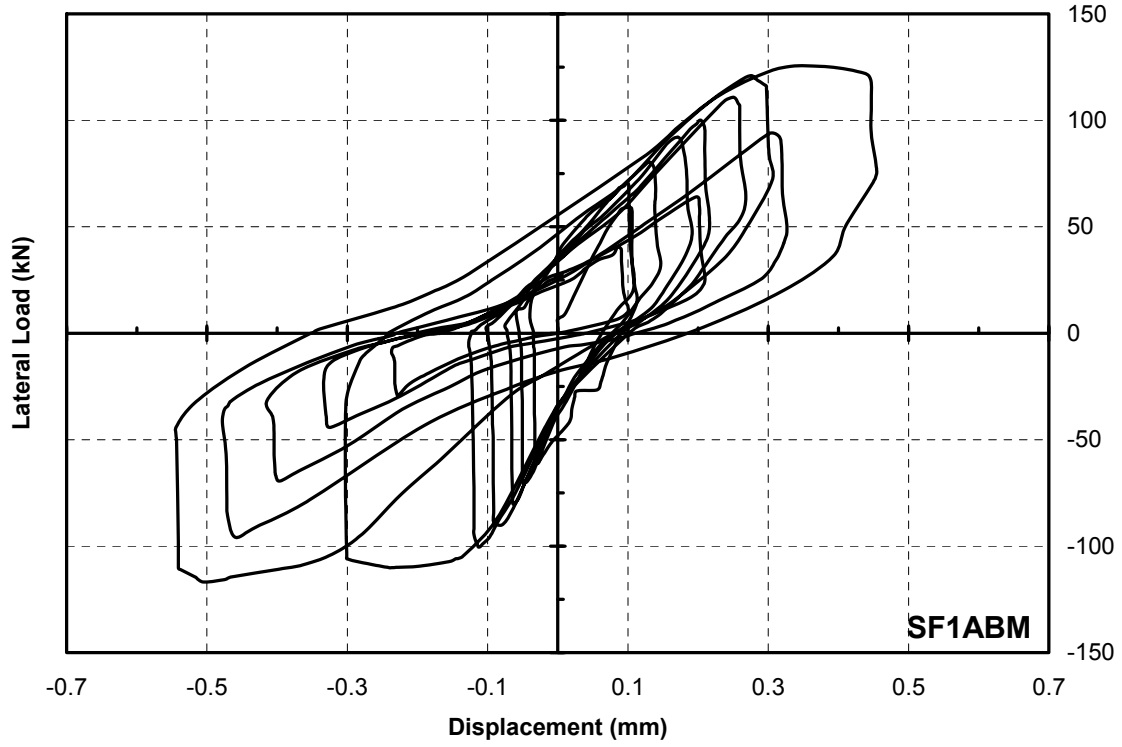
Şekil 85 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



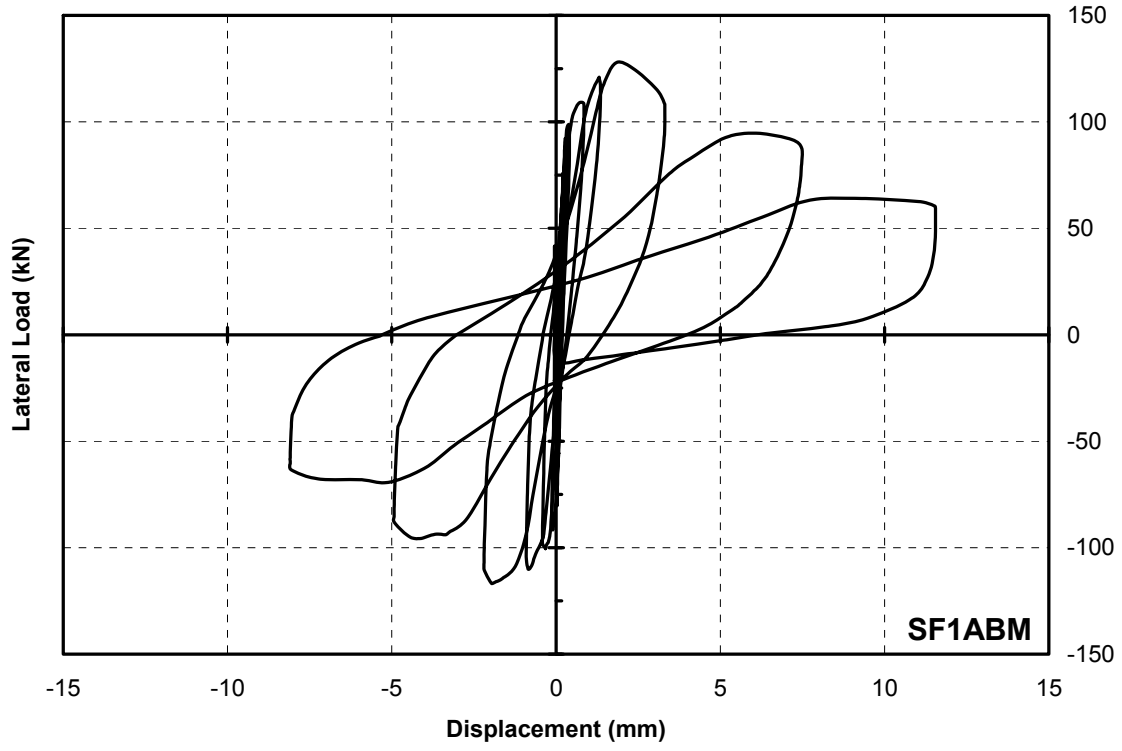
Şekil 86 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



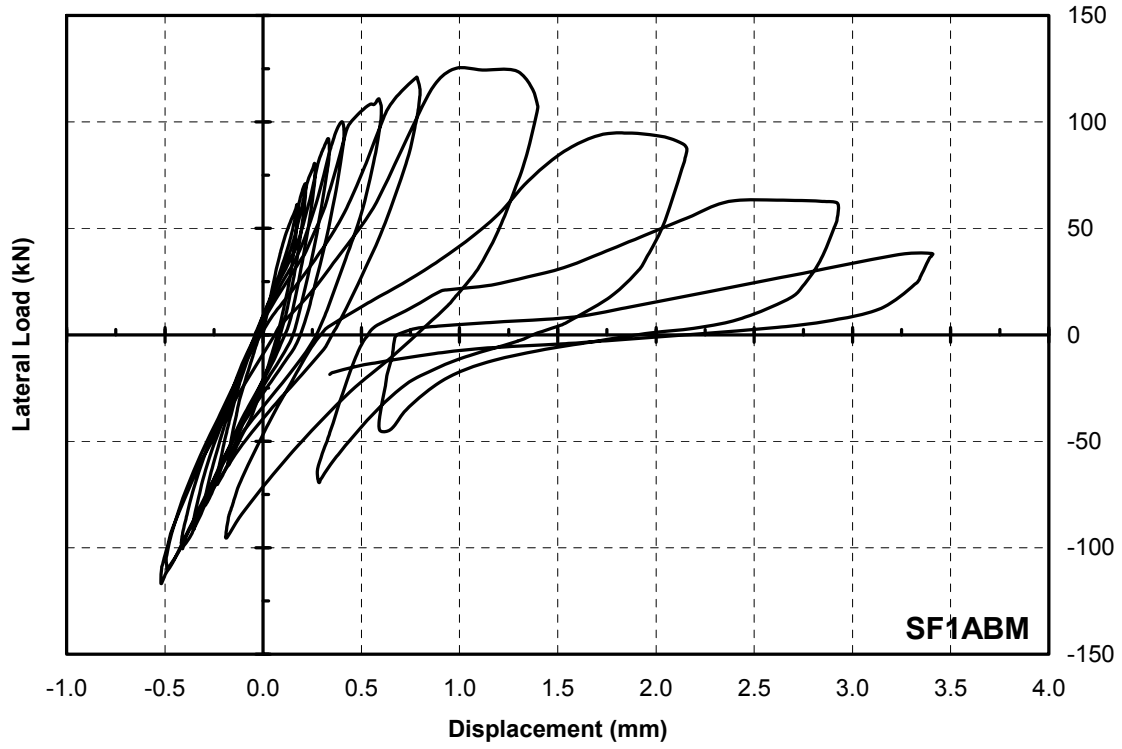
Şekil 87 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi



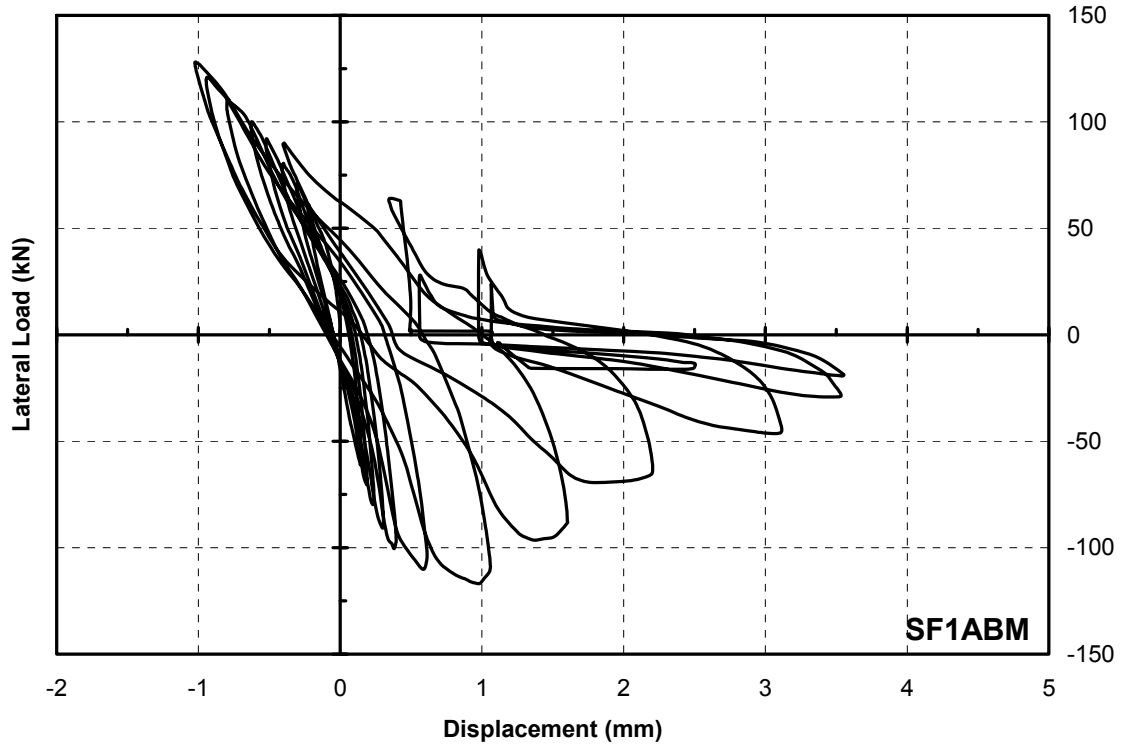
Şekil 88 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



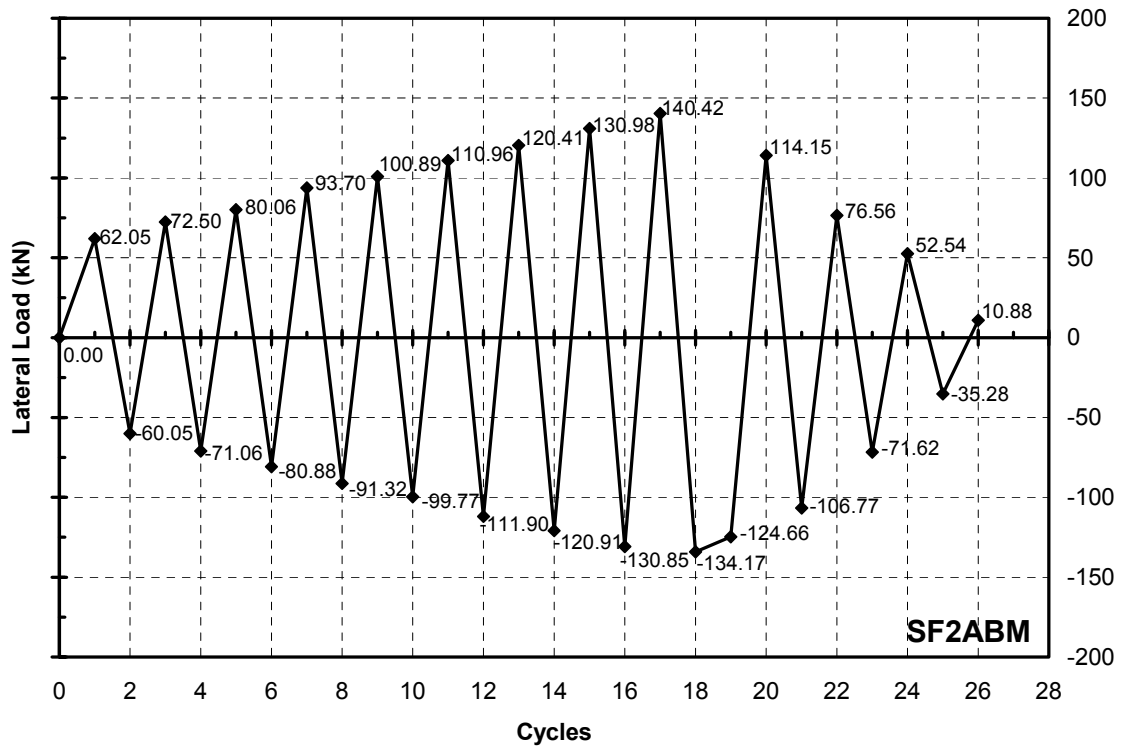
Şekil 89 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



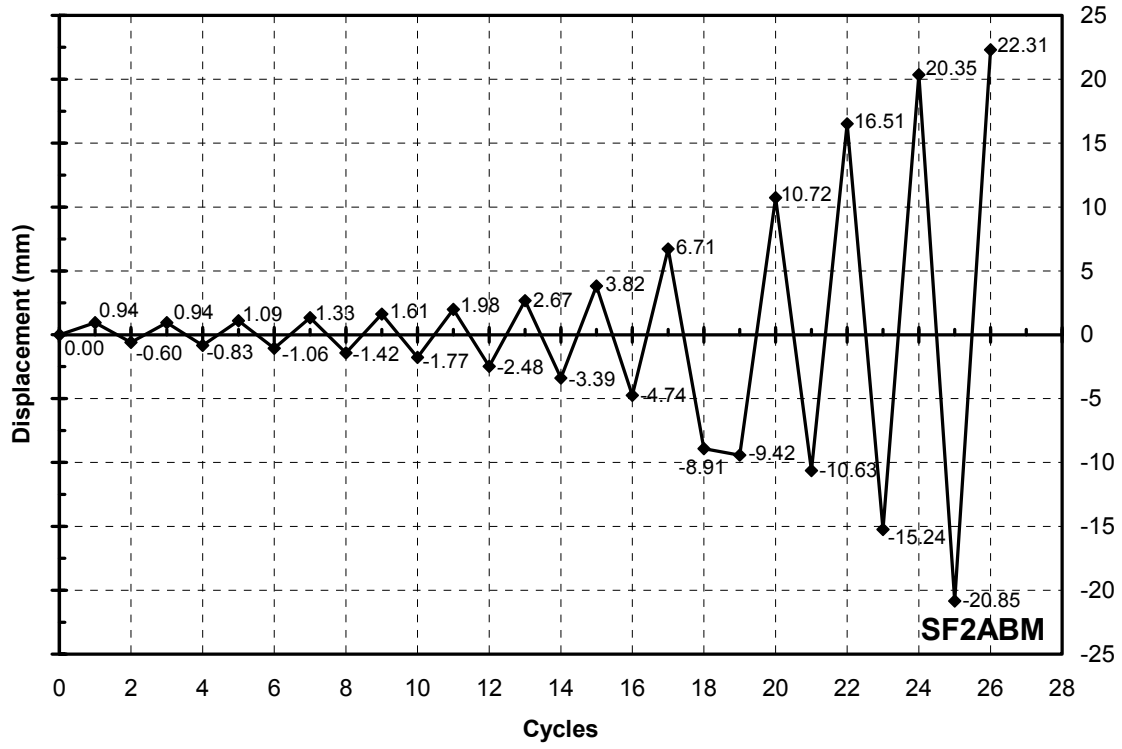
Şekil 90 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi



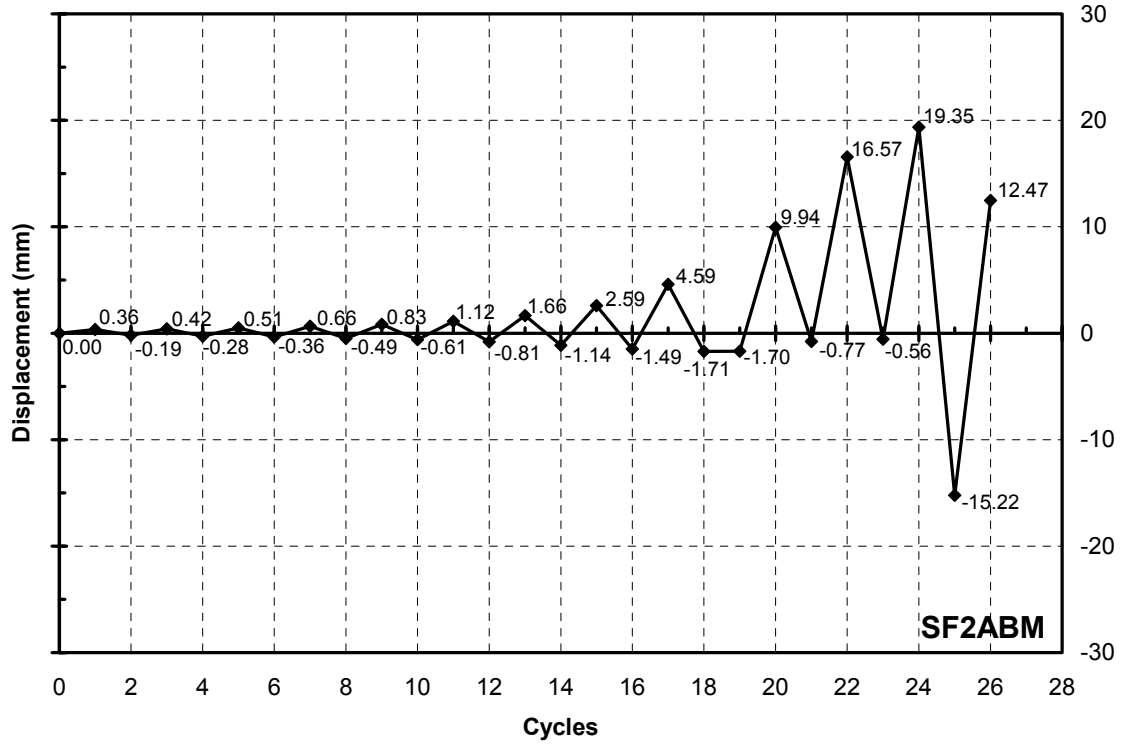
Şekil 91 TS3 (SF1ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi
TS4-SF2ABM



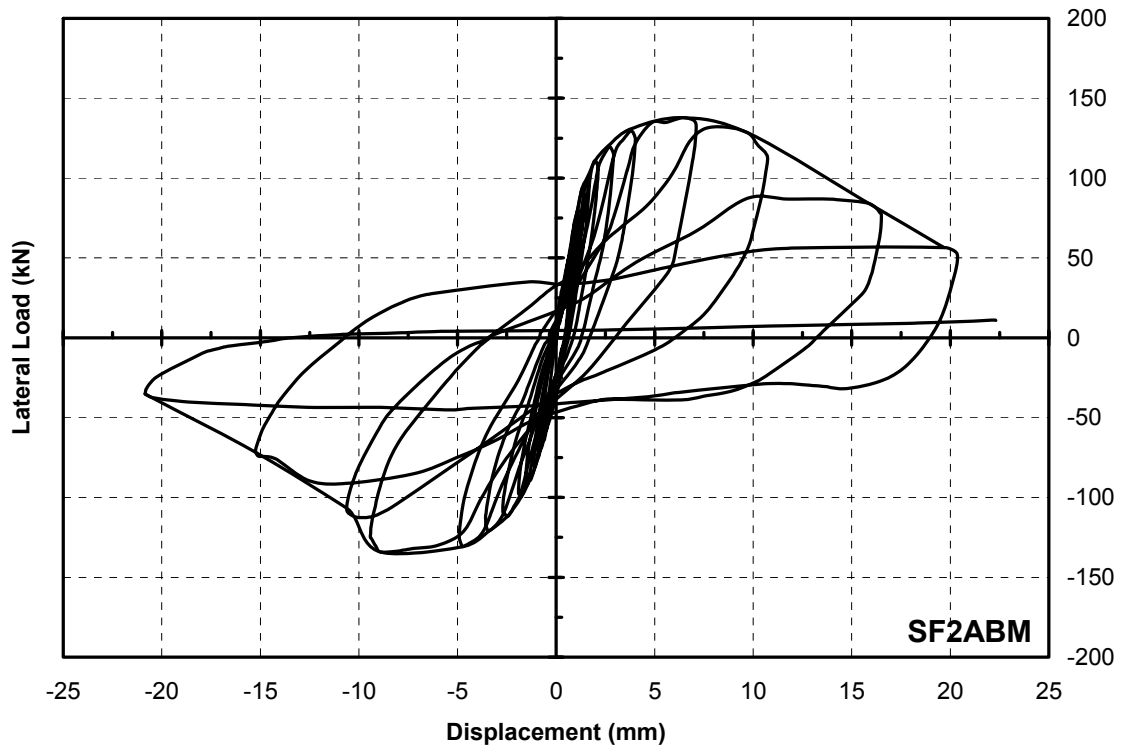
Şekil 92 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Yük Geçmişi Eğrisi



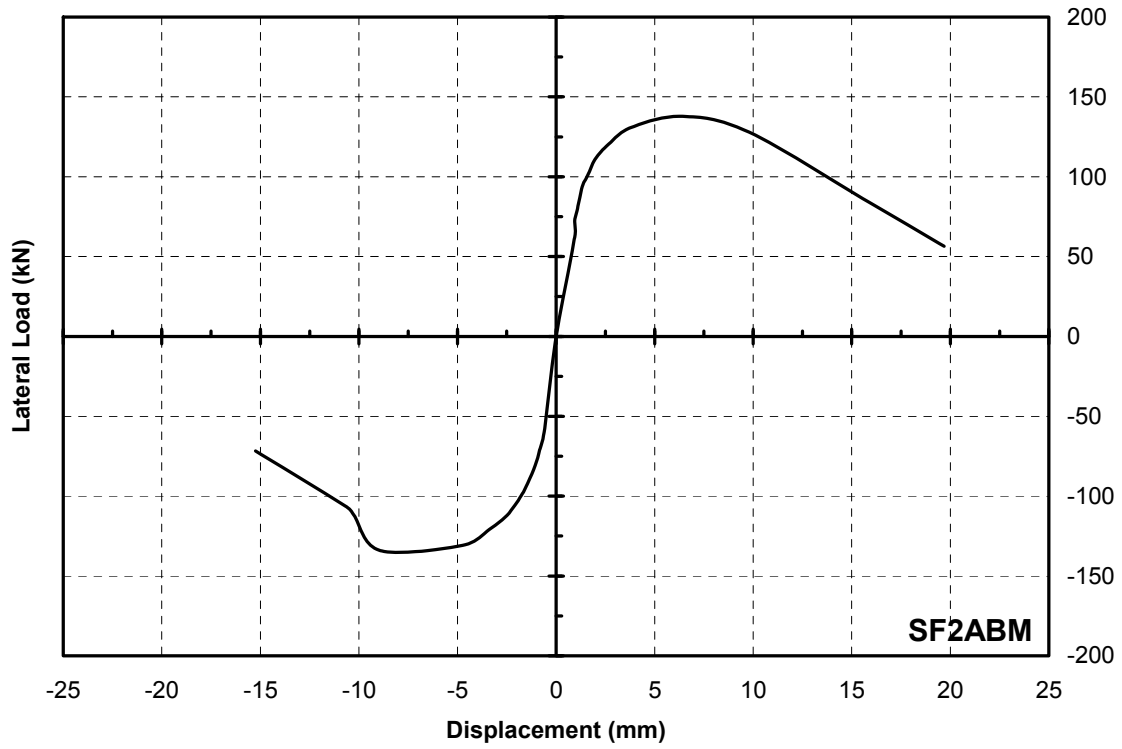
Şekil 93 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



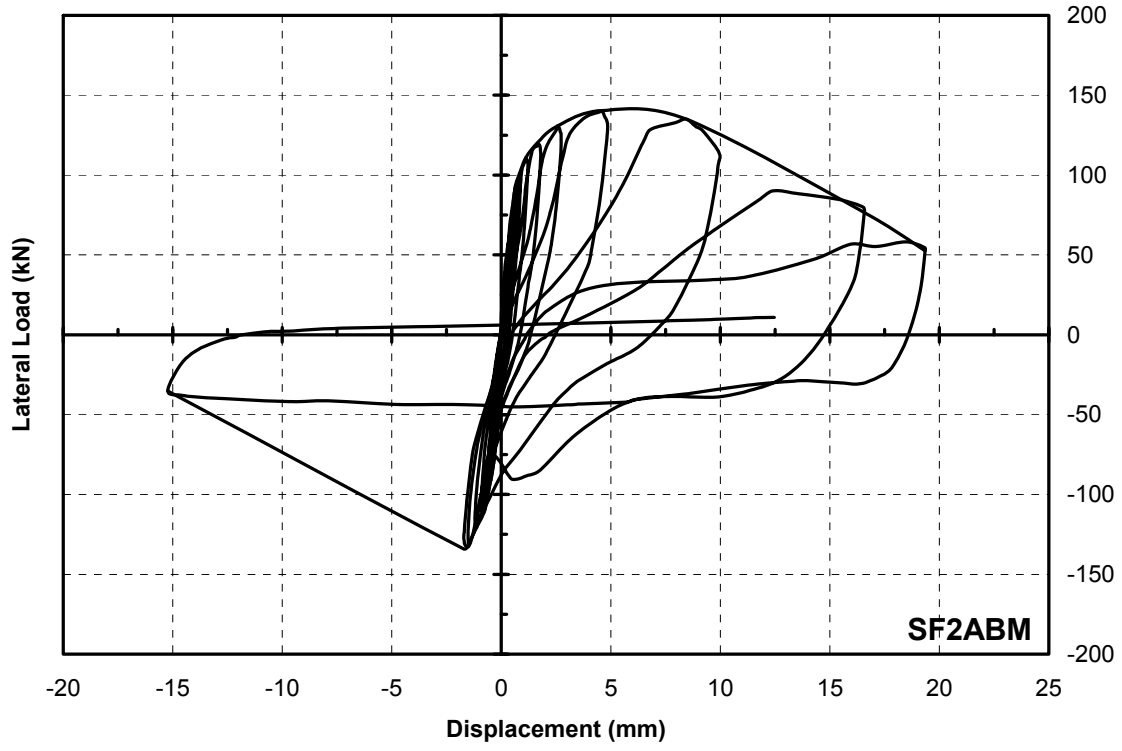
Şekil 94 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



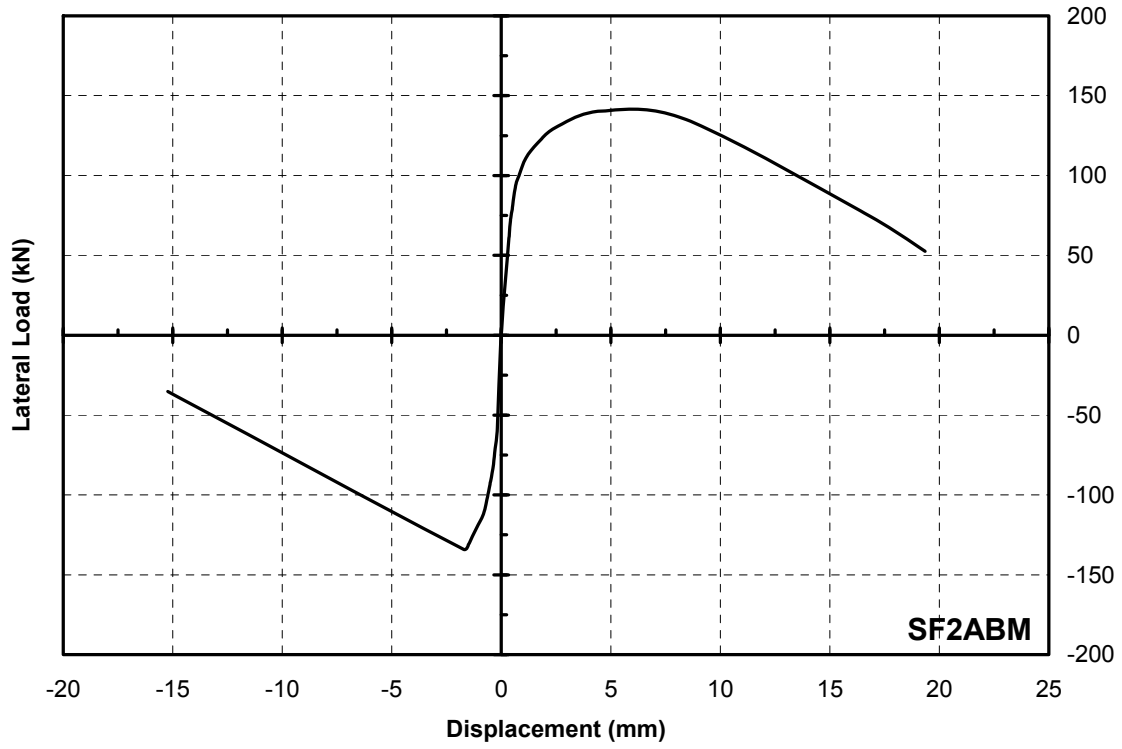
Şekil 95 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



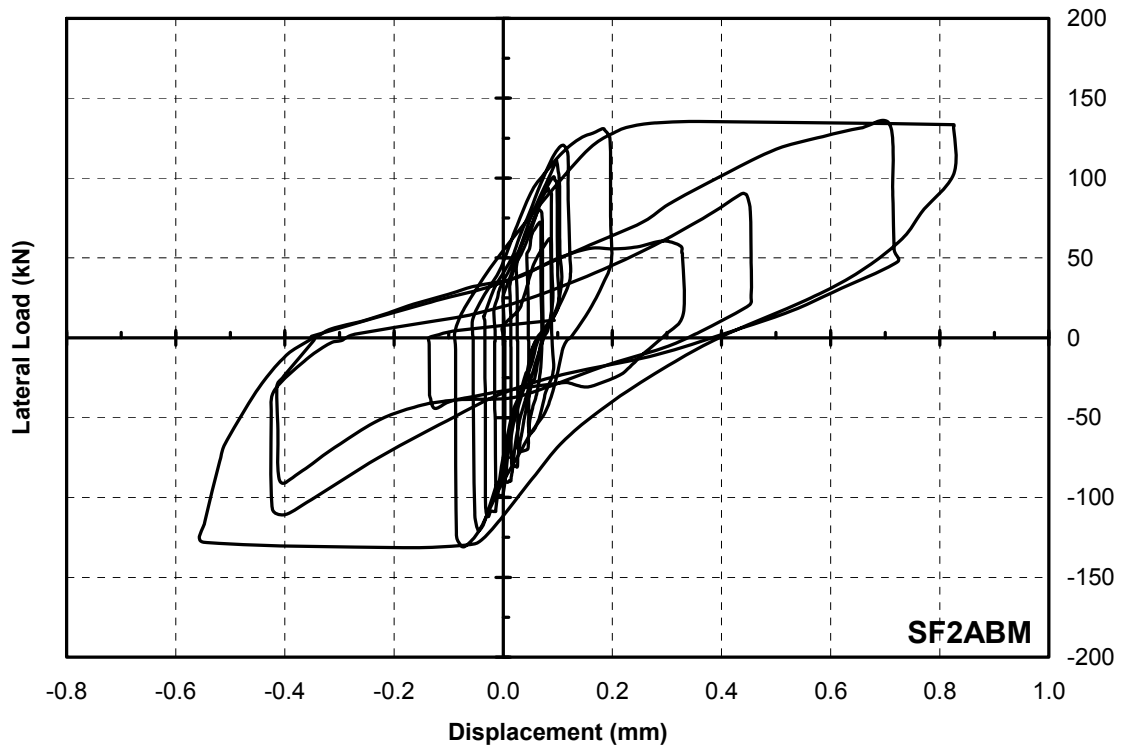
Şekil 96 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



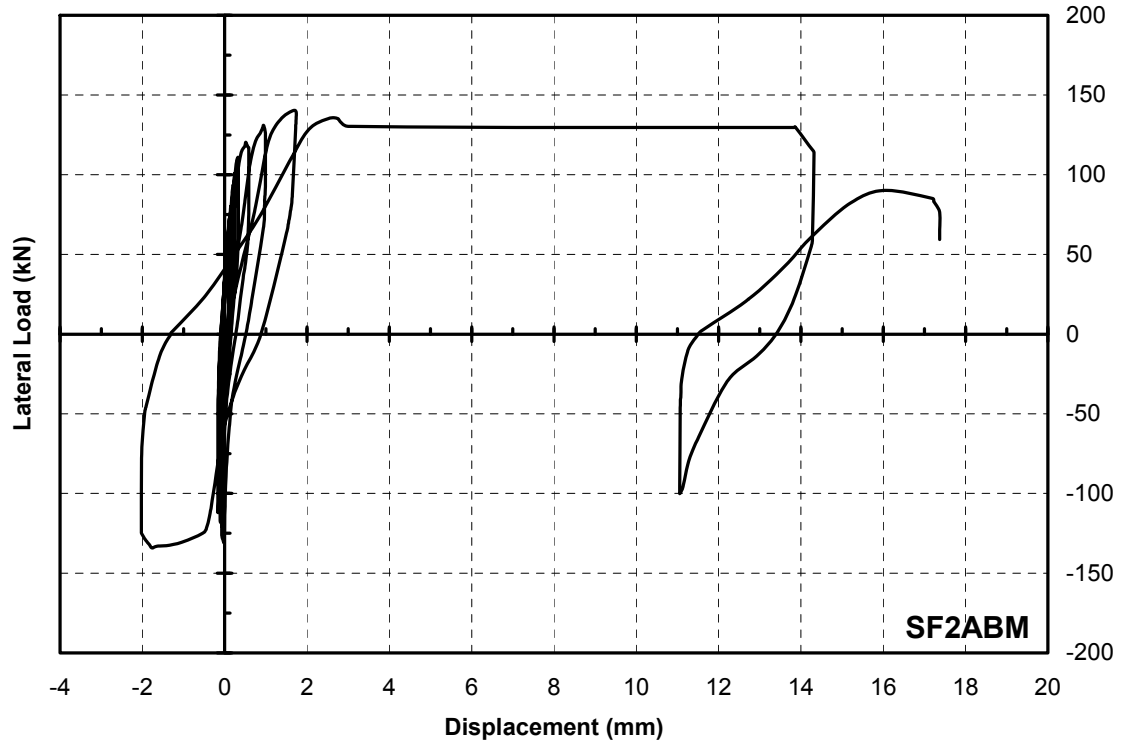
Şekil 97 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



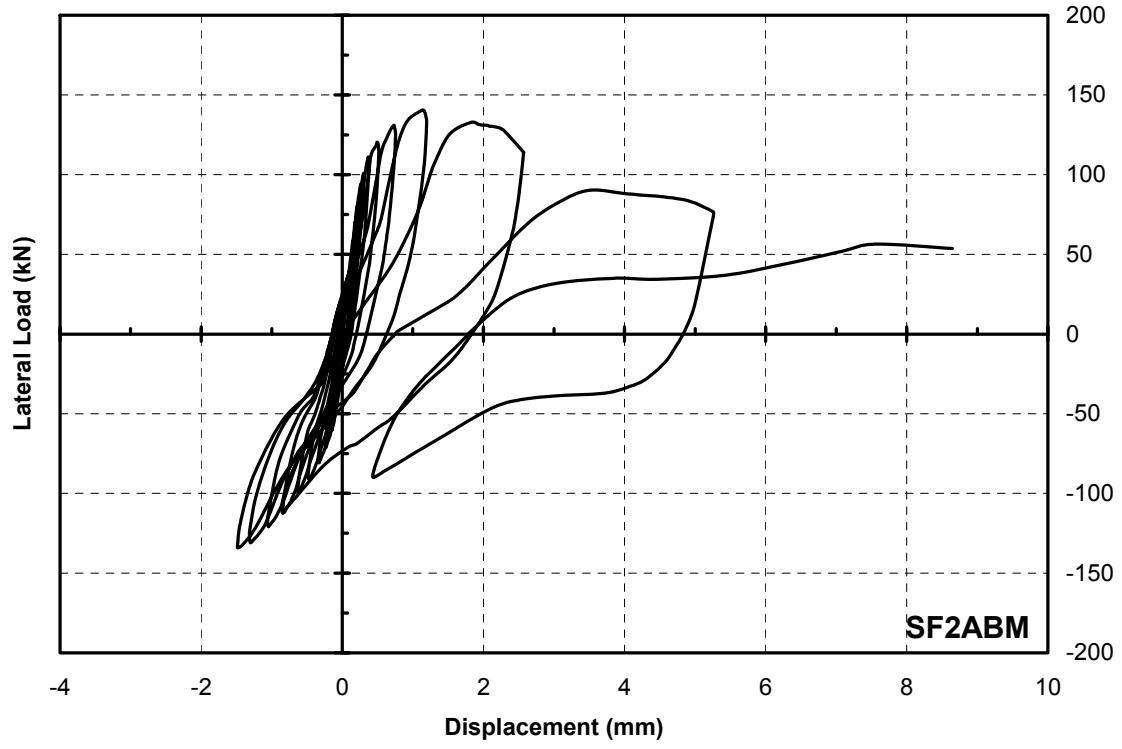
Şekil 98 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi



Şekil 99 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait İkinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi



Şekil 100 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Birinci Kat Kesme Deplasman Eğrisi

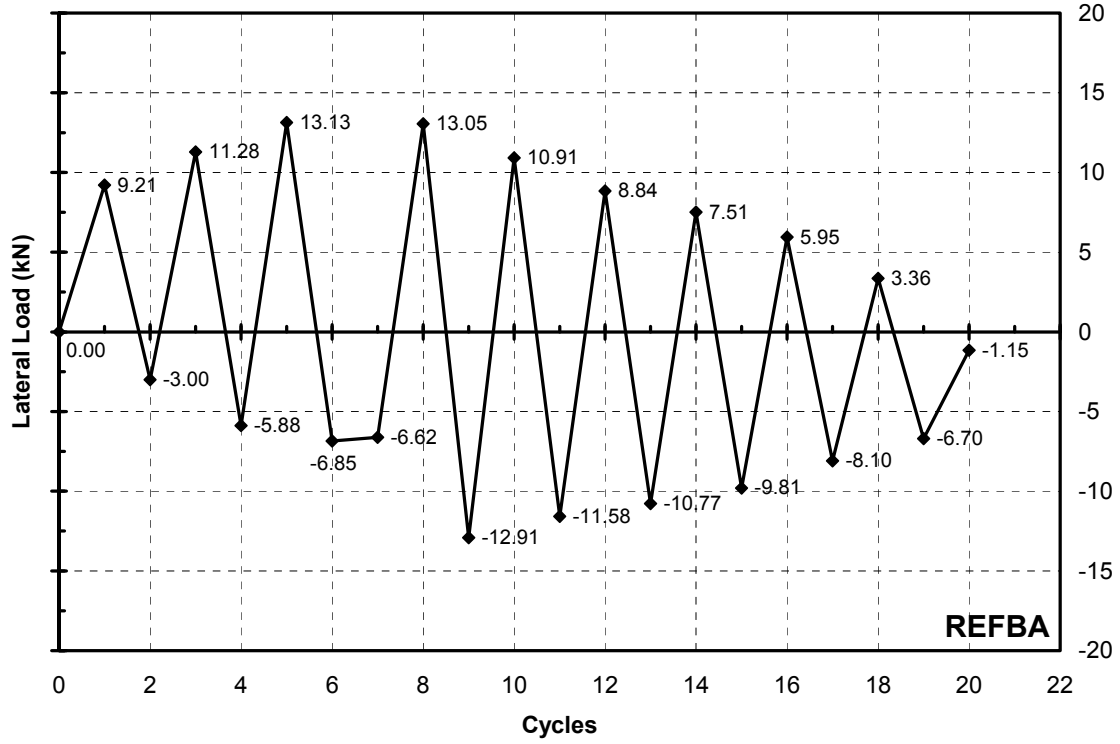


Şekil 101 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi

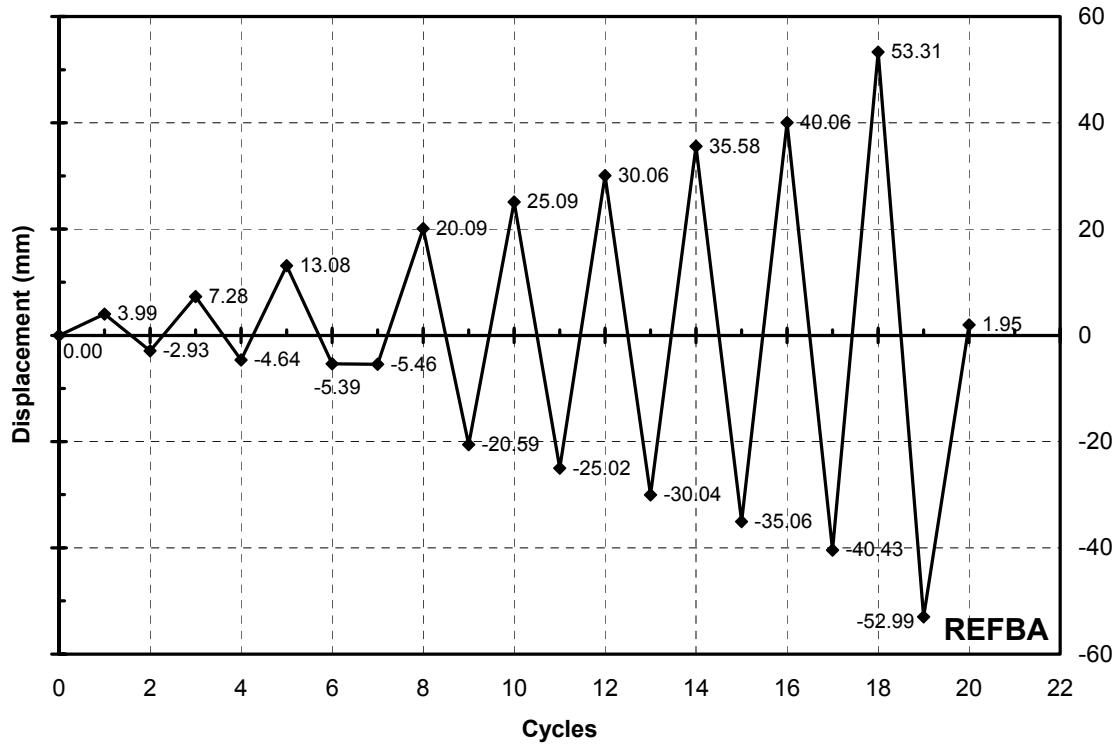


Şekil 102 TS4 (SF2ABM) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi

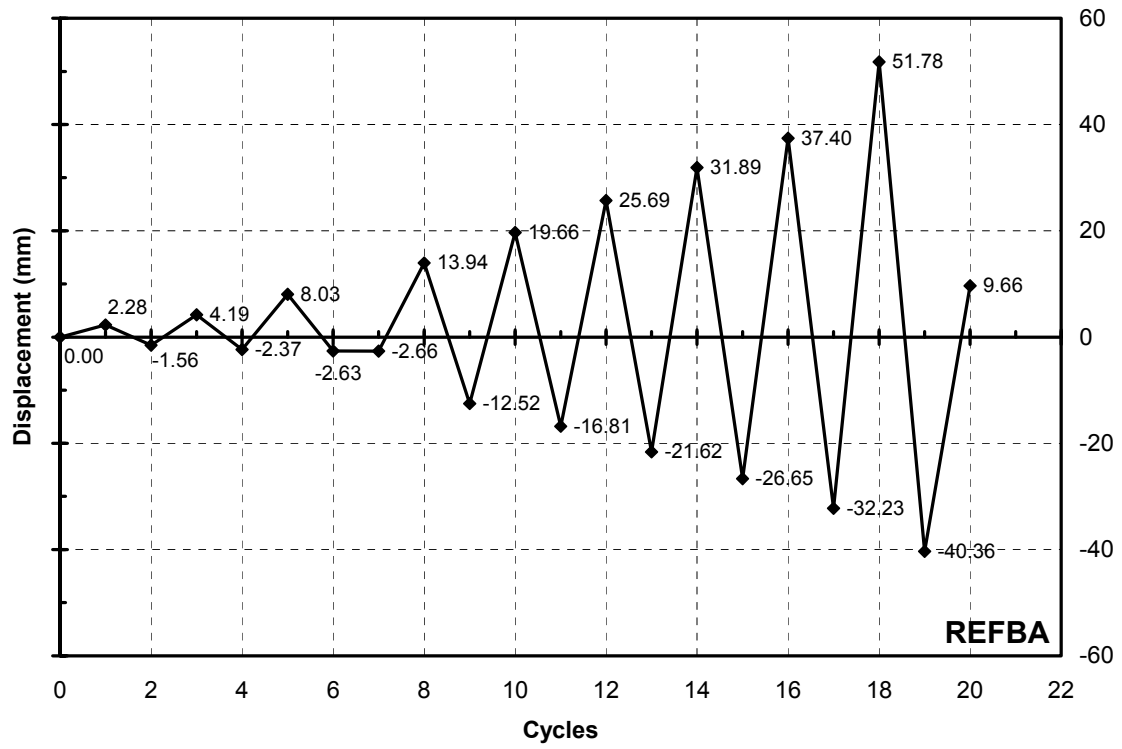
TS5-REFBA



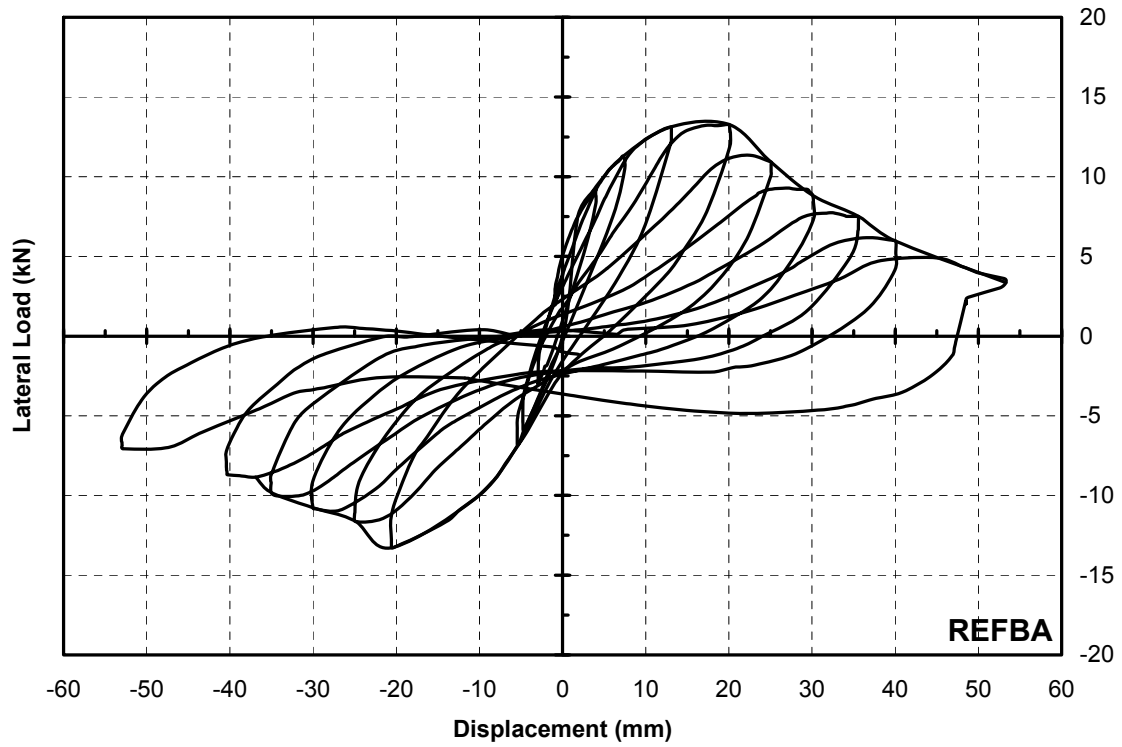
Şekil 103 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Yük Geçmişi Eğrisi



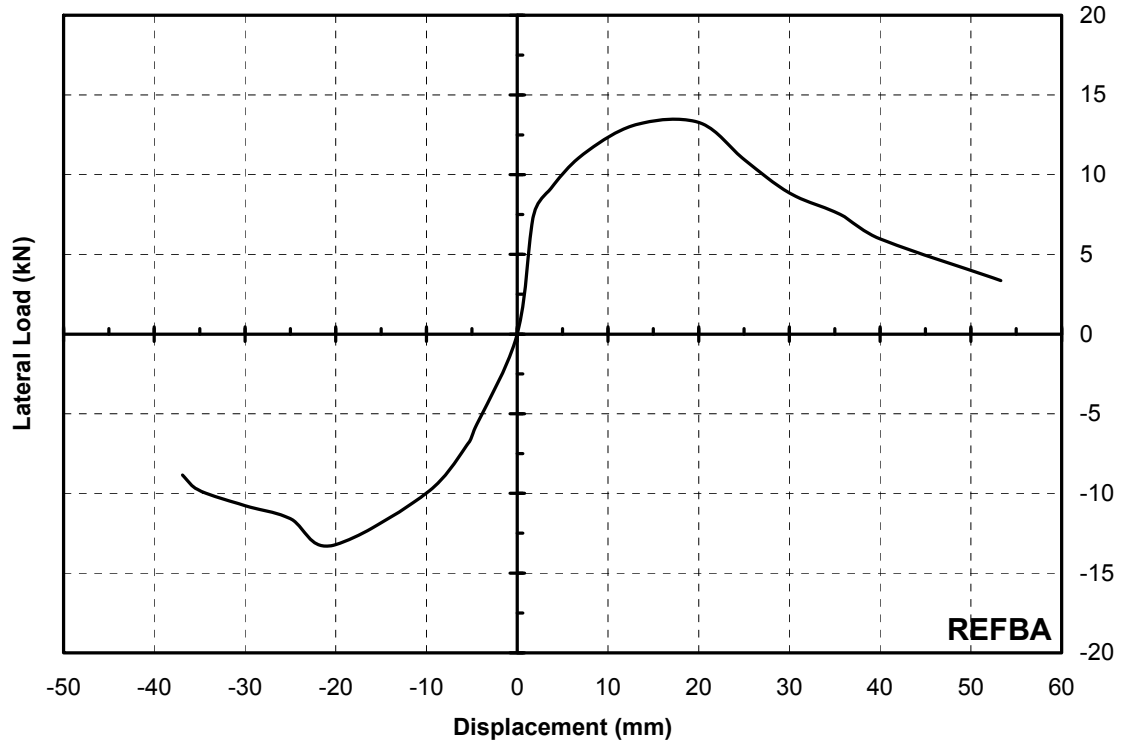
Şekil 104 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmişi Eğrisi



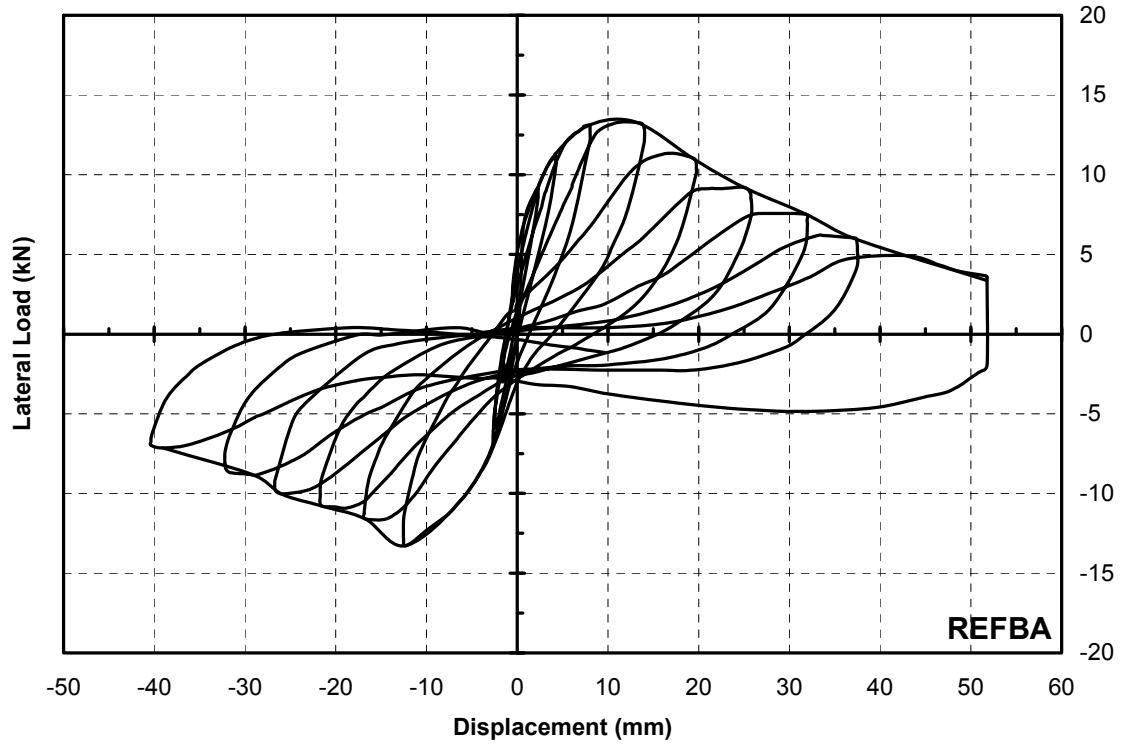
Şekil 105 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmiş Eğrisi



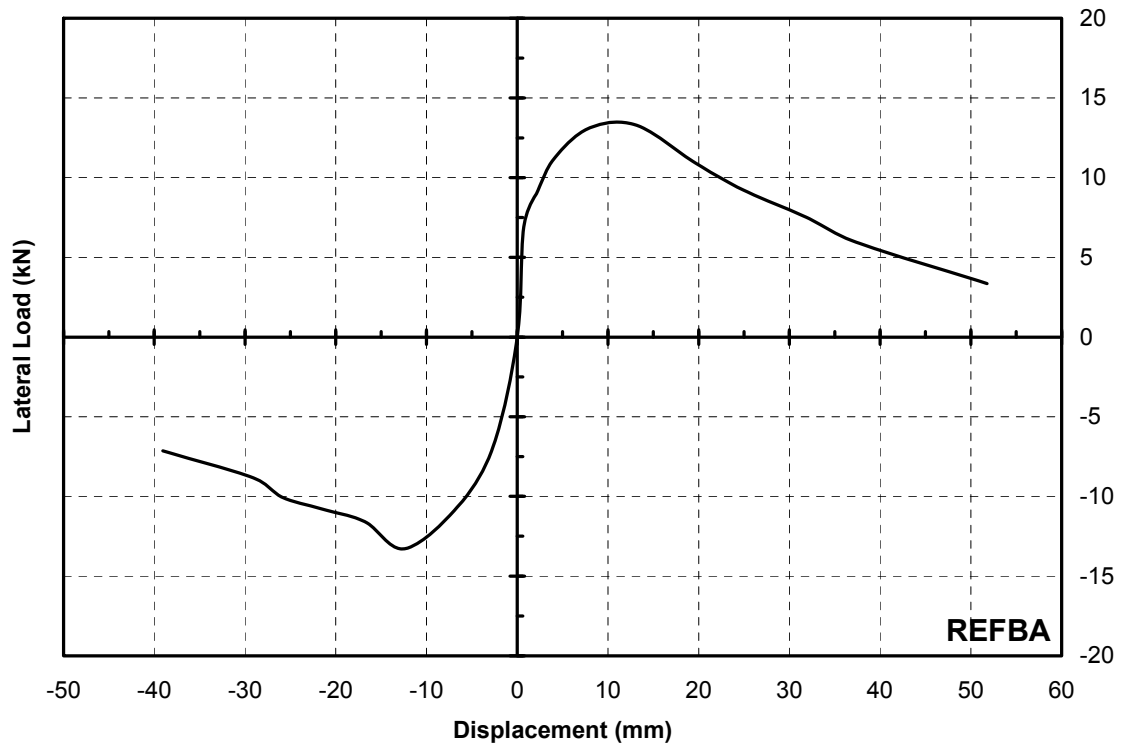
Şekil 106 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



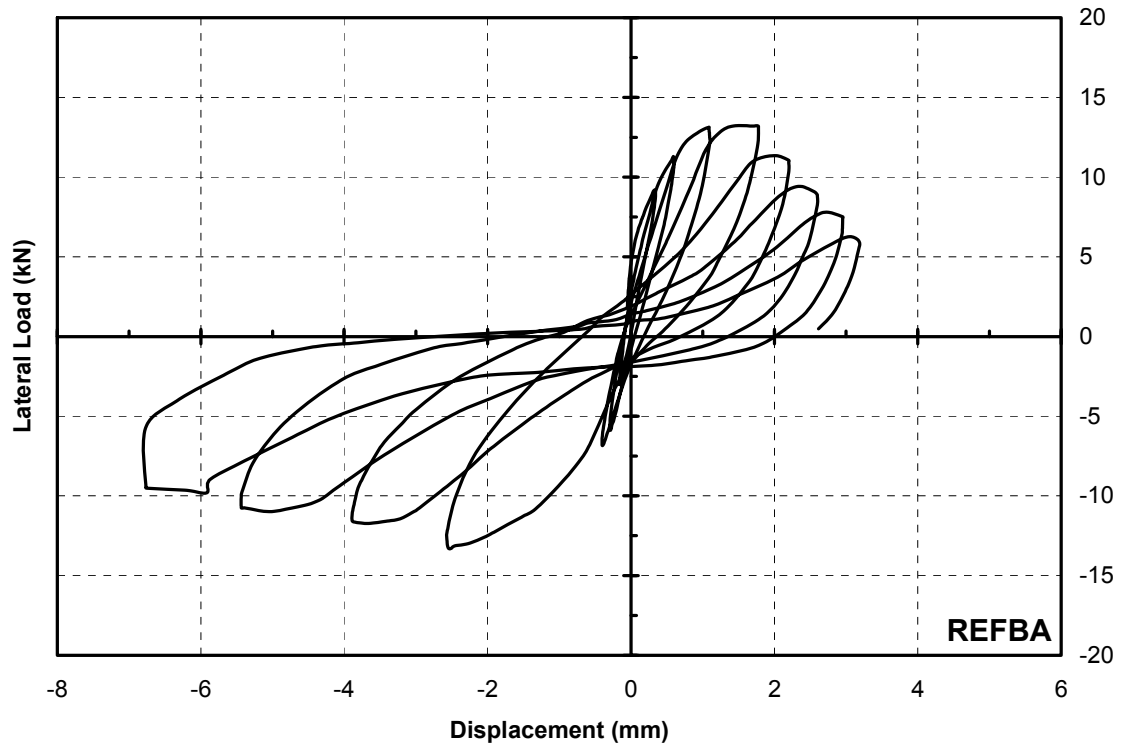
Şekil 107 TS5 (REFBA) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



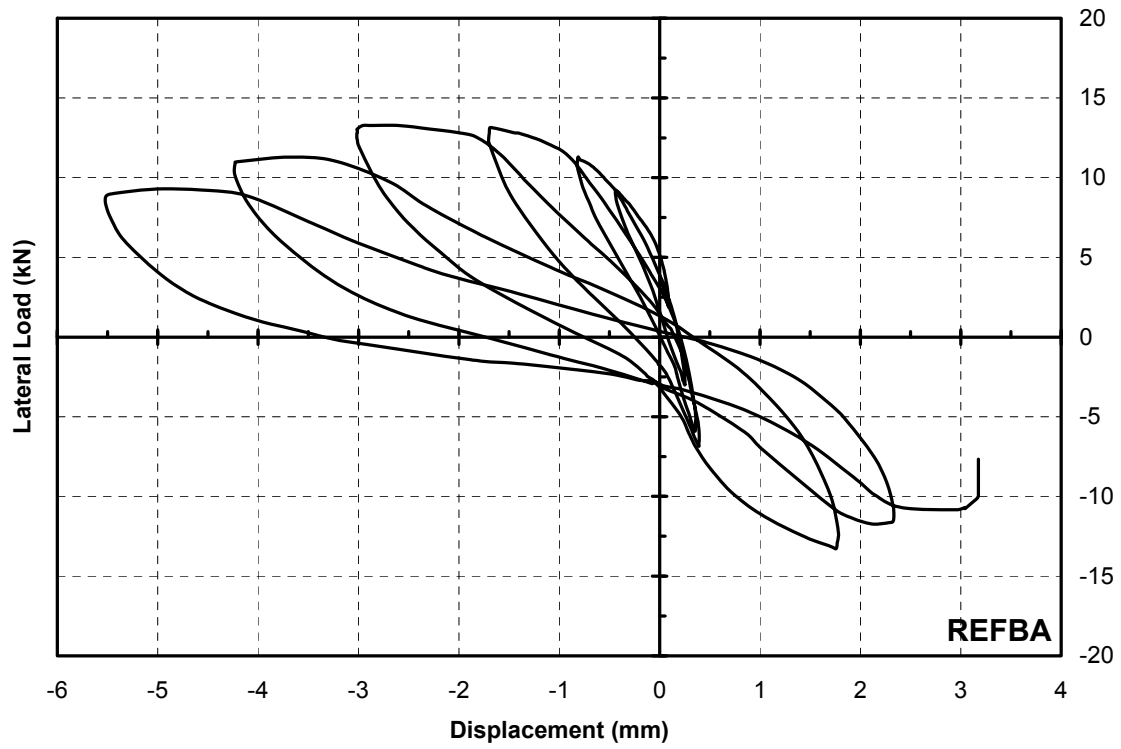
Şekil 108 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



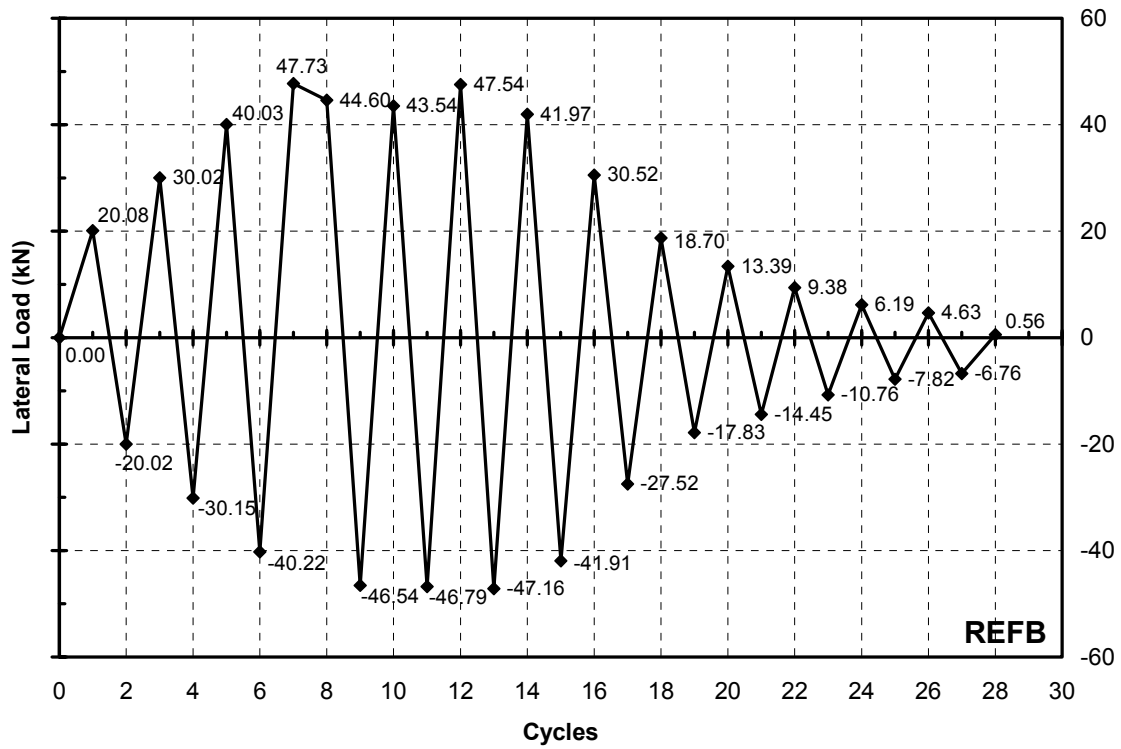
Şekil 109 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi



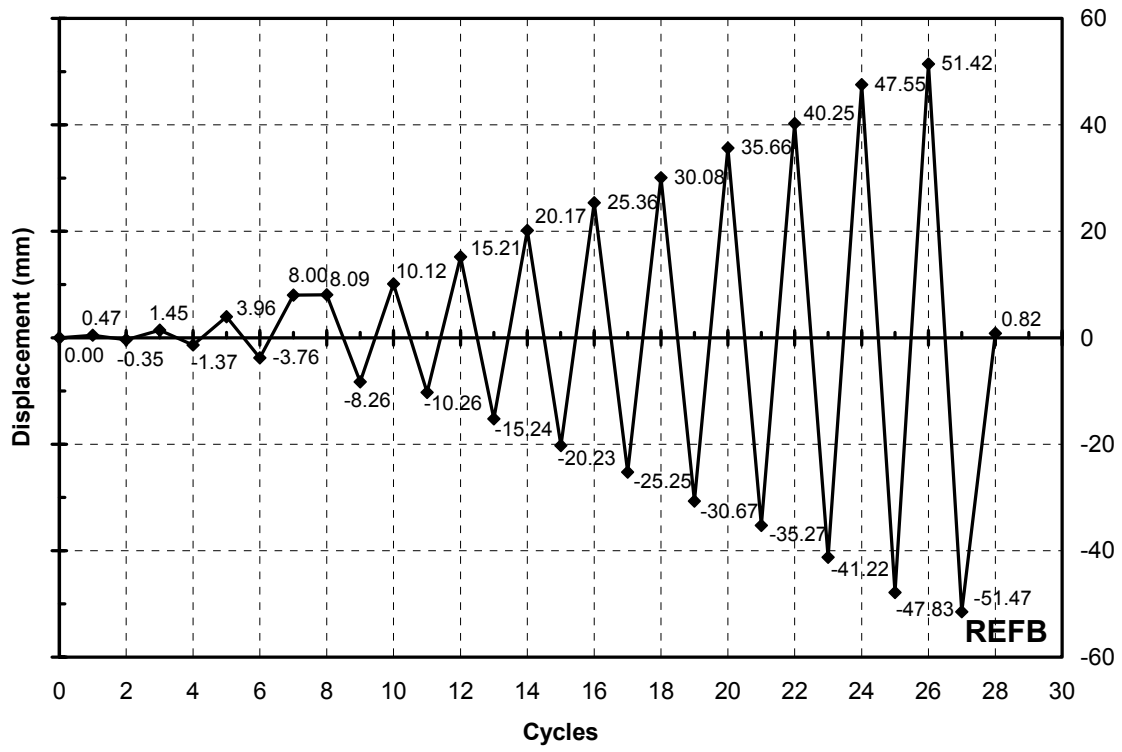
Şekil 110 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Sol Kolon Deplasman Eğrisi



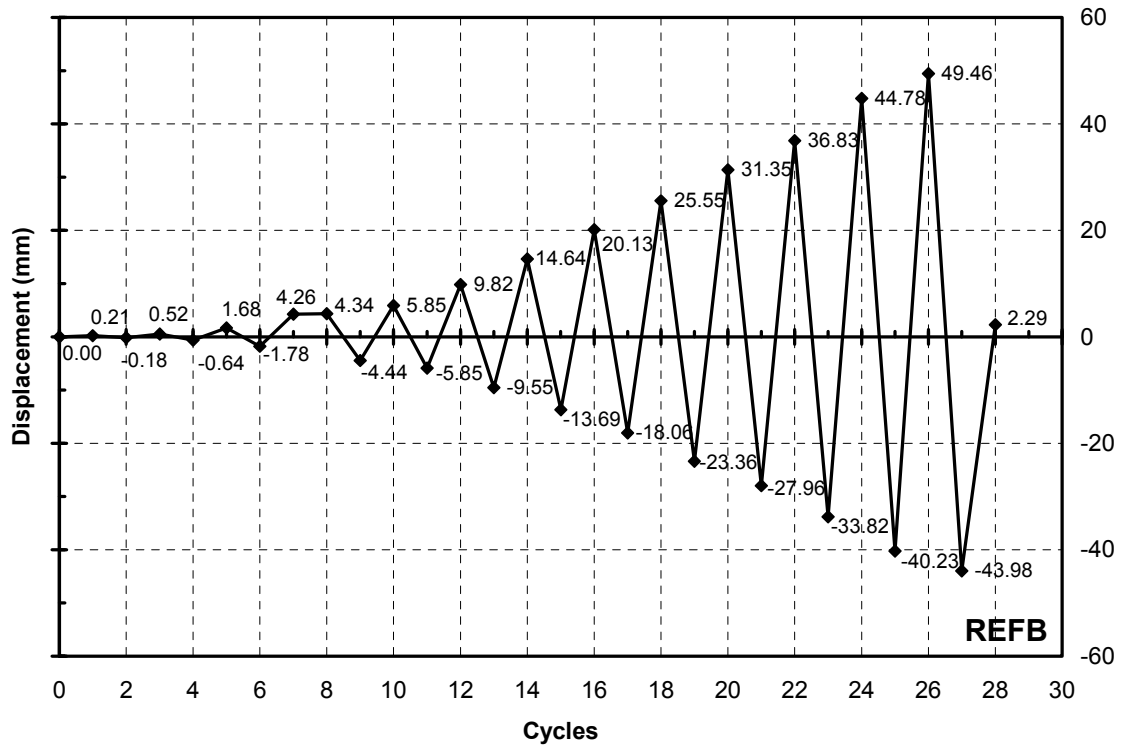
Şekil 111 TS5 (REFBA) Elemanına Ait Sağ Kolon Deplasman Eğrisi TS6-REFB



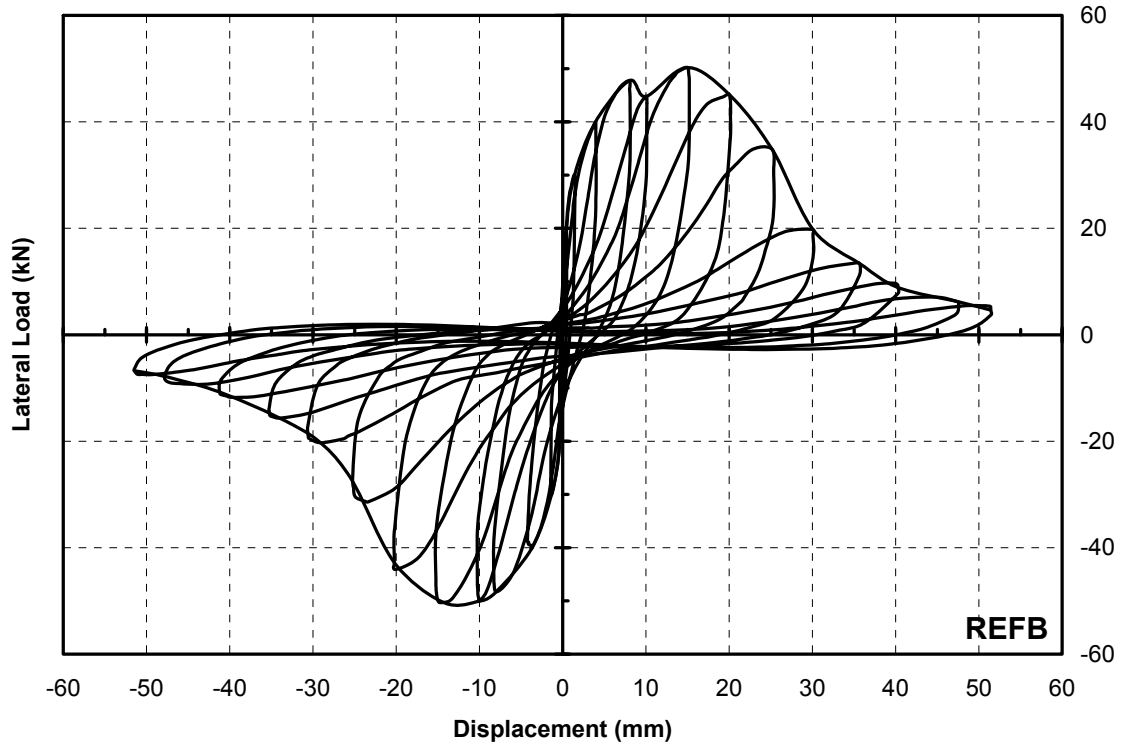
Şekil 112 TS6 (REFB) Elemanına Ait Yük Geçmişi Eğrisi



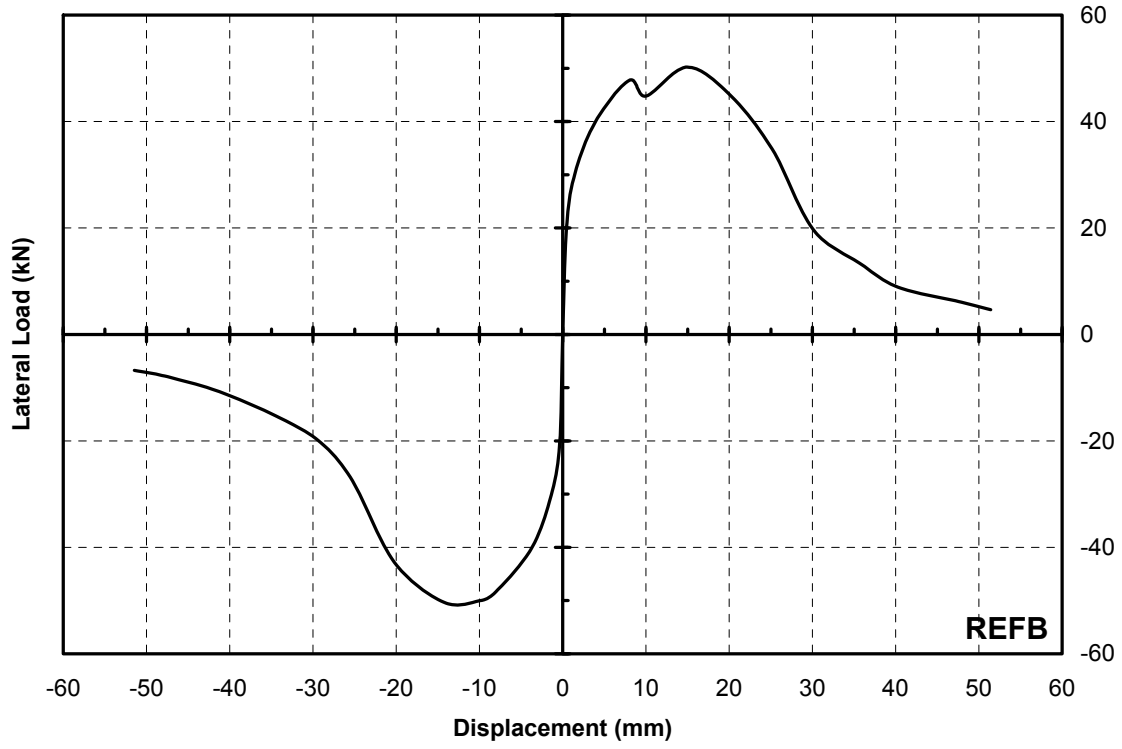
Şekil 113 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Geçmişi Eğrisi



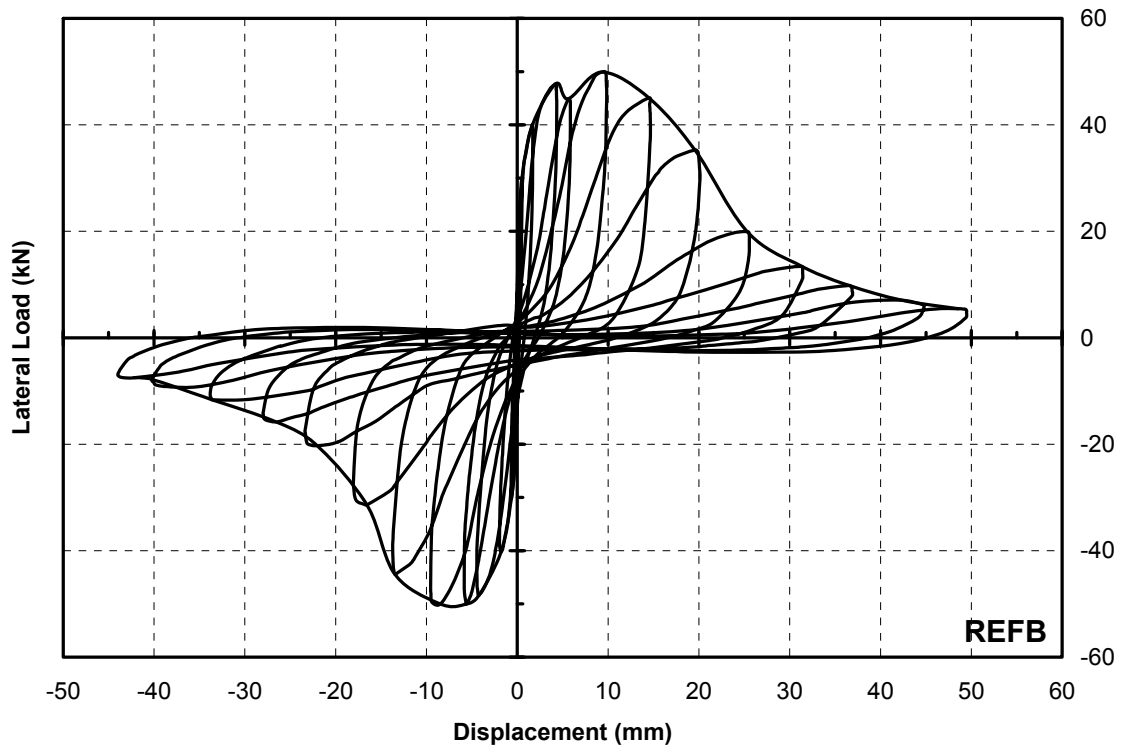
Şekil 114 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Geçmişi Eğrisi



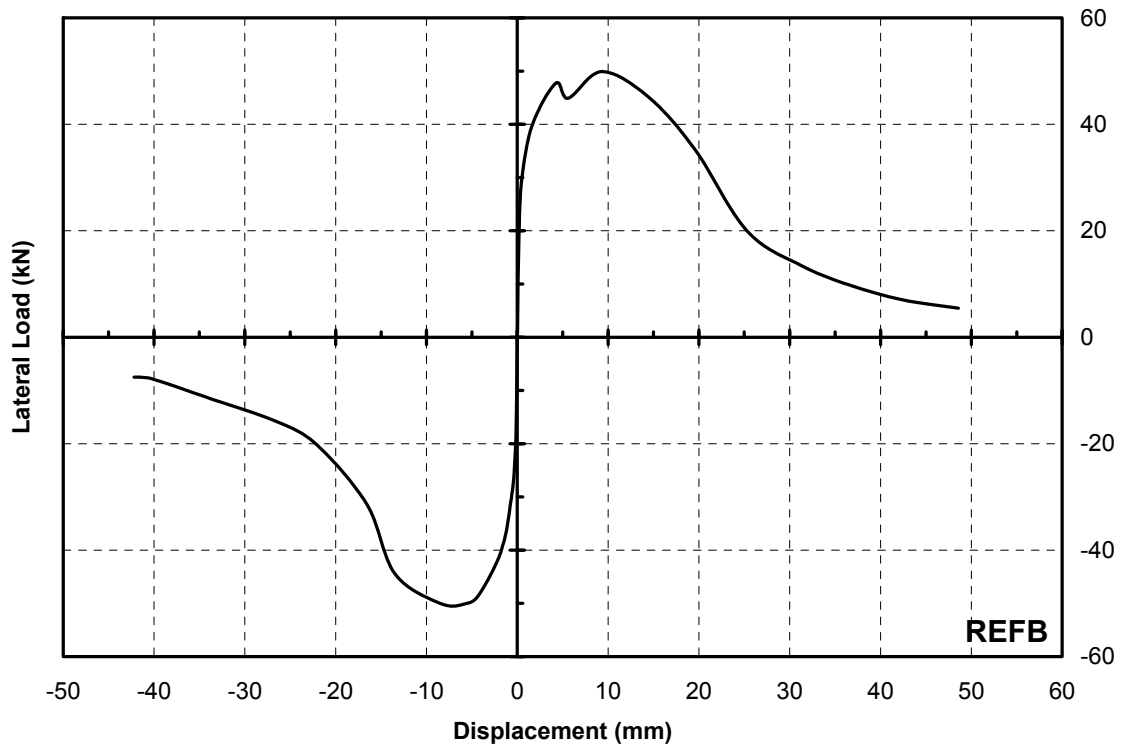
Şekil 115 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Deplasman Eğrisi



Şekil 116 TS6 (REFB) Elemanına Ait İkinci Kat Zarf Eğrisi



Şekil 117 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Deplasman Eğrisi



Şekil 118 TS6 (REFB) Elemanına Ait Birinci Kat Zarf Eğrisi

