

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

**BETONARME ÇERÇEVELERİN**  
**ÇAPRAZ ÇUBUKLAR YARDIMIYLA**  
**GÜÇLENDİRİLMESİ**

**Süleyman Kamil AKIN**  
**DOKTORA TEZİ**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

## **ÖZET**

**Doktora Tezi**

### **BETONARME ÇERÇEVELERİN ÇAPRAZ ÇUBUKLAR YARDIMIYLA GÜÇLENDİRİLMESİ**

**Süleyman Kamil AKIN**

**DOKTORA TEZİ**

**Selçuk Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd.Doç.Dr. Nail KARA**

**2006, 350 sayfa**

Jüri: Prof.Dr.M.Yaşar KALTAKCI

Prof.Dr.Ergin ATIMTAY

Prof.Dr.Kerim ÇINAR

Yrd.Doç.Dr.Nail KARA

Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAMANLI

Deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkemiz ve diğer ülkeler için deprem davranışının ve yapılarda oluşturduğu etkilerin araştırılması çok önem taşımaktadır. Dünyanın bir çok yerinde araştırmacılar yapılarda deprem etkisinin azaltılması için

projeler üretmektedirler. Ülkemizde ve dünyada depreme dayanıklı yapı tasarımı için geliştirilen modern kanun ve yönetmeliklerinden önce yapılan binaların deprem güvenliği sorgulanmakta ve çalışmalar bu yapıların güçlendirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır.

Güçlendirilecek bina sayısının fazlalığı, birçoğunun aktif olarak kullanılıyor ve olası bir depremde hasar görmesinin muhtemel olması, en ekonomik, en hızlı ve en etkili güçlendirme metotlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Deprem gibi yatay yüklerin etkisini azaltmak amacıyla yerleştirilen perde duvarların bulunmadığı yalın çerçeve sistemlerin deprem güvenliğinin artırılması amacıyla yapılan perde duvarlar ve çelik kuşaklamalar öteden beri başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle çelik kuşaklama ile güçlendirilmiş betonarme çerçeve sistemlerde, yatay yükün tamamen çelik kuşaklama tarafından taşındığı varsayılarak mevcut betonarme elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri ihmal edilmektedir. Bunun sonucu olarak, yapılan uygulamalarda kuşaklama elemanları üzerinde oluşan basınç kuvvetinin burkulmaya sebep olmaması için kesitler olabildiğince büyük seçilmekte ve sonuçta ekonomik bir çözüm olmaktan uzaklaşmaktadır.

Önerilen modelde kolon kiriş birleşim bölgesine epoksi yardımıyla ankraj yapılan, burkulma etkisinin önem arz etmediği, çekmeye çalışan çapraz çubuklar yardımıyla yanal ötelenmelerin azaltılması, rijitliğin süneklikten ödün vermeden artırılması, yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır.

Bu tür taşıyıcı sistemlerin analizinde ve boyutlandırmasında, genellikle sadece kolon ve kirişlerden oluşan yalın çerçeve sistemi esas alınır. Ancak, yapıda farklı mekanlar oluşturmak için çerçeve boşluklarının dolgu duvarla doldurulması ile elde edilen sistem, çıplak çerçeveden farklı bir dayanım ve davranış gösterir.

Yapının davranışı üzerinde önemli etkileri olan dolgu duvarlar, pratik ve genel kabul görmüş bir hesap metodunun geliştirilememiş olması nedeniyle genellikle ihmal edilmekte ve sadece yük olarak dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada, çekmeye çalışan çapraz çubukların basitçe kolon kiriş birleşim bölgesine ankrajlanması ile olarak güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında deneysel ve analitik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; deneysel bölümde, değişik yapısal özellikteki 10 adet 1/5 ölçekle modellenmiş betonarme çerçeve sistemi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında denenmiştir. Deneysel verilerin

değerlendirilmesi sonucunda, dolgu duvarlı ve çelik çapraz çubuklu çerçeve sistemlerin taşıma gücü, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri vb özellikleri ile davranışları elde edilmiştir.

Son bölümde ise, elde edilen deneysel sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiştir.

**ANAHTAR KELİME:** betonarme çerçeve, tersinir-tekrarlanır yatay yük, deprem davranışı, çerçevelerin davranışına dolgu duvar etkisi, çapraz çubuk, kuşaklama

## **ABSTRACT**

**PhD Thesis**

### **REHABILITATION OF RC FRAMES BY STEEL BRACING**

**Süleyman Kamil AKIN**

**Selcuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nail KARA**

**2006, 350 pages**

Jury: Prof.Dr.M.Yaşar KALTAKCI

Prof.Dr.Ergin ATIMTAY

Prof.Dr.Kerim ÇINAR

Yrd.Doç.Dr.Nail KARA

Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAMANLI

The structures build before the modern earthquake resistant structural design codes are insufficient to satisfy the needs of the codes. The researchers are studying for the upgrade of these structures against earthquakes.

In this study 1/ 5 scaled 10 test specimens are tested under cyclic loading. The specimens are upgraded by tension only braces in a simple way. The effect of tension only bracing, bracing with non structural infill walls are also studied.

**KEY WORDS:** reinforced concrete frames, RC frames, reversed cycling loading, earthquake behavior, bracing

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada değerli bilgi ve emeklerini esirgemeyen Danışmanım Yrd.Doç.Dr.Nail KARA'ya, bölümümüzü ve bizi daha ileriye götürmek konusunda bitmek tükenmek bilmez sabrı, enerjisi ve hoşgörüsüyle bizlere örnek olan, ufkumuzu açarak elimizden tutan Hocam Prof.Dr.M.Yaşar KALTAKCI'ya, değerli görüşleri ile daima bizleri destekleyen ve daha iyisini yapmamızı sağlayan Hocamız Prof.Dr.Ergin ATIMTAY'a, bizlerden destek ve ilgisini hiç esirgemeyen Prof.Dr.Kerim ÇINAR'a, dijital ölçüm sistemlerini laboratuvarımız bünyesine kazandırarak birçok deneyin yapılabilmesine imkan kazandıran Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAMANLI'ya, Yrd.Doç.H.Hüsnu Korkmaz'a, Dr.Günnur YAVUZ'a, Araştırma görevlileri Ülkü YILMAZ, Hakan ARSLAN, Nebi ÖZDÖNER'e ve hep desteğini hissettiğim bölüm elemanları ile fedakar eşime ve oğluma teşekkürlerimi sunarım.

## **ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR**

Bu doktora tez çalışmasına, S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü araştırma projeleri kapsamında 12.000,00 YTL maddi destek sağlamıştır.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
<b>ÖZET</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>TEŞEKKÜR</b>	v
<b>ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR</b>	vi
<b>İÇİNDEKİLER</b>	vii
<b>KULLANILAN SEMBOLLER</b>	ix
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b>	xi
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b>	xii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	16
<b>3.MATERYAL VE METOD</b>	80
3.1 Analitik ve Teorik Çalışmanın sonucunda modelin oluşturulması	80
3.2 Yükleme Çerçevesinin Oluşturulması	87
3.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması	94
3.3.1 Deney numunelerinin kesit, boyut ve donatılarının belirlenmesi	94
3.3.2 Kalıpların oluşturulması	98
3.3.3 Beton karışım hesapları ve beton dökümü	100
3.3.4 Kaldırma ve taşıma aparatlarının üretilerek ayağa kaldırılması ve yerleştirilmesi	107
3.3.5.Güçlendirilme için kullanılan çapraz çubukların yerleştirilmesi	110
Yük geçmişi grafiklerinin çizdirilmesi	
3.3.6 Duvar örülmesi ve sıva yapılması	114
<b>4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ</b>	116
4.1. Giriş	116
4.2 Deney Düzeneği	116
4.3 Ölçme Tekniği	118
4.3.1 Yük Ölçümleri	118



4.3.2.Yer Değiştirmelerin Ölçülmesi	120
4.3.3.Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması	121
4.4 Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği	122
4.5 Çerçeve deneylerinde uygulanan yükleme programı	123
4.6 Ölçümlerin değerlendirilmesi	123
4.6.1 Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin elde edilmesi	124
4.6.2 Yük-Tepe deplasmanı grafiklerinin elde edilmesi	124
4.6.3 Dayanım zarfı grafiklerinin elde edilmesi	125
4.6.4 Tüketilen enerji değerlerinin elde edilmesi	126
<b>5.DENEY SONUÇLARI</b>	127
5.1 1 Nolu Deney	129
5.2 2 Nolu Deney	147
5.3 3 Nolu Deney	167
5.4 4 Nolu Deney	187
5.5 5 Nolu Deney	206
5.6 6 Nolu Deney	227
5.7 7 Nolu Deney	248
5.8 8 Nolu Deney	269
5.9 9 Nolu Deney	290
5.10 10 Nolu Deney	312
<b>6.DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI</b>	335
<b>7.KAYNAKLAR</b>	347

## KULLANILAN SEMBOLLER

- $A$  : Brüt beton kesit alanı
- $A_{sgövde}$  : Perde duvar gövde donatı alanı
- $A_{st}$  : Çekme donatısı alanı
- $b_b$  : Kiriş enkesit genişliği
- $b_c$  : Kolon enkesit genişliği
- $b_w$  : Kiriş veya perde duvar kesit genişliği
- $d$  : Transmisyon çeliği çapı
- $E$  : Elastisite modülü
- $E_c$  : Beton elastisite modülü
- $f_c$  : Karakteristik beton basınç dayanımı
- $f_{ck,3gün}$  : 3 günlük karakteristik beton basınç dayanımı
- $f_{ck,7gün}$  : 7 günlük karakteristik beton basınç dayanımı
- $f_{ck,28gün}$  : 28 günlük karakteristik beton basınç dayanımı
- $f_{cr}$  : Çatlamış kesit beton basınç dayanımı
- $f_{ctf}$  : Betonun eğilme çekme dayanımı
- $f_{cu}$  : 28 günlük karakteristik beton çekme dayanımı
- $f_u$  : Maksimum donatı çekme dayanımı
- $f_{yk}$  : Donatı akma dayanımı
- $h$  : Kat yüksekliği
- $h_b$  : Kiriş enkesit yüksekliği
- $h_c$  : Kolon enkesit yüksekliği
- $H$  : Yatay yük ve temel seviyesi arasındaki mesafe
- $I, I_g$  : Brüt beton kesit atalet momenti
- $l_p$  : Plastik mafsal boyu
- $M$  : Moment
- $N$  : Kesite uygulanan toplam aksenal yük
- $s$  : Enine donatı aralığı

- $\Delta_{maks}$  : Maksimum kat ötelenme oranı
- $\Delta_u$  : Plastik mafsal oluştuktan sonra meydana gelen perde ötelenmesi
- $\Delta_y$  : Perde kesitinin çekmeye çalışan ucundaki donatının akmasına karşılık gelen perde ötelenmesi
- $\delta/h$  : Kat ötelenme oranı
- $\sum \delta/h$  : Kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı
- $\varepsilon$  : Birim deformasyon
- $\varepsilon_{cu}$  : Betonun ezilme birim uzaması
- $\varepsilon_{su}$  : Donatı kopma birim uzaması
- $\varepsilon_{sy}$  : Donatı akma birim uzaması
- $\phi_L$  : Etriye donatısı çapı
- $\phi$  : Donatı çapı
- $\gamma$  : Kesme şekil değiştirmesi
- $\rho$  : Çekme donatısı oranı
- $\rho_{min}$  : Minimum çekme donatısı oranı
- $\tau$  : Kayma gerilmesi

## **TABLolar LİSTESİ**

Tablo 2.1 Bina elemanları için tamir oranları

Tablo 2.2 Güçlendirme Maliyetleri

Tablo 2.3 Teorik ve Deneysel olarak bulunan R Katsayıları

Tablo 3.1. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C12 )

Tablo 3.2. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C20 )

Tablo 3.3. Deney elemanlarının ortalama karakteristik beton basınç dayanımları

Tablo 3.4 Numunelerin şematik görüntüsü

Tablo 3.5. Deney elemanlarında kullanılan donatılara ait akma ve kopma dayanım değerleri

Tablo 5.1.1. Deney Numunelerinin Kodlama Sistemi

Tablo 6.1 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

Tablo 6.2 Süneklik düzeyleri değişimi

Tablo 6.3 Enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması

Tablo 6.4 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

Tablo 6.5 Süneklik düzeyleri değişimi

Tablo 6.6 Enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması

Tablo 6.7 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

Tablo 6.8 Süneklik düzeyleri değişimi

Tablo 6.9 Enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması

Tablo 6.10 30 kN Yatay yük değerinde oluşan deplasman değerleri

Tablo 6.11 Maksimum yatay yük değerlerinde tepe deplasmanı değerleri

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yumuşak kat mekanizması

Şekil 1.2 Yumuşak kat mekanizması sonucu yıkılmış bina (İzmit 1999)

Şekil 1.3 Yumuşak kat mekanizması sonucu yıkılmış bina (İtalya 1976)

Şekil 1.4 Üst katlarda yumuşak kat davranışı

Şekil 1.5 Üst katlarda yumuşak kat davranışı (Kobe 1995)

Şekil 1.6 Üst katlarda yumuşak kat davranışı (İzmit 1999)

Şekil 1.7 Kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması

Şekil 1.8 Arkada yangın merdiveni perdesinin etkisi ile burulma etkisiyle yıkılan bina (Kobe 1995)

Şekil 1.9 Katlar arası rijitlik farkı

Şekil 1.10 İsviçre’de inşa edilen 2 adet bina (İsviçre 2001)

Şekil 1.11 Güçlü kiriş zayıf kolon sonucu oluşan hasar mekanizması

Şekil 1.12 Perdeler ile yapılan güçlendirme uygulaması

Şekil 1.13 Perdeler ile güçlendirilmiş 3 katlı bina (İsviçre 2001)

Şekil 1.14 Perdeler ile güçlendirilmiş 3 katlı bina (İsviçre 2001)

Şekil 1.15 Karbon lifler ile güçlendirme örneği

Şekil 1.16 Basınç çubuğunda hasar oluşumu

Şekil 2.1 Moment mukavemetli betonarme çerçeve yapının orjinal halinin 3-Boyutlu modeli ve Eşdeğer 2 boyutlu modeli

Şekil 2.2 Çapraz bağlantılarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli

Şekil 2.3. Kısmi perde duvarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli

Şekil 2.4 Tüm perde duvarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli

Şekil 2.5 Betonarme çerçevelerde kuşaklama uygulaması

Şekil 2.6 A tipi bağlantı elemanı

Şekil 2.7 B tipi bağlantı elemanı

Şekil 2.8 C tipi bağlantı elemanı

Şekil 2.9 Elde edilen Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 2.10 Deney Düzeneği

Şekil 2.11 Kullanılan örnek binalar

Şekil 2.12 Kullanılan kuşaklama elemanlarının şekli ve özellikleri

Şekil 2.13 Deneysel ve Teorik Taban Kesme- Deplasman Grafiği

- Şekil 2.14 X kuşaklamalı sistemler için Tepe Deplasmanı- Taban Kesme Kuvveti Grafiği
- Şekil 2.15 Knee kuşaklamalı sistemler için tepe deplasmanı- taban kesme kuvveti grafiği
- Şekil 2.16 Kuşaklamasız Çerçeveler için V Max/ V Tasarım –Tepe Deplasman Grafiği
- Şekil 2.17 X kuşaklamalı çerçeveler için V Max/ V Tasarım –Tepe Deplasman Grafiği
- Şekil 2.18 Deney numune özellikleri
- Şekil 2.19 Deney düzeneği
- Şekil 2.20 Doğal periyotlar (FIF-Sarsma tablası test numunesi, PIF- Pushover Test numunesi ve BF-Boş çerçeve için)
- Şekil 2.21 Katlar arası Deplasman Farkı
- Şekil 2.22 0,4 G için katların deplasman grafikleri
- Şekil 2.23 Katlar arası deplasman zarf eğrileri
- Şekil 2.24 Elemanların taban kesme kuvveti karşılımlarının şematik gösterimi
- Şekil 2.25 Hasar ve göçme mekanizmalarının oluşumu
- Şekil 2.26 Deney numuneleri ve deney düzeneği
- Şekil 2.27 Oluşan Hasarlar 0.2 g
- Şekil 2.28 Oluşan Hasarlar 0.4 g
- Şekil 2.29 Oluşan Hasarlar 0.6 g
- Şekil 2.30 Kullanılan Test Numuneleri
- Şekil 2.31 Test edilen 3 boyutlu betonarme çerçeve
- Şekil 2.32 HDRD bağlantı elemanları
- Şekil 2.33 HDRD için %100 kesme kuvveti altında elde edilen Yük-Deplasman Grafiği
- Şekil 2.34 Bağlantı Konfigürasyonları
- Şekil 2.35 Deney elemanı üzerinde konfigürasyonlar
- Şekil 2.36 Test Modeli
- Şekil 2.37 Bağlantı Şekilleri
- Şekil 2.38 Deney numunesinin test edilmesi
- Şekil 2.39 Çeşitli bağlantı önerileri
- Şekil 2.40 Kullanılan Sistem
- Şekil 2.41 Bağlantı Detayı
- Şekil 2.42 Alternatif bağlantı detayı
- Şekil 2.43 Betonarme ve duvar numune özellikleri
- Şekil 2.44 Numunelere ait donatı detayları

- Şekil 2.45 Güçlendirilmiş numuneler
- Şekil 2.46 Deney Düzeneği
- Şekil 2.47 Tuğla duvarlarda elde edilen Yük-Deplasman eğrileri
- Şekil 2.48 Betonarme duvarlarda elde edilen Yük-Deplasman eğrileri
- Şekil 2.50 X kuşaklamalı deney numuneleri
- Şekil 2.51 Knee kuşaklamalı deney numuneleri
- Şekil 2.52 Deney düzeneği
- Şekil 2.53 Boş numunelere ait Yük-Deplasman Grafiği
- Şekil 2.54 X kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman Grafiği
- Şekil 2.55 Knee kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman Grafiği
- Şekil 2.56 Boş ve X Kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı Yük Deplasman grafiği
- Şekil 2.57 Boş ve Knee Kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı Yük -Deplasman grafiği
- Şekil 2.58 Numunelere ait bağıl rijitlik grafiği
- Şekil 2.59 Çaprazlama çeşitleri
- Şekil 2.60 Kullanılan bağlantı elemanları
- Şekil 2.61 Plastik mafsal mekanizması
- Şekil 2.62 Binaya ait kat planları
- Şekil 2.63 Mevcut kolon ve giriş donatıları
- Şekil 2.64 Analizlerde kullanılan sistemler
- Şekil 2.65 Performans eğrileri
- Şekil 2.66 Mander (1993) tarafından kullanılan numune
- Şekil 3.1. Çerçevenin yatay deplasmanını azaltan sistem
- Şekil 3.2 Modellenen gerçek binaya ait kalıp planı
- Şekil 3.3 Analiz sonucu 2-2 aksında elde edilen yatay ve düşey yükler
- Şekil 3.4a Elemanlarda eksenel kuvvet değişimleri
- Şekil 3.4b Mesnetlerde eksenel kuvvet değişimleri
- Şekil 3.5 Mesnetlerin kesme kuvveti değişimleri
- Şekil 3.6 Mesnetlerin moment değişimleri
- Şekil 3.7 Düğüm yatay deplasmanları
- Şekil 3.8 Düğüm düşey deplasmanları
- Şekil 3.9 Düğüm noktalarının dönmesi
- Şekil 3.9 Yükleme çerçevesinin şematik görüntüsü

- Şekil 3.10 Oluşturulan yükleme çerçevesinin üstten görünüşü
- Şekil 3.11 Yükleme çerçevesinin 1-1 Kesiti
- Şekil 3.12 Yükleme çerçevesinin 2-2 Kesiti
- Şekil 3.13 Oluşturulan yükleme çerçevesi
- Şekil 3.14 Yükleme başlığı
- Şekil 3.15 Tersinir yüklemeyi sağlayan transmisyon milleri ve arka başlık
- Şekil 3.16 Yükleme sırasında sürtünme oluşturmadan çerçevenin düzlem dışına çıkmasını engelleyen makaralar
- Şekil 3.17 Eksenel yük verilmesine imkan sağlayan makara ve kablolardan oluşan sistem
- Şekil 3.18 Eksenel yük değerini kullanılan bilgisayar programına aktaran loadcell sistemi
- Şekil 3.19 Yatay hareketi engelleyen mahmuzlar
- Şekil 3.20 Numune ebatları ve düşey donatı şeması
- Şekil 3.21 Kat giriş donatıları
- Şekil 3.22 Etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları
- Şekil 3.23 Kolon-Kiriş bölgesinde devam eden etriyeler ve sıklaştırma bölgesi
- Şekil 3.24 T2 donatı düzenine sahip numunede etriyesiz kolon giriş birleşim bölgesi
- Şekil 3.25 Betonlanmaya hazır T2 donatı düzenine sahip numune
- Şekil 3.26 Üretilen kalıp kesiti
- Şekil 3.27 Üretilen kalıpların birleştirilmesi
- Şekil 3.28 Yatay konumdaki deney numunelerini kaldırma ve yatay olarak taşıma için kalıba eklenen parçalar
- Şekil 3.29 Numune temelinin yükleme çerçevesine sabitlenmesini sağlayan tij boruları
- Şekil 3.30 Kullanılan agreganın granülometrisi
- Şekil 3.31 Beton hazırlama işlemi
- Şekil 3.32 Çerçeve numunelerinin beton döküm ve yerleştirme işlemi
- Şekil 3.33 Dışarıda dökülen numunelerin kürlenmesi
- Şekil 3.34 İçeride üretilen numunelerin kürlenme işlemi
- Şekil 3.35 Deney numunelerin yatay konumdan düşey konuma getirilmesi
- Şekil 3.36 Deney numunelerinin taşınması için imal edilen vinç
- Şekil 3.37 Profiller yardımıyla çerçevenin bağlanması
- Şekil 3.38 Çerçevenin düşey konuma getirilmesi için kullanılan aparat
- Şekil 3.39 Deney sonrası numunenin dışarı alınması
- Şekil 3.40 Kullanılan çaprazlama detayı



- Şekil 3.41 Epoksi enjeksiyonu
- Şekil 3.42 Çapraz filizlerinin yerleştirilmesi
- Şekil 3.43 Çapraz filizlerinin sabitlenmesi
- Şekil 3.44 Çapraz filizlerinin gerdirilmesi
- Şekil 3.45 Çaprazlar çubukların kaynaklanması
- Şekil 3.46 Tuğla duvar örülmesi
- Şekil 3.47 Örülmüş tuğla duvar
- Şekil 3.48 Sıva yapılması
- Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan yatay yük ölçüm düzeneği
- Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan düşey yük ölçüm düzeneği
- Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan düzenek ve yükleme sistemi
- Şekil 4.4 Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği
- Şekil 4.5 Deney numuneleri için deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği
- Şekil 4.6 Deney numuneleri için uygulanan yükleme programı
- Şekil 4.7 LVDT ölçüm yerleri
- Şekil 4.8 Toplam tüketilen enerji grafiği değerlerinin hesaplanması
- Şekil 5.1.1 Betonarme çerçeve deney numunelerindeki elemanların numaralandırılması
- Şekil 5.1.2. 01DT1C20HKHD numunesinin deney öncesi görünümü
- Şekil 5.1.3. Deney numunesinde ilk oluşan çatlaklar
- Şekil 5.1.4. Numunenin deney sonundaki görüntüsü
- Şekil 5.1.5. Mesnetlerde ve zemin kat kolon uçlarında oluşan mafsallar
- Şekil 5.1.6. 1 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma
- Şekil 5.1.7. 1 nolu deney numunesinin pilye kırım bölgesinde meydana gelen çatlama (6), giriş ve kolon üst ucunda hasar, S14 kolon donatısında burkulma
- Şekil 5.1.8. 1 nolu deney numunesi 2.kat S21 kolonunun üst ve alt düğümleri
- Şekil 5.1.9. 1 nolu deney numunesi zemin kat kolon – temel birleşiminde mafsallaşma
- Şekil 5.1.10 1 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
- Şekil 5.1.11. 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği
- Şekil 5.1.12. 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği
- Şekil 5.1.13 1 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği
- Şekil 5.1.14 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.1.15 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği  
Şekil 5.1.16 1 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.1.17 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.1.18 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.1.19 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat ötelenme oranı grafikleri  
Şekil 5.2.1 02DT2C12HKHD numunesinin deney öncesi görünümü  
Şekil 5.2.2 2 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar  
Şekil 5.2.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü  
Şekil 5.2.4 Deney sonunda etriye olmamasından ötürü parçalanmış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi  
Şekil 5.2.5 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar  
Şekil 5.2.6 2 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma , burkulma ve etriye çözülmü  
Şekil 5.2.7 2 nolu deney çerçevesinde burkulma  
Şekil 5.2.8 2 nolu deney numunesi S12 ve S 13 orta kolon kiriş birleşimleri ve düğümlerde X çatlakları ile çözülmüş etriyeler  
Şekil 5.2.9 2 nolu deney numunesi S11 ve S14 kenar kolon kiriş birleşimleri  
Şekil 5.2.10. 2 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı grafiği  
Şekil 5.2.11 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği  
Şekil 5.2.12 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği  
Şekil 5.2.13 2 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği  
Şekil 5.2.14 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği zarf eğrisi  
Şekil 5.2.15 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği zarf eğrisi  
Şekil 5.2.16 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.2.17 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.2.18 2 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.2.19 2 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2.,3. kat deplasmanı grafikleri  
Şekil 5.3.1 03DT2C12OKHD numunesinin deney öncesi görünümü  
Şekil 5.3.2 Numunenin deney sırasındaki görüntüsü  
Şekil 5.3.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü  
Şekil 5.3.4 Deney sonunda parçalanmış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi ve kopmuş kolon donatısı  
Şekil 5.3.5 Mesnetlerin ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar  
Şekil 5.3.6 3 nolu deney numunesinin kenar kolon üstünde mafsallaşma başlangıcı

Şekil 5.3.7 3 nolu deney numunesinin orta açıklık kolon kiriş birleşimi

Şekil 5.3.8 3 nolu deney numunesi orta ve kenar kolon tabanlarında basınç ezilmesi

Şekil 5.3.9 3 nolu deney numunesi zemin kat kolon üstlerinde mafsallaşmalar ve basınç ve çekmeye çalışan çaprazlar

Şekil 5.3.10 3 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.3.11 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.3.12 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

Şekil 5.3.13 3 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.3.14 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.3.15 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.3.16 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.3.17 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.3.18 3 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.3.19 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1., 2. ve 3. kat deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 5.4.1 04DT2C12KKHD numunesinin deney öncesi görünümü

Şekil 5.4.2 4 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

Şekil 5.4.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

Şekil 5.4.4 Deney sonunda etriye olmamasına rağmen parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi

Şekil 5.4.5 Sıyrılmaya başlamış çapraz çubuklar

Şekil 5.4.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.4.7 4 nolu deney numunesi orta ve kenar kolon kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

Şekil 5.4.8 4 nolu deney çerçevesi sağ kolon altında mafsal oluşumu

Şekil 5.4.9 4 nolu deney numunesi orta kolon alt ucunda ezilme ve çapraz sıyrılması

Şekil 5.4.10 4 nolu deney numunesi S11 ve S14 kenar kolonlarında kesme çatlakları

Şekil 5.4.11 4 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.2.12 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.4.13 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği

Şekil 5.4.14 4 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.4.15 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.4.16 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.4.17 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.4.18 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.4.19 4 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.4.20 Yatay yük – 1.,2. ve 3. kat deplasmanlarının karşılaştırılması  
Şekil 5.5.1 05DT1C12OKHD numunesinin deney öncesi görünümü  
Şekil 5.5.2 5 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar  
Şekil 5.5.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü  
Şekil 5.5.4a Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi  
Şekil 5.5.4b Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi  
Şekil 5.5.5 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar  
Şekil 5.5.6 5 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma  
Şekil 5.5.7 5 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon kiriş birleşimleri  
Şekil 5.5.8 5 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması  
Şekil 5.5.9 5 nolu deney numunesinde çalışan kuşaklamalar  
Şekil 5.5.10 5 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği  
Şekil 5.5.11 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği  
Şekil 5.5.12 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği  
Şekil 5.5.13 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği  
Şekil 5.5.14 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği  
Şekil 5.5.15 5 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği  
Şekil 5.5.16 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.5.17 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.5.18 5 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği  
Şekil 5.5.19 5 nolu deney numunesi için yatay yük-1.,2. ve 3. kat deplasmanlarının karşılaştırılması  
Şekil 5.6.1 06DT1C12KKHD numunesinin deney öncesi görünümü  
Şekil 5.6.2 6 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar  
Şekil 5.6.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü  
Şekil 5.6.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi  
Şekil 5.6.5 6 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma (Çapraz kesme çatlakları

oluşmamıştır)

Şekil 5.6.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.6.7 6 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu

Şekil 5.6.8 6 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon giriş birleşimleri

Şekil 5.6.9 6 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması

Şekil 5.6.10 6 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar

Şekil 5.6.11 6 nolu deney numunesinde alt katta sıyrılmış fakat üst katta çalışmaya devam eden kuşaklamalar

Şekil 5.6.12 Kolon tabanında ezilmeler

Şekil 5.6.13 6 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.6.14 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.6.15 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

Şekil 5.6.16 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.6.17 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.6.18 6 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.6.19 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.6.20 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.6.21 6 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.6.22 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1., 2. ve 3. Kat deplasmanları zarf eğrisi grafikleri

Şekil 5.7.1 07DT1C12TKHD numunesinin deney öncesi görünümü

Şekil 5.7.2 7 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

Şekil 5.7.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

Şekil 5.7.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon giriş birleşim bölgesi

Şekil 5.7.5 7 nolu deney numunesinin orta kolon giriş birleşimleri (Çapraz kesme çatlakları oluşmamıştır)

Şekil 5.7.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.7.7 7 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu

Şekil 5.7.8 7 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon giriş birleşimleri

Şekil 5.7.9 7 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması

Şekil 5.7.10 7 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar

Şekil 5.7.11 7 nolu deney numunesinde kolon ile temel arasında açılma

Şekil 5.7.12 Kolon tabanında ezilmeler

Şekil 5.7.13 7 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.7.14 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.7.15 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

Şekil 5.7.16 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.7.17 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.7.18 7 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.7.19 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.7.20 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.7.21 7 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.8.22 7 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2. ve 3 kat deplasmanları zarf eğrisi grafikleri

5.8.1 Şekil 08DT2C12TKHD numunesinin deney öncesi görünümü

Şekil 5.8.2 8 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

Şekil 5.8.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

Şekil 5.8.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmamasından ötürü parçalanmış kenar kolon giriş birleşim bölgesi

Şekil 5.8.5 8 nolu deney numunesinin orta kolon giriş birleşimleri

Şekil 5.8.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.8.7 8 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu

Şekil 5.8.8 8 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon giriş birleşimleri

Şekil 5.8.9 8 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması

Şekil 5.8.10 8 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar

Şekil 5.8.11 8 nolu deney numunesinde 2.kat girişlerinde hasar oluşumu

Şekil 5.8.12 Kolon tabanında ezilmeler

Şekil 5.8.13 8 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.8.14 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.8.15 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

Şekil 5.8.16 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.8.17 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.8.18 8 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.8.19 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.8.20 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.8.21 8 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.8.22 8 nolu deney numunesine ait yatay yük-1., 2. ve 3.kat deplasmanları zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.9.1 09DT2C12OKOD numunesinin deney öncesi görünümü

Şekil 5.9.2 9 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

Şekil 5.9.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

Şekil 5.9.4 Sol açıklıkta hasar mekanizması

Şekil 5.9.5 Sağ açıklıkta hasar oluşumu

Şekil 5.9.6 Orta açıklıkta bulunan dolgu duvarda hasar oluşumu

Şekil 5.9.7 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.9.8 Orta kat kirişlerinde kesme hasarı

Şekil 5.9.9 Kolon altında ezilme

Şekil 5.9.10 9 nolu deney numunesinde ilk kat dış kolon kiriş birleşiminde hasar oluşumu

Şekil 5.9.11 Duvara saplanan üst kat kiriş ucunda hasar

Şekil 5.9.12 Kolon tabanında ezilmeler ve ayrılmış dolgu duvar

Şekil 5.9.13 9 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.9.14 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.9.15 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

Şekil 5.9.16 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.9.17 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.9.18 9 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.9.19 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.9.20 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.9.21 9 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.9.22 9 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2.,3. kat deplasmanları dayanım zarfı grafikleri

Şekil 5.10.1 10DT2C12KKKD numunesinin deney öncesi görünümü

Şekil 5.10.2 10 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

Şekil 5.10.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

Şekil 5.10.4 Deney sonunda ezilmiş duvar ve kolon

Şekil 5.10.5 Eğilme ve kesme hasarına uğrayan ara kat kirişi

Şekil 5.10.6 Dolgu duvarda X çatlakları ve kolonlarda çekme çatlakları

Şekil 5.10.7a Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Şekil 5.10.7b Deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu

Şekil 5.10.8 Dolgu duvarda hasar oluşumu

Şekil 5.10.9 Deney numunesinde dolgu duvar hasarı

Şekil 5.10.10 10 nolu deney numunesinde orta kirişlerde hasar oluşumu

Şekil 5.10.11 10 nolu deney numunesinde dış kolon tabanında ezilme

Şekil 5.10.12 Ayrılmış duvar ve kolon

Şekil 5.10.13 10 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

Şekil 5.10.14 10 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

Şekil 5.10.15 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği

Şekil 5.10.16 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.10.17 10 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.10.18 10 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

Şekil 5.10.19 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.10.20 10 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.10.21 10 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

Şekil 5.10.22 10 nolu deney numunesine ait yatay yük-1., 2. ve 3.kat deplasmanları zarf eğrisi grafiği

Şekil 6.1 Referans numunelerin karşılaştırılması

Şekil 6.2 Yetersiz donatı düzenine sahip numunelerde dayanım zarfı grafikleri

Şekil 6.3 ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılmış numunelerde dayanım zarfı grafikleri

Şekil 6.4 ABYYHY 1998 hükümlerine göre eksik donatılmış kuşaklamalı numunelerde dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız dayanım zarfı grafikleri



## 1. GİRİŞ

Betonarme yapıların düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşıması gerekir. Bina türü yapılarda ölü ve hareketli yükler düşey yükleri oluştururken rüzgar ve özellikle deprem etkileri en önemli yatay yükleri oluştururlar.

Taşıyıcı sistemler inşaat safhasının en başından itibaren kendi ağırlıkları yanı sıra döşeme, sıva, duvar yükleri gibi sabit yükleri taşımaya başlarlar. Hareketli yüklerde zamanla artan ve binanın kullanım amacı değişmediği sürece belli değerler içerisinde ölü yükler gibi sabit kabul edilebilecek yüklerdir. Yüklemin değerinin yavaşça artmasından ötürü oluşacak hasarlar önceden ve kolayca tespit edilerek gerekli tedbirler alınabilir.

Diğer taraftan deprem doğal afetler içerisinde herhangi bir uyarı göstermeksizin meydana gelmesi , süresi ve etkisinin kestirilememesi ve dinamik bir kuvvet olması açısından kendine has bir özelliğe sahiptir. Daha önce herhangi bir yatay yük etkisi altında bulunmamış olan taşıyıcı sistem kısa bir zamanda önemli bir yatay yük etkisi altına girer. Taşıyıcı sistem kusurları çok kısa sürede ortaya çıkar ve tedbir almak imkansızdır. Güvenilir bir uyarı sisteminin de mevcut olmaması, yapıların deprem etkilerine dayanıklı olarak tasarlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dünyada her gün birçoğu ancak aletler yardımıyla ölçülebilen irili ufaklı yüzlerce deprem meydana gelmektedir. Bu depremlerin yapılar üzerine etkisi

olmamakla beraber oluşan şiddetli depremlerde yapılarda oluşan hasarlar sonucunda meydana gelen can ve mal kayıpları, tüm dünyada deprem hareketinin yapılar üzerindeki etkileri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Depreme karşı dayanımın yapıların tasarımında vazgeçilmez olduğu düşüncesi 1920-1930'lara kadar uzanmaktadır. Sayısal ölçüm noksanlarının da sonucu olarak, yakın tarihlere kadar deprem etkisinin, yapı ağırlığının %10'u kadar bir yatay yük olduğu kabul edilmiştir.

Sonraki yıllarda deprem hareketinin yapılar üzerinde oluşturduğu etkilerin daha iyi anlaşılması, sayısal bilgilerin artması ve bilgisayarlar yardımıyla daha gerçekçi yük kabulleri yapılmaya başlamıştır. Bunun yanı sıra depremlerin verdiği dersler sonucunda bir kesitin yeterli eğilme momenti dayanımının bulunmamasının taşıyıcı sistemi bozmaması koşuluyla yapıyı her zaman ağır hasara ve göçmeye götürmediği belirlenmiştir. Bunun yanında kesme kuvveti etkisinin karşılanamamasından ortaya çıkan elastik ötesi şekil değiştirmelerin önemli hasara sebep olduğu belirlenmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesi şeklindedir. Bunun yanı sıra taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmelerin sınırlandırarak yeterli rijitliğin oluşturulması da en az süneklik kadar önemlidir.

Verilen bir depremde yapının tamamen elastik davranış gösterdiği kabul edilmesi durumunda, yönetmeliklerde öngörülen yüklerin kullanılmasına göre 3 ile 6 kat arasında değişen kesit etkileri ve yer değiştirmeler meydana gelir. Bunun sonucu olarak yapılan incelemeler, dikkatleri dayanımdan elastik ötesi davranışa kaydırmıştır. Taşıyıcı sistemin elastik ötesi yer değiştirmelerinin büyük olması veya

sünek olması ile deprem enerjisinin sönmülenebileceği ve elemanlar arasında oluşacak yardımlaşma sayesinde daha büyük deprem etkilerinin karşılanabileceği öne çıkmıştır. Diğer taraftan elastik ötesi yer değiştirmeler her zaman kolayca güvenilecek bir özellik olmamakta, yerine göre bir kısmı süneklik sağlarken bir kısmı da meydana gelen aşırı ikinci mertebe etkileri nedeniyle sistemin göçmesine sebep olmaktadır.

Yatay kuvvetler altında yapıdaki yer değiştirmelerin hesabı yanal rijitliğin belirlenmesine bağlıdır. Brüt eleman kesitlerinden ve betonun başlangıç elastisite modülünden hareket edildiğinde bulunacak rijitlik yatay yükün çok küçük değerleri için geçerli olur. Kullanılabilirlik sınır durumundaki rijitlik için, betonun çatlamaşının göz önüne alınması gerekir. Yatay yüklerin artması ile donatıda akma ve donatı ile betonda doğrusal olmayan davranışın hakim duruma geçmesi, rijitliğı daha da azaltacaktır.

Rijitliğin artırılması ile katların birbirine göre olan rölatif yatay ötelenmesi sınırlandırılarak, taşıyıcı sisteme göre daha gevrek davranış gösteren taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşacak hasarlar sınırlandırılabilir. Yüksek yapılarda düşey yüklerin ikincil mertebe etkilerinin azaltılması yada sınırlandırılması için yer değiştirmelerin sınırlandırılması da ancak rijitliğin artırılması ile mümkün olur.

Yapıda büyük hasarların ve tümenden göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yer değiştirmelerde de devam ettirebilmesi ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin elastik ötesi davranışta da, şekil ve yer değiştirmeler artarken, dayanımın önemli bir kısmını sürdürme özelliğı süneklik olarak isimlendirilir. Sünek

kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemde enerji söndürebilme özelliğini de içerir.

Depremde en büyük hasar nedeni olarak sistem sünekliğin sağlanamaması olarak gözlenmektedir.

ABYYHY 1997 yapıları Süneklik düzeyi normal ve süneklik düzeyi yüksek olmak üzere 2 ayrı gruba ayırmıştır.

Sistemin süneklik düzeyinin yüksek olabilmesi için;

1. Kolon ve kirişlerde sık etriye düzeninin kullanılarak, betonun hem dayanımını ve hem de sünekliği artırılmalıdır.
2. Betonarme elemanlarda sünek güç tükenmesinin gevrek olandan daha önce ortaya çıkması sağlanmalıdır. Örneğin, kiriş ve kolon gibi elemanlarda ve birleşim bölgelerinde gevrek güç tükenmesini ortaya çıkaran kesme kuvveti kapasitesinin, sünek güç tükenmesini ortaya çıkaran eğilme momenti kapasitesinden daha yüksek tutulması gibi.

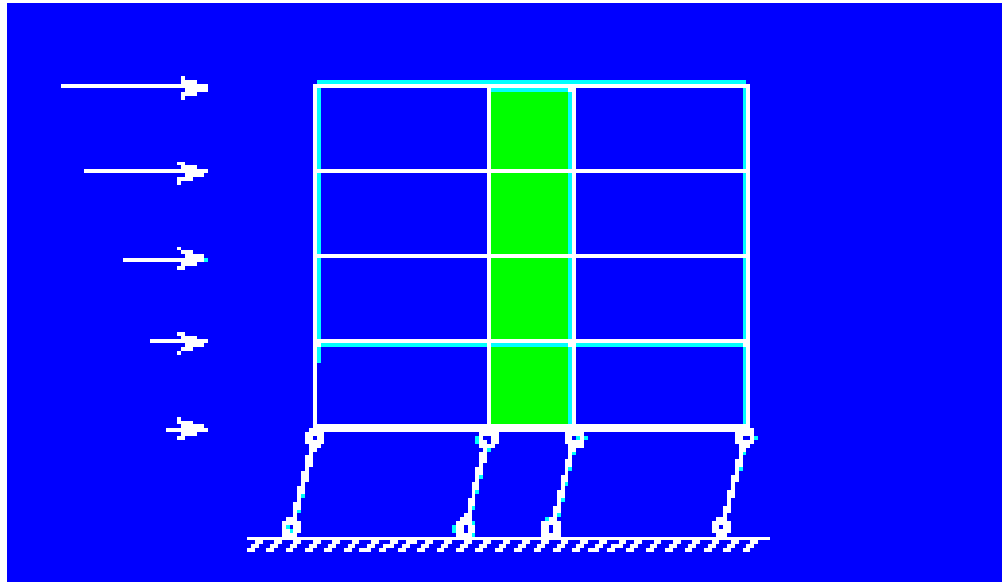
Yalnızca Türkiye’de değil tüm dünyada esas sorun yukarıda verilmeye çalışılan ana fikir etrafında oluşturulan depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili yönetmeliklerden önce inşa edilen binaların durumudur.

Bu tür binaların toplam binalar içindeki payı Türkiye için % 90-95 olarak düşünölmektedir. Diğer gelişmiş ölkeler içinse durum çok daha iç açıcı değildir. Bu ölkelerde de bu tür yapılar büyük çoğunluğu oluşturmaktadır.

Araştırmacılar ve mühendisler çalışmalarını bu tür halen kullanımda ve ayakta olan binaların yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılması üzerine yoğunlaştırmışlardır. Deprem etkisinin binalarda oluşturduğu hasarları sınıflandırmak gerekirse;

- Yumuşak kat mekanizması;

Deprem etkisi altında alt kat kolonlarının her iki ucunda oluşan mafsallar sonucu binanın toptan yıkılması yada ağır hasar görmesine sebep olur.



Şekil 1.1 Yumuşak kat mekanizması

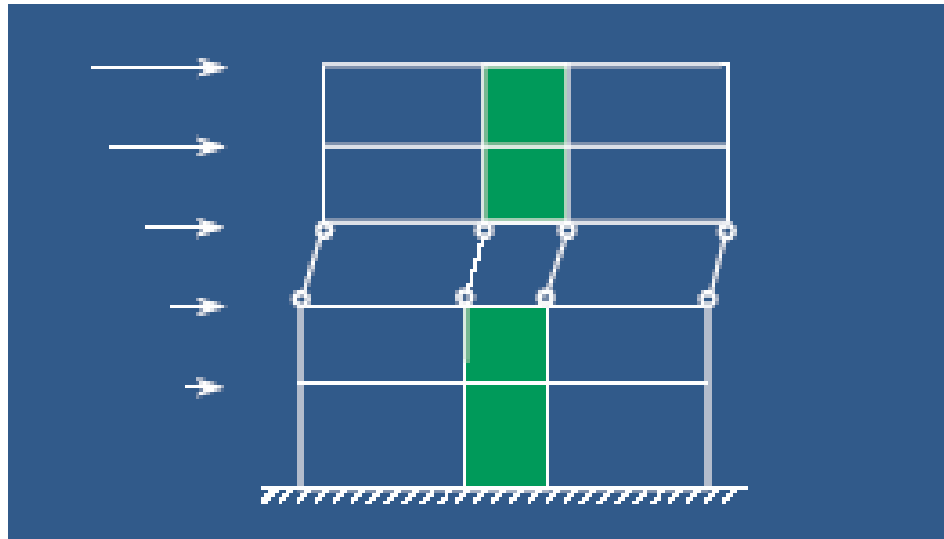


Şekil 1.2 Yumuşak kat mekanizması sonucu yıkılmış bina (İzmit 1999)



Şekil 1.3 Yumuşak kat mekanizması sonucu yıkılmış bina (İtalya 1976)

- Üst katlarda yumuşak kat davranışı;



Şekil 1.4 Üst katlarda yumuşak kat davranışı

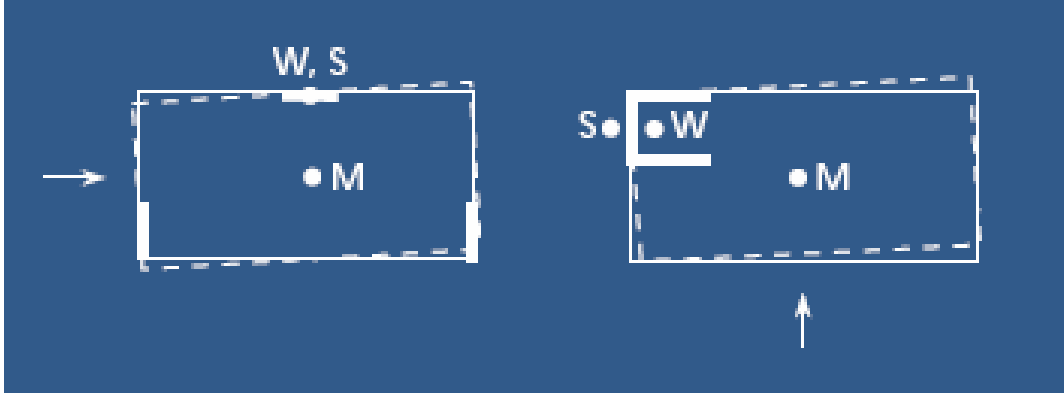


Şekil 1.5 Üst katlarda yumuşak kat davranışı (Kobe 1995)



Şekil 1.6 Üst katlarda yumuşak kat davranışı (İzmit 1999)

- Rijitlik ve kütle merkezinin çakışmaması yada birbirlerinden çok uzak olması;



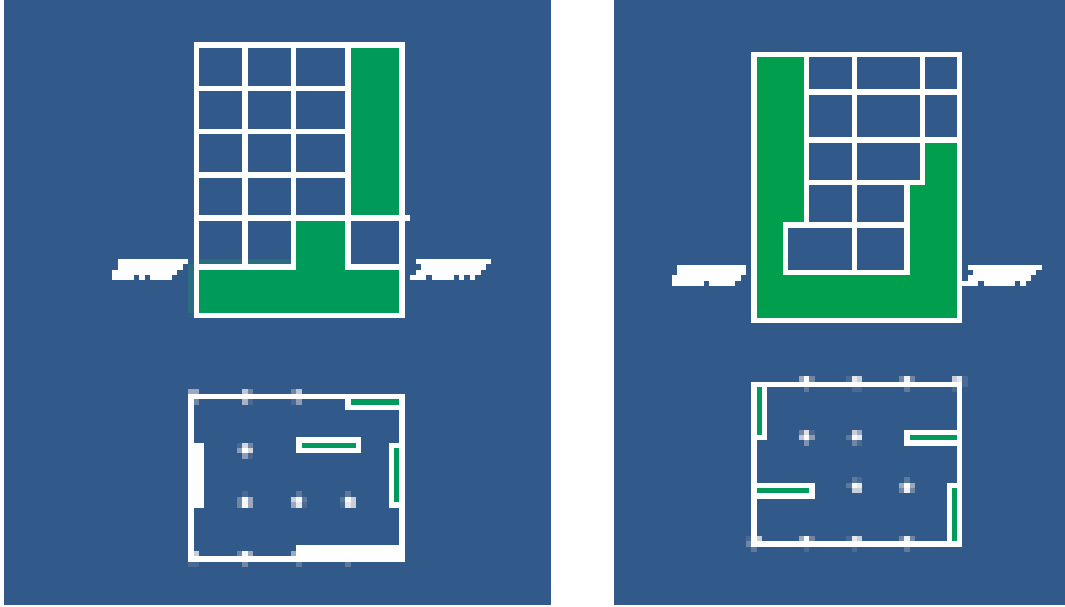
Şekil 1.7 Kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması



Şekil 1.8 Arkada yangın merdiveni perdesinin etkisi ile burulma etkisiyle yıkılan bina (Kobe 1995)



- Katlar arasında rijitlik farkı bulunması;



Şekil 1.9 Katlar arası rijitlik farkı



Şekil 1.10 İsviçre’de inşa edilen 2 adet bina (İsviçre 2001)

- Kirişlerin kolonlardan güçlü olması;

Yapıda kirişlerin eğilme kapasitesi kolonlardan güçlü olmamalıdır, çünkü bu durumda kiriş uçlarında oluşmasını istediğimiz ve beklediğimiz mafsallar, kolon içinde oluşacak ve düğümün parçalanmasıyla taşıyıcı sistemin düşey yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde azalarak bina göçmeye doğru gidecektir. Eski yapılarda yalnızca düşey yükler altında hesap yapılması sonucunda çoğunlukla kirişler kolonlardan daha güçlüdür. Bu durum takviye çalışmalarında titizlikle incelenmeli ve göz önüne alınmalıdır.



Şekil 1.11 Güçlü kiriş zayıf kolon sonucu oluşan hasar mekanizması

Yapılan kapasite artırım çalışmalarında sünekliğin yada rijitliğin artırılması gerekmektedir.

Genel olarak yapılan güçlendirme çalışmaları;

a. ***Kısmi veya tam dolu betonarme perdeler ile yapılan güçlendirmeler;***

Bu takviye metodu yüksek katlı olmayan yapılarda etkin bir metot olmasına rağmen, iş kalemi fazlalığı, maliyetinin yüksek olması, profesyonel bir ekip tarafından yapılma gereksinimi, temellerde ve perdeye bağlanan kirişlerde ek takviyelere gereksinim duyması ve demir, kalıp, beton işçiliği dışında, sıva, boya, kaplama yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmasından ötürü oldukça zahmetli bir metottur. Diğer taraftan çok katlı yapılarda perde duvarların konsol davranışından ötürü üst katlarda kolonlara ek kesme kuvveti yüklemesi uygulama alanını sınırlı bırakmaktadır.



Şekil 1.12 Perdeler ile yapılan güçlendirme uygulaması



Şekil 1.13 Perdeler ile güçlendirilmiş 3 katlı bina (İsviçre 2001)



Şekil 1.14 Perdeler ile güçlendirilmiş 3 katlı bina (İsviçre 2001)

***b. Boşluklarının çelik kuşaklama perdeleri ile doldurulması;***

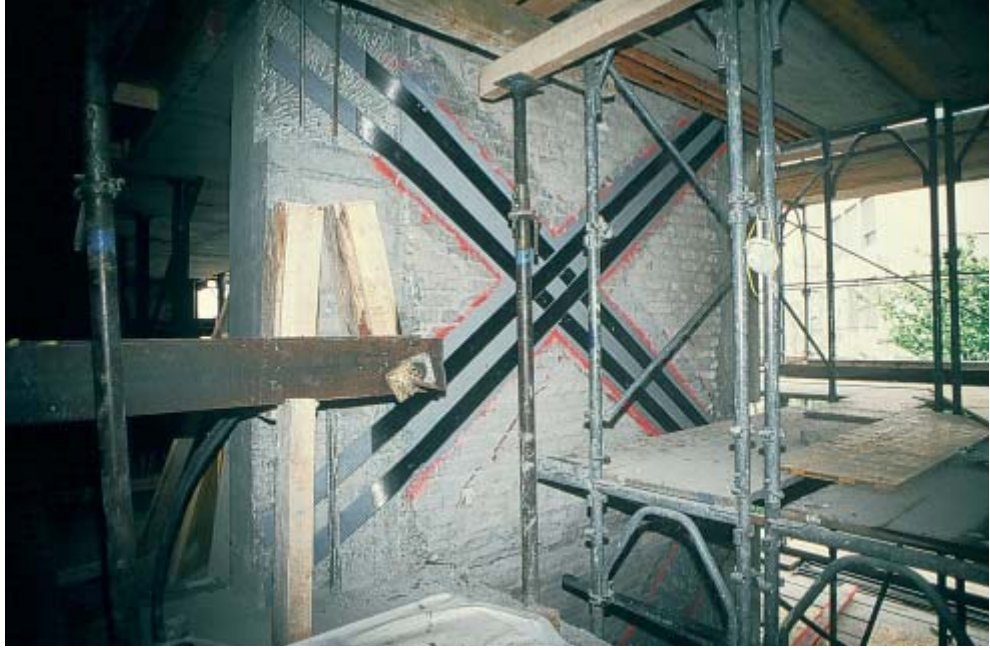
Bu metodun uygulanmasında yapıya etki edecek yatay yükleri mevcut bulunan ve düşey yükleri taşıyan çerçeve yerine daha çok yeni oluşturulan çelik çerçevenin taşınması sağlanarak yapıda hasar oluşması engellenmeye çalışılmaktadır. Başarılı örnek uygulamaları olmakla beraber kuşaklamalarda basınca maruz elemanın burkulma boyu ve kuvveti kesit seçiminde öne çıkmaktadır. Seçilen kesitler bu sebeple oldukça ağır ve hantal olmaktadır. Birleşim ve ankraj detaylarında kaliteli ve vasıflı işçilik gerektirmektedir.

***c. Betonarme kesitlerin büyütülmesi;***

Rijitliğin, kesme ve eğilme dayanımının eleman bazında artırılması için ideal olmakla beraber, söz konusu tüm katlar ve elemanlar olduğunda zor, zahmetli ve tüm binanın kullanımını kısıtlayan bir metot olarak ortaya çıkar.

***d. Fiberler ile yapılan takviyeler***

Son yıllarda oldukça popüler bir metot olarak ortaya çıkmıştır. Betonarme kesitlerin eğilme ve kesmede taşıma kapasitelerini artırırken basınç etkisi altındaki elemanlarda sargılama etkisini artırarak basınç ve kesme dayanımını artırmaktadır. Kullanımının kolay, malzemenin hafif ve özel işçilik gerektirmemesi gibi etkenlerle kullanımının artması beklenmektedir. Diğer taraftan malzemenin uzun dönem davranışının bilinmemesi, yangın, darbe vb. dış etkilere karşı dayanıksızlığı ve yüksek fiyatı ile kullanım alanı daralmaktadır.



Şekil 1.15 Karbon lifler ile güçlendirme örneği

Türkiye ve dünyada birçok yapının, uygulaması basit, hızlı ve ekonomik bir şekilde yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması artık gereklilikten çok zorunluluk halindedir.

Bu çalışmada bu prensipten yola çıkarak yapının mevcut elemanlarını kullanarak yatay ötelenmelerin mümkün olan en asgari seviyeye indirilerek oluşan gerilmelerin azaltılması ve hasar oluşumunun engellenmesi, sünek davranışında teşvik edilmesi amaçlanmıştır.

Başka bir deyişle bir taraftan binanın yatay ötelenmelerini; eleman rijitliklerini artırmadan; azaltırken, süneklikten de ödün vermeyecek bir güçlendirme metodu oluşturulmuştur. Kullanılan metot yalnızca çekme kuvvetine maruz çaprazlar yardımıyla yapıların yatay yük kapasitesinin artırılmasıdır.

Önerilen metodun etkinliğinin test edilmesi amacıyla 10 adet değişik beton, donatı düzeni ve çaprazlama özelliğine sahip numune test edilmiştir.

Çelik çaprazlı(kuşaklı) güçlendirme metotlarında basınç etkisi altındaki elemanlar kesitin belirlenmesinde baskın rol almaktadır. Oysa önerilen modelde kullanılan elemanlar rahatlıkla burkulacak şekilde ve eksenel çekmeye çalışacak betonarme çeliklerinden seçilmiştir. Bu elemanların taşıyıcı çerçeveye ankrajı ise oldukça basit şekilde kolon-kiriş birleşim bölgesinde açılan deliklere epoksi yardımıyla tutturulması sayesinde olacaktır.



Şekil 1.16 Basınç çubuğunda hasar oluşumu

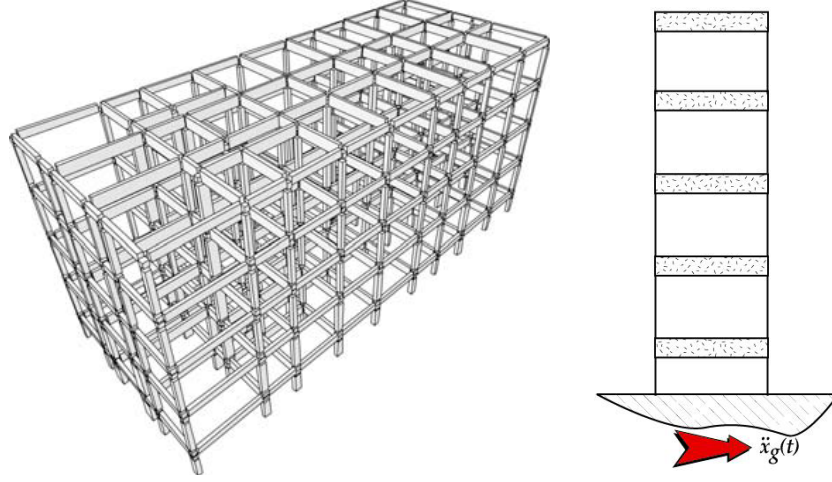
Dolgu duvar ile çelik kuşaklamanın birlikte çalışmasının yapının yatay yük kapasitesine etkileri de çalışma konusu içinde araştırılmış ve sonuçta umut verici veriler elde edilmiştir.

Kullanılan numunelerde etriye sıklaştırması ve beton kalitesi yüksek numune referans seçilerek, etriye sıklaştırması ve birleşimleri etriyeden yoksun numuneler karşılaştırılmış, beton kalitesi düşük, donatısı düzenli ve düzensiz numuneler çelik çaprazlar ile güçlendirilerek çaprazlamanın etkinliği ortaya çıkarılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

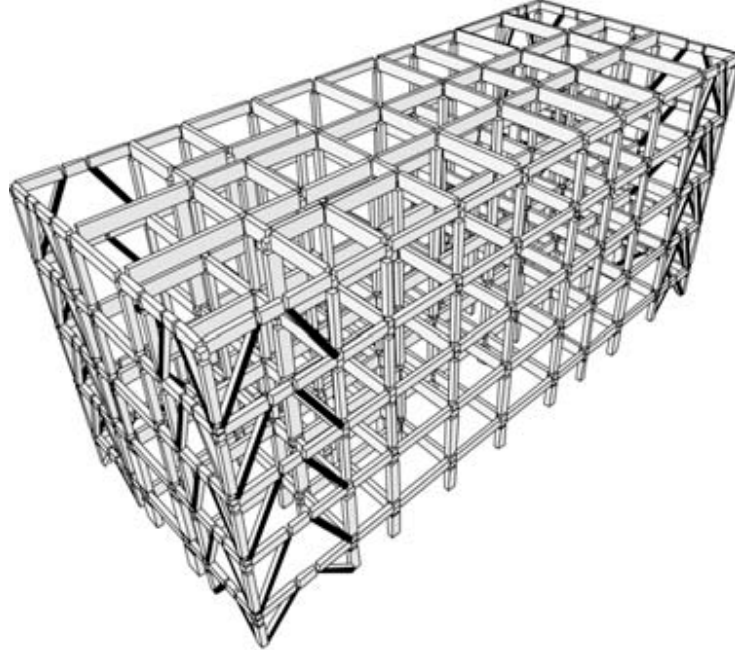
Yanmaz ve Luş [2001] tarafından yapılan ‘Yapı Güçlendirme Yöntemlerinin Fayda-Maliyet Analizi ’ adlı çalışmada yakın geçmişteki depremlerin konutlarda ve sanayi yapılarında oluşturduğu kayıplar neticesinde Türkiye’nin genelinde deprem risk analizlerine dayanan kapsamlı bir deprem öncesi çalışmaya olan ihtiyacının ortaya çıktığı belirtilmiştir. Varolan bina stokunu güçlendirmenin, olası bir depremde karşılaşılabilecek zararları azaltmak için etkili bir seçenek olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı, yapılarda çeşitli güçlendirme işlemleri sonucunda ortaya çıkabilecek fayda ve maliyetleri sistematik olarak tayin eden bir altyapıyı tartışmak ve önerilen yaklaşımın İstanbul’da bulunan gerçek bir binanın analizinde kullanılmasıyla elde edilen deneyimleri paylaşmaktır. Elde edilen sonuçlar, güçlendirme işlemlerinin deprem zararlarını azaltmak için ekonomik olarak etkili çözümler sunabileceklerini ve Fayda-Maliyet analizinin en önemli parametrelerinin insani kayıplar, yapıda barınan insan sayısı ve faiz oranı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma için oluşturulan yöntem, yapı türleri ve güçlendirme seçenekleri artırılarak ve daha detaylı bir maliyet hesabı uygulanarak geliştirilebilir. Çalışmada kullanılan model bina Şekil 2.1’de verilmiştir.



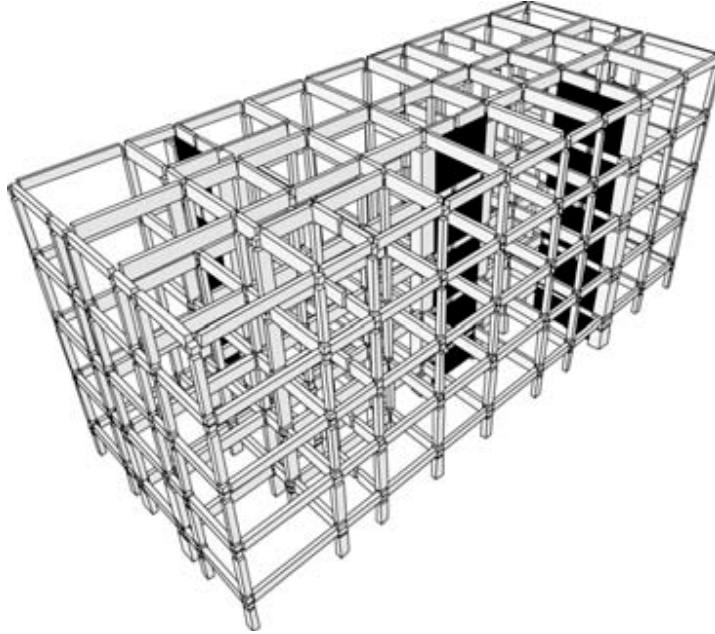


Şekil 2.1 Moment mukavemetli betonarme çerçeve yapının orjinal halinin 3-Boyutlu modeli ve Eşdeğer 2 boyutlu modeli

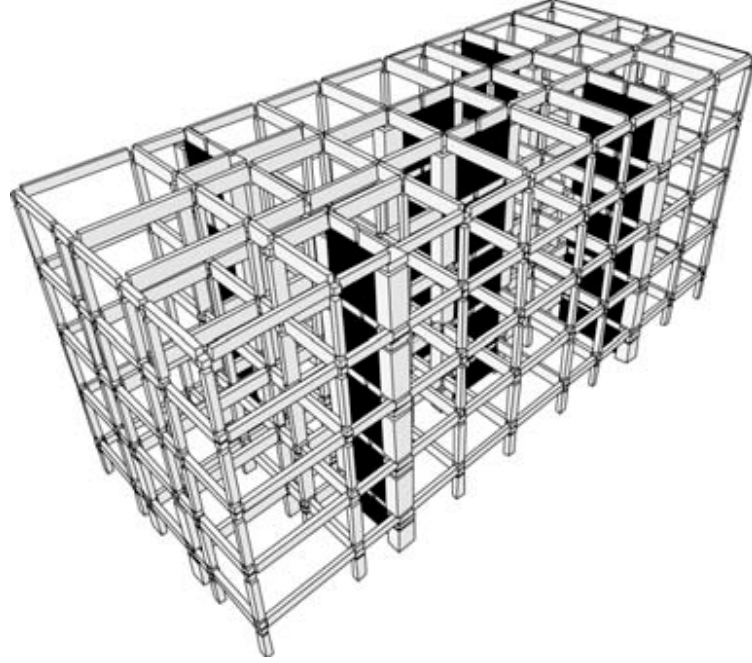
Bu çalışmada orjinal yapıya çapraz bağlantı, kısmi perde duvar ve tüm perde duvar olarak adlandırılan üç çeşit güçlendirme alternatifi uygulanmıştır. Çapraz bağlantı alternatifi için, yapının zayıf ve güçlü eksenleri doğrultusundaki dış açıklıklar (köşeler) çapraz bağlantılarla güçlendirilmiştir. Bu işlem her kat için tekrar edilmiş ve her kat için toplam sekiz çapraz bağlantılı açıklık elde edilmiştir. Kısmi perde duvar alternatifi için, zayıf eksen doğrultusundaki iki açıklık, güçlü eksen doğrultusundaki bir açıklık binanın tüm yüksekliği boyunca perde duvarlarla güçlendirilmiş ve sonuç olarak her kat için üç perde duvar elde edilmiştir. Son olarak tüm perde duvar alternatifi için ise, zayıf eksen doğrultusundaki dört açıklık ve güçlü eksen doğrultusundaki iki açıklık duvarlarla güçlendirilmiş ve her kat için altı perde duvar elde edilmiştir. Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 sırasıyla, çapraz bağlantı, kısmi perde duvar ve tüm perde duvar güçlendirme alternatiflerinin 3-Boyutlu modelini göstermektedir.



Şekil 2.2 Çapraz bağlantılarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli



Şekil 2.3. Kısmi perde duvarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli



Şekil 2.4 Tüm perde duvarla güçlendirilmiş yapının 3-Boyutlu modeli

Ekonomik analizlerde sıkça kullanılan net bugünkü değer kavramı, gelecekteki bir afet (deprem) sonucunda orjinal yapıda oluşması beklenen hasarlarla güçlendirilmiş yapıda oluşması beklenen hasarlar arasındaki farkın şu anki parasal değerlerle ifade edilmesidir. Eğer net bugünkü değer sıfırdan büyük ise söz konusu proje uygulamaya değer demektir. Bu kavram temel alınarak güçlendirme aktiviteleri arasında bir sıralama yapmak ve ekonomik olarak en iyi tercihi belirlemek mümkün olabilir. Bu çalışmada Fayda-Maliyet analizi için: (1) Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki olası hasarlar; (2) Bina içerik hasarları; (3) Acil barınma maliyeti; (4) Güçlendirme maliyeti; (5) İnsani kayıplar (ölümler ve yaralanmalar) olmak üzere 5 çeşit kayıp incelenmiştir.

Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların yenilenme maliyetleri İstanbul'da bulunan ve deprem güçlendirmelerinde uzman firmalardan temin edilmiştir. Bu fiyatlar haricinde, tamir sürecinde yenileme dışında oluşması muhtemel ek kayıpları da analizlere katmak amacıyla, Fayda-Maliyet analizi için tarafından kullanılan ve Tablo 2.1'de verilen tamir oranları analizlere dahil edilmiştir.

Tablo 2.1 Bina elemanları için tamir oranları

ELEMANLAR	TAMİR ORANI
Taşıyıcı Elemanlar	1,50
Mekanik Ekipman	1,25
Elektrik Ekipman	1,25
Mimari Elemanlar	1,25
Asansörler	1,25
Bina İçeriği	1,05

Bu oranlara bağlı olarak, i'inci hasar seviyesinde zarar görmüş bir elemanın tamir maliyeti,

$$(\text{Tamir Maliyeti}) = TM_i = (\text{Yenileme Maliyeti}) \times (\text{Tamir Oranı})$$

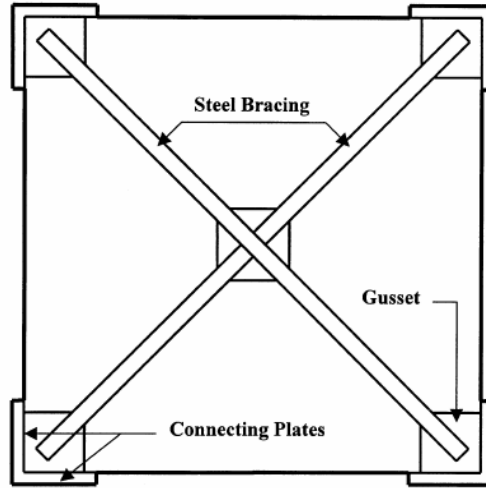
denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Bulunan Değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Güçlendirme Maliyetleri

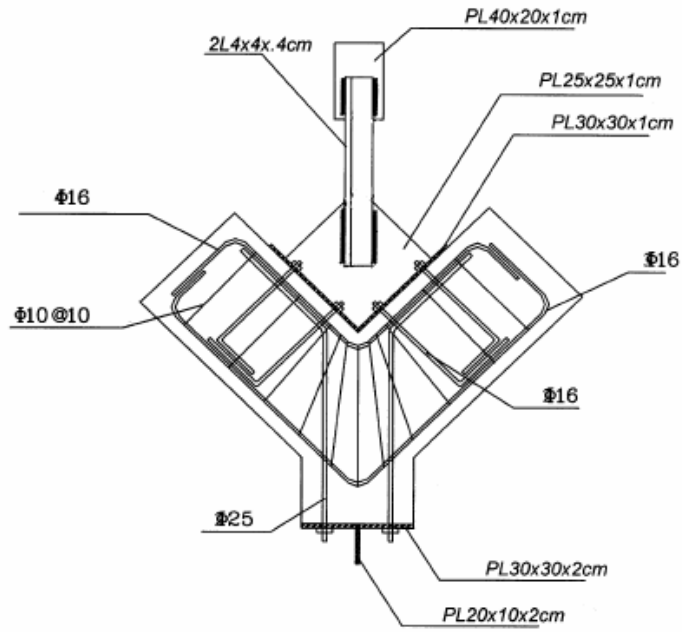
Güçlendirme Alternatifi	Maliyet
Orjinal	\$0
Çapraz Bağ	\$65.000
Kısmi Perde	\$90.000
Tüm Perde	\$150.000

Tüm Sonuçlar incelendiğinde çaprazlama maliyeti kısa vadede en uygun ve pratik çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

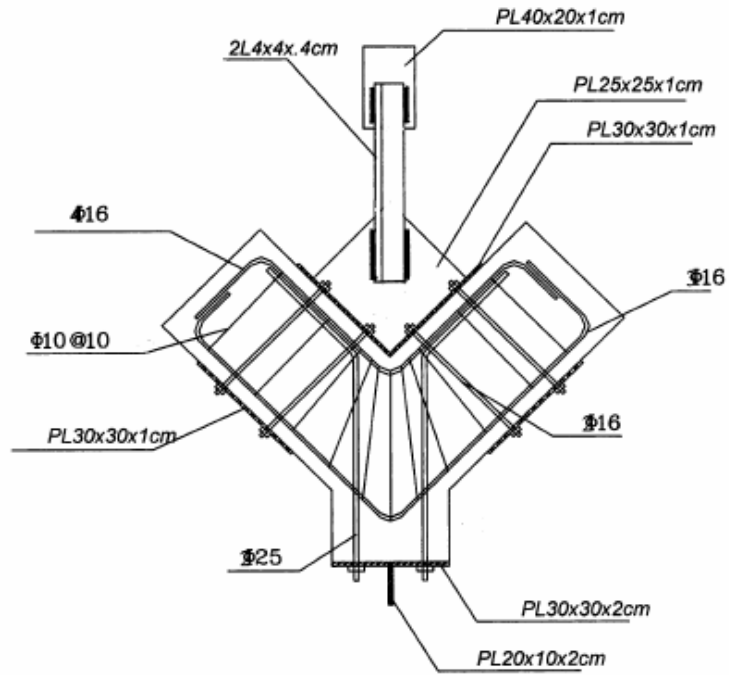
Maheri M.R. ve Hadjipour A. [2003] yaptıkları çalışmada çelik kuşaklama elemanlarının betonarme kolon kiriş birleşimine bağlanabilmesi için 3 değişik model sunmuşlar ve test etmişlerdir. Kullanılan ana model Şekil 2.5'te , bağlantı tipleri sırasıyla Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8'de verilmiştir. Şekil 2.9'da elde edilen sonuçlar grafik olarak verilmiştir. Şekil 2.10 deney numuneleri ve test düzeneğini göstermektedir.



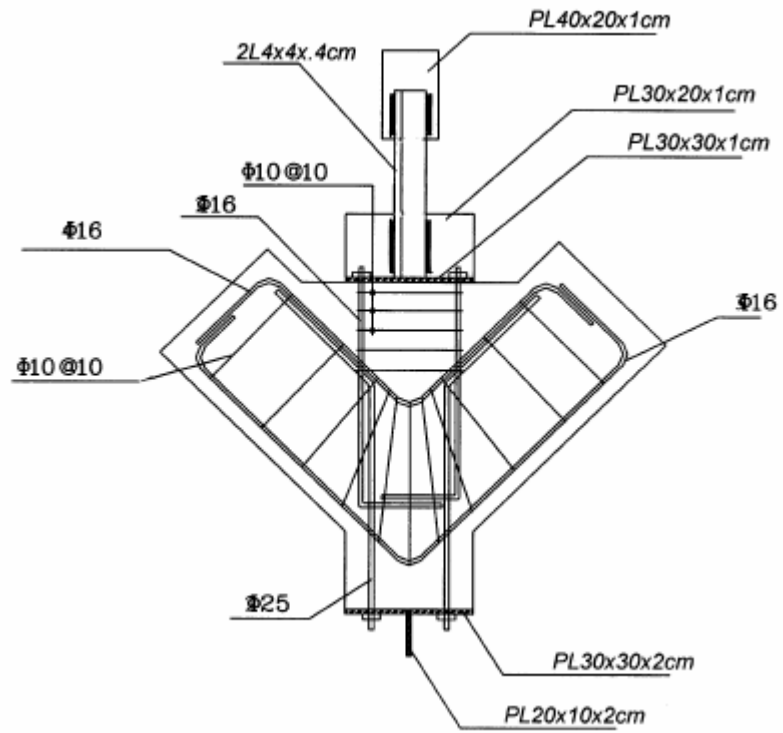
Şekil 2.5 Betonarme çerçevelerde kuşaklama uygulaması



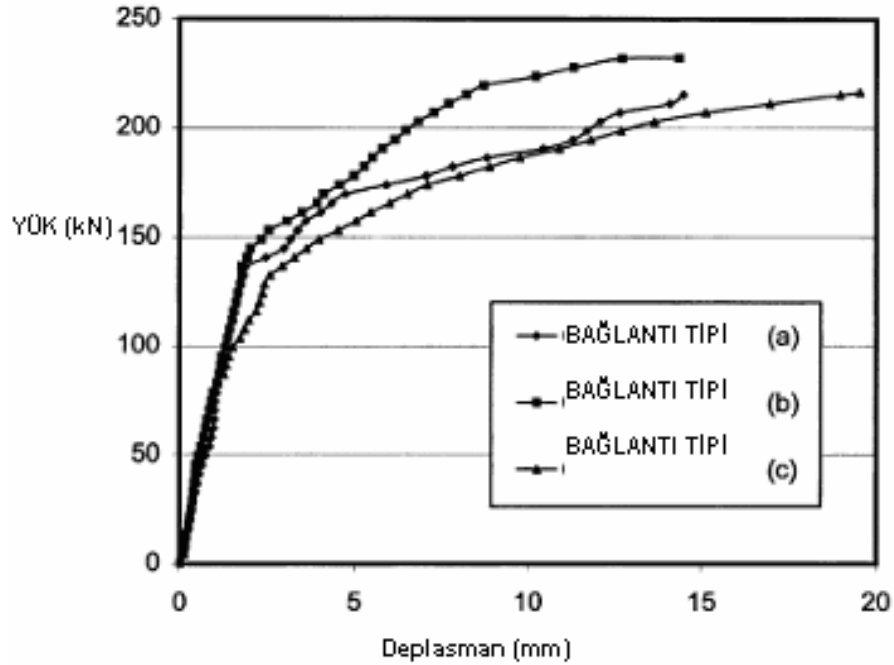
Şekil 2.6 A tipi bağlantı elemanı



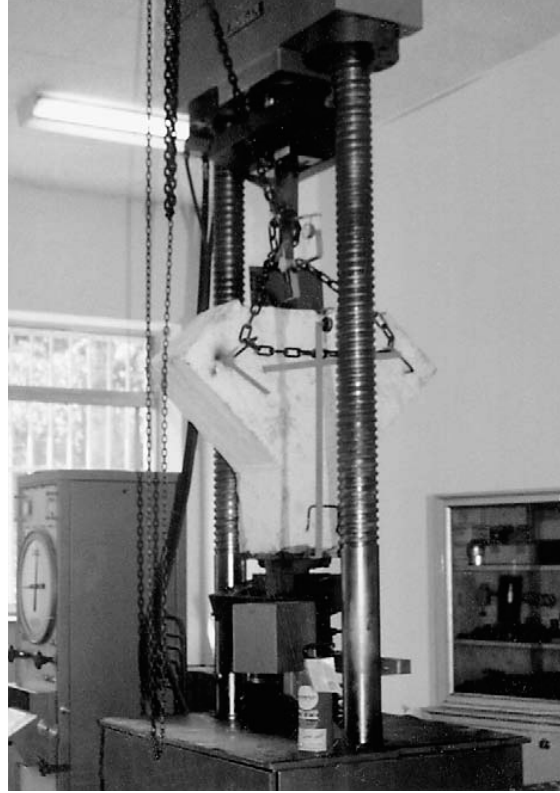
Şekil 2.7 B tipi bağlantı elemanı



Şekil 2.8 C tipi bağlantı elemanı



Şekil 2.9 Elde edilen Yük-Deplasman Eğrileri



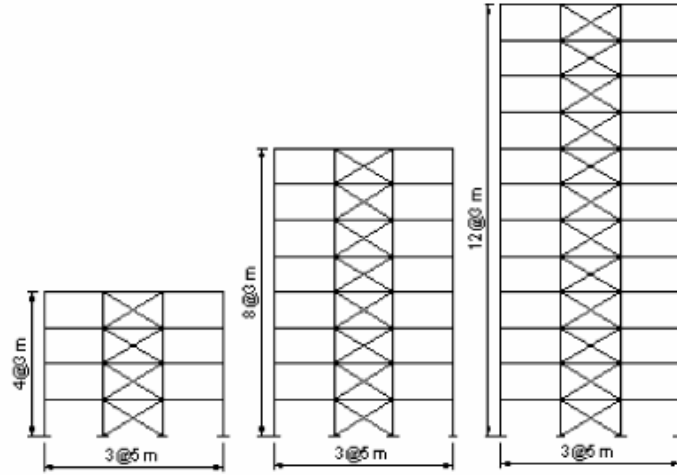
Şekil 2.10 Deney Düzeneği

Şekil 2.9’da verilen grafiğin incelenmesinde C tipi hariç yaklaşık 15 mm deplasmana 220-230 kN seviyelerinde ulaşıldığı , C tipinde ise deplasman 20 mm kadar ulaşmaktadır. Yazarlar sonuçların öngörülerine uygun olarak gerçekleştiğini belirtmektedirler. Görüldüğü gibi birleşimin oluşturulması oldukça zor ve zahmetlidir.

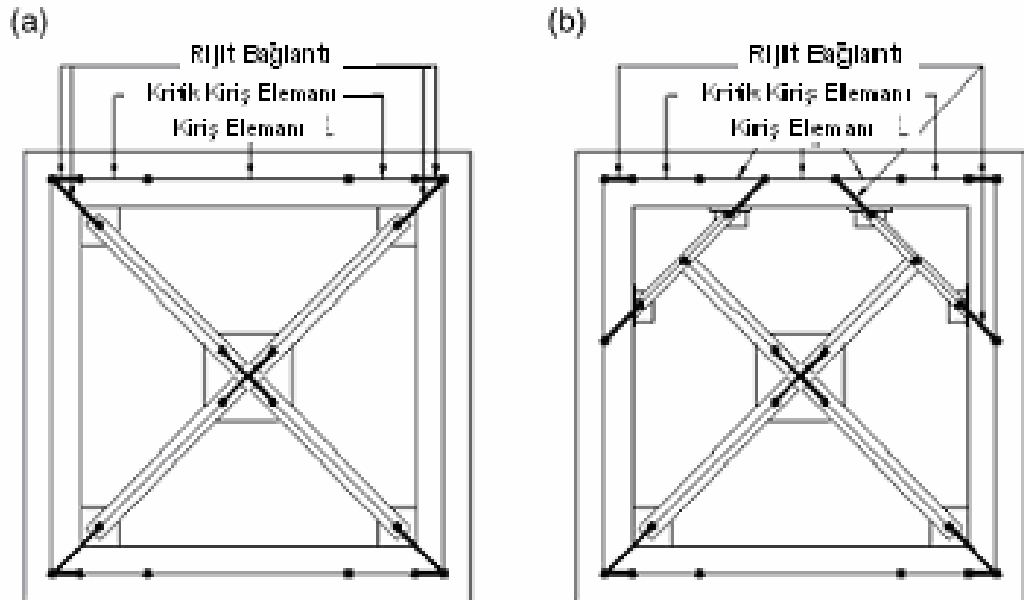
Maheri M.R. ve Akbari R [2003] yaptıkları Teorik çalışmada 4, 8, 12 katlı 3 açıklıklı betonarme binalarda Sismik Davranış Katsayısının (R) tespitini ve Kuşaklama Şeklinin bu katsayıya etkisini incelemişlerdir. Kullanılan model binaların şematik görünüşü ve ölçüleri Şekil 2.11’de verilmiştir.Şekil 2.12’de



Çelik kuşaklamaların sonlu elemanlar metodu ile modellenmiş 2 şekli verilmektedir.

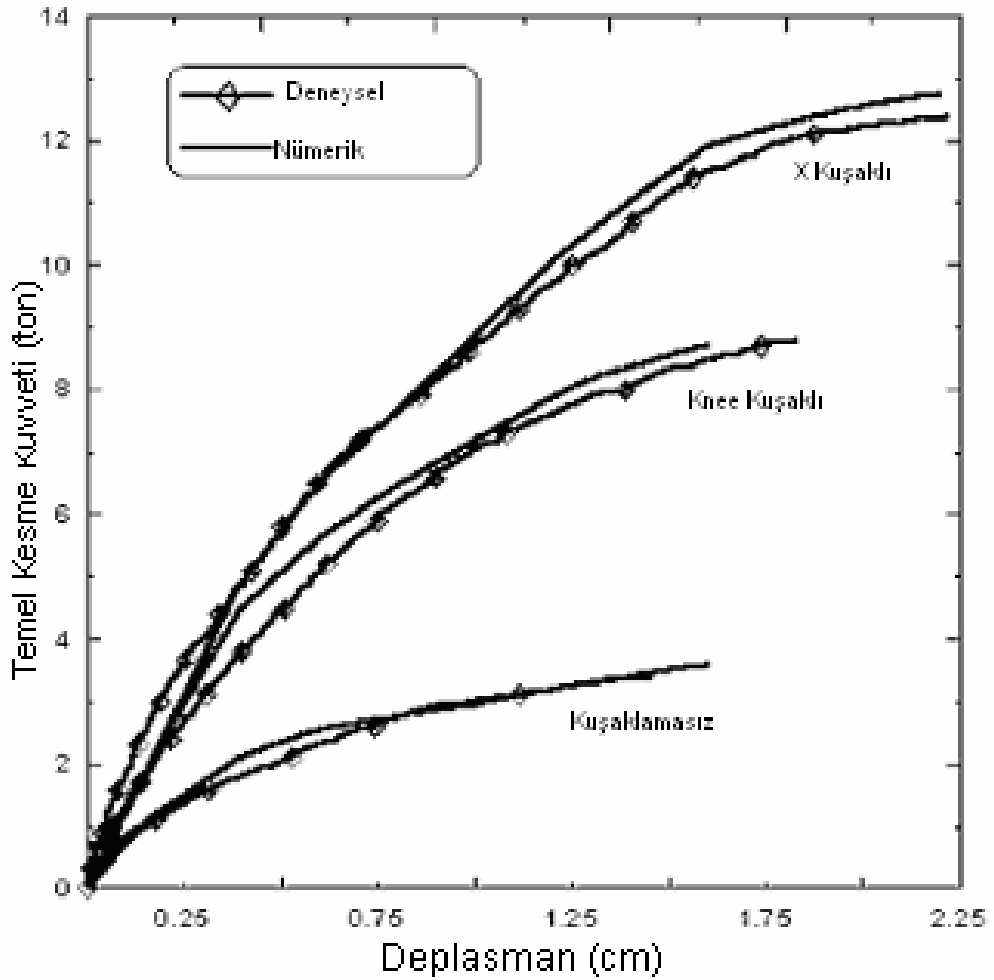


Şekil 2.11 Kullanılan örnek binalar



Şekil 2.12 Kullanılan kuşaklama elemanlarının şekli ve özellikleri

Modeldeki şekillerde kuşaklanmış birim hücrelere ait deneysel ve teorik sonuçlar Şekil 2.13'te Taban Kesme Kuvveti- Deplasman Grafiği ile verilmiş olup grafiğin incelenmesinde teorik ve deneysel sonuçların uyumluluğu göze çarpmaktadır. Bulunan deneysel ve teorik R değerleri Tablo 2.3'te verilmiş olup sonuçlar uyumlu olarak değerlendirilmektedir. Diğer bir olgu ise kuşaklama ile R katsayısının küçülmesidir ki bu sonuç rijitliğin arttığını göstermektedir.

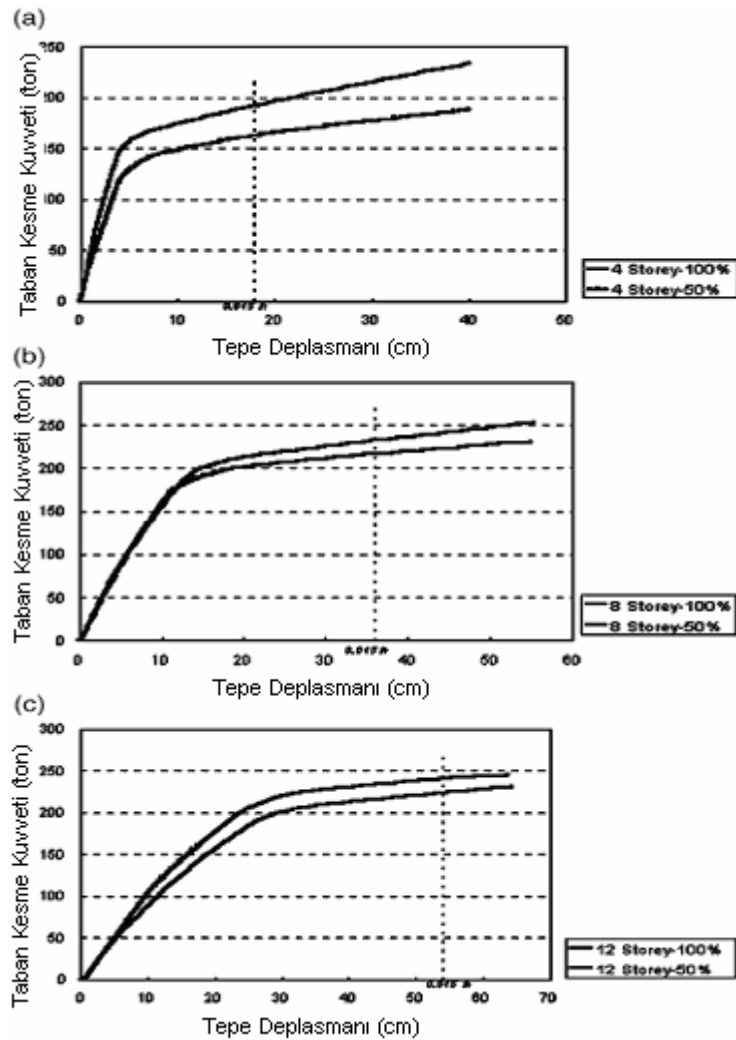


Şekil 2.13 Deneysel ve Teorik Taban Kesme- Deplasman Grafiği

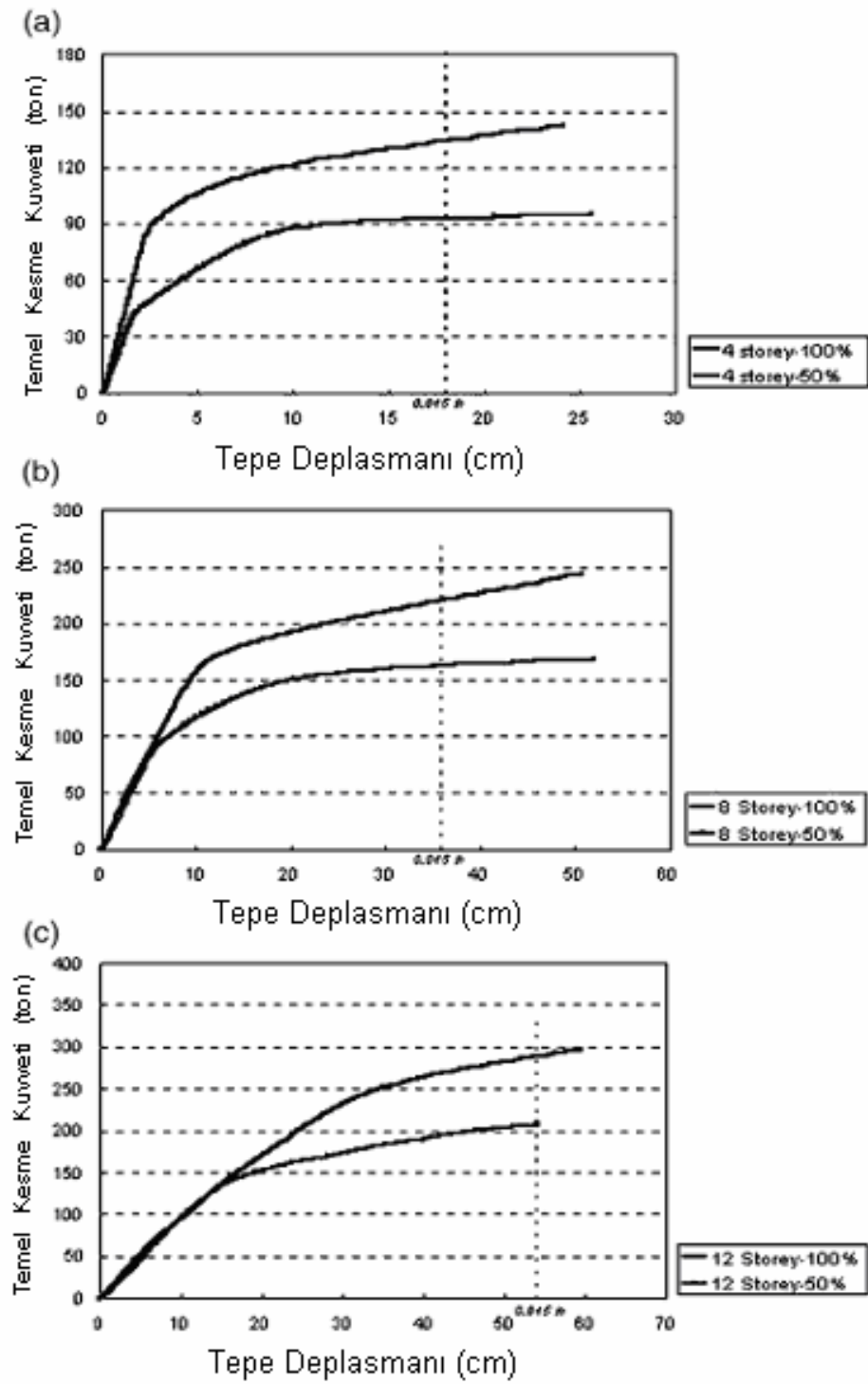
Tablo 2.3 Teorik ve Deneysel olarak bulunan R Katsayıları

R	Deneysel	Teorik
Çaprazlamasız	12.10	11.23
X Kuşaklama	4.10	4.02
Knee Kuşaklama	7.30	7.35

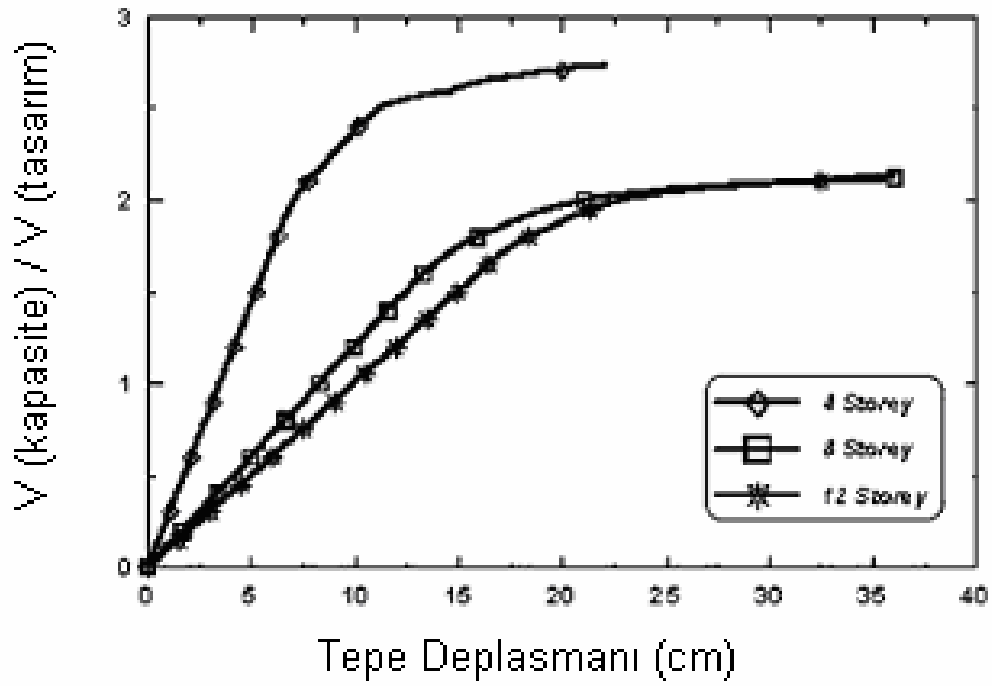
Kuşaklamaların yatay yükü taşıma yüzdelere göre elde edilen taban kesme- tepe deplasmanı grafikleri X şeklindeki kuşaklama için Şekil 2.14 Knee şeklindeki kuşaklama için Şekil 2.15'te verilmiştir.



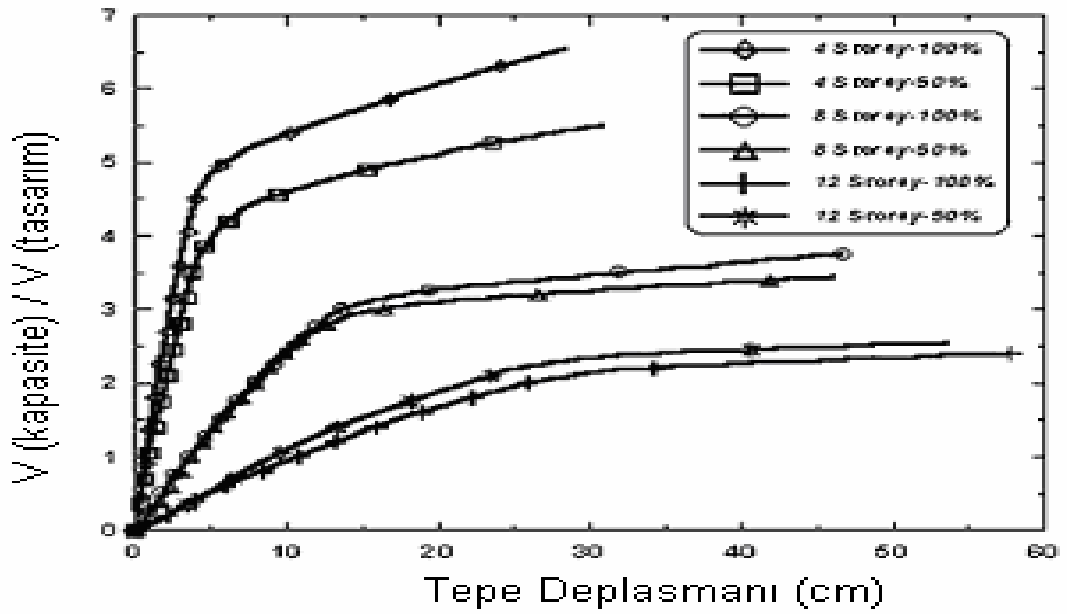
Şekil 2.14 X kuşaklamalı sistemler için Tepe Deplasmanı- Taban Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 2.15 Knee kuşaklamalı sistemler için tepe deplasmanı- taban kesme kuvveti grafiği



Şekil 2.16 Kuşaklamasız Çerçevesler için V Max/ V Tasarım –Tepe Deplasman Grafiği



Şekil 2.17 X kuşaklamalı çerçeveler için V Max/ V Tasarım –Tepe Deplasman Grafiği

Şekil 2.16 ve 2.17’de verilen kesme kapasitesi karşılaştırmalarında kuşaklanmış numunelerin kesme kapasitesindeki artış düşük katlar için yüksek, yüksek katlar içinse değersizdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde düşük katlı binalarda sünekliğin dolayısıyla R katsayısının arttığıdır. Kesme kapasitesi içinse durum değişmemektedir.

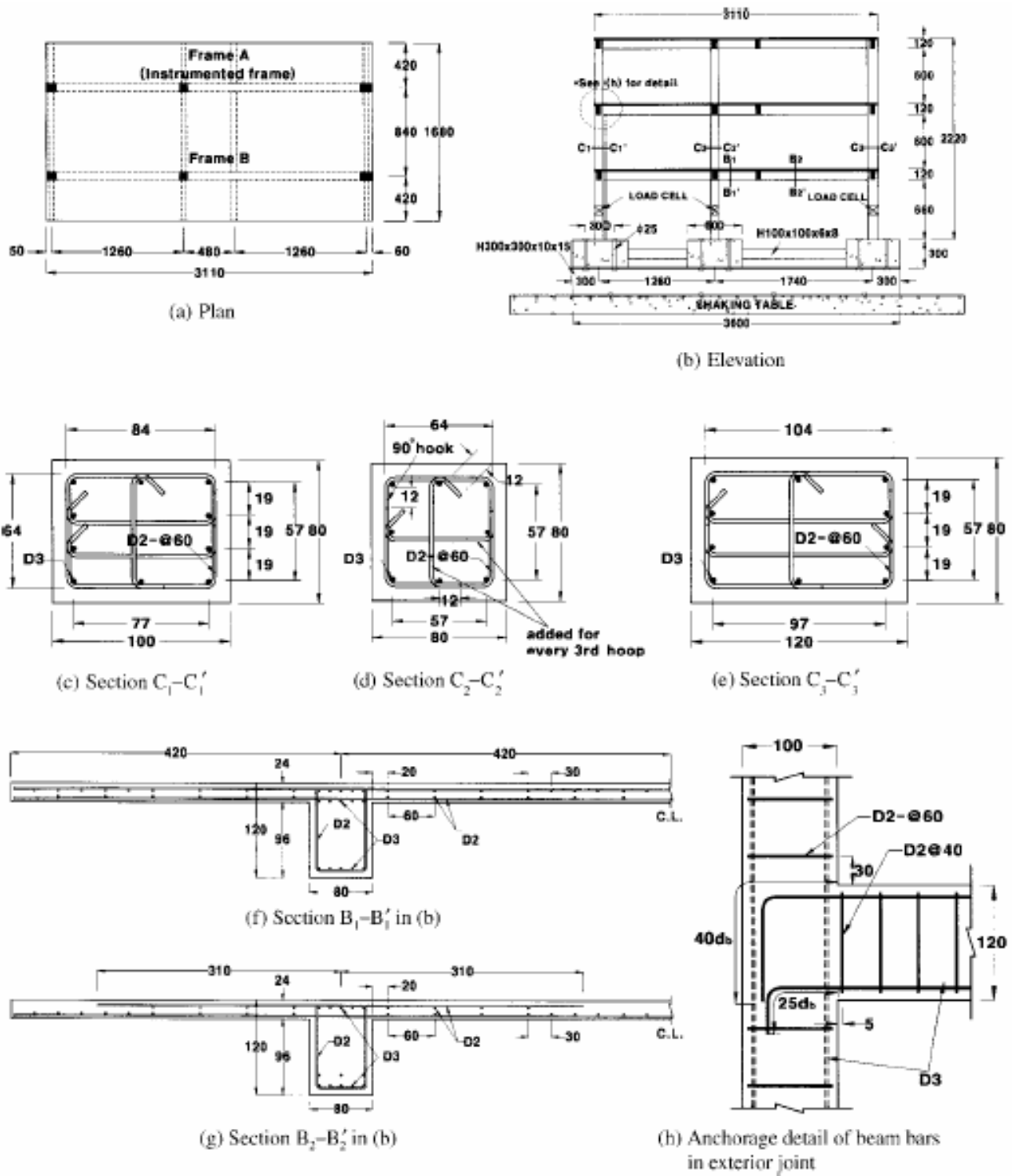
Yüksek katlı binalarda ise tepe deplasman kabiliyetinin artması dışında çok önemli bir değişiklik söz konusu değildir.

Han-Seon LEE ve Sung-Woo Woo [2002] yaptıkları çalışmada deprem etkilerine karşı özel olarak donatılandırılmamış 3 katlı 2 açıklıklı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışlarına dolgu duvarların etkilerini araştırmışlardır.

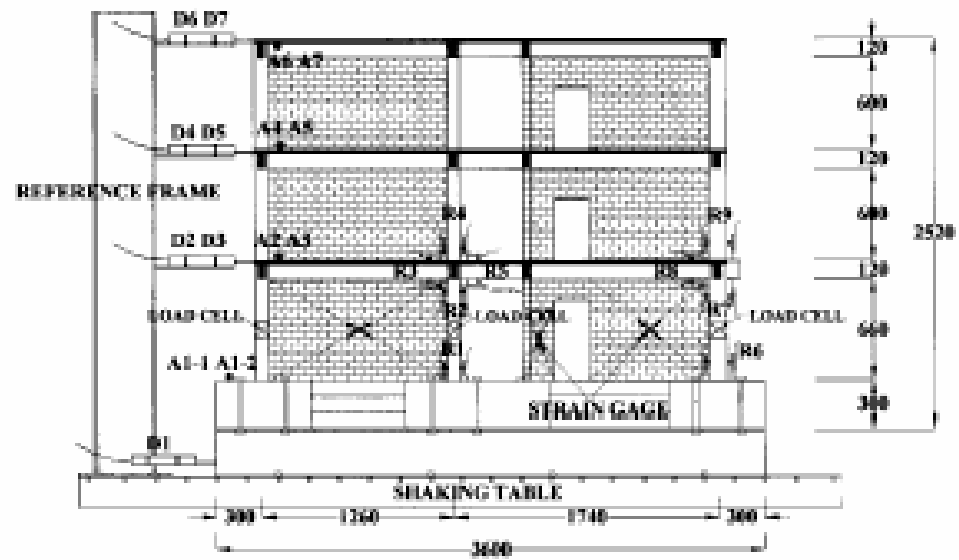
Şekil 2.18’de kullanılan numunelere ait detaylar , Şekil 2.19’da deney düzeneği detayları verilmektedir.

Numunelerde donatı filiz boyları yetersiz, etriye aralıkları büyük, kolon giriş birleşimlerinde etriye yok ve etriye uçlarında 135 derece kancalı değildir. Testler Hyundai Yapı Teknolojileri laboratuvarında yapılmıştır. Numuneler sarsma tablasında teste tabi tutulduktan sonra Pushover testine tabi tutulmuştur. Sarsma tablasında 0.12, 0.20, 0.3, ve 0,4 g yatay ivme uygulanmıştır. Şekil 2.20’de Doğal periyotlar (FIF-Sarsma tablası test numunesi, PIF- Pushover Test numunesi ve BF- Boş çerçeve için) verilmiştir.

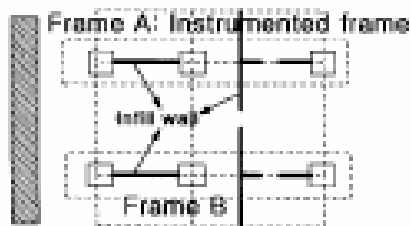
Şekil 2.21, Şekil 2.22 ve Şekil 2.23 incelendiğinde katlar arası deplasmanın dolgu duvar eklenmesiyle çok azaldığı görülmektedir. Şekil 2.24 numunelerde 1. kat için taban kesme kuvvetlerinin elemanlar tarafından karşılanma miktarları verilmektedir.



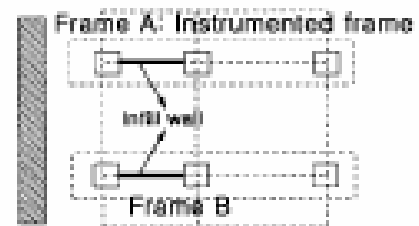
Şekil 2.18 Deney numune özellikleri



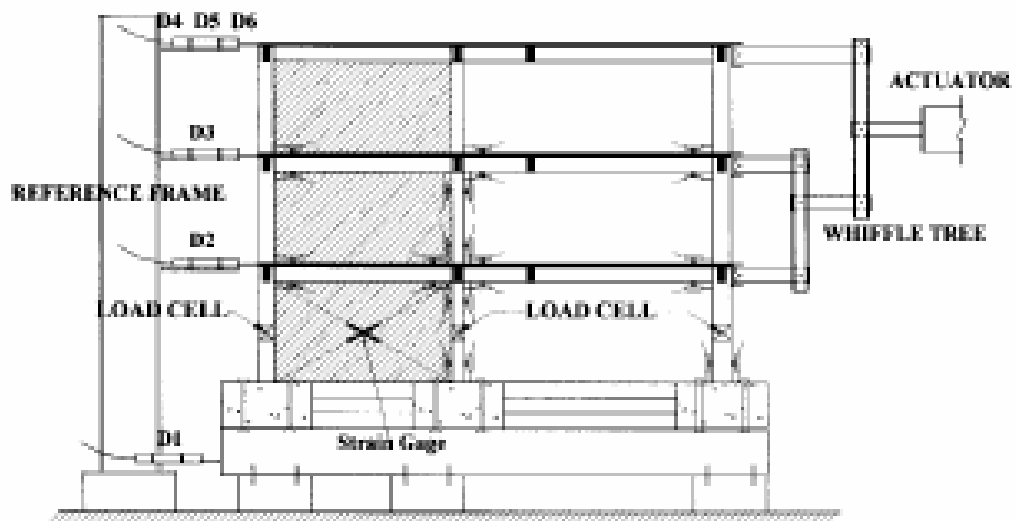
(a) Earthquake simulation test (FIF)



(b) Plan of FIF



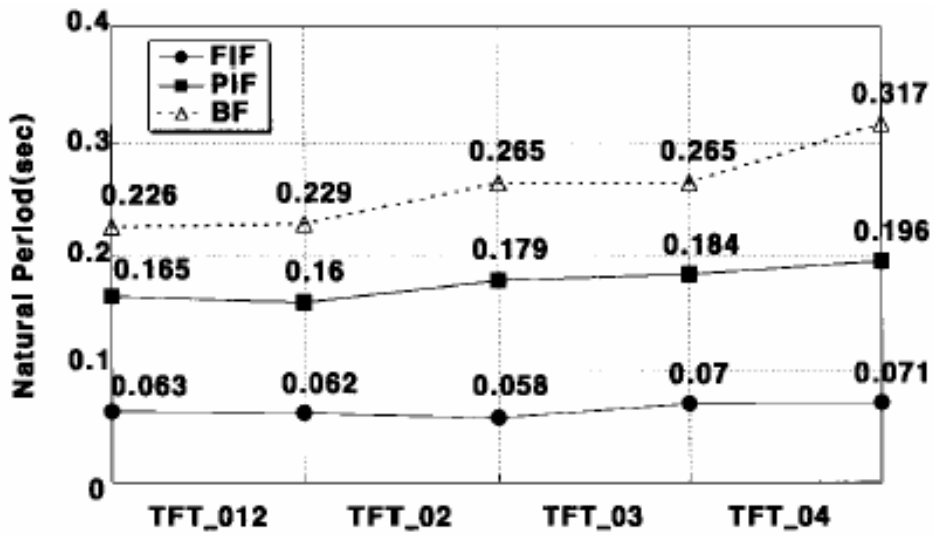
(c) Plan of PIF



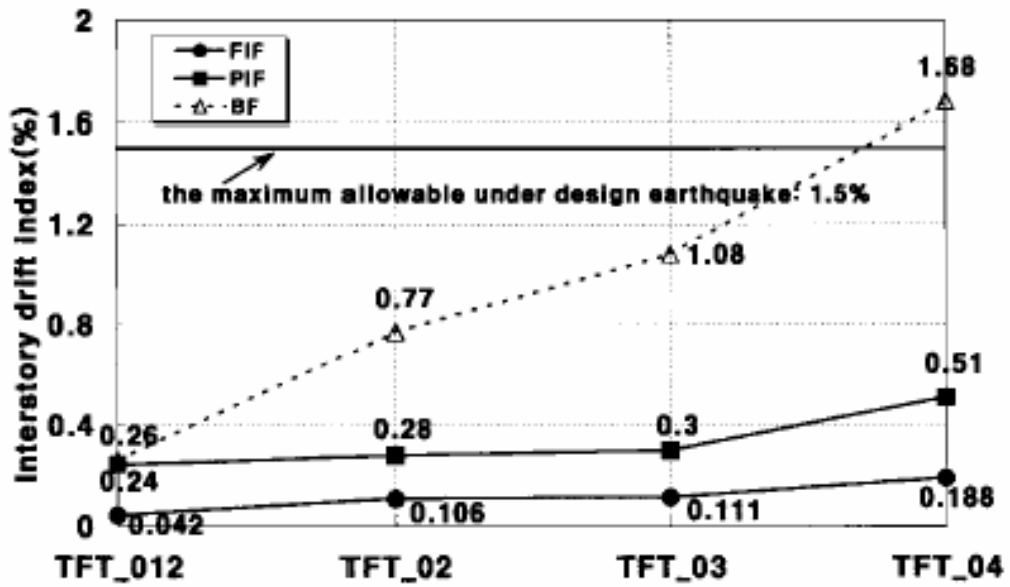
(d) Pushover test (PIF)

Şekil 2.19 Deneş düzeneği

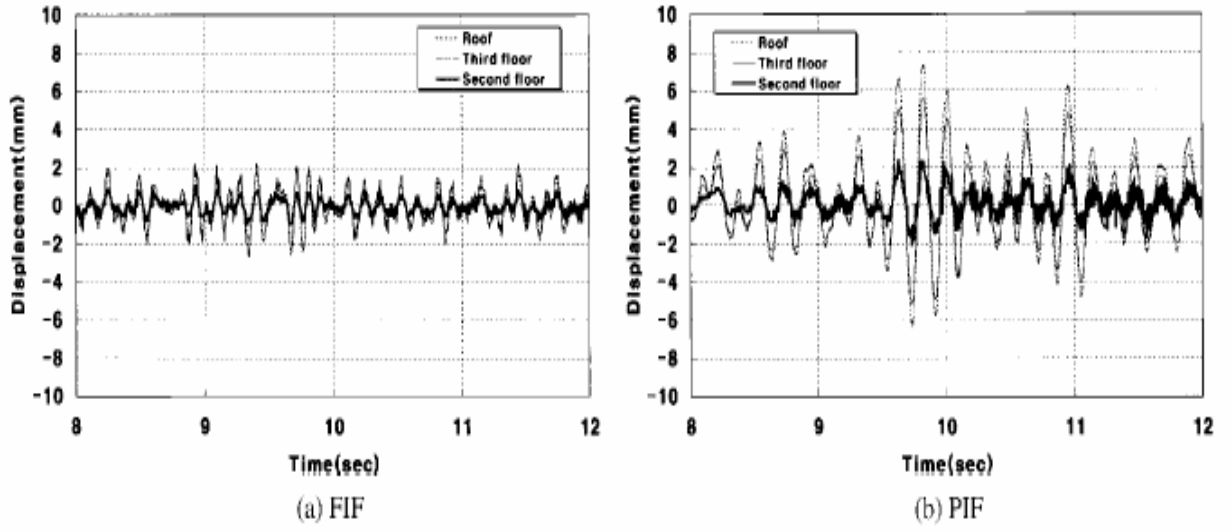




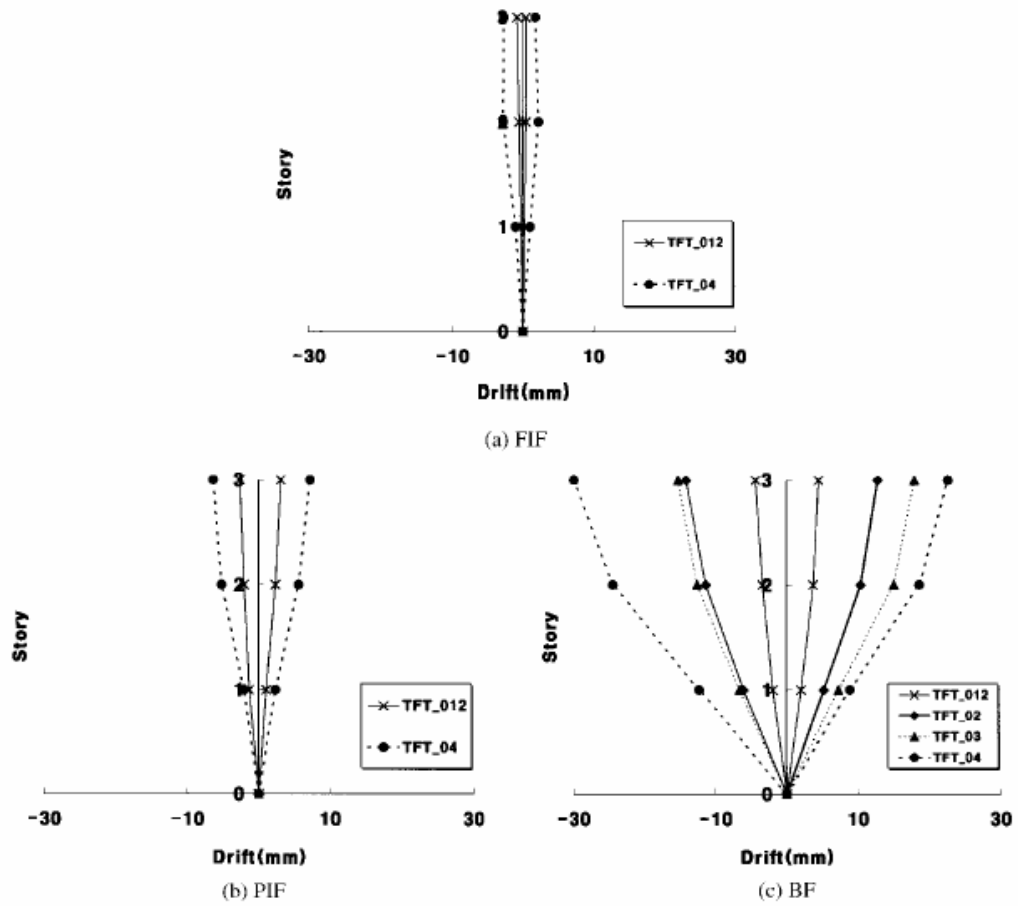
Şekil 2.20 Doğal periyotlar (FIF-Sarsma tablası test numunesi, PIF- Pushover Test numunesi ve BF- Boş çerçeve için)



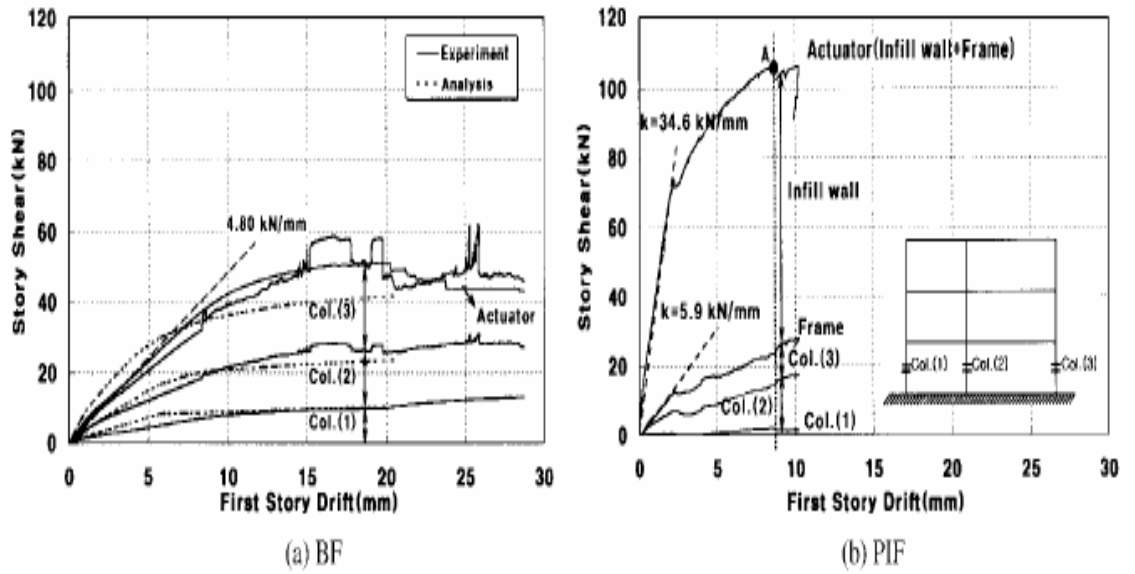
Şekil 2.21 Katlar arası Deplasman Farkı



Şekil 2.22 0,4 G için katların deplasman grafikleri

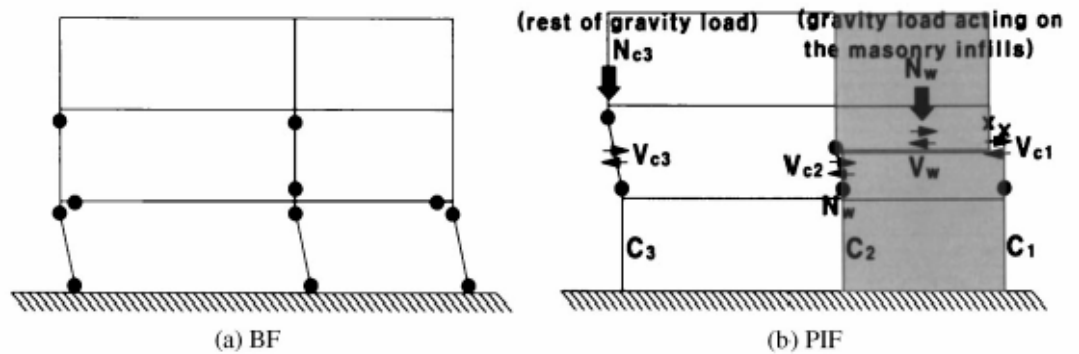


Şekil 2.23 Katlar arası deplasman zarf eğrileri



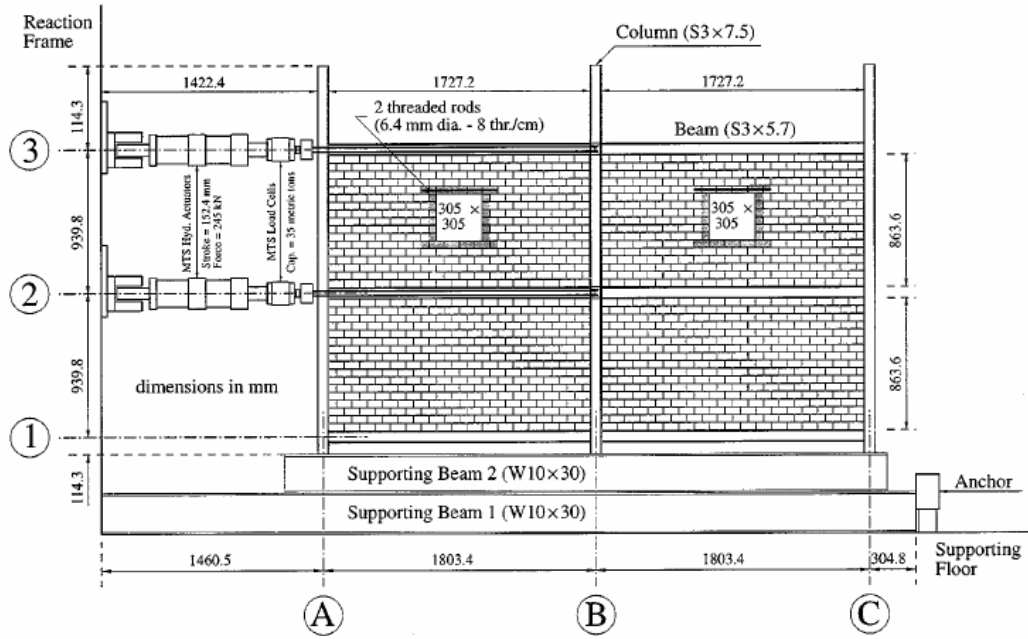
Şekil 2.24 Elemanların taban kesme kuvveti karşılamalarının şematik gösterimi

Yazarlar dolgu duvarların katlararası deplasman farkını azalttığını, **dolgu duvarlar sayesinde yapının yatay yük kapasitesinin %80 rijitliğinin ise %85 arttığını** belirlemişlerdir. Yapısal elemanlarda ise göçmeye sebep olacak kadar hasar dolgu duvarlar sayesinde önlenmiştir. Boş çerçeve yumuşak kat mekanizması ile göçerken diğerlerinde bu mekanizma oluşmamıştır.

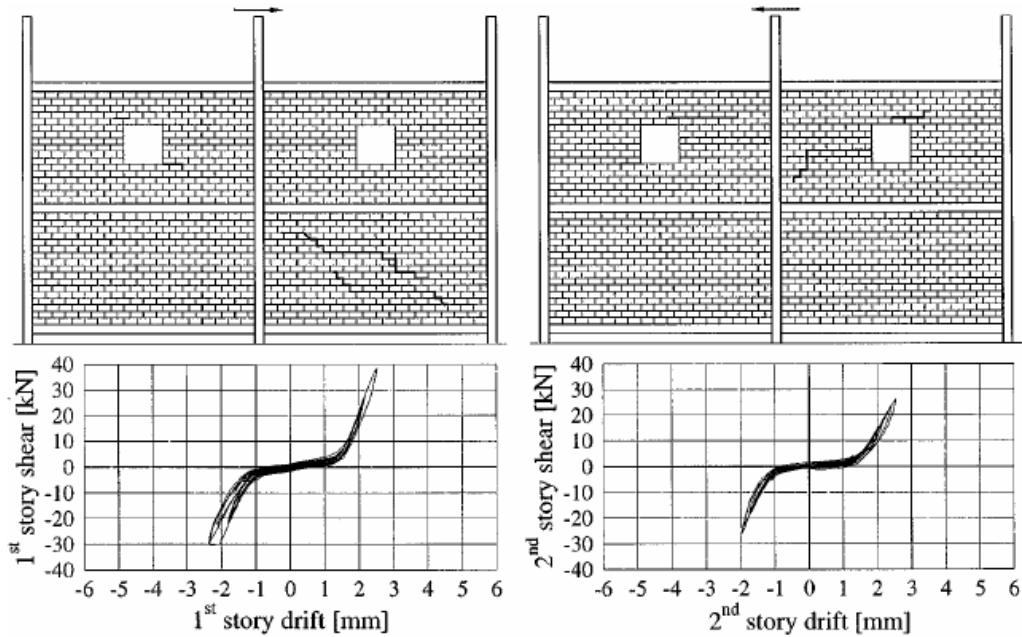


Şekil 2.25 Hasar ve göçme mekanizmalarının oluşumu

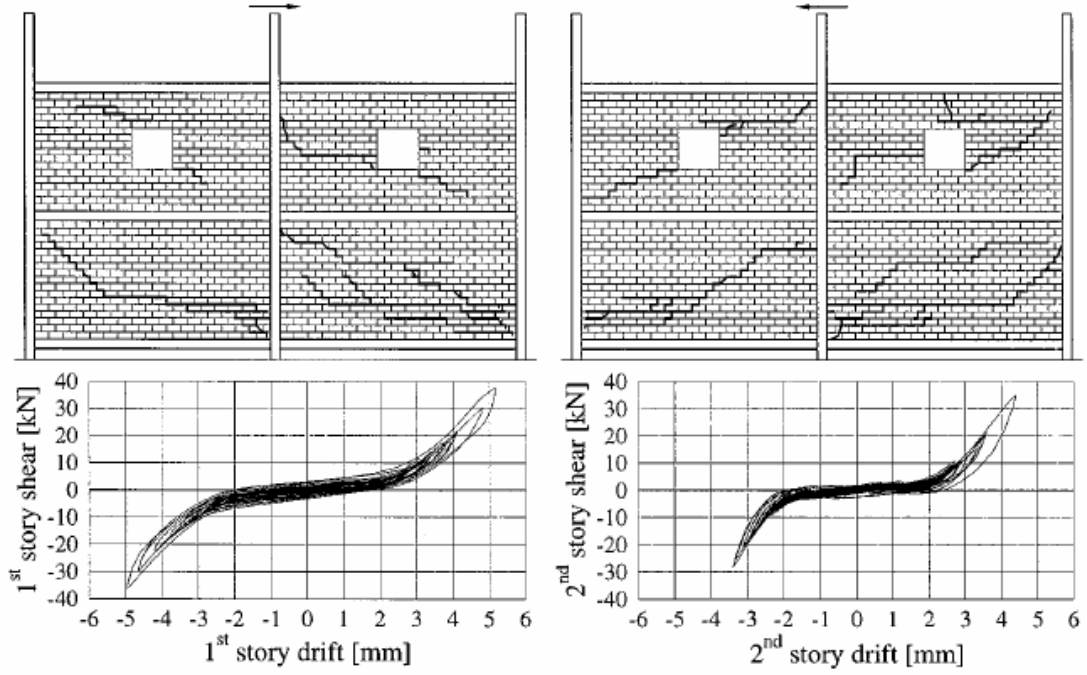
Mosalam M.K ve ark. [1997] 2 katlı 2 açıklıklı çerçevelerde dolgu duvarların sismik performansına etkilerinin araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan deney numuneleri ve deney düzeneği Şekil 2.26'da verilmiştir. Hasar mekanizmaları Şekil 2.27'de 0.2 g, Şekil 2.28'de 0.4 g, Şekil 2.29'de 0.6 g için verilmiştir.



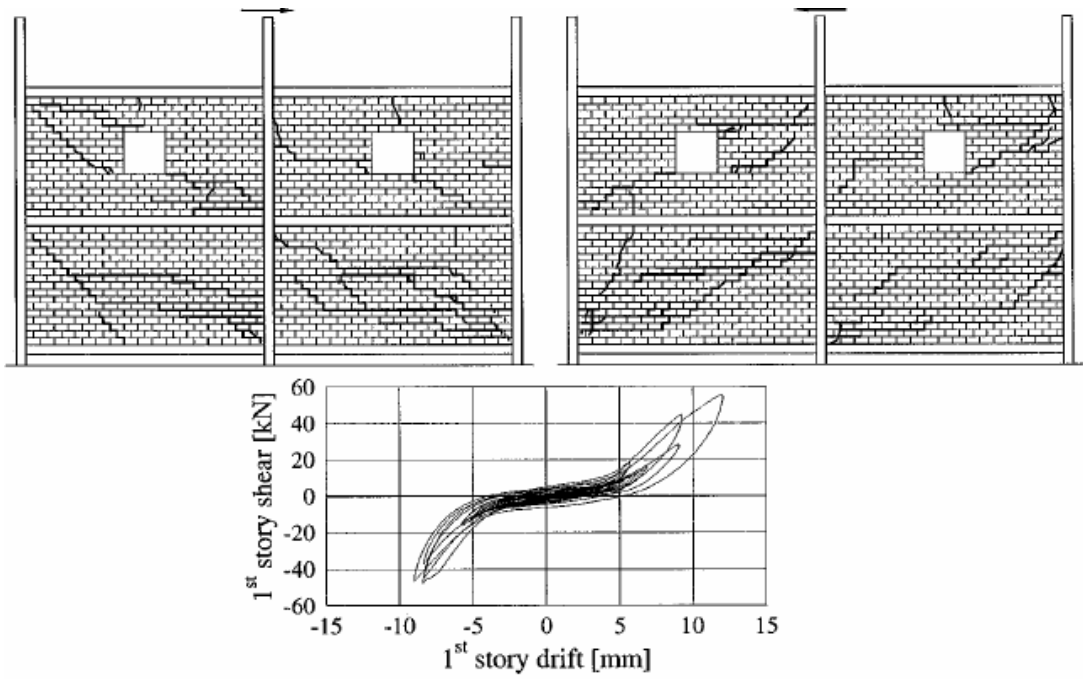
Şekil 2.26 Deney numuneleri ve deney düzeneği



Şekil 2.27 Oluşan Hasarlar 0.2 g



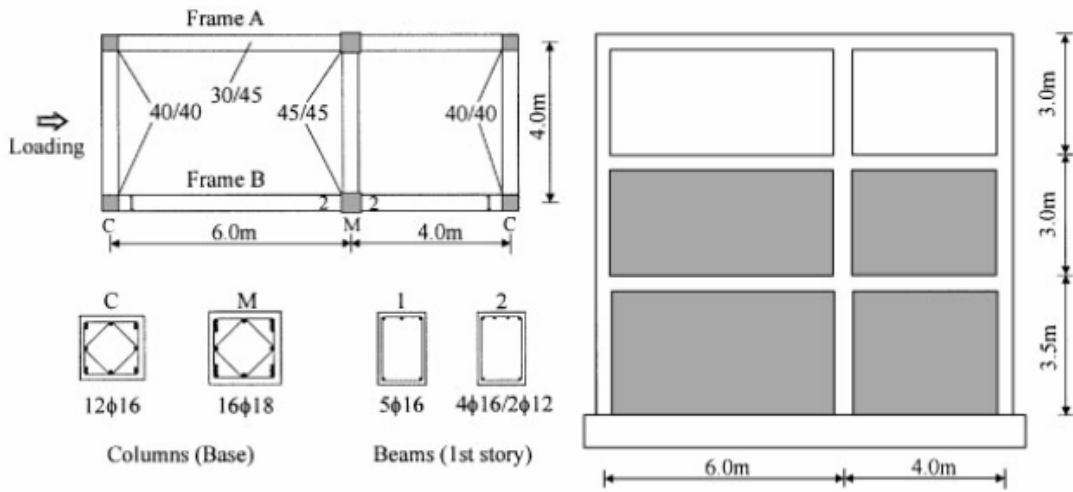
Şekil 2.28 Oluşan Hasarlar 0.4 g



Şekil 2.29 Oluşan Hasarlar 0.6 g

Grafiklerden elde edilen öngörde ivmenin artması ile deplasman ve kesme kuvvetleri artmaktadır. Duvar ile çerçevenin birlikte çalışmasının artırılması sistemin yük taşıma kapasitesini artırmaktadır.

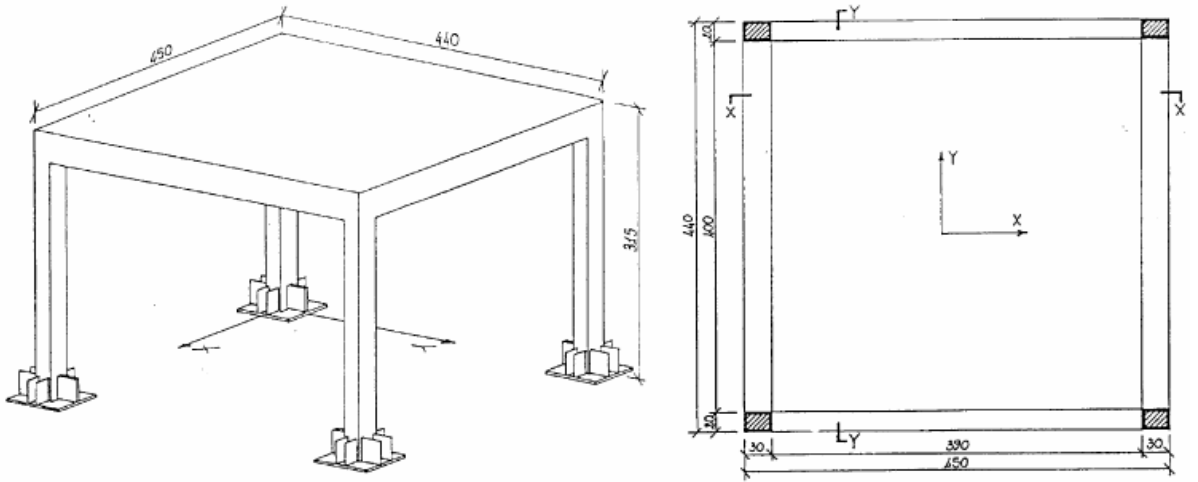
Dolsek M ve Ark. [2002] 3 katlı 2 açıklıklı ve ilk 2 katı dolgu duvarlı çerçevelerde pseudo-dynamic testlerin sonuçları ile bir matematik model oluşturmaya çalışmışlardır. Kullanılan test numunesi Şekil 2.30'da verilmiştir.



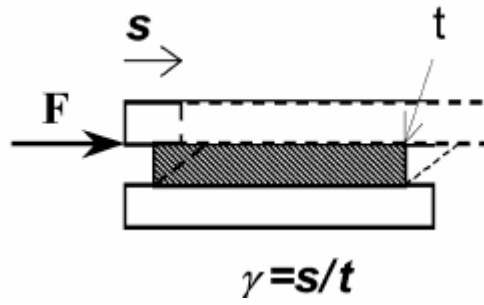
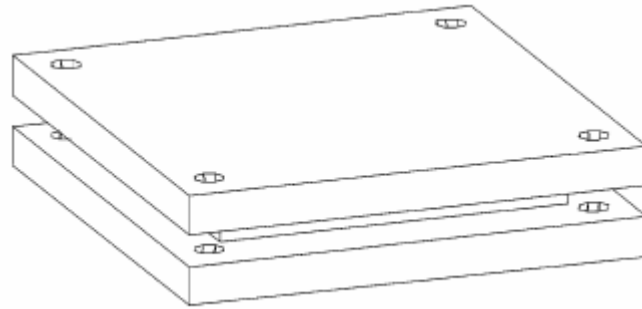
Şekil 2.30 Kullanılan Test Numuneleri

Numunelerin test edilmesinden elde edilen sonuçlar ise, dolgu duvarlı çerçeveler boş çerçeveye göre 2 kat fazla yük taşımıştır. Hasarların artmasıyla yük düzeyi çıplak çerçeve düzeyine inmiş ve davranış çıplak çerçeve ile aynı doğrultuda devam etmiştir. Kat deplasmanları azalmış, bina daha rijit şekilde davranmıştır.

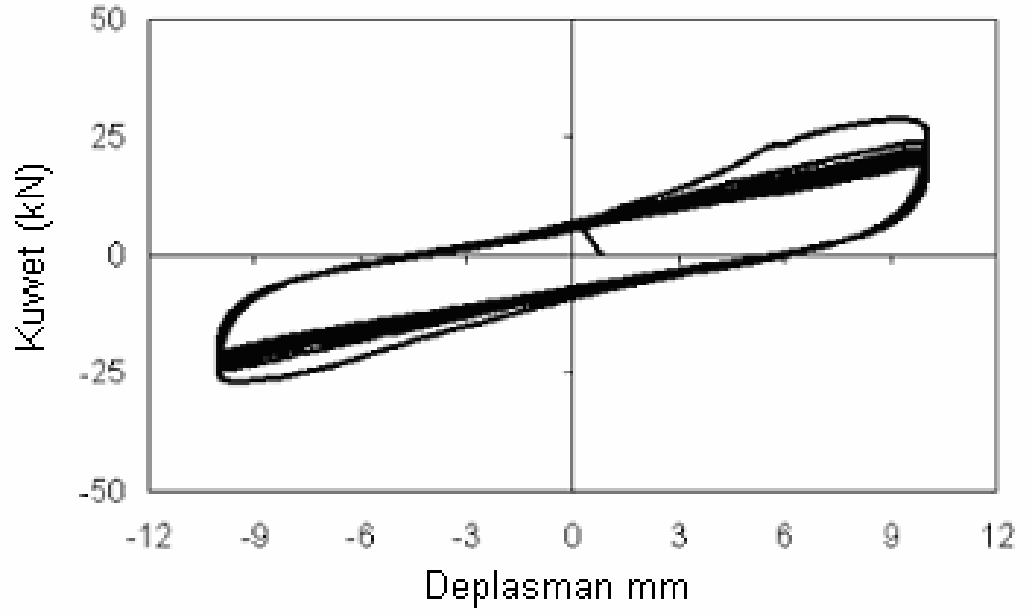
Bartera F. ve Ark [2004] çeşitli çelik kuşaklamaların tek katlı betonarme çerçevelerde etkinliğini araştırdıkları çalışmada Şekil 2.31'de verilen 3 boyutlu çerçeveyi test etmişlerdir. Çaprazlamaların çerçeveye bağlantılarında kullanılan sönümleme özellikli HDRD elemanların şematik görüntüsü Şekil 2.32'de ve elde edilen %100 kesme kuvveti altındaki Yük-Deplasman grafiği ise Şekil 2.33'te verilmiştir. Bağlantı konfigürasyonları Şekil 2.34'te verilmiştir.



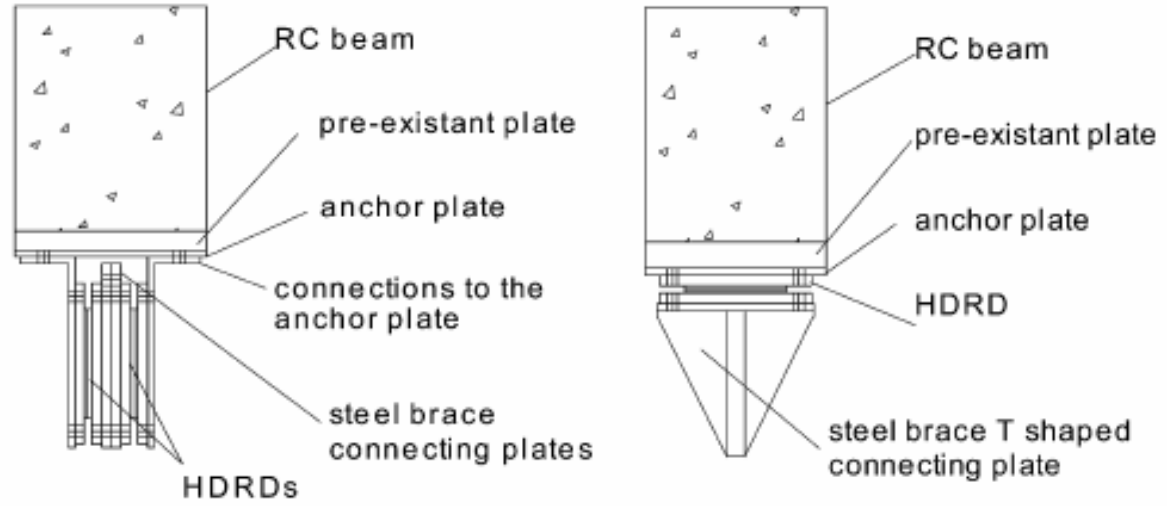
Şekil 2.31 Test edilen 3 boyutlu betonarme çerçeve



Şekil 2.32 HDRD bağlantı elemanları

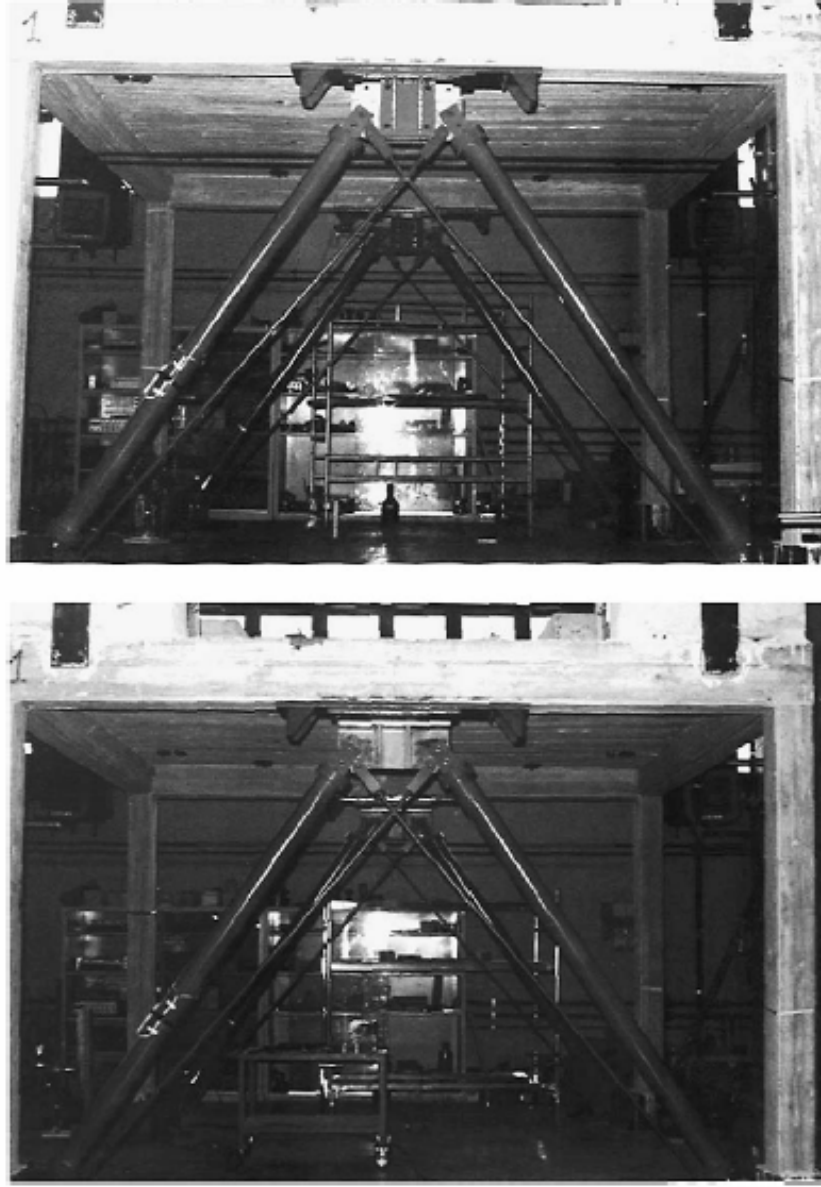


Şekil 2.33 HDRD için %100 kesme kuvveti altında elde edilen Yük-Deplasman Grafiği



Şekil 2.34 Bağlantı Konfigürasyonları

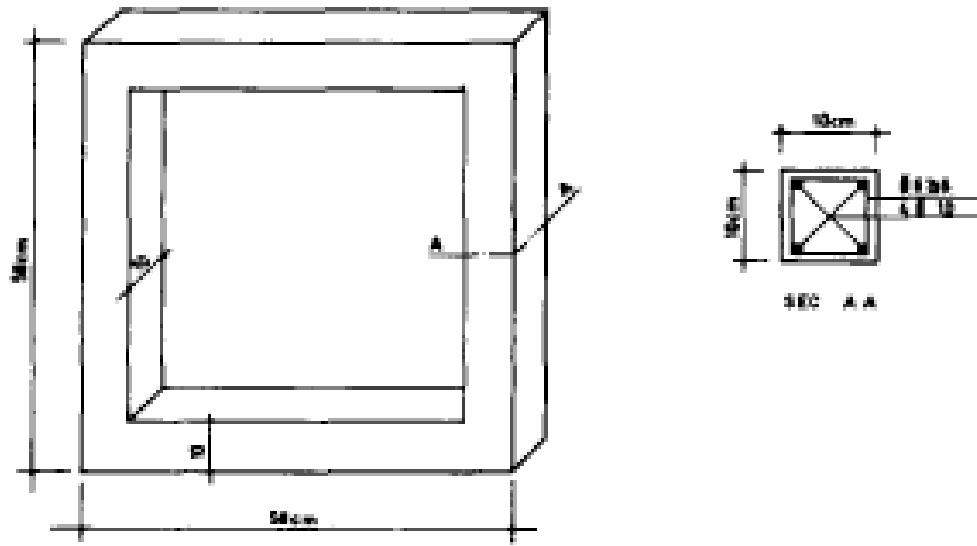




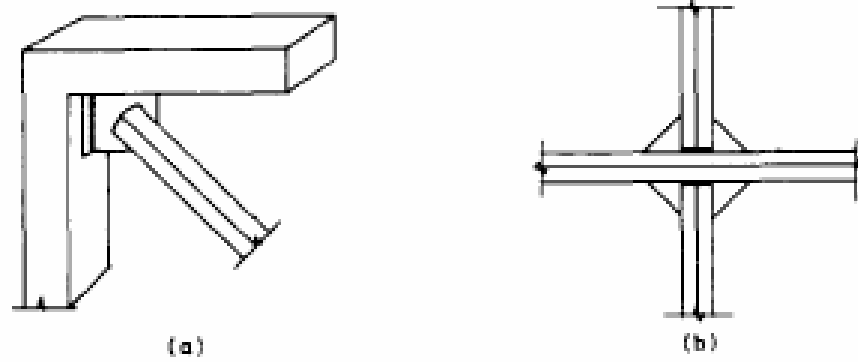
Şekil 2.35 Deney elemanı üzerinde konfigürasyonlar

Yapılan dinamik, statik yükleme programlarının sonucunda oluşan enerjinin eklenen bağlantı elemanları ile oldukça başarılı şekilde sönmüldüğü belirtilmiştir. Hasar minimum düzeyde kalmış, rijit bir bağlantı olmaması sayesinde ek yerlerinde hasar oluşması engellenmiştir.

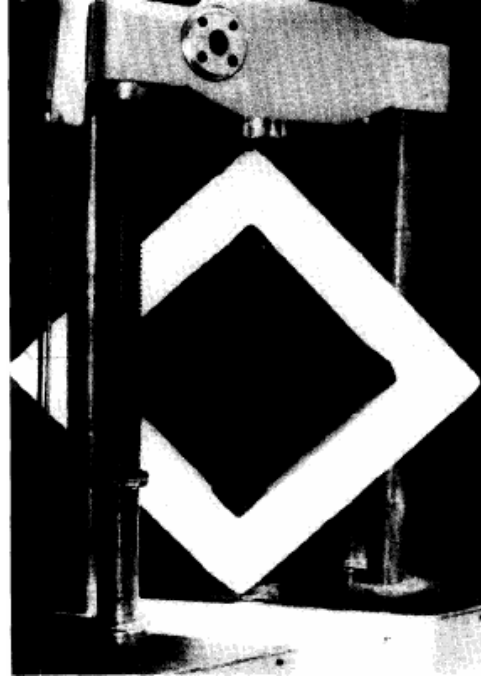
Maheri M.R. ve Sahebi A. [1996] çelik kuşaklamanın betonarme çerçevelerde kullanımını araştırdıkları deneysel çalışmada çeşitli şekillerde betonarme çerçevelere bağlanan kuşaklama elemanlarını tek gözlü betonarme elemanlarda statik yükleme altında test etmişlerdir. Test modeli Şekil 2.36, bağlantı ayrıntıları Şekil 2.37, önerilen bağlantı şekilleri Şekil 2.38, test esnasındaki numune şekil 2.39'da verilmiştir.



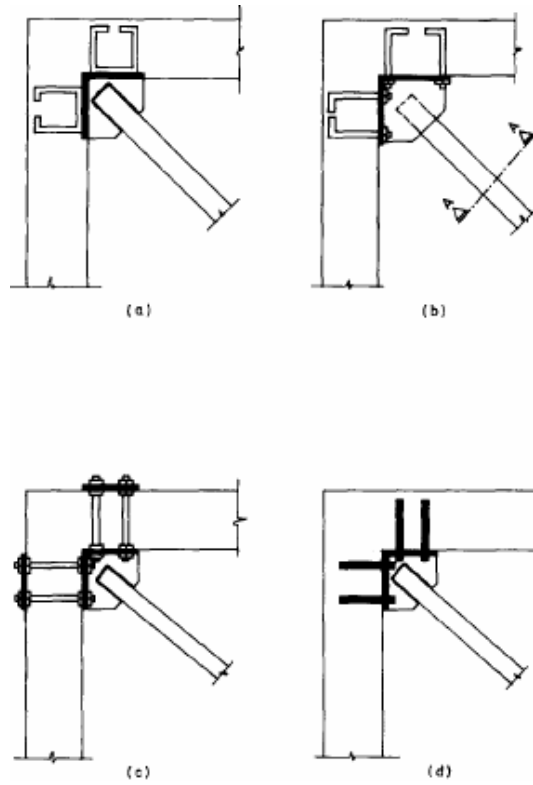
Şekil 2.36 Test Modeli



Şekil 2.37 Bağlantı Şekilleri



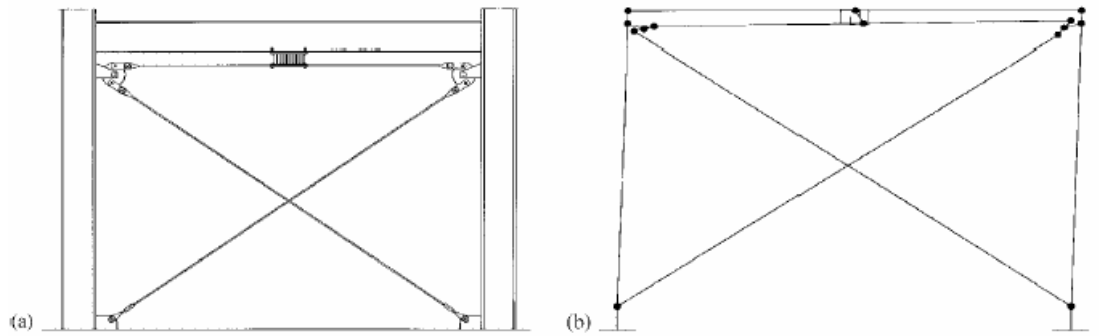
Şekil 2.38 Deney numunesinin test edilmesi



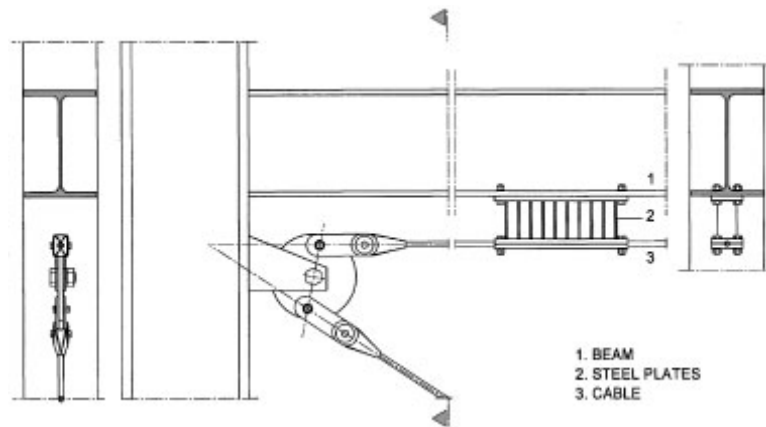
Şekil 2.39 Çeşitli bağlantı önerileri

Deneilerin sonucunda basınç yada çekme kuşaklamasının tek başına sistemin kesme kapasitesini 2.5 kat artırdığı, X şeklindeki kuşaklamada ise bunun 4 katına çıktığı, X şeklindeki kuşaklamada çekme etkisi altındaki kuşaklamanın baskın olduğu, bu kuşakların çözülmesinden sonra basınç çubuğunun burkulduğu belirtilmiş, betonarme çerçeveye olan bağlantının çaprazlamanın etkin çalışması için güçlü ve çaprazın deformasyonundan önce çözülmemesi gerektiği belirtilmiştir.

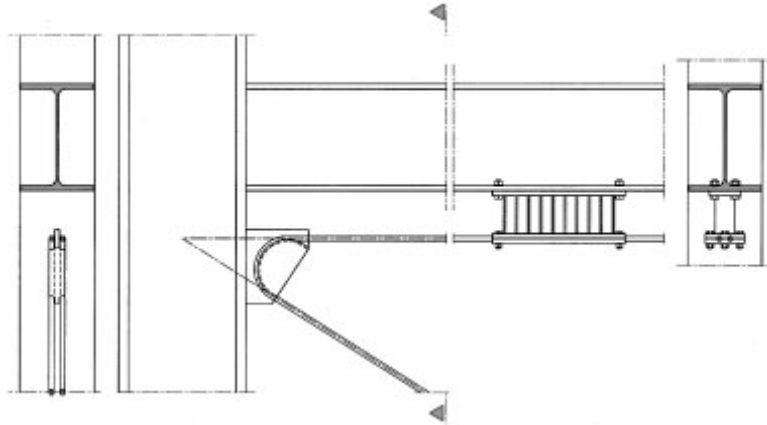
Phocas M.C. ve ark. [2003] bilinen rijit kuşaklama elemanları yerine enerji sönmülemeli kablolardan oluşan bir kuşaklama yöntemini teorik olarak incelemişlerdir. İncelemede kullanılan sistem Şekil 2.40'ta verilmiş olup Şekil 2.41'de detaylandırılmıştır. Şekil 2.42'de ise alternatif detay verilmiştir.



Şekil 2.40 Kullanılan Sistem



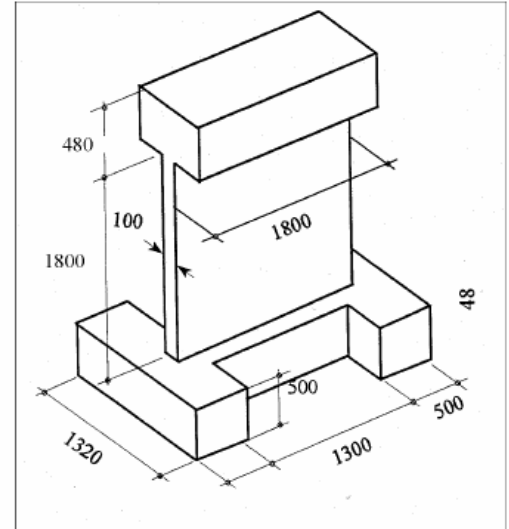
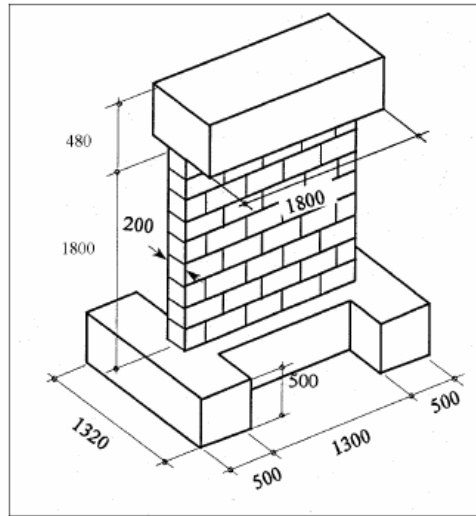
Şekil 2.41 Bağlantı Detayı



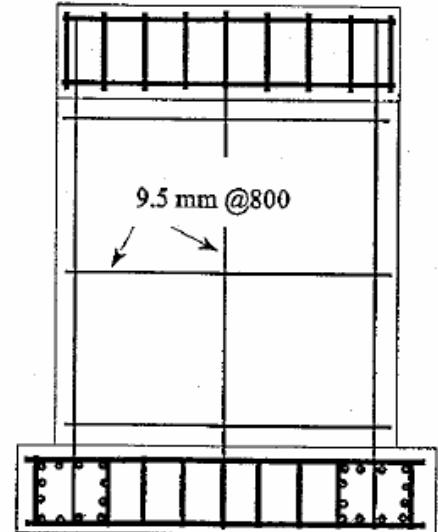
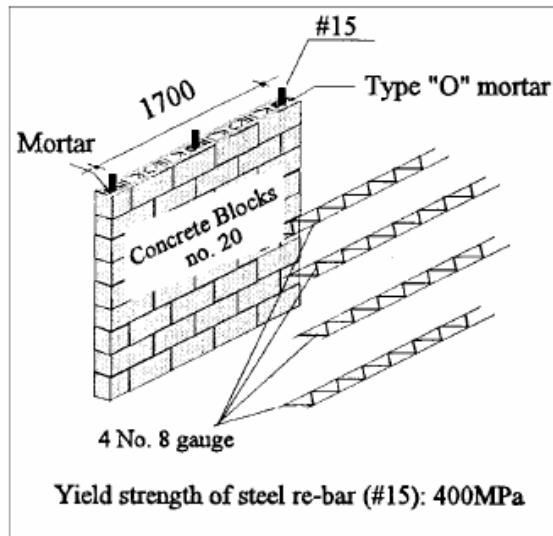
Şekil 2.42 Alternatif bağlantı detayı

Yazarlar yalnızca çekme kuvvetine maruz bu tür bir çaprazlama ile güçlendirmenin mevcut yapılarda enerji sönümlemesi için ideal olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada elastik davranış incelenmiş, elastik ötesi davranışların incelenmesi gerektiği de belirtilmiştir.

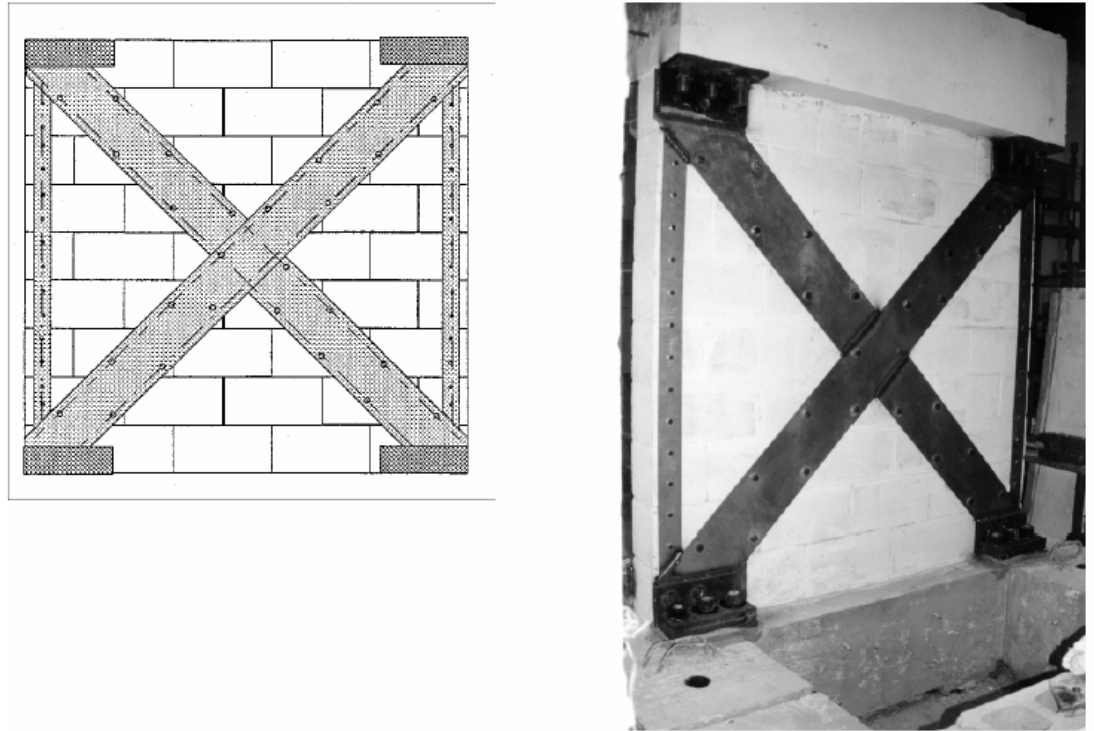
Taghdi M. ve ark. [1998] yaptıkları deneysel çalışmada sünek olamayan tuğla ve betonarme duvarlarda dıştan çelik kuşaklamanın etkisini araştırmışlardır. Şekil 2.43 kullanılan betonarme ve tuğla duvarların ebatlarını, Şekil 2.44 numunelere ait donatı detaylarını, Şekil 2.45 güçlendirilmiş numuneleri, Şekil 2.46 deney düzeneğini, Şekil 2.47 tuğla duvarlara ait Yük-Deplasman eğrilerini, Şekil 2.48 güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş duvarlara ait Yük-Deplasman eğrilerini vermektedir.



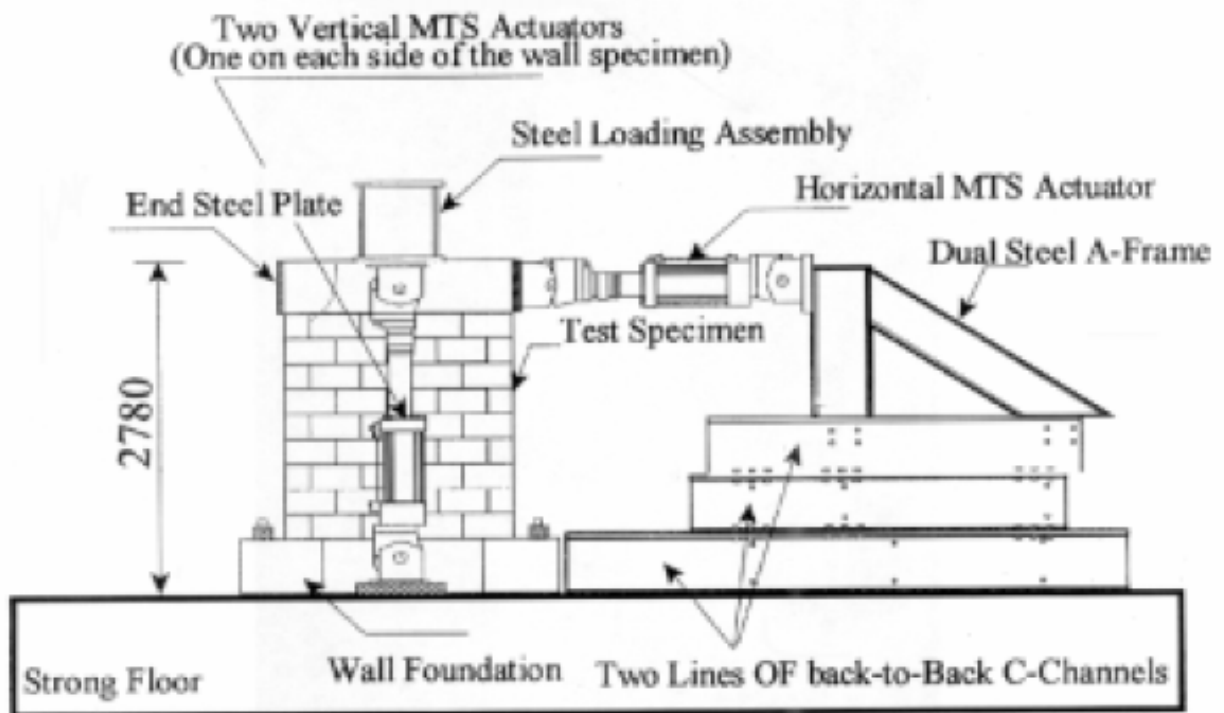
Şekil 2.43 Betonarme ve duvar numune özellikleri



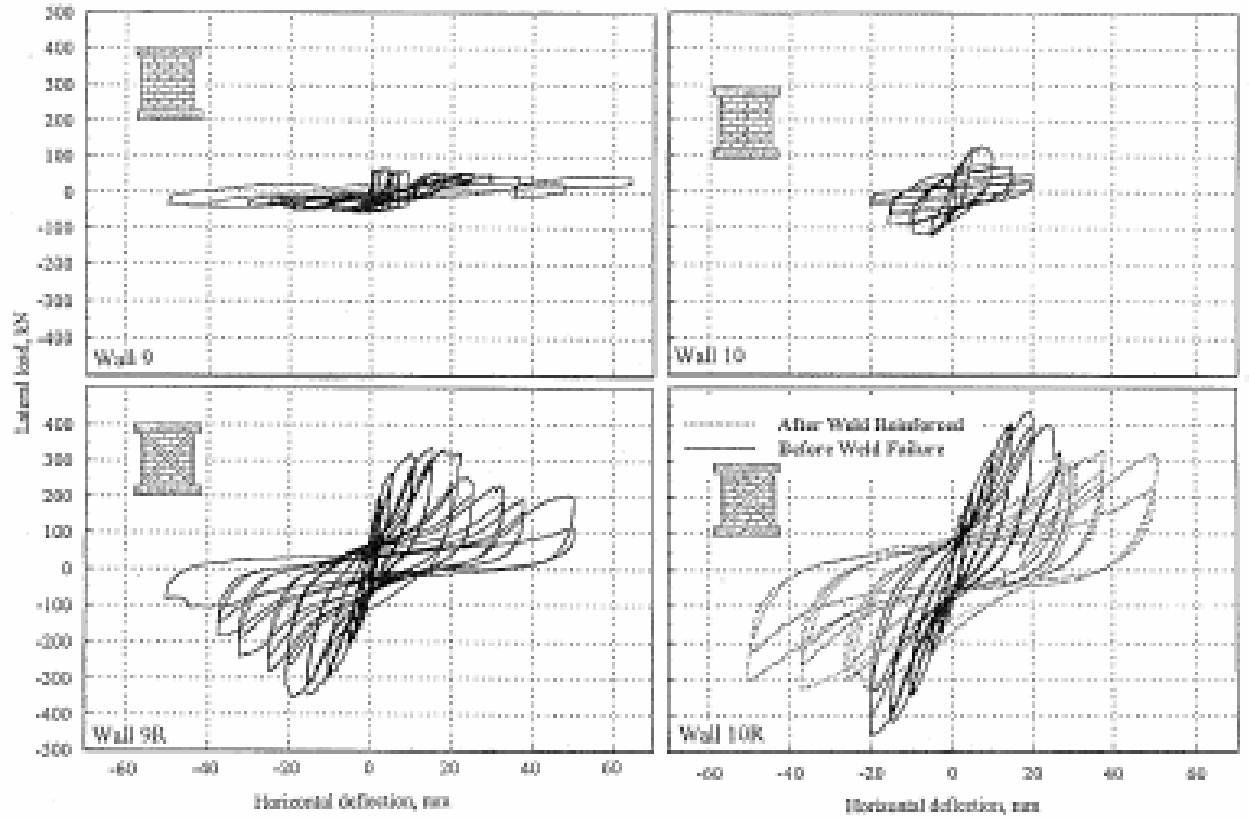
Şekil 2.44 Numunelere ait donatı detayları



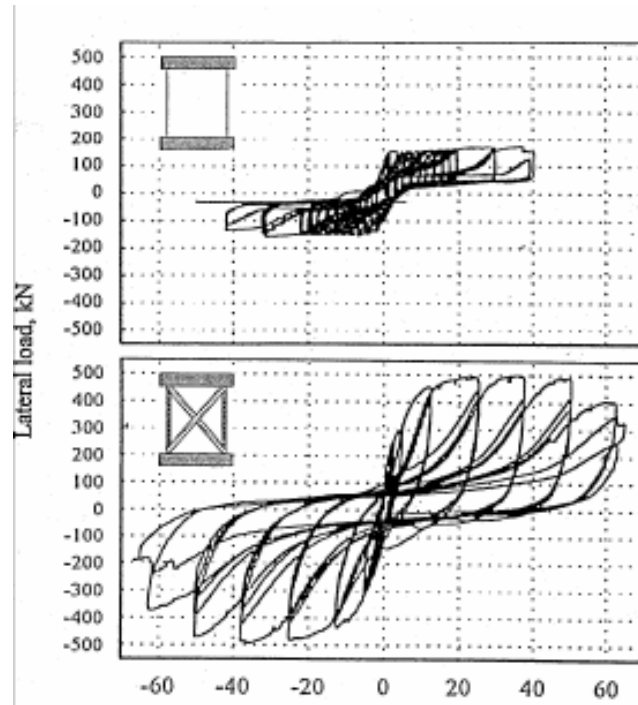
Şekil 2.45 Güçlendirilmiş numuneler



Şekil 2.46 Deney Düzeneği



Şekil 2.47 Tuğla duvarlarda elde edilen Yük-Deplasman eğrileri

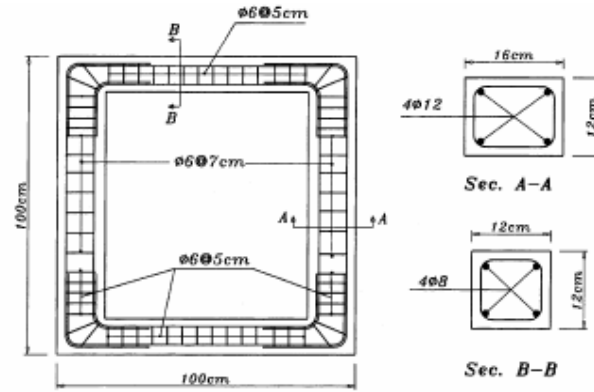


Şekil 2.48 Betonarme duvarlarda elde edilen Yük-Deplasman eğrileri

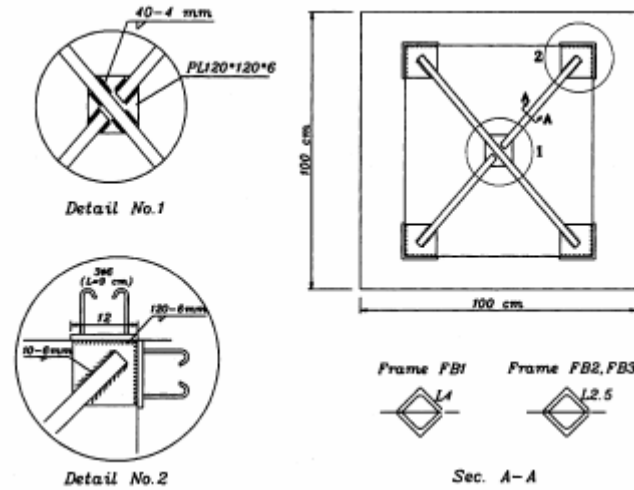


Yazarlar uygulanan güçlendirmenin enerji yutma kapasitesini, sünekliği ve yük taşıma kapasitesini ciddi oranlarda artırdığını belirtmişlerdir.

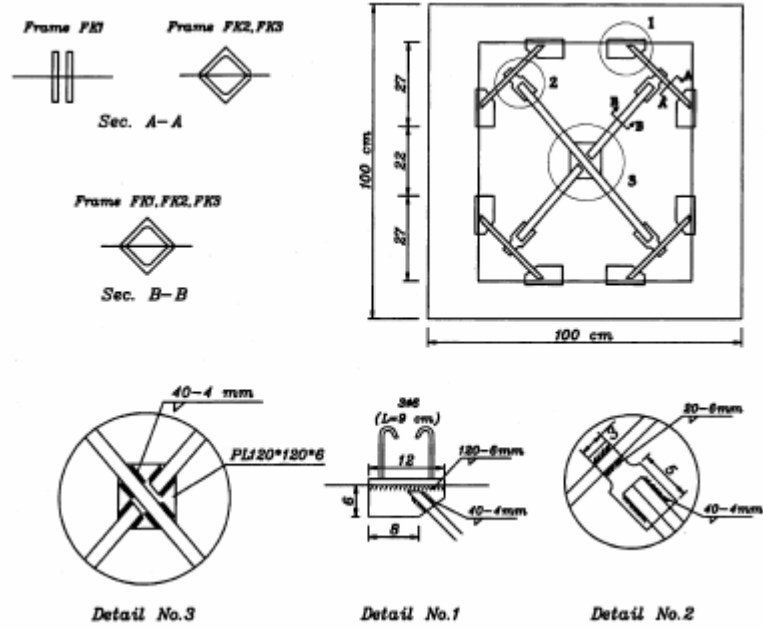
Maheri M.R. ve Ark. [2003] X ve Knee kuşaklamalı betonarme çerçeveleri push-over testine tabi tutmuşlardır. Kullanılan deney numuneleri Şekil 2.49'da verilmiş olup Şekil 2.50 ve Şekil 2.51'de X ve Knee kuşaklama modelleri verilmiştir.



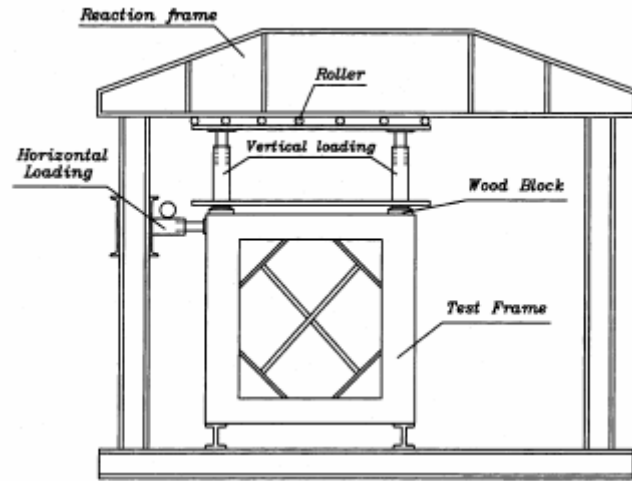
Şekil 2.49 Deney numunelerinin özellikleri



Şekil 2.50 X kuşaklamalı deney numuneleri



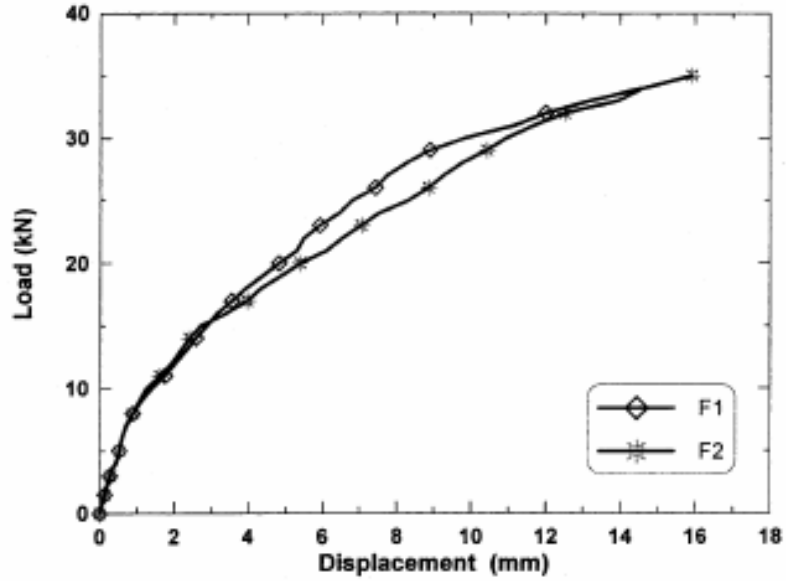
Şekil 2.51 Knee kuşaklamalı deney numuneleri



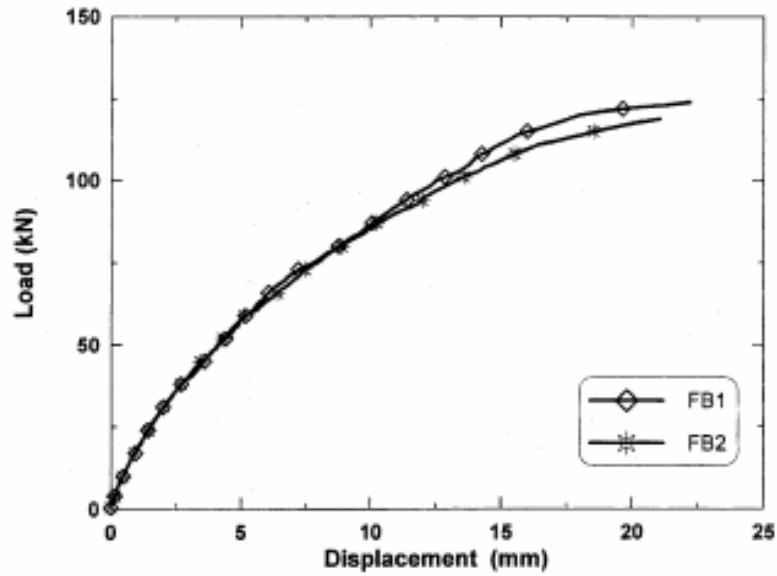
Şekil 2.52 Deney düzeneği

Şekil 2.52’de verilen düzenekte test edilen boş numunelere ait Yük-Deplasman grafiği Şekil 2.53, X kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman

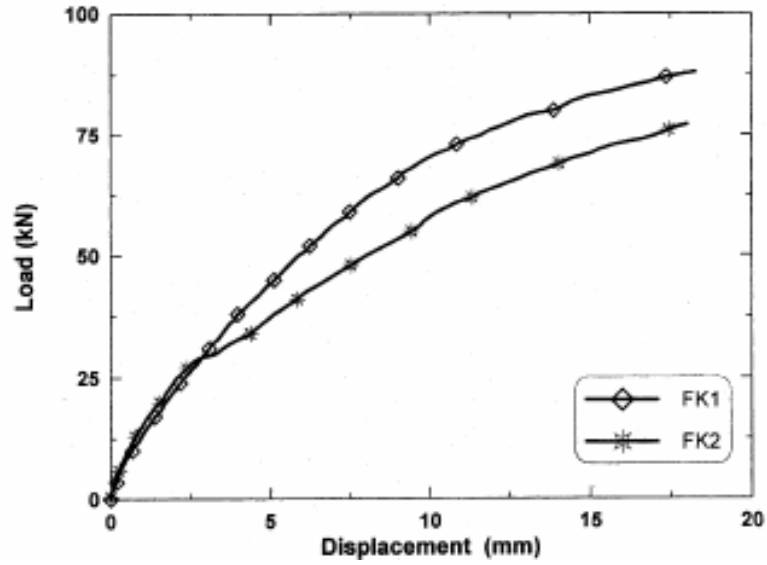
grafığı Şekil 2.54, Knee kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman grafığı Şekil 2.55'te verilmiştir.



Şekil 2.53 Boş numunelere ait Yük-Deplasman Grafığı

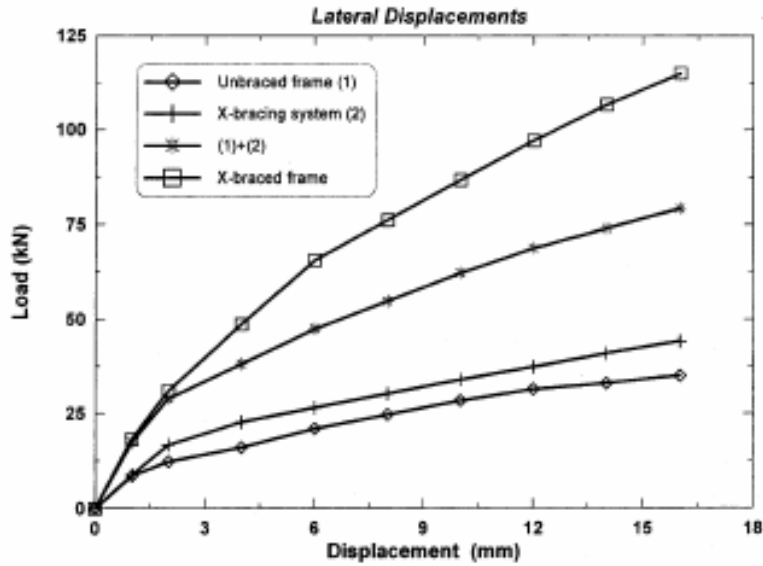


Şekil 2.54 X kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman Grafığı

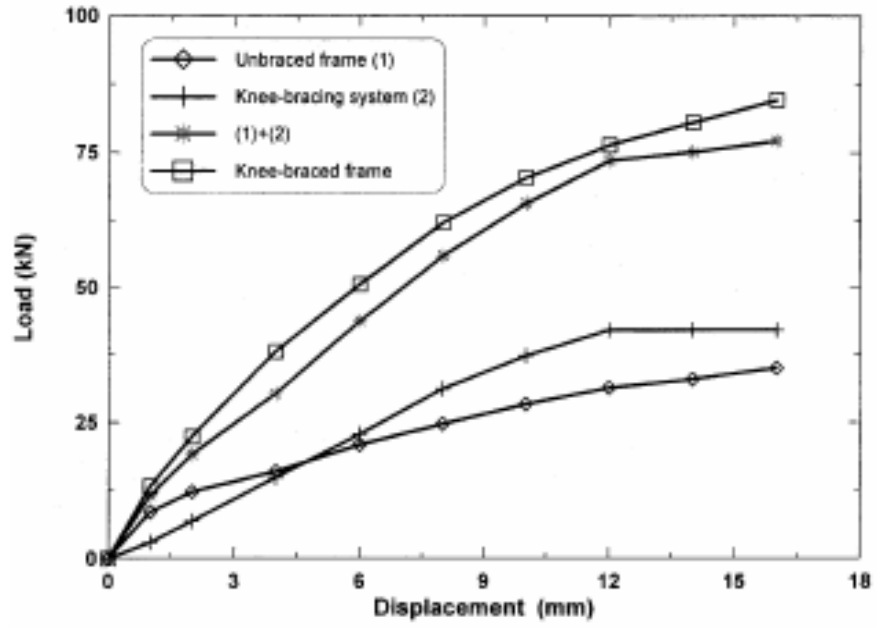


Şekil 2.55 Knee kuşaklamalı numunelere ait Yük-Deplasman Grafiği

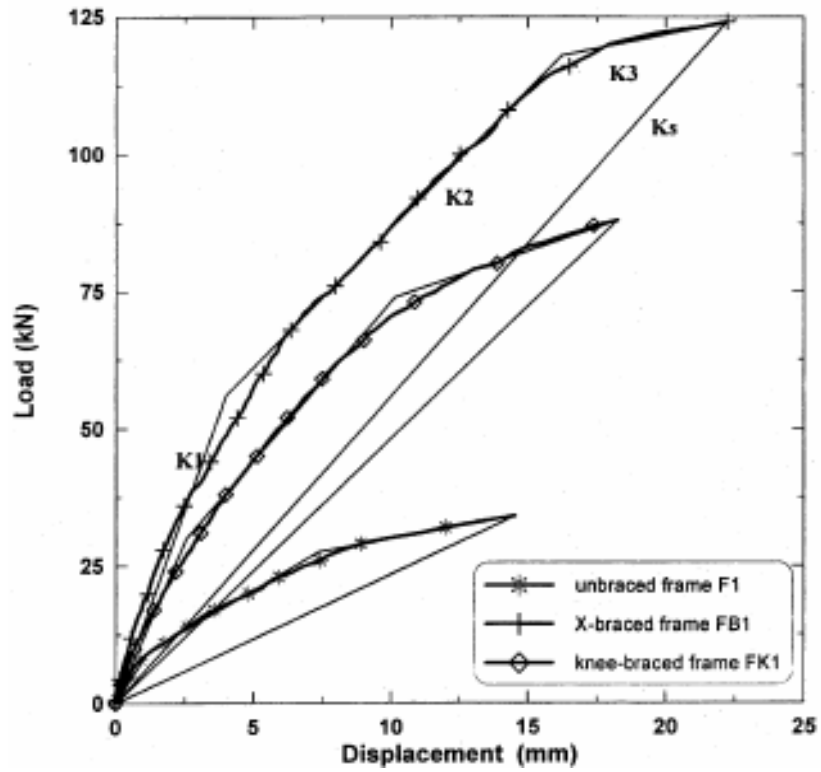
Boş ve X Kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı yük deplasman grafiği Şekil 2.56'da, boş ve Knee kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı Yük Deplasman grafiği Şekil 2.57 verilmiştir. Numunelere ait bağıl rijitlik grafiği Şekil 2.58'de verilmiştir.



Şekil 2.56 Boş ve X Kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı Yük Deplasman grafiği



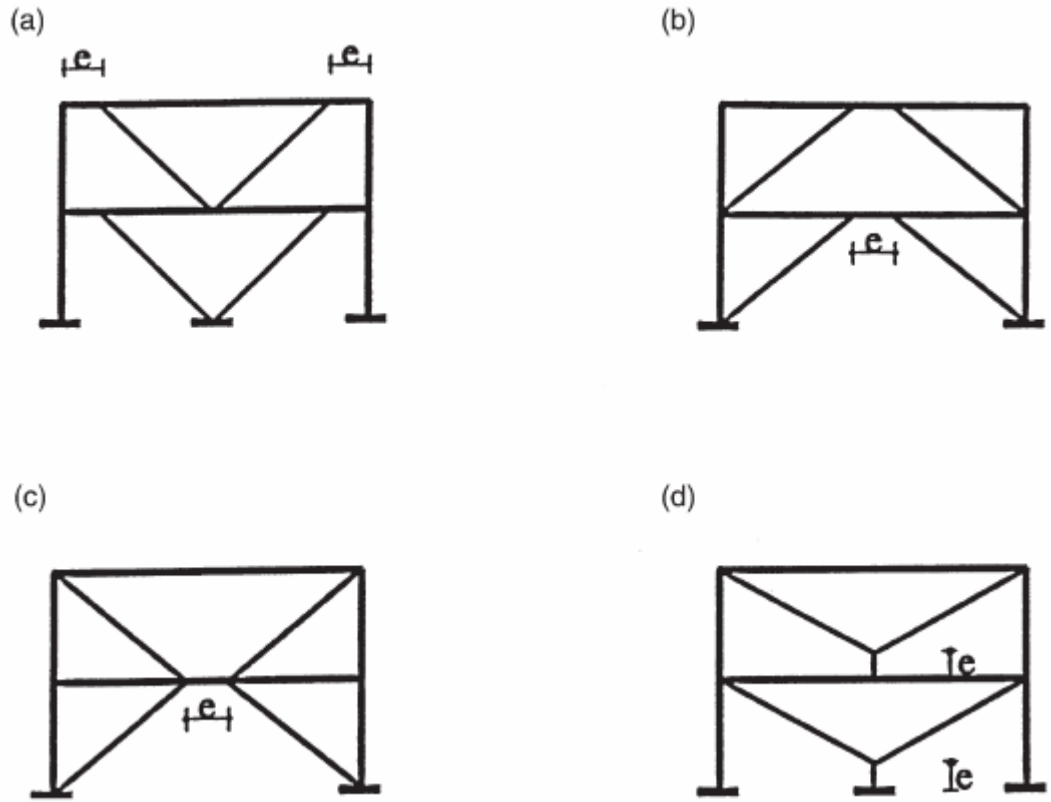
Şekil 2.57 Boş ve Knee Kuşaklamalı numunelere ait karşılaştırmalı Yük - Deplasman grafiği



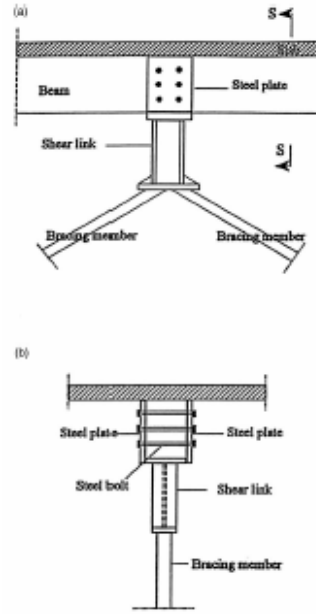
Şekil 2.58 Numunelere ait bağıl rijitlik grafiği

Yazarlar kuşaklamamanın sünek çerçevede yük taşıma kapasitesini, çerçevenin akma değerini artırdığı, deplasmanları dolayısıyla sünekliği azalttığını belirtmişlerdir.

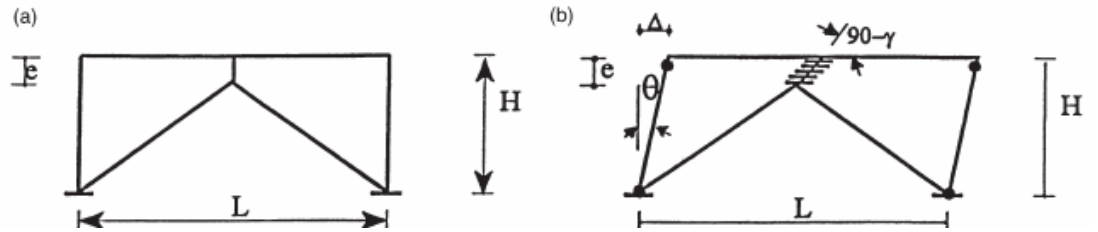
Ghobarah A. ve Ark [2001] eksantrik çelik kuşaklama ile betonarme çerçevelerin rehabilitasyonu için yaptıkları çalışmada 3 katlı bir ofis binasının çeşitli deprem yükleri altında davranışını incelemişlerdir. Şekil 2.59'da V, K, X ve Y şeklindeki kuşaklamalar gösterilmektedir. Şekil 2.61'de modellerin plastik mafsals mekanizması verilmektedir.



Şekil 2.59 Çaprazlama çeşitleri

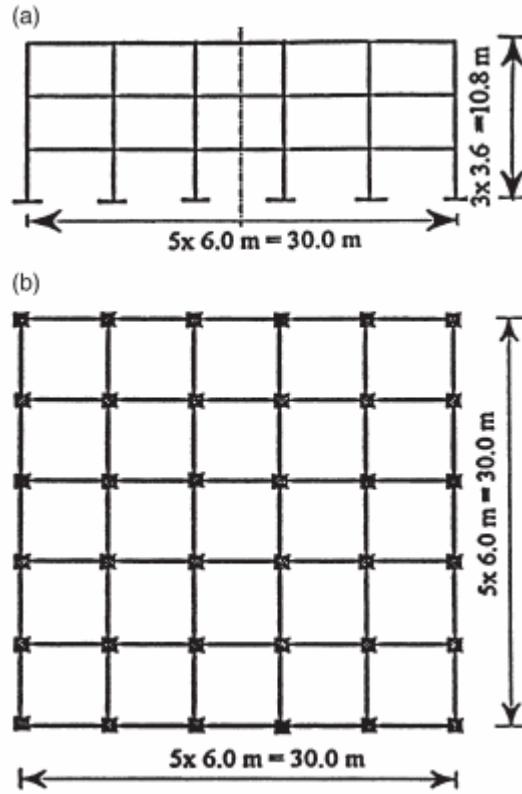


Şekil 2.60 Kullanılan bağlantı elemanları

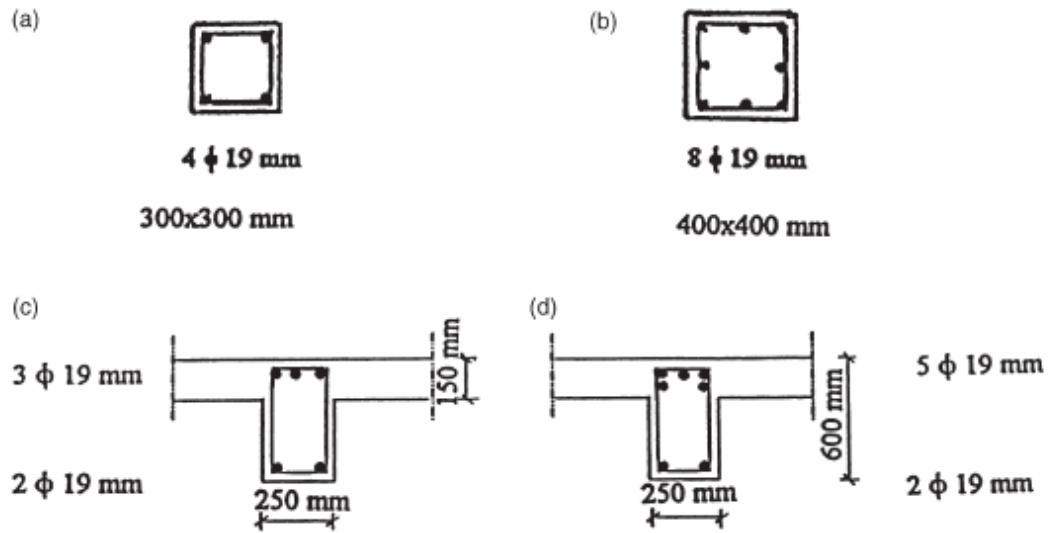


Şekil 2.61 Plastik mafsalsal mekanizması

Çalışmada kullanılan 3 katlı bina 1963 ACI yönetmelik hükümlerine göre tasarlanmış olup beton kalitesi 21MPa, çelik kalitesi 300 MPa olup  $2.4 \text{ kN/m}^2$  hareketli yük olacağı varsayılmıştır. Kat planı Şekil 2.62'de verilmiş olup kenar kolonlar  $30 \times 30 \text{ cm}$  ebatlarında olup 4 adet 19 mm çapında donatılarla, dış kolonlar ise  $40 \times 40 \text{ cm}$  ebatlarında olup 8 adet 19 mm çapındaki donatılarla oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş donatıları ise Şekil 2.63'te verilmiştir.



Şekil 2.62 Binaya ait kat planları

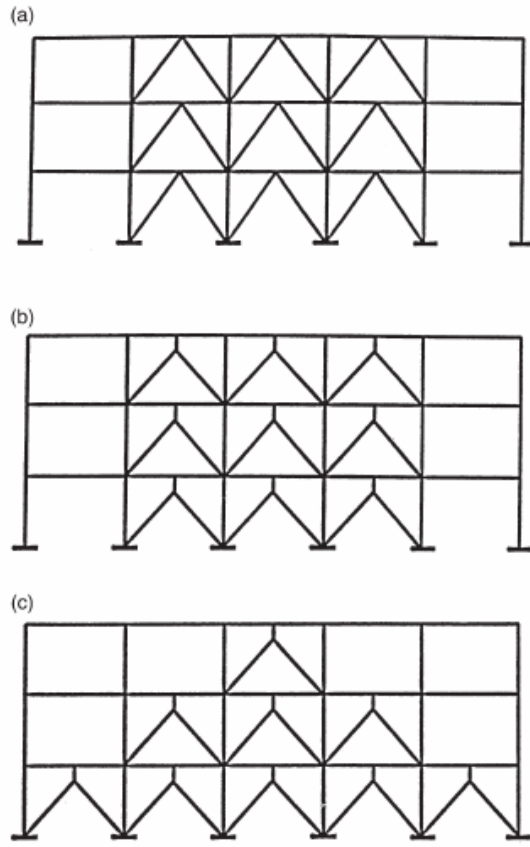


Şekil 2.63 Mevcut kolon ve kiriş donatıları

a)Dış kolon b)İç kolon c)Dış Kiriş d) İç kiriş

Rehabilitasyonda kullanılan takviye şekilleri Şekil 2.64'te verilmiştir.

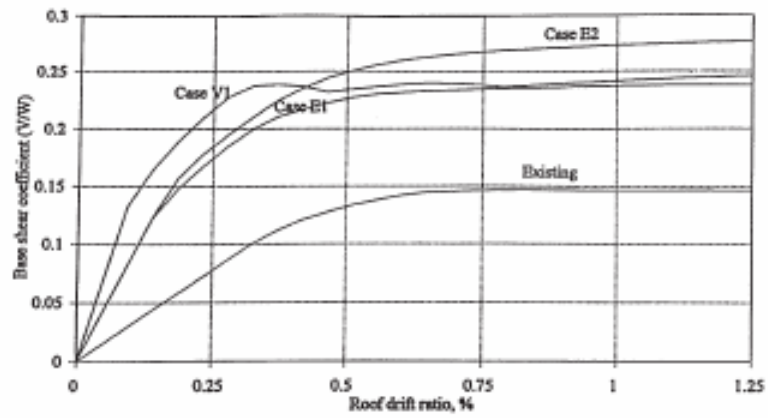




Şekil 2.64 Analizlerde kullanılan sistemler

a)Case IV b)Case E1 c)Case E2

Pushover analizle elde edilen performans eğrileri boş, Case IV, Case E1 ve Case E2 için Şekil 2.65'te verilmiştir.



Şekil 2.65 Performans eğrileri

Araştırmacılar çaprazlamanın deprem etkisi altında deformasyonları azalttığını ve en etkin sonucun çaprazlamanın tüm katlar boyunca aynı kalmasıyla sağlanacağının altını çizmişlerdir.

Benjamin ve Williams (1957), betonarme panelli ereve sistemlerinin yatay yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, yükleme koşulları, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, çekme ve basınç kolonlarının enkesit alanları ve donatıları gibi değişkenlerin, dolgulu ereve sistemin kırılma yükü ve kırılmadan önceki davranışı üzerindeki etkilerini belirleyen yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

Yükleme ile yer ve boy değiştirmeler arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerde, dolgu panelinin davranışını elastik bölge, çatlama bölgesi, kırılma öncesi bölgesi olarak üç bölgede toplamışlardır. Bu bölge sınırları için elde edilen yük-deformasyon eğrilerinin yaklaşık olarak üç doğru çizgi ile ifade edilebileceği sonucuna varmışlardır. (Köken 2002)

Benjamin ve Williams (1958), kendi düzleminde yüklenen tuğla yığma duvarların yatay yükler altındaki davranışlarıyla ilgili araştırmalarını ve sonuçlarını açıklamışlardır. Bu çalışmada uzunluk/yükseklik oranının maksimum mukavemet ve rijitlik üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve kolonların donatı oranının değiştirilmesinin, çatlama sınırları dışında rijitliği etkilemediği sonucuna varmışlardır. (Köken 2002)

Smith (1962), dolgu duvarını “eşdeğer basınç diyagonal” şeklinde varsayarak, bu eşdeğer diyagonalin genişliğini teorik olarak elde ettikten sonra, model deneylerle bu sonuçların doğruluğunu kontrol etmiştir. Yazar deneysel ve teorik çalışmaları sonucunda, “w” basınç çubuğu genişliğinin, çerçevenin değişik “açıklık/yükseklik” oranına göre diyagonal uzunlunun 1/4' ile 1/11'i arasında değiştiği sonucuna varmıştır. Yatay yük kapasitesini veren bir formülasyonu birim şekil değiştirme enerjisi metoduyla elde etmiştir. (Köken 2002)

Polyakov (1966), yatay yüke maruz dolgu duvarların dayanım özellikleri üzerine bir deneysel araştırma yapmış, ayrıca bir de analitik çözüm metodu

sunmuştur. Yapılan çalışmada dolgu bloğu olarak tuğla duvar, taş duvar ve beton panel kullanmıştır. Dolgu panelinin açıklığının, panel yüksekliğine oranı ( $\beta$ ) nın değişik değerleri (0,5-2 arasında) için çözümler sunmuştur. (Köken 2002)

Fiorata ve ark. (1969), farklı dolgu malzemesi kullanılarak hazırlanmış tek katlı-tek açıklıklı, beş katlı-tek açıklıklı ve iki katlı-üç açıklıklı model çerçeve deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler; çerçeve donatısının miktarı, kalitesi ve yerleşim düzeni, kolonlara uygulanan düşey yükün şiddeti, duvar boşluklarının büyüklüğü, şekli ve konumlarıdır.

Yapılan bu çalışma sonucunda, dolgulu çerçeve sisteminin yatay yük etkisi altında, dolgu duvarlarda kayma çatlakları oluşuncaya kadar bir konsol kiriş gibi davrandığı, çatlak oluşuktan sonraki davranışın diyagonal takviyeli bir çerçevenin davranışına benzediği ileri sürülmüştür.

İlave olarak araştırmacılar, çerçeve-duvar ortak davranışının, boş çerçeveye göre daha fazla taşıma gücüne ve rijitliğe sahip olduğu, fakat süneklikte aynı oranda bir azalmanın olduğunu belirtmişlerdir. (Köken 2002)

Mallick ve Grag (1971), yaptıkları bir çalışmada, pencere ve kapı gibi boşlukların dolgulu çerçeve sisteminin rijitliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Boşlukların, yüklenen diyagonalin herhangi iki ucundan birinde bulunmasının, yapısal olarak uygun olmadığını ortaya koyarak, kapı boşluğunun, panelin alt yarısının merkezine, pencere boşluğunun ise panelin dik kenarına olabildiğince yakın olacak şekilde, orta yüksekliğe yerleştirilmesinin uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ile bir çözüm gerçekleştirilerek elde edilen sonuçların deney sonuçları ile uyduğu gösterilmiştir. (Köken 2002)

Ersoy ve ark. (1971), tarafından 1969-1971 yılları arasında Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteği ile O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yapılan araştırma projesinde, dolgulu çerçevelerin davranışını ve dayanımını incelemek amacıyla, değişik yükler altında dokuz adet betonarme dolgulu çerçeve denenmiştir.

Deneyleerde, dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijitliğine birinci derecede tesir edeceği düşünölen çerçeve açıklığının, çerçeve yüksekliğine oranı, dolgu kalınlığı, dolgu ile çerçeve arasında aderansın mevcut olup olmaması, çerçeveye etkileyen yatay yükün düşey yüke oranı gibi değışkenler incelenmiştir.

Yatay yük tesiri altında yüklenmemiş köşelerde dolgu ile çerçeve arasında başlayan ayrılma çatlakları ve daha büyük yüklemelerde dolguda görölen diyagonal çatlakları gibi genel model davranışları, araştırmacıları, dolgunun çerçeve içinde çapraz bir basınç elemanı gibi çalıştığı sonucuna götürmüştür. Denev sonuçlarına uyum sağlayan teorik çözüm metodu olarak da basınç çubuğu analojisi benimsenmiştir.

Yatay yük etkisindeki yük-deplasman ilişkisi, sistemin çatlamadan önceki davranışının elastik sınırlar içinde olduğu kabulü ile elde edilmiştir.

Sistemin statik analizi, diyagonal basınç çubuğu yaklaşımını esas alınarak STRESS (Structural Engineering System Solver) bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Köken 2002)

Yorulmaz ve Atan (1971), çeşitli yapı taşları üzerine yapmış olduğu çalışmalarında, denev numunelerine yatay ve değışik açı yapacak şekilde yük uygulamış ve meydana gelen kayma ve normal gerilmeleri elde etmişlerdir. Çimento ve melez harç kullanılması durumları için karkas dolgu tuğlası için kayma ve normal gerilmeleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. (Köken 2002)

Klinger ve Bertero (1976), deneysel ve analitik olarak betonarme çerçevelerin sismik histeretik davranışı konusunda dolgu panellerin etkisini incelemiştir. Deneysel sonuçlar, dolgulu çerçevelerin esas olarak iki tip yapısal bileşenin bir bileşeni şeklinde davrandığını göstermiştir. Bunlar, çerçeve elemanlarının kendileri ve çerçeveyi rijitleştirerek deprem enerjisini çatlaklara dağıtan dolgulardır. Analitik inceleme için, dolgu paneli bir çift diyagonal çubuk elemanı kullanılarak modellenmiştir. (Köken 2002)

Liauw (1976), dört katlı betonarme dolgu bloklı çelik çerçeve sistemini yatay yük altında test etmiştir. Bu çalışmasında çelik çerçeve ile dolgu paneli arasında kesme kuvvetini aktarmak için birleştirici eleman kullanılması ve kullanılmaması durumu ile dolgu panel de boşluk olup olmaması incelenen parametrelerdir. Çerçeve ile dolgu paneli arasında kesme kuvvetini aktarmak için birleştirici eleman kullanılması çerçevenin rijitliğini ve dayanımını önemli ölçüde artırırken, dolgu panelde de boşluğun olmasının da rijitliği ve dayanımı azalttığı gözlenmiştir. (Köken 2002)

Liauw ve Lee (1977), 4 katlı betonarme dolgu panelli çelik çerçeve sistemini, yatay yük altında deneysel olarak incelemiştir. Toplam 19 adet çerçeve sistemi test edilmiştir. Hazırlanan çerçeve sistemlerinde; dolgu panelinin mevcut olup olmaması, çelik çerçeve ile betonarme panel arasında kesme kuvvetini aktaracak birleştirici elemanın olup olmaması incelenen parametrelerdir. Deneysel sonuçlara ilave olarak analitik bir çözüm de gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve analitik sonuçlar kıyaslanmış ve çerçeve ve panel ara yüzeyinde kesme kuvvetini aktaran birleştirici elemanın, sistemin dayanım, rijitlik ve güvenliğini artırıcı özelliği vurgulanmıştır. (Köken 2002)

Klingner ve Bertero (1978), dolgu duvarlı çerçevelerin depreme dayanımını araştırmak üzere, betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemini yatay yük altında test etmişlerdir. Hazırlanan çerçeve sistemi 11 katlı ve 3 açıklıklı bir binanın bir parçası olarak düşünülmüş ve 5,5 katlı ve 1,5 açıklıklı (kat ve açıklık ortalarında kesilmiş şekilde) olarak inşa edilmiştir. Çerçeve sisteminin açıklığı 2,03 m , yüksekliği ise 0,914 m olarak öngörülmüştür. Yatay yükleme, çerçeve sisteminin en üst kısmından yapılırken, kolonlara aksel basınç kuvveti de uygulanmıştır. Referans olarak bir adet de boş çerçeve sistemi hazırlanmıştır. Yazarlar, dolgu panellerinin, %500 oranında bir rijitlik artışına sebep olduğuna ve maksimum yatay dayanımın da 50 kN dan 300 kN 'a çıktığını ve bu artışın özellikle servis yükleri ve orta büyüklükteki yer sarsıntılarında, binanın davranışını olumlu olarak değiştirdiğini ifade etmişlerdir. (Köken 2002)

Axley ve Bertero (1979), yaptıkları çalışmada, çerçeve dolgu panel sistemlerinin davranışını ve dolgu panellerin rijitliğe katkısını araştırmışlardır. Bu amaçla; çerçeve boyutları ve malzeme özellikleri sabit tutularak, panel yüksekliği ve panel kalınlığı değişken olarak kabul edilmiştir. Bu iki değişken için deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir. İlave olarak analitik çözümler yapılmış, elde edilen analitik ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir. (Köken 2002)

Kahn ve Hanson (1979), dolgu duvarlarının, deprem kuvvetlerine dayanım bakımından etkisini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada dört değişik betonarme dolgu panelli betonarme çerçeve sistemi tersinir-tekrarlanır yük altında test edilmiştir. Çerçeve sistemlerinin ilkinde çerçeve ve panel bir döküm olarak hazırlanırken, ikincisinde daha önceden dökülmüş çerçevenin arasına sonradan betonarme panel yerinde dökülerek hazırlanmıştır. Üçüncü numune de önceden dökülmüş çerçeveye, dışarıda önceden dökülmüş tek parça halindeki panel sonradan birleştirilmiştir. Son numune de ise, önceden dökülmüş çerçeveye, dışarıda önceden dökülmüş 6 adet panel sonradan birleştirilmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. (Köken 2002)

Meli ve Bazan (1980), çalışmalarında kâgir duvarlı yapıların deprem hesabı için tekrarlanan yükler altında lineer olmayan davranış modellerini formüle etmişlerdir. Önerilen modeller farklı şiddetteki yükler altında analiz edilerek sonuçları, elastik davranış ile karşılaştırılmıştır. Kâgir duvarların lineer çatlama sonrası dönemdeki davranışı modellenmiştir. Bu yaklaşımda, çerçeve ve dolgu arasındaki ayrılma ve kayma sebebiyle, yatay rijitlikteki azalmayı göz önüne almak gerekmektedir. Çerçevenin ayrılma ve kaymasından sonra dolgu duvarın esas olarak bir basınç çubuğu olarak çalıştığı sonucuna varılmıştır. (Köken 2002)

Riddington (1984), dolgulu çerçeve sistemlerinde, dolgu ile çerçeve arasındaki boşluğun çerçeve sisteminin davranışına olan etkisini araştırmıştır. Bu amaçla 6 adet tuğla dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi yatay yük altında test

edilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu kullanılarak analitik çözüm de gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki, çerçeve ile dolgu paneli arasında küçük bir boşluğun bulunması çerçeve sisteminin davranışını istenmeyen bir şekilde değiştirmektedir. Bu sebepten, dolgu ile çerçeve arasında boşluk bırakılmaması tavsiye edilmektedir. (Köken 2002)

Liau ve Kwan (1985), 4 katlı ve tek açıklıklı, açıklığın yüksekliğe oranı 2 olan, 14 adet çerçeve sistemini, statik yatay yük ve tekrarlanır yükleme altında test etmiştir. Çerçeve sistemi çelik profilden imal edilmiştir. Üç tür dolgu paneli kullanılmıştır; boş (dolgusuz) çerçeve, yarı dolgulu çerçeve ve tam dolgulu çerçeve sistemi statik yükleme altında yük-deplasman ilişkisi, gerilme dağılımı ve göçme mekanizmaları ile, tekrarlanır yükleme altında ise histeretik karakteristiği, enerji tüketme kapasitesi ve sistem özelliklerinde meydana gelen azalma bakımından incelenmiştir. (Köken 2002)

Dawe (1985), dolgu panelli çelik çerçevelerin davranışını araştırmak üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında 6 adet dolgulu çelik çerçeve sistemi test edilmiştir. Tüm çerçeve sistemleri göçüncüye kadar yüklenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından önerilen teorik çözümlerle kıyaslanmıştır. Yazar, dolgu panellerinin rijit çerçeve sisteminin dayanımını önemli ölçüde artırdığı ifade etmiştir. Yapılan çözümlerde; Smith tarafından önerilen basınç çubuğu yaklaşımının göçme şeklinin belirlenmesinde doğru sonuç verirken, elde edilen teorik göçme yükünün deneysel göçme yükünden daha büyük olduğu, bu metotla elde edilen teorik başlangıç rijitliklerinin deneysel değerlerle oldukça iyi uyum gösterdiği ifade edilmiştir. Yine Liau ve Kwan tarafından önerilen plastik göçme teorisi ile göçme şeklinin doğru şekilde tahmin edildiği, ancak elde edilen teorik yükün deneysel yükten daha büyük olduğu belirtilmiştir. Ancak Liau ve Kwan metoduna Wood faktörü uygulandığında elde edilen teorik göçme yükünün deneysel sonuçlarla oldukça iyi uyum gösterdiği ifade edilmiştir. (Köken 2002)

Kwan ve ark. (1990), hazırlamış oldukları 6 adet beton dolgu panelli çelik çerçeve sistemini yatay yük altında test etmişlerdir. Hazırlanan çerçeve sistemlerinin 2 adedi tek açıklıklı-iki katlı, 4 adedi ise iki katlı-iki açıklıklı olarak tasarlanmış olup, panel açıklığı 1900 mm, panel yüksekliği 1150 mm dir. Numunelerin 3 adedinde çerçeve ile dolgu bloğu arasında kesme kuvvetini aktarmak için “S” şeklinde çelik birleştirici elemanlar kullanılmıştır. İlave olarak deneysel olarak incelenen numunelerin “Liau ve Kwan’s Plastik Teorisi” kullanılarak plastik analizi de gerçekleştirilmiştir. Analitik ve deneysel sonuçların birbirleri ile oldukça iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür. (Köken 2002)

Chiostrini ve Vignoli (1992), taş duvar dolgulu panelin yatay yük altındaki davranışını incelemek üzere deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Bu çalışmada, 34 adet numune diyagonal olarak yüklenerek test edilmiştir. (Köken 2002)

Altın (1992), depremlerde hasar görmüş veya görme ihtimali olan çerçevelerin takviyesinden yola çıkarak, tek açıklıklı ve iki kattan oluşan çıplak ve iki yüzünde donatı ağı bulunan bölme duvarlı 14 adet çerçeve sisteminin tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test etmiştir. Dolgu panellerinin donatı tipi ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı şeklinin etkileri ana değişken olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçları, dolguların rijitlik, dayanım, enerji tüketme, yanılma ve süneklik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan analitik çalışmada monotonik yüklemeler için geliştirilmiş modeller, tersinen yükleme durumuna uyarlanarak, dolgulu çerçeve sistemlerinin dayanım ve rijitlikleri yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdiği ampirik formüller kullanarak hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır. (Köken 2002)

Şimşek (1993), yapmış olduğu çalışmada, çeşitli yükleme durumlarına bağlı olarak duvarların davranışlarını ve hasar görmüş tuğla duvarların farklı donatı aralıkları ile takviyesi ve takviye sonrası davranışı deneysel olarak araştırmıştır. Değişken donatı yüzdesine bağlı olarak duvar çekme ve basınç



dayanımının değişimi incelenmiştir. Birinci aşamada 1/2 ölçekli küçük tuğlalardan 38x38,5cm boyutunda duvar numuneleri hazırlanmıştır. Düşey yük/yatay yük oranı  $\tan\alpha$  olmak üzere  $\alpha=30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  için yüklemeler yapılmıştır. Her bir yükleme durumunda sıvasız, sıvalı ve kırılma sonrası donatı ile takviyeli üç adet tuğla duvar numunesi denenmiştir. Denenen numunelere ait yük- deplasman eğrileri çizilmiştir. Kırılma şekilleri sistem şeması üzerinde işaretlenmiştir. Farklı donatı yüzdelerine bağlı olarak her bir elemanın kırılma zarfı belirlenmiş, elastik ve elasto-plastik davranış bölgeleri tespit edilmiştir. Kırılma zarfı eğrilerinin doğrusal ve parabolik denklemleri çıkarılmış, donatının duvar taşıma gücüne olan etkisi belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesini belirlemek amacı ile yatay yük etkisindeki duvarın yatay deplasmanları ölçülmüş, yatay yük-deplasman eğrileri çizilerek enerji yutma kapasiteleri araştırılmıştır. (Köken 2002)

Angel (1994), 1/2 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı dolgulu çerçevelerin yatay tekrarlanır yük altındaki davranışını incelemiştir. Dolgu olarak beton blok ve tuğla kullanılmıştır. Çalışmada ele alınan parametreler, dolgu genişliği, harç türü ve dolgu panelinin yükseklik/kalınlık oranı şeklinde belirlenmiştir. Gözlenen davranış özelliklerinden faydalanarak analitik model geliştirilmiştir. Yazar, çerçeve/dolgu rijitlik oranının doğrudan dolgu panelinin basınç dayanımı ile ilgili olduğunu ve eşdeğer basınç diyagonalinin genişliğinin diyagonal boyunun 1/8'i olarak hesaplanan rijitlik değerlerinin en iyi sonucu verdiğini ileri sürmüştür. (Köken 2002)

Kwan ve Xia (1995), deprem yükleri altındaki davranışını incelemek ve kıyaslamak amacıyla 1/3 ölçekli 3 adet değişik 4'er katlı dolgu duvarlı üç boyutlu çerçeve sistemini 5 m x 5 m ebadında sarsma tablası kullanarak test etmişlerdir. Test edilen sistemlerden ilki betonarme perdeli, ikincisi tuğla dolgulu, üçüncüsü ise betonarme panel dolgulu olarak tasarlanmıştır. Her üç sistemin ölçüleri aynı olup, betonarme çerçeve sistemleri sarsma tablası deneyi sırasında küçük büyüklükte vibrasyona maruz bırakılarak dinamik özellikleri ve değişimleri ölçülmüştür. (Köken 2002)

Negro ve Verzeletti (1996), yaptıkları çalışmada, dolgu duvarlarının tüm yapıya olan etkisini araştırmak amacıyla gerçek boyutlarda 4 katlı bir binayı Eurocode 2 ve 8 şartnamesine uygun olarak tasarlamış ve inşa etmişlerdir. Binanın planda her iki doğrultudaki boyutu 10 m olup, binanın toplam yüksekliği de 12,5 m dir. Söz konusu bina yüksek süneklik düzeyine göre tasarlanmış olup, binaya tipik hareketli yük ile en büyük ivmesi 0,3g olan deprem yükü uygulanmıştır.

Deney programı kapsamında 3 farklı bina inşa edilmiştir. İlkinde dolgu duvarsız çerçeve sistem betonarme bina yukarıda bahsedilen yükleme altında test edilmiştir. İkinci olarak tüm katları dolgu duvarlı, üçüncü olarak ta birinci katı dolgu duvarsız, diğer katları dolgu duvarlı binalar test edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, dolgu duvarlarının yapının davranışını büyük oranda değiştirdiği görülmüştür. Tüm katları dolgu duvarlı binanın daha fazla enerji yuttuğu ve ilk katı dolgu duvarsız binadaki dolgu panellerinde beklenmeyen aşırı hasarın oluştuğu gözlenmiştir. Yazarlar, tasarım aşamasında dolgu duvarlarının etkisinin göz ardı edilemeyeceğini vurgulamışlardır. (Köken 2002)

Mehrabi ve ark. (1996), tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla ½ ölçekli 12 adet tuğla duvar dolgulu betonarme çerçeve sistemi test edilmiştir. Numuneler rüzgar yükü ve kuvvetli deprem yük durumu olmak üzere iki yük durumu düşünülerek tasarlanmışlardır. Deneyler göstermiştir ki, tuğla duvar dolgular, betonarme çerçevelerin dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır. Kuvvetli çerçeve-kuvvetli dolgu panelli sistemler, enerji tüketme ve yatay yük dayanımı bakımından zayıf çerçeve-zayıf dolgu paneline göre daha iyi performans göstermektedir. Sonuç olarak, dolgu duvarlı çerçeve sistemleri her zaman boş çerçeve sistemlerinden daha fazla yük taşımaktadır. (Köken 2002)

Al-caar ve ark.(1996), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla üç adet numune üretilmiştir. Numunelerden iki adedi ½ ölçekli tuğla duvar dolgulu olup, bunlardan ilki güçlü

çerçeve, ikincisi ise zayıf çerçeve şeklinde tasarlanırken, üçüncü numune ise 1/1 ölçekli tasarlanmış ve dolgu olarak zayıf dayanımlı beton kullanılmıştır. Her bir deneyin göçme mekanizması, yük-deplasman ilişkisi, diyagonal deformasyon ve düğüm noktalarının dönmeleri elde edilmiştir. Güçlü çerçeve sisteminde, diyagonal çekme çatlağı sebebiyle göçme oluşmuş ve oldukça sünek bir davranış gözlenmiştir. Zayıf çerçeve sisteminde ise diyagonal çatlama ve kolon uçlarında mafsal oluşumu şeklinde göçme oluşmuş ve yine sünek bir davranış gözlenmiştir. Son numunede ise dolgu ile çerçeve ara yüzeyinde zayıf ankraj sebebiyle köşelerde ayrılma şeklinde göçme mekanizması oluşmuştur. Sonuç olarak yazarlar, dolgulu çerçevelerin davranışının tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu, dolgulu çerçevelerin boş çerçevelere göre daha büyük dayanım, süneklilik ve enerji sönümleme özelliğine sahip olduğu ve bu özelliklerinde deprem bölgelerinde yapılacak yapılarda istenilen özellikler olduğu ifade edilmiştir. (Köken 2002)

Mosalam ve ark. (1997), beton blok dolgu panelli çelik çerçevelerin yatay tekrarlanır yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Yazarların yaptıkları çalışmada inceledikleri parametreler; beton blok ile derz harçlarının rölatif dayanımı, açıklık sayısı (tek açıklıklı ve iki açıklıklı) ve dolgu panelinde boşluk bulunup bulunmamasıdır. Dolgu bloğundaki boşluklar kapı, pencere boşluğu ve simetrik ve simetrik olmayan boşluk bulunması şeklinde tasarlanmıştır. Ayrıca kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiş ve deney sonuçları bulunan değerler göz önüne alınarak kalibre edilmiştir. (Köken 2002)

Mehrabi ve ark. (1997), ½ ölçekli 12 adet dolgulu betonarme çerçeveyi yatay yük altında test etmişlerdir. Test edilen numunelerin yatay dayanım, rijitlik ve davranış özellikleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmalara ilave olarak yapılan analitik çalışma da ise, numunelerin dayanım ve rijitliklerinin elde edilebilmesine yarayan basit bir analitik model geliştirilmiştir. Yazarlar, göçme yükünün hesaplanabilmesi için değişik modeller kullanarak beş çeşit göçme mekanizması belirlemişlerdir. (Köken 2002)

Marjani (1997), tersinir-tekrarlanır yük altında, tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışını incelemiştir. Bu amaçla 6 adet iki katlı, tek açıklıklı çerçeve sistemi test edilmiştir. Tuğla duvar panel yüksekliği 75 cm, açıklığı ise 130 cm olarak seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada; beton kalitesi, tuğla panelde sıva kullanılıp kullanılmaması incelenen parametrelerdir. Deneyselde kullanılan beton, donatı, tuğla ve harcın mekanik özellikleri de belirlenmiştir. Ayrıca dolgu panelinin kompozit olarak mekanik özellikleri de belirlenmiş, bu amaçla sıvalı ve sıvasız olarak değişik boyutlarda imal edilen tuğla duvar paneller diyagonal olarak aksenal yük altında test edilmiş ve her iki doğrultudaki yük-deplasman ilişkisi ayrı ayrı elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara ilave olarak analitik çözüm de gerçekleştirilmiştir. Bunun için;

- a. Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı
- b. Elastik-lineer sonlu elemanlar metodu
- c. Non-lineer sonlu elemanlar metodu

kullanılarak analitik sonuçlar elde edilmiştir. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. (Köken 2002)

Karaduman (1998), tuğla dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını belirlemek amacıyla toplam 21 adet çerçeve sistemini, panel düzleminde diyagonal olarak etkiyen aksenal yük altında test etmiştir. İncelenen parametreler; dolgu cinsi (tuğla, gaz beton), panel rijitliği, çerçeve rijitliği, eleman boyutları, dolgu panelinin sıvalı olup olmamasıdır. Ayrıca SAP90 programı kullanılarak sonlu elemanlar çözümü yapılmış, deneysel ve analitik çözümler karşılaştırılmıştır. (Köken 2002)

Gürses (1998), yapmış olduğu çalışmasında, iki katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçeveyi hasar oluşuncaya kadar yüklenmiş, daha sonra dolgu duvarla onarıldıktan sonra sistem göçünceye kadar tekrar yüklenmiştir. Betonarme dolgunun tipi ve betonarme dolgu ile çerçevenin bağlantı şekli deneylerin incelenen değişkenleridir. Deney sonucunda betonarme dolgunun, dayanım , rijitlik, yanal ötelenme ve süneklik üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Dolgulu çerçeve modelinin dayanım ve rijitliği yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdiği ampirik formüllerle hesaplanmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. (Köken 2002)

Mosalam ve ark. (1998), iki katlı ve iki açıklıklı tuğla dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemini, sismik yükler altındaki davranışını gözlemlemek amacıyla pseudo dinamik yük altında test etmişlerdir. Test edilen çerçeve sisteminin açıklığı 1803,4 mm, kat yüksekliği ise 863,6 mm olarak tasarlanmıştır. İlk kattaki çerçeveler tamamen tuğla dolgu duvarlı iken üst kattaki çerçevelerde 305x305 mm ebadında boşluk mevcuttur. (Köken 2002)

Saberi (1998), yapmış olduğu çalışmasında, tuğla duvar numunelerinin deprem yükleri altında test etmiştir. Yapılan çalışmada, tuğladan örülerek hazırlanmış duvar sistemleri düşey olarak rijit zemine sabitlendikten sonra, numunelere önce sabit düşey yük uygulanmış ve daha sonra numunelere tersinir tekrarlanır yük tatbik edilmiştir. Deney sonuçları ışığında davranış özellikleri yorumlanmıştır. (Köken 2002)

Türk (1998), “Betonarme Çerçevelerin Dolgu Duvarlarla Rehabilitasyonu” isimli çalışmada hasarlı ve hasarsız, sünek olmayan betonarme çerçevelerin, dolgu duvarlarla onarılmasıyla oluşan sistemin davranışını incelemiştir. Yapılan çalışmada, tek açıklıklı-iki katlı, 1/3 oranında küçültülmüş betonarme çerçeve denemiştir. Daha sonra hasarlı çerçeveler dolgu duvarlar ile doldurulmak suretiyle onarılarak aynı şekilde tekrar test edilmiştir. (Köken 2002)

Alakoç (1999), yapmış olduğu çalışmasında, gaz beton duvarların elastisite modülü, duvar basınç, çekme, kesme ve diyagonal çatlama dayanım değerleri klasik harçlar ve ince derzli harç kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Duvarların çekme ve kesme dayanımları analitik bir yaklaşımla hesaplanmıştır. Kullanılan harç tipinin duvarların mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca duvarların kırılğan davranışını incelemek amacıyla gaz beton duvar örgü

tutkalı kullanılarak ve yatay derzlerde donatı ile takviye edilmiş gaz beton duvarların diyagonal yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir.

İlave olarak bu çalışmada, gaz beton duvarların doğrusal olmayan davranışları da incelenmiştir. gaz beton duvarların matematik modelinde kullanılan parametreler deney sonuçları ve yapılan analitik çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında gaz betonun mekanik özellikleri incelenmiştir. 10 cm ebadındaki küp numunenin basınç dayanımı  $7,69 \text{ N/mm}^2$ , 20 cm ebadındaki küp numunenin basınç dayanımı  $6,78 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunurken, duvarların basınç dayanımı değişik yükseklikte (3,4,5) ve değişik derz malzemesi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak basınç dayanımı  $F_c=4,255 \text{ N/mm}^2$ , kırılma birim uzaması  $\epsilon_c =0,002163$ , elastisite modülü  $E=2341 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında gaz beton duvar bloklarını diyagonal yükleme altında test etmiştir. Örgü tutkalı ile örülmüş numune için göçme yükü olarak 122 kN tespit etmiştir. (Köken 2002)

Kargı (1999), yapmış olduğu çalışmada, hazırlamış olduğu değişik dolgu özelliğindeki 6 adet tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeveyi yatay tersinir-tekrarlanır yükleme altında test ederek, davranış özelliklerini elde etmiştir. Denenen numunelerden ilki boş çerçeve iken, ikincisi 13,5 cm.lik tuğla ile örülmüş, kayma kamalı bölme duvarlı, üçüncüsü düşey delikli izotuğla ile örülmüş, kayma kamalı bölme duvarlı, dördüncüsü 20 cm aralıklı, çelik kayma kamalı bölme duvarlı, beş ve altıncısı 10 cm aralıklı, çelik kayma kamalı, 10 cm beton çerçevesi panel bölme duvarlı şeklinde oluşturulmuştur. Deneylerden elde edilen yük-deplasman ilişkisi ve dayanım zarfı grafikleri verilirken, elde edilen yatay rijitlik sonuçları ve meydana gelen göçme şekilleri irdelenmiştir. (Köken 2002)

Bertero ve Brokken (Infills in Seismic Resistant Building, 1983), ayrıca bir başka çalışmalarında 11 katlı bir yapının ilk üç katını 1/3 ölçekle modellemiştir. Deneyin amacı, farklı tipteki bölme duvarların, yapının dinamik karakteristiklerine etkisini belirleyerek bundan sonra tasarlanacak yapılarda bu

etkileri göz önüne almaktır. Bölme duvarların kendilerini çevreleyen çerçeve içerisine sıkıca yerleştirilerek, çerçeve ile etkileşiminin önemi vurgulanıp, yapıda kullanılması şart olan bu kütlelerin, yatay yüklerin taşınmasında da kullanılması gerekliliği belirtilmiştir . Yapılan deneysel çalışmada ulaşılan en önemli sonuçlar; yapıya donatılı veya donatısız bölme duvarı ilavesiyle, yatay rijitlik ve dayanımın artacağı, servis yatay yükleri düzeyinde duvarda çatlama meydana geldikten sonra başlangıç rijitliğinin önemli ölçüde azaldığı ve yön değiştiren yüklemenin herhangi bir adımındaki yatay rijitlik ve dayanımın önceki yük geçmişine bağlı olduğu, şeklinde sıralanmıştır (Kargı 1999).

Page (A Finite Element Model for Masonry, 1983), tuğla bölme duvarlar üzerinde yaptığı deneysel ve kuramsal çalışmaları sonucunda; genelde harç dayanımının tuğla dayanımına göre daha düşük olduğunu, duvarda doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin önemli bölümünün harç fazından kaynaklandığını belirtmiştir. Ortalama duvar elastisite modülü olarak, tuğla sıralarına paralel ve dik yönde hesaplanan elastisite modüllerinin ortalamasının alınabileceğini söylemiştir. Poisson oranı olarak yaklaşık 1/6 değerini önermiştir (Kargı 1999).

Dawe ve Yong (Experimental Investigation on the Shear Resistance of Masonry Panels, 1985), tek katlı ve tek açıklıklı çelik çerçeveleri test etmişler ve Smith ve Carter'in (1969) yılında yayınlanan çalışmalarında önerilen analitik metotlar ile uyumlu sonuçlara ulaştıklarını bildirmişlerdir. Test sonuçlarına göre, dolgudaki boşlukların ilk kırılma anındaki yükü etkilediğini, ancak, yük taşıma kapasitesini etkilemediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, sıvanın dayanımının azalmasıyla kırılma gerçekleştikten sonra dolgunun rijitliğinin de azaldığı gözlenmiştir (Tüzün 1999).

Govindan, Lakshmi patthy ve Santhakumar (Ductility of Infilled Frames, 1986), Guindy Üniversitesi'nde dolgu duvarlı çerçeveler üzerine yapılan deneysel çalışmada 1/4 ölçekli, 7 katlı ve tek açıklıklı tuğla dolgulu çerçeve model kullanarak tersinir yükler etkisiyle ortaya çıkan rijitlik ve dayanım azalmasını

araştırmışlardır. Dolgulu ve dolgusuz çerçeveler denenerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca dolgulu çerçeveler Smith- Carter ve Smolira tarafından önerilen yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Kırılma oluncaya kadar analitik ve deneysel sonuçlar uyum içindedir. Dolgu duvarlı çerçevenin çıplak çerçeveye göre dayanımının 2 kat, servis yükü altında rijitliğin 2.7 kat arttığı, buna karşılık sünekliğin ise 3.29 kat oranında azaldığı gözlenmiştir (Karabay 1989).

Zarnic ve Tomozevic (An Experimentally Obtained Method for Evaluation of the Behaviour of Masonry Infilled R/C Frames, 1988), yaptıkları deneysel çalışmada; bölme duvarlarını, donatısız veya yatay donatılı olarak teşkil etmişlerdir. İlk deneyler sonrasında numunelerde onarım da yapılmıştır. Kullanılan onarım teknikleri, epoksi enjeksiyonu ve duvarın her iki yüzünde ince betonarme perdeler oluşturulması şeklindedir. Ulaşılan en önemli sonuçlar; bölme duvarlı çerçevelerin dayanım ve yatay rijitliklerinin çıplak çerçevelere göre çok büyük olduğu, bölme duvarına yerleştirilen enine donatıların özellikle kapı-pencere boşluğu içeren duvarlarda yararlı olduğu, tekrarlı yükleme durumunda taşıma gücüne erişildikten sonra aynı genlikli yükün çevrimleri arasında yatay rijitlik kaybı olduğu şeklindedir. Hasarlı duvarda onarım amacıyla, epoksi enjeksiyonu ve donatılı beton sıva kullanımının yatay rijitlik ve dayanımı önemli ölçüde artırdığı, ancak en büyük yük seviyesine erişildikten sonra bu tip onarım tekniklerinin, etkinliklerini hızla kaybettikleri belirtilmiştir (Kargı 1999).

Dukuze ve Seah, (Out-of-Plane Resistance of Concrete Masonry Infilled Panels, 1989), Dukuze ve Seah, (Behaviour of Masonry Infilled Steel Frames, 1989), 9 ve 27 adet tek katlı ve tek açıklıklı, beton dolgulu çelik çerçeveyi düzlem dışı ve düzlemsel davranışını incelemek için monotonik yükleme altında denemişlerdir. İnceledikleri parametreler; çerçeve ve dolgu arasındaki yüzey koşulunun etkisi, panel içindeki donatının etkisi, harç kalitesi, dolgu ve çerçeve arasındaki boşluğun etkisi, dolgu içindeki boşluğun etkisi ve çerçevenin rijitliğinin etkisidir. Yazarlar dolgu içinde çatlaklar arasında diyagonal olarak uzanan parçanın yükün çok önemli bir kısmını taşıdığını ve yüklenen kolonla bu



çatlakların kesiştiği yerde plastik mafsalın oluştuğunu, yatay donatının dolgu davranışı üzerinde çok az etkili olduğunu belirtmişlerdir. Göçme yükünde basınç çubuğunun iki ucunda basınç ezilmesi görülmüştür. (Kargı 1999).

Kato, Goto ve Mizuno (Cycling Loading Test of Confined Masonry Wall Elements for Structural Design, 1992), betonarme bölme duvarlı çerçevelerde, duvar üzerinde kolon ve kirişlerin oluşturduğu sargı etkisini, deneysel olarak incelemişlerdir. Sarılmış bölme duvarlı çerçevede, önce duvar, arkasından kolon ve kirişler oluşturulmuştur. Bu tip yapılardaki tipik hasar türünün, duvarda köşegen doğrultuda çatlak ve/veya kolon alt ve üst kesitlerinde eğilme yada kayma türü hasar olduğu belirtilmiştir. Oluşturulan numunelerde kolon boyuna ve enine donatı miktarları değiştirilerek, bölme duvarı üzerinde meydana gelecek sargı etkisinin değişik değerler alması sağlanmıştır. Ulaşılan en önemli sonuçlar, kolonlarda kullanılan boyuna donatı miktarı arttıkça bölme duvarlı çerçevenin taşıma gücünün arttığı, kolonların yeterli miktarda enine donatı bulundurmaları halinde de bölme duvarı üzerindeki sarma etkilerinin arttığı ve duvarda ani kayma kırılması riskinin azaldığıdır (Kargı 1999).

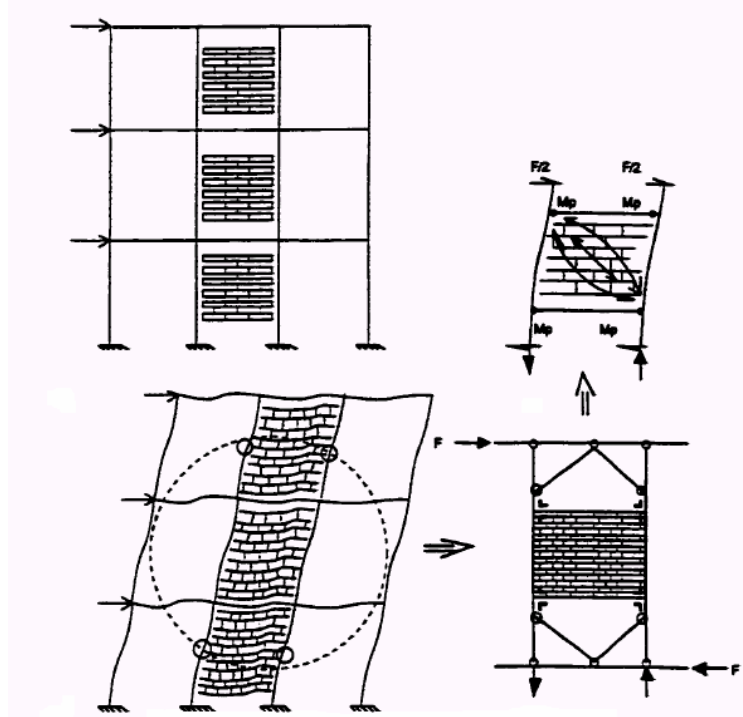
Camacho (Experimental Study on Confined Concrete Masonry Walls, 1993), bölme duvarlı çerçevelerde, kenar kolon boyutları ve kolonlardaki donatı yerleştirme şeklinin genel davranışa olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Numunelerde, boşluklu beton tuğlalar, yatay ve düşey donatılarla birlikte kullanılmıştır. Numuneler arasındaki farklılık, kolonlarda boyuna donatı yüzdesini sabit tutarak kesit boyutlarının küçültülmesidir. En küçük kolon boyutuna sahip numunede, tüm boyuna donatı kesit merkezine toplanmış ve enine donatı spiral şeklinde oluşturulmuştur. Deneysel, sabit düşey ve artan tersinir yatay yükler kullanılarak yapılmıştır. Aynı boyuna donatı oranına sahip numunelerde, kenar kolon boyutları küçüldükçe, elde edilen dayanım ve rijitlik değerleri azalmıştır. Bu farklılığın en önemli nedeni olarak, kenar kolonların duvar üzerinde sağladığı sargı etkisi gösterilmiştir. Yakın kolon enkesit alanlarına sahip, fakat boyuna ve enine donatı detaylarının farklı şekilde oluşturulduğu numunelerde genel

davranışın benzer olması, önerilen basit donatı yerleştirme şeklinin etkinliğini göstermiştir (Kargı 1999).

Ghanem (Effect of Axial Compression on the Behaviour of Partially Reinforced Masonry Shear Walls, 1993), donatılı duvar numunelerinde, eksenel yükün yatay yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Duvarda kullanılan enine ve boyuna donatı oranı,  $\rho=0.2\%$  düzeyinde olup, normal kuvvetin belirli değerleri için tek yönlü artan yatay yükleme yapılmıştır. Eksenel kuvvet miktarının artmasıyla, çatlama dayanımı artmakta, duvar davranışı eğilme tipinden kayma tipine yönelmekte ve süneklik azalmaktadır. Normal kuvvet miktarı arttıkça ani kayma göçmesi riski belirlediğinden, bu tip elemanlarda eksenel kuvvet miktarının sınırlandırılması gereği belirtilmiştir (Kargı 1999).

Manos, Yasin ve Triamataki, (Experimental and Numerical Simulation of the Influence of Masonry Infills on the Sismic Response of Reinforced Concrete Framed Structures, 1994), modellemede yapılan ölçek faktörünün, bölme duvarlı çerçeve numunelerindeki etkisini sarsma tablası deneyi ile araştırmıştır. Deneylerde 1940 El Centro deprem kayıtlarını kullanmışlardır. Denenen numuneler tek katlı ve tek açıklıklıdır. (Korkmaz 2003)

Mander ve Nair, (Seismic Resistance of Brick-Infilled Steel Frames With and Without Retrofit, 1994), Mander, Aycardi ve Kim, (Physical and Analytical Modelling of Brick Infilled Steel Frames, 1994), Mander, Nair, Wotjtkowski ve Ma, (An experimental Study on the Seismic Performance Brick-Infilled Steel Frames With and Without Retrofit, 1993), yaptıkları deneysel çalışmalarda üç katlı ve üç açıklıklı bir çerçeveyi temsil etmek üzere, üç katlı ve tek açıklıklı bir çerçevenin orta katı dolguyla doldurulmuş, buna komşu alt ve üst katlara dolguyu temsil edecek şekilde iki diyagonal eleman yerleştirilmiştir (Şekil 2.66). Çatlama ve göçme durumunu inceledikleri çalışmada dolgunun çerçeve rijitliğini artırdığı sonucuna varmışlardır (Hakam 2000).



Şekil 2.66 Mander (1993) tarafından kullanılan numune

Kwan ve Xia, (Shake-table Tests of Large-Scale Shear Wall and Infilled Frame Models, 1995), 1/3 ölçekli 4 katlı 3 adet numuneyi sarma tablası deneyine tabi tutmuşlardır. Birinci numune betonarme perde duvarlı, ikinci numune tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve, üçüncü numune ise beton dolgulu çelik çerçevedir. Deney arasında hasarlı numuneler, titreşim karakteristiğindeki değişimi incelemek için küçük titreşim deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneylerde 1940 El Centro deprem kayıtlarını kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda sadece dolgu duvarlı numunenin, duvarın düzlem dışına yıkılması ile göçtüğünü ve yapımda dolgu duvarların çerçeveyle bağlantısının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Öte yandan çalışmanın da amacını oluşturan, üç sistemin sismik performansı ile ilgili bir sonuca ulaşamamışlardır. Çalışmada hasar durumunun dinamik karakter üzerindeki etkisi irdelenmiştir. (Korkmaz 2003)

Negro ve Verzeletti (Effects of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames Energy Considerations From Pseudodynamic Tests, 1996); Eurocode 2 ve 8 e göre tasarlanmış 1/1 ölçekli 4 katlı betonarme çerçeveleri dinamik yükleme ile denemiştir. Çalışmada boş, dolgulu ve yumuşak kat içeren numuneler incelenmiştir. (Korkmaz 2003)

Negro ve Colombo (Irregularities Induced by Nonstructural Masonry Panels in Framed Structures, 1997), Eurocode 8 e göre tasarlanmış 4 katlı ve değişik dolgu duvar konfigürasyonuna sahip çerçeveli yapıları, pseudodynamic teste tabi tutmuştur. İlk numune dolgusuz boş çerçeve, ikinci numune düzgün olarak dolgu ile örülmüş çerçeve, üçüncüsü ise yumuşak kat ihtiva eden çerçevedir. Dolgulu çerçevede alttan üst kata doğru dolgudaki hasar azalmaktadır ve en üst kat dolgusu hasarsız olarak kalmıştır. Ayrıca dolgulu çerçevenin yaptığı en üst kat deplasmanı diğerlerinden 2,5 kat daha azdır. (Korkmaz 2003)

Klinger , Rubiano, Bashandy ve Sweeney (Evaluation and Analytical Verification of Shaking Table Data From Infilled Frames, 1997), iki set halinde ½ ölçekli ve “zayıf çerçeve” (1956 ACI şartnamesine göre tasarlanmış) ve “güçlü çerçeve” (1989 ACI şartnamesine göre tasarlanmış) olarak adlandırdığı çerçeveleri sarsma tablasında denemiştir. Çerçeveler tek katlı ve tek açıklıklıdır. İlk olarak çıplak çerçeve denenmiş ve daha sonra dolgu ile doldurularak tekrar denenmiştir. (Korkmaz 2003)

Mehrabi ve Shing (Finite Element Modelling of Masonry Infilled R/C Frames, 1997), çalışmasında ½ ölçekli 14 adet beton dolgu betonarme çerçeveyi test etmiştir. İncelediği parametreler; dolgunun rijitlik ve dayanımının çerçeveye göre değişimi, yükleme geçmişi, panel üzerindeki düşey yükün etkisi ve açıklık sayısının etkisidir. İki çeşit çerçeve üretilmiştir. Birincisi deprem yüklerine göre tasarlanmış güçlü çerçeve, diğeri rüzgar yüklerine göre tasarlanmış zayıf çerçevedir. Ayrıca kullanılan dolgu malzemesi de boşluklu ve dolu tuğla şeklinde iki çeşittir. Çerçevenin tasarımında dolgunun etkisi göz önüne alınmamıştır.

Çerçeveler hem tersinir hem de monotonik yükleme altında denenmiştir. Zayıf çerçevenin davranışı, çerçeve ile dolgu arasındaki etkileşimle ilgili değildir. Bu çerçevelerde derzler boyunca kayma şeklinde hasar olmuştur. Çerçevenin toplam dayanımı, çerçeve elemanların eğilme dayanımı ve dolgunun kayma dayanımının toplamına eşittir. Güçlü çerçevede ise, diyagonal çatlama ve kayma ile kolonlarda kesme göçmesi, taşıma kapasitesini belirlemektedir. Güçlü çerçeve, güçlü dolgu paneli durumunda, dolgu köşelerinde ezilme görülmektedir. Bu durumda diyagonal basınç çubuğu tam olarak işlevini görmekte ve dolgu-çerçeve arayüz etkileşiminden etkilenmektedir. Başlangıç rijitliği ve dayanımı, dolgu nedeniyle artmaktadır. Ayrıca yükseklik/genişlik oranı 0,67-0,48 arasında dolgunun dayanımı çok fazla değişmemektedir. Ayrıca açıklık sayısı artınca dayanımda da artış gözlenmiştir (Hakam 2000).

Mosalam, White ve Gergeley (Static Response of Infilled Frames Using Quasi-Static Experimentation, 1997), Mosalam, White ve Gergeley (Seismic Evaluation of Frames With Infill Walls Using Quasi-Static Experimentation, 1997), çalışmasında, 1/4 ölçekli, tek katlı, beton dolgulu çerçevelerde beton blokların dayanımın harç dayanımına göre farklılığın, açıklık sayısının ve dolgudaki boşluk durumunun etkisini deneysel olarak incelemiştir. 1/4 ölçeğinde blok tuğlalar kullanılmış ve dolgu ile çerçeve arasında bağ teşkil edilmemiştir. Numuneler deplasman kontrollü çevrimlere maruz bırakılmıştır. Ayrıca yüklenerek hasar verilen çerçeveler tekrar yüklemeye tabi tutularak hasarlı dolgu duvarlı çerçevelerin deprem davranışı da incelenmiştir. Yük-deplasman eğrilerinden, davranış için üç ayrı bölge tanımlanmıştır. Birinci bölgede henüz dolgu ve çerçeve etkileşimi tam başlamamıştır. İkinci bölgede etkileşim başlamış ve dolgu yük kapasitesine katkıya başlamıştır. Üçüncü bölgede dolgu çatlamış ve rijitlikte azalmayla beraber enerji tüketimi de artmıştır. Hasarlı çerçevelerin davranışı da benzer özellikler göstermekle beraber, ilk bölge daha geniştir. Ayrıca dolgu ve harcın dayanım oranı göçme şekline etkilidir. Zayıf bloklar kullanılırsa köşelerde ezilme, zayıf derz harcı kullanılırsa derzlerde çatlamlar görülmektedir.

İkinci durumda yük taşıma kapasitesi daha fazla olmaktadır. Maksimum yükün %50 sinden geçen doğrunun eğimi olarak tarif ettiği ilk rijitlik, çatlamanın olmasıyla %50 oranında azalmaktadır. Ayrıca iki açıklıklı çerçevelerin dayanımı tek açıklıklılara göre 2 kat fazladır. İçinde boşluk bulunan çerçevelerde çatlama boşluğun köşesinden başlayıp yüklenen köşeye doğru devam etmektedir. Boşluksuz çerçevelerde kırılma ani olurken, boşluklu çerçevelerde daha sünek bir davranış gözlenmektedir. Ayrıca yazarlar, diyagonal basınç çubuğunda köşelerde gerilme yığılması olduğunu ve çerçevenin merkezine doğru gittikçe bu gerilmelerin azaldığını, çatlama oluncaya kadar diyagonal boyunca gerilme ve deformasyon arasında doğrusal ilişkinin korunduğunu ve eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin merkeze doğru arttığını belirtmişlerdir (Hakam 2000).

Vintzileou , Yong ve Zhang (Sismic Behaviour of Multi-Storey R/C Frames Tested on an Earthquake Simulator, 1998), 6 katlı Eurocode 8'e göre tasarlanmış, 1:5.5 ölçekli, dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri 1940 El Centro deprem kayıtlarını kullanarak denemişlerdir. Ayrıca, deney sırasında hasarlı çerçevelerin titreşim özelliklerini rastgele titreşim deneyleri ile tespit etmişlerdir.

Dukuze ve Dawe (Assesment of Diogonal and Racking Loading of RC Infilled Frames, 1998), 1/3 ölçekli, kare, dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri hem diyagonal hem de ayrıca yatay yükleme altında test ederek iki test metodu arasındaki farkı incelemiştir. Kolon ve kiriş elemanların rijitliklerinin etkisi de incelediği parametrelerdendir. Uygulanan yükün yatay bileşeninin diyagonalin deplasmanı ile grafiğini incelediğinde, davranışı üç ayrı bölgede sınıflandırmıştır. Bunlar çatlak öncesi, çatlak sonrası ve tepe noktası sonrası bölgelerdir. Çatlak öncesi bölge diğerlerine göre doğrusal olup ilk çatlak oluşup yükte bir düşüş gözlenene kadar devam etmektedir ve yükleme çeşidine bağlı değildir. Çatlak sonrası bölgede çatlaklar diyagonale paralel olarak köşelere doğru uzanır. Maksimum yük noktasına ulaşıldıktan sonra çatlak boyunca kayma ve duvar parçalarının çerçevenin şeklini alacak şekilde dönmesi sonucu yükte düşme gözlenir. Maksimum yükten sonra diyagonal yüklenen numunelerde ani bir yük

kaybı gözlenirken, yatay olarak yüklenen numunelerde bu düşüş daha yavaş olmakta ve yatay yüklen numuneler diyagonal yüklenenlere göre daha yüksek bir ilk rijitlik sergilemektedir. Fakat genel olarak her iki numunenin de aynı davranışı gösterdiği söylenebilir (Hakam, 2000).

Zarnic, Gostic, Crewe ve Taylor (Shaking Table Tests of 1:4 Reduced Scale Models of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame Buildings, 2001), çalışmalarında, dolgu duvarlı, betonarme, tek katlı, düzlem planlı ve iki katlı H şeklinde iki numuneyi sarma tablasında denemişlerdir. Kullanılan tuğla, harca göre daha mukavemetli olduğu için gözlenen hasarlar derz hasarları şeklindedir. (Korkmaz 2003)

### 3. MATERYAL VE METOD

Betonarme çerçevelerin deprem güvenliğinin artırılmasının amaçlandığı bu çalışmada toplam 10 adet 3 açıklıklı ve 3 katlı betonarme çerçeve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir.

Yapılan çalışma 5 ana safhada değerlendirilebilir. Bunlar sırasıyla;

1. Analitik ve teorik çalışmanın yapılarak modelin oluşturulması,
2. Yükleme çerçevesinin oluşturulması,
3. Deneysel numunelerinin hazırlanması,
4. Ölçüm sistemi ve tekniğinin oluşturulması,
5. Numunelerin test edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi, olarak sıralanabilir.

#### 3.1. Analitik ve Teorik Çalışmanın Sonucunda Modelin Oluşturulması,

Kuşaklamalar, çelik yapılarda yanal kuvvetler karşısında rijit bir aks oluşturulması, ötelenmelerin en aza indirilmesiyle oluşacak gerilmelerin azaltılması amacıyla uzun zamandır kullanılmaktadır. Diğer taraftan aynı işlevi betonarme yapılarda perdeler üstlenmektedir. Şu anki mevcut yönetmelik hükümlerinden önce yapılmış bulunan birçok betonarme binanın yatay yük taşıma kapasitesi depreme dayanıklı yapı tasarımının gerektirdiklerini sağlamaktan uzaktır. Bu tür yapıların rehabilitasyonu mevcut şartlar içinde en genel şekliyle çerçeve sistemine perdeler eklenmesi yada eleman boyutlarının artırılması ile sağlanmaktadır. Bir başka metot ise deprem kuvvetlerinin analiz



edilerek çerçeveler arasına yerleştirilen özel hidrolik makineler yardımıyla tersinir kuvvetler oluşturularak sönümlenmesidir. Bu çalışmada kullanılan yeni kuşaklama yöntemiyle Şekil 3.1 de verilen düzeneğe benzer bir şekilde deprem etkileri azaltılmakta ve sistemin en az hasarla depremi atlması sağlanmaktadır.

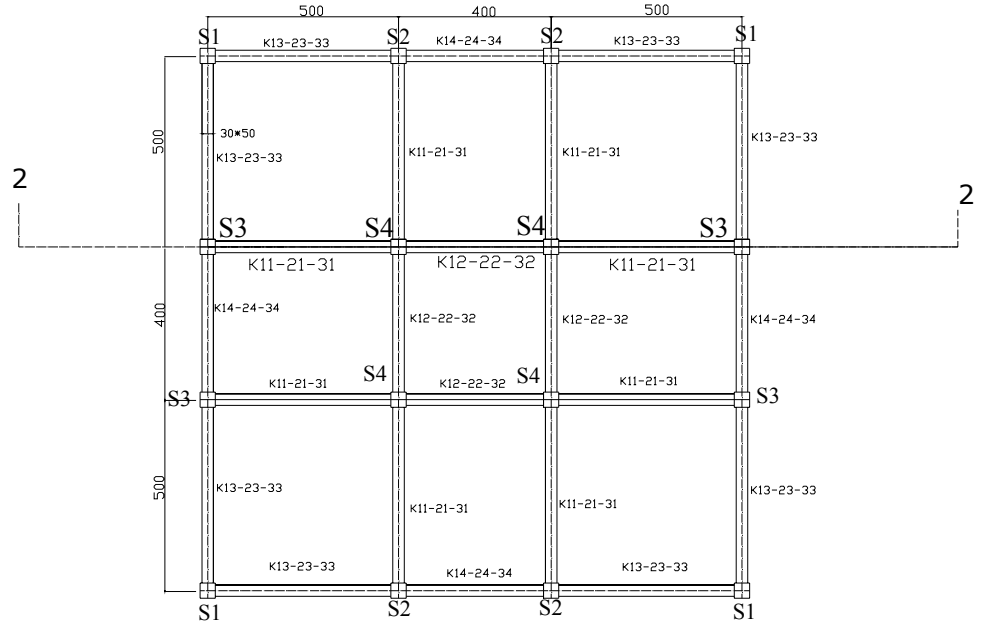
Bu metot oldukça pahalı olmakla beraber çok özel yapılarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Çerçevenin yatay deplasmanını azaltan sistem

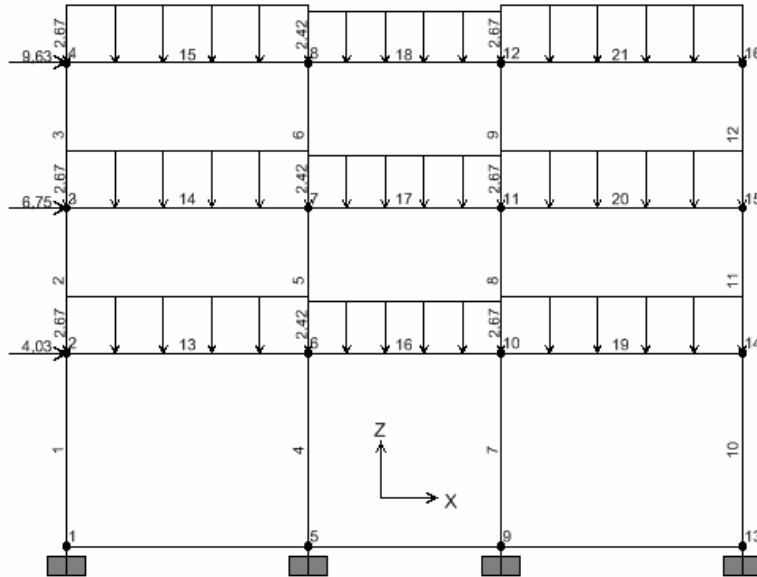
Bu sistemin çalışma mantığından hareketle, deprem etkisini karşılayarak bu etkiye ters yönde kuvvet vermek yerine, çerçevenin ötelenmesi sırasında oluşacak yer değiştirmeyi kısıtlayarak azaltan ve bu arada çekme kuvvetine maruz kalan çubukların kullanılması fikri oluşturulmuştur.

Bu amaçla , kalıp planı, boyutları ile kotları Şekil 3.2’de verilmiş olan 3 katlı ve 3 açıklıklı betonarme yapı oluşturulmuştur. 1.derece deprem bölgesinde ve Z4 zemin sınıfına sahip olduğu kabul edilen binanın statik analizinden elde edilen deprem yükleri ve yayılı yükler, 2-2 aksında bulunan çerçeve için elde edilmiş ve SAP 2000 programında yapılan çözümlemede kullanılmıştır.



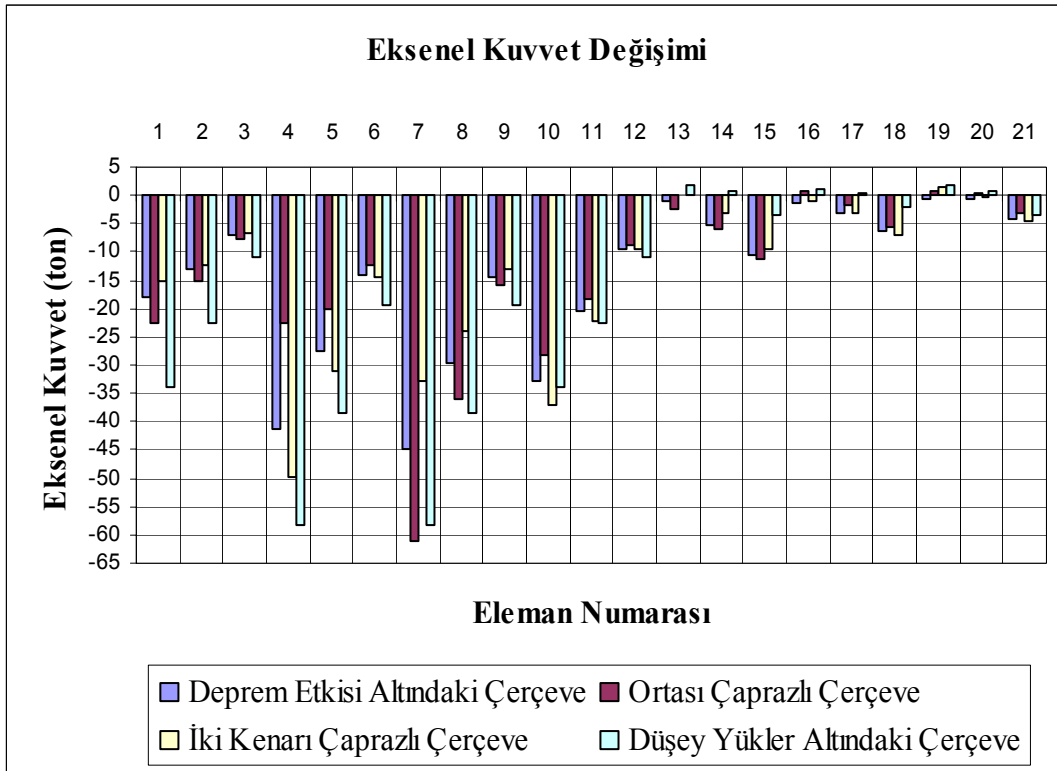
Tüm Kolonlar 40\*40 cm Tüm Kirişler 30\*50 cm  
 Kat Doşemeleri Üst Kotu: Zemin= 4.00m ; 1.kat =7.00m; 2.kat=10.00m

Şekil 3.2 Modellenen gerçek binaya ait kalıp planı

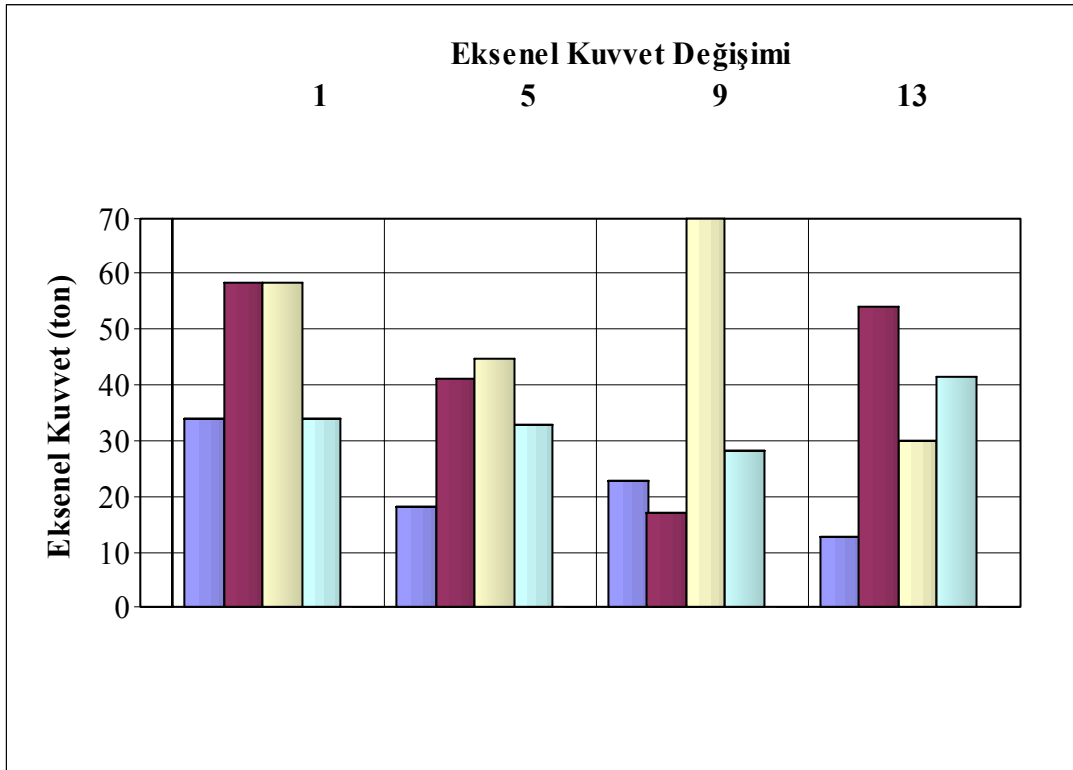


Şekil 3.3 Analiz sonucu 2-2 aksında elde edilen yatay ve düşey yükler

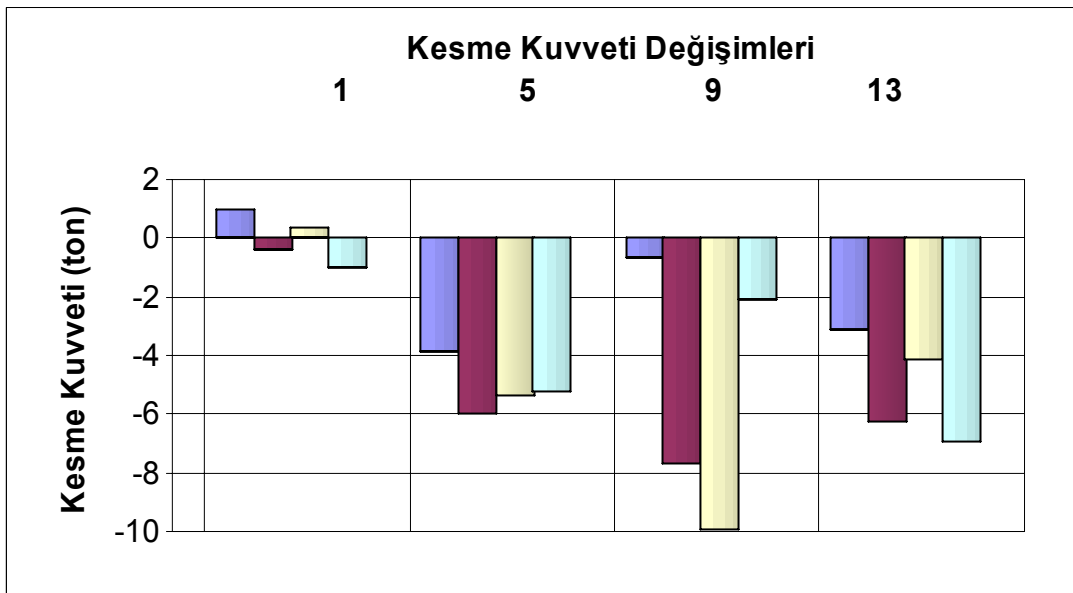
Deneyleerde kullanılan gerçek çerçeveye ait modellemeler SAP2000 programı kullanılarak analiz edilmiş ve Şekil 3.3'te eleman numaraları, düğüm numaraları ve sisteme etki eden deprem yükü ile düşey yükler şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.4.A ve 3.4.B'de elemanlardaki ve düğümlerdeki aksenal yüklerin, Şekil 3.5'de mesnetlerdeki kesme kuvvetlerinin, Şekil 3.6'da mesnetlerdeki moment değerlerinin, Şekil 3.7'de düğümlerin yatay yer değiştirmeleri, Şekil 3.8'de düşey yer değiştirmeleri, Şekil 3.9'da düğümlerdeki dönme değerleri karşılaştırmalı grafikler şeklinde verilmiştir.



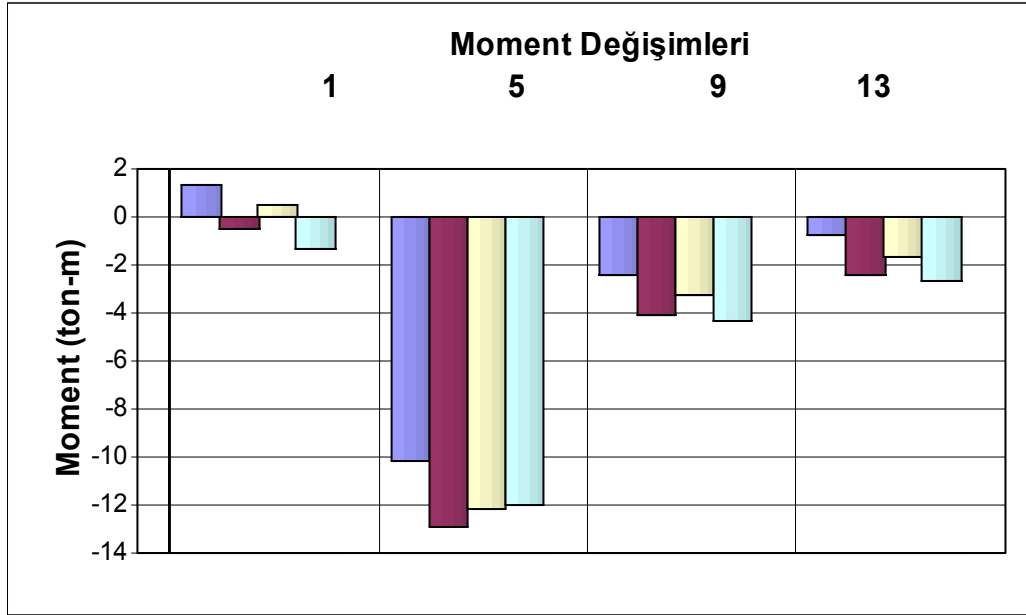
Şekil 3.4a Elemanlarda aksenal kuvvet değişimleri



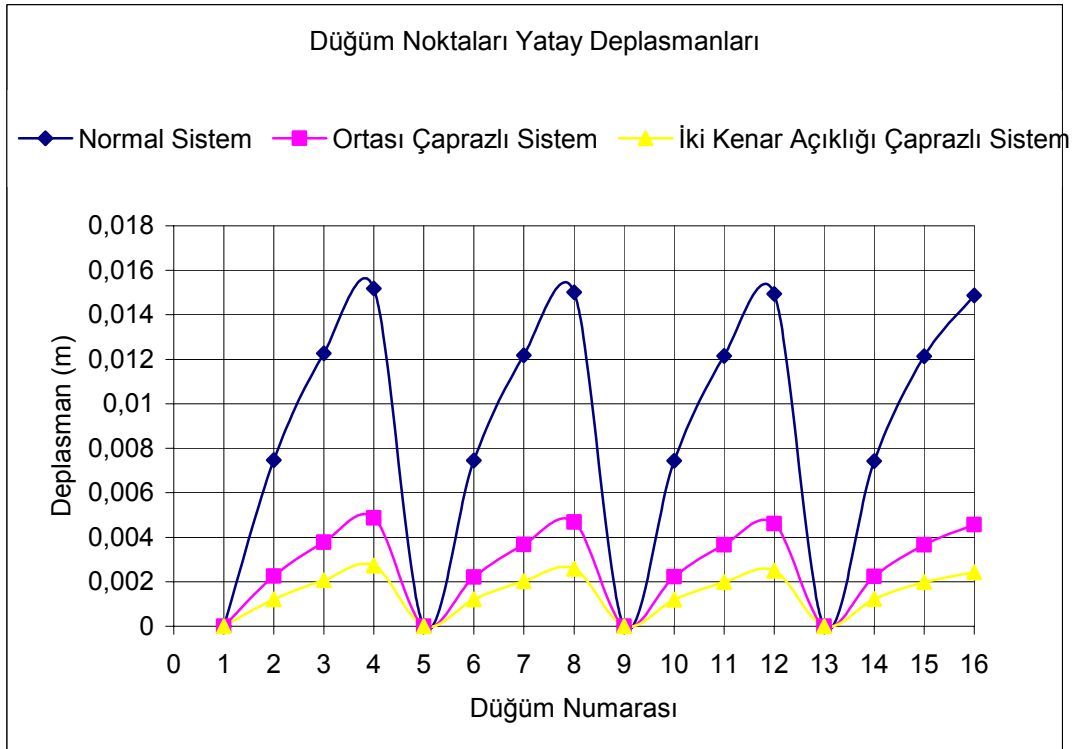
Şekil 3.4b Mesnetlerde eksenel kuvvet değişimleri



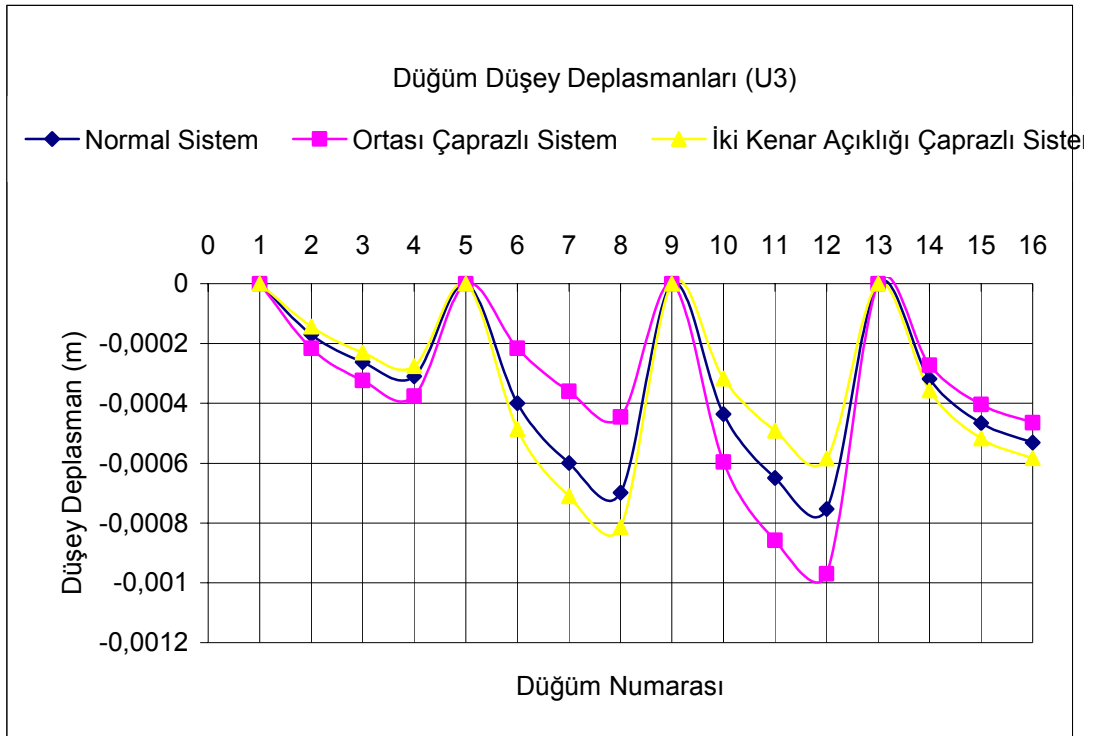
Şekil 3.5 Mesnetlerin kesme kuvveti değişimleri



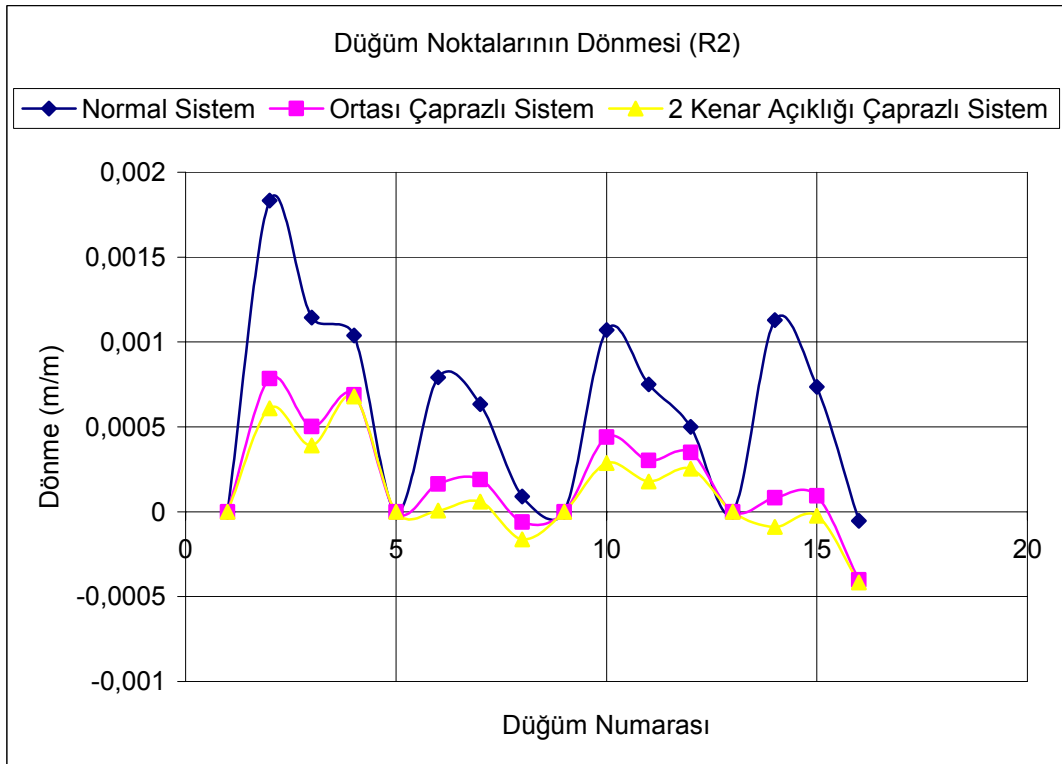
Şekil 3.6 Mesnetlerin moment değişimleri



Şekil 3.7 Düğüm yatay deplasmanları



Şekil 3.8 Düğüm düşey deplasmanları



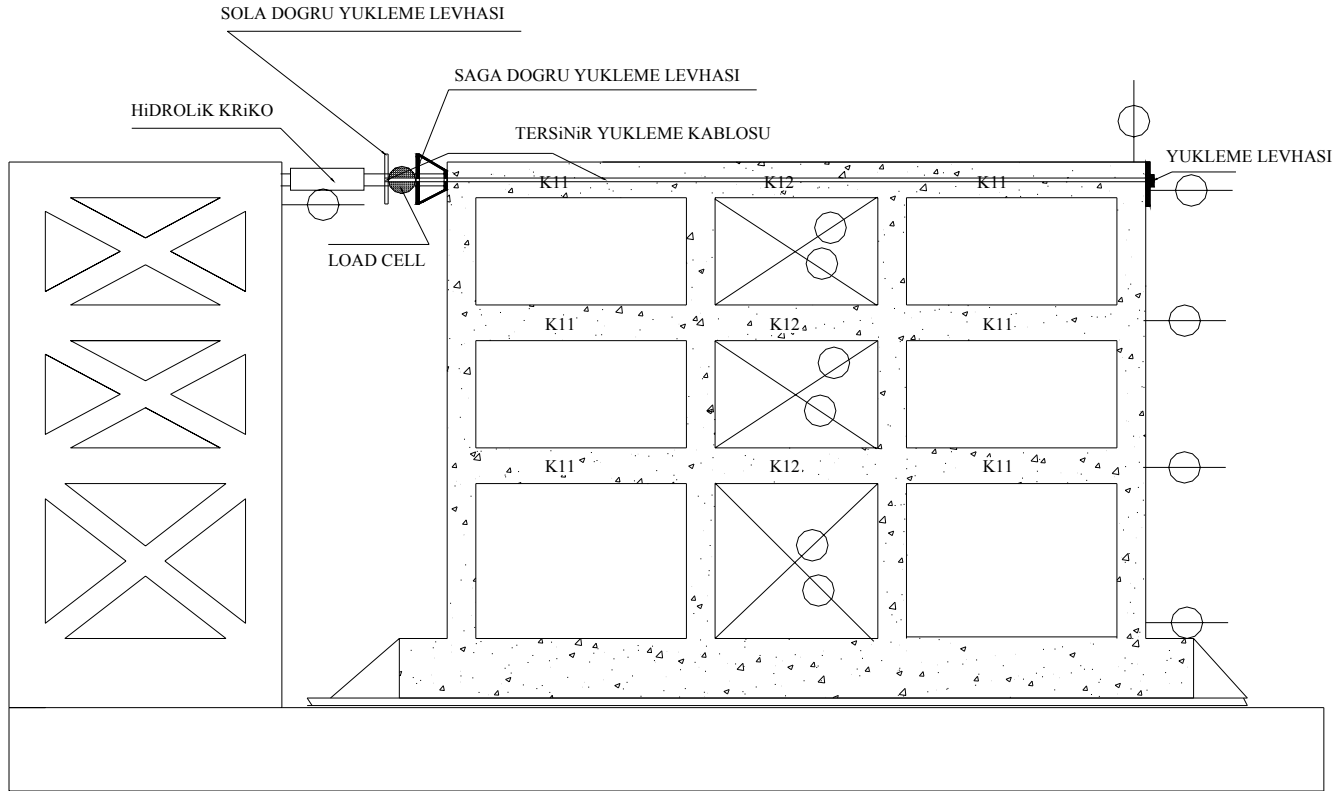
Şekil 3.9 Düğüm noktalarının dönmesi

SAP2000 programında yapılan analizler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde deplasmanların dolayısıyla oluşan kesit tesirlerinin, özellikle moment değerlerinin takviye şekline bağılı olarak düştüğü görülmektedir. Diğer ilginç bir sonuç ise yalnızca düşey yükler altındaki çerçevede oluşan aksel kuvvetlerin deprem etkisi ve çaprazlamanın oluşturduğu aksel kuvvet birleşiminden yalnızca 7 nolu düğümde aşağıda olmasıdır. Bu yapıların birçoğunda aksel kuvvetler altında herhangi bir problemlerinin olmadığı varsayılarak teorik olarak elde edilen sonuçlar ışığında modellemeler yapılmıştır.

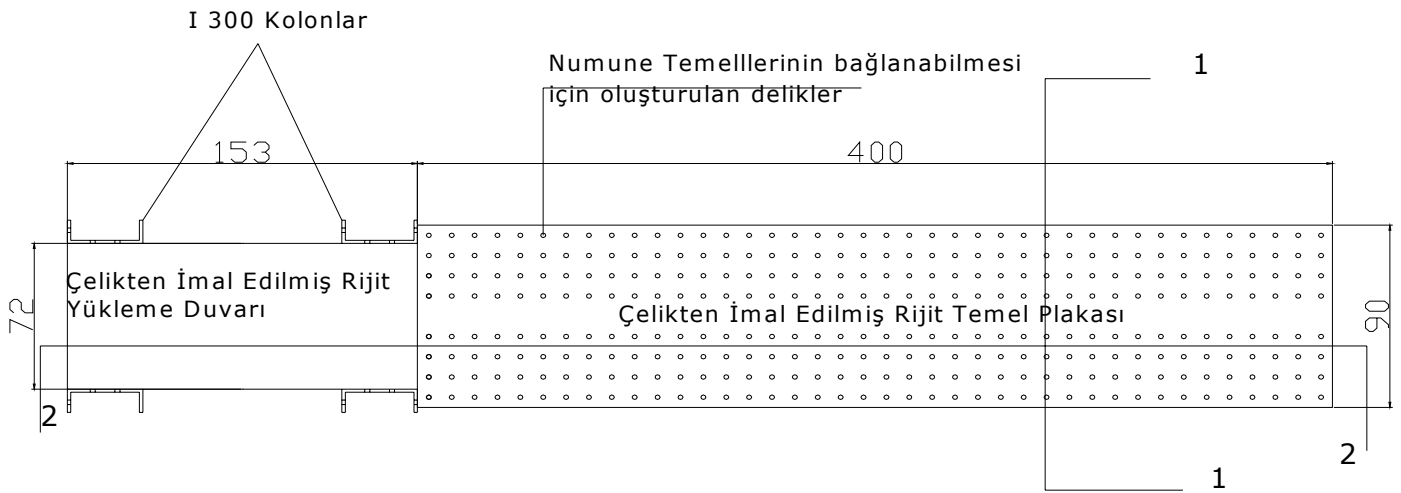
### **3.2. Yükleme Çerçevesinin Oluşturulması**

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılacak bu tür çerçeve deneyleri için yeni bir yükleme çerçevesi oluşturulmasına karar verilerek çalışmalar başlatılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda her türlü deney çerçevesinin yerleştirilmesinde ve sabitlenerek yatay yük uygulanmasına imkan veren Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 Şekil 3.12 ve 3.13'de detayları verilen çelik profil ve plakalardan oluşan yükleme sistemi oluşturulmuştur.

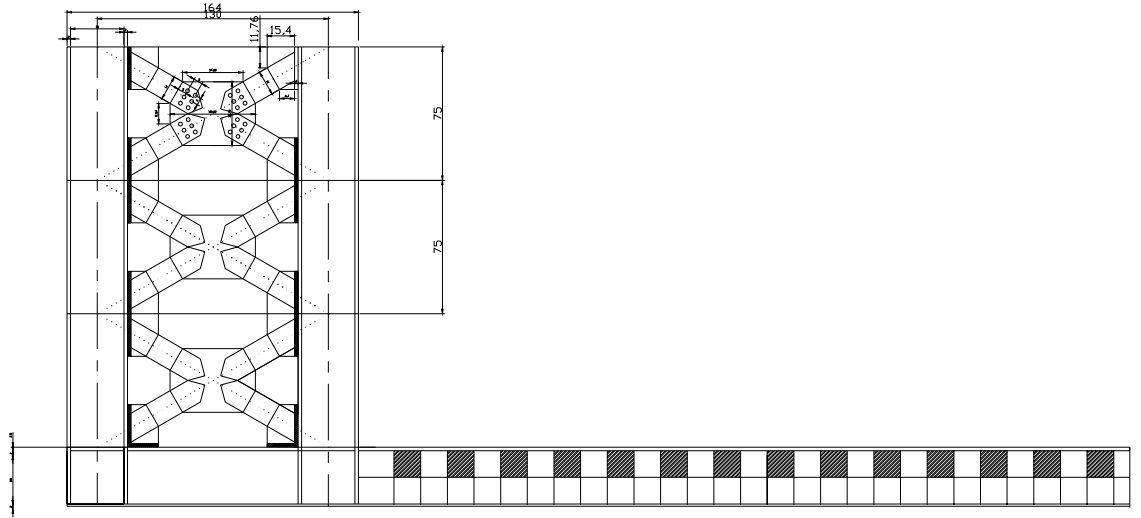


Şekil 3.9 Yükleme çerçevesinin şematik görüntüsü

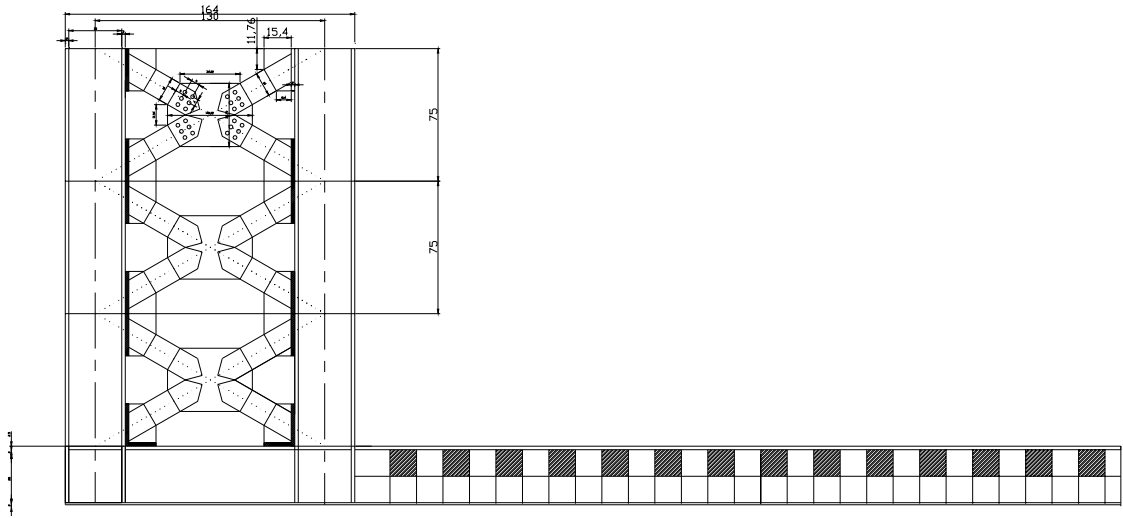


Şekil 3.10 Oluşturulan yükleme çerçevesinin üstten görünüşü





Şekil 3.11 Yükleme çerçevesinin 1-1 Kesiti



Şekil 3.12 Yükleme çerçevesinin 2-2 Kesiti



Şekil 3.13 Oluşturulan yükleme çerçevesi

Tersinir tekrarlanır yatay yüklemenin sağlıklı olarak yapılabilmesi amacıyla 25 mm kalınlığında çelik levhalar tasarlanmış, levhaya loadcell ve yüklemenin tek noktadan ve herhangi bir kesit zoru olmadan yapılabilmesi maksadı ve mafsallık davranışının sağlanması amacıyla çelik bilye ve yuvaları işlenmiştir. Şekil 3.14'te yükleme başlıkları, Şekil 3.15'te ise tersinir yüklemeyi sağlayan transmisyon milleri verilmiştir.

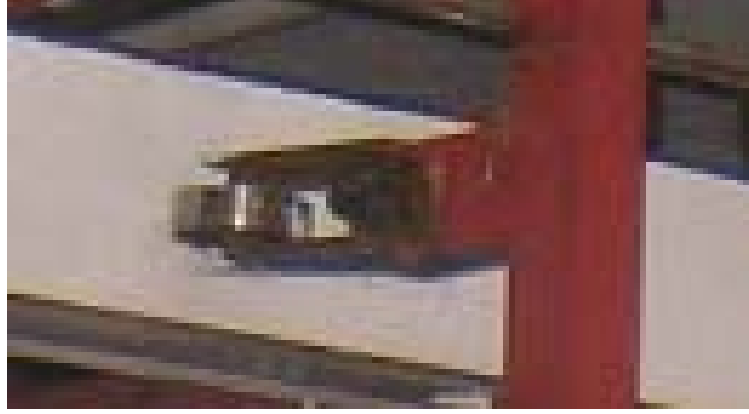


Şekil 3.14 Yüklemeye başlığı



Şekil 3.15 Tersinir yüklemeyi sağlayan transmisyon milleri ve arka başlık

Çerçevenin, deneyler sırasında yüklemeye düzleminden dışarı çıkmasının herhangi bir kuvvet aktarımı olmadan gerçekleşmesi amacıyla makaralar kullanılarak oluşturulan sistem Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16 Yüklemeye sırasında sürtünme oluşturmadan çerçevenin düzlem dışına çıkmasını engelleyen makaralar

Deneyler yapılırken sisteme aksel yük verilmesini ve bu yükün değerinin takip edilmesini sağlayan makara ve kablolardan oluşturulan bir sistem kullanılmıştır. Şekil 3.17’de düşey yükün uygulanmasında kullanılan makaralı sistem, 3.18’de ise aksel yük değerini kullanılan bilgisayar programına aktaran loadcell sistemi verilmektedir.



Şekil 3.17 Aksel yük verilmesine imkan sağlayan makara ve kablolardan oluşan sistem



Şekil 3.18 Eksenel yük değerini kullanan bilgisayar programına aktaran loadcell sistemi

Yük uygulanırken numunenin yatay hareketinin engellenmesi amacıyla temelin her iki yanına mahmuzlar yapılarak ve deney öncesi mahmuz ve temel arası alçı ile doldurulmuştur. Yapılan mahmuzlar Şekil 3.19’da verilmektedir. Ayrıca yükleme çerçevesi mevcut laboratuvar zemini ve tavanına epoksi ve kaynak ile sabitlenmiştir.



Şekil 3.19 Yatay hareketi engelleyen mahmuzlar

### 3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Farklı özelliklere sahip 10 adet deney numunesinin hazırlanmasında aşağıdaki sıra takip edilmiştir;

- Deney numunelerinin ebatları ve kesitlerinin belirlenmesi
- Donatı şemasının oluşturulması ve montajı;
- Kalıpların oluşturulması;
- Beton karışım hesapları , betonlama ve beton bakımı;
- Kaldırma ve taşıma aparatlarının üretilerek numunelerin ayağa kaldırılması ve yerleştirilmesi;
- Epoksi ile çapraz filizlerinin ekilmesi;
- Çapraz donatıların ekilmesi ve kaynağının yapılması;
- Duvar örülmesi ve sıva yapılması olarak sıralanabilir.

#### 3.3.1. Deney Numunelerinin kesit, boyut ve donatılarının belirlenmesi;

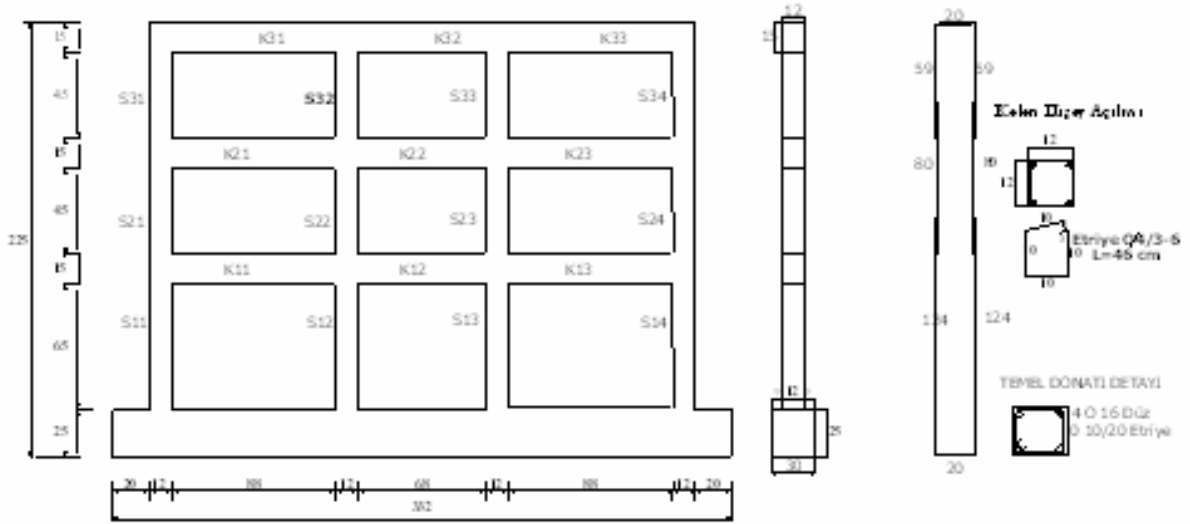
Gerçek binada 40\*40 cm kesitindeki kolonların atalet momentleri  $I=b*h^3/12=40*40^3/12=213333 \text{ cm}^4$  olarak bulunur. Ebatlar 1/5 küçültülmüştür. Elemanların eğilme etkisi altında test edileceği dikkate alındığında ve momentin uzunluğa 3. dereceden bağlı olması sonucunda, atalet momenti ihtiyacı 1/125 kat azalmış olmaktadır. Modelin atalet momenti  $I=1706,66 \text{ cm}^4$  olur. Buradan kolon ebatları  $B=11,96 \sim 12*12 \text{ cm}$  olarak bulunmaktadır

Kirişler için atalet momenti  $I=b*h^3 /12 =30*50^3/12=312500\text{cm}^4$  olmaktadır. Kiriş için  $b=12 \text{ cm}$  alındığında  $h=13,56 \text{ cm}$  olur. Paspayı olarak 1,5 cm alınırsa kiriş ebatları 12\*15 cm olarak bulunmaktadır.

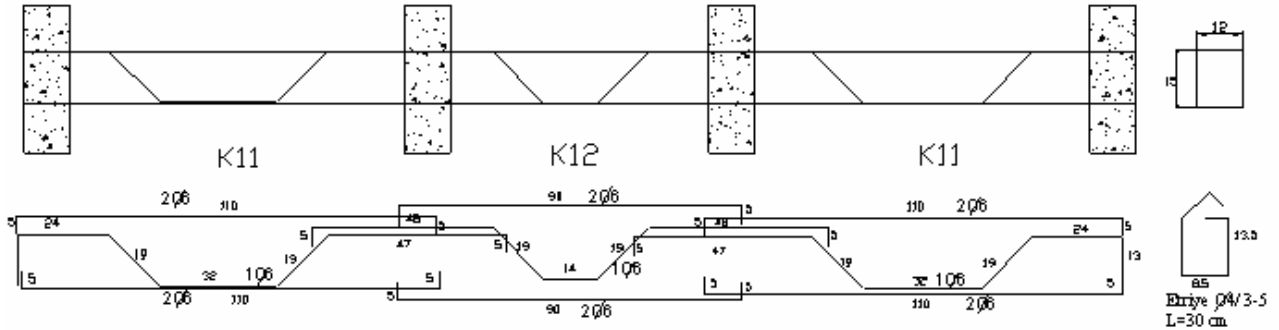
Kolonlarda 4Ø7 (153.86 mm<sup>2</sup>) boyuna donatı kullanılmış olup donatı yüzdesi %1.07'dir.

Kirişlerde 2Ø6 düz , 2Ø6 montaj ve 1Ø6 pilye kullanılmıştır ( $\rho = 0,004781$ ).

Rijit bir temel oluşturulması amacıyla temel ebatları  $h=25$   $b=30$  cm olarak belirlenmiştir. Donatı olarak 4  $\varnothing 16$  düz ve  $\varnothing 8/20$  etriye kullanılmış, temel uçlarında kaldırma ve taşıma aparatlarının kolayca sıyrılmaması için etriye sıklaştırması yapılmıştır. Şekil 3.20’de numune ebatları ve düşey donatı şeması verilmektedir.



Şekil 3.20 Numune ebatları ve düşey donatı şeması



Şekil 3.21 Kat kiriş donatıları

ABYYHY 1998 hükümlerine uygun olarak donatılan numunelerdeki donatı düzeni T1 olarak adlandırılmıştır. Bu donatı düzeninde tüm etriyeler 135 derece kancalı imal edilmiş, boyuna donatılarda kenetlenme boyları yeterli seviyede tutulmuş, kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmış ve birleşim bölgesinde etriyeler devam ettirilmiştir. Şekil 3.22’de etriye

sıklaştırması yapılmış kolon donatıları, Şekil 3.23'te ise kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmiş etriyeler görülmektedir.



Şekil 3.22 Etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları



Şekil 3.23 Kolon-Kiriş bölgesinde devam eden etriyeler ve sıklaştıрма bölgesi

Etriyeleri 90 derece gönyeli ,boyuna donatılarda kenetlenme boyu yetersiz, etriye sıklaştırması yapılmamış , kolon kiriş birleşim bölgesi etriyesiz olarak donatılandırılan numuneler T2 olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.24'te bu tür numunelere ait kolon kiriş birleşim bölgesi Şekil 3.25'te ise betonlanmaya hazır numune verilmektedir.





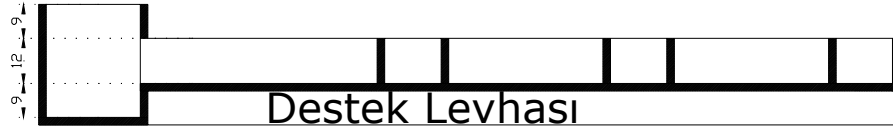
Şekil 3.24 T2 donatı düzenine sahip numunede etriyesiz kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 3.25 Betonlanmaya hazır T2 donatı düzenine sahip numune

### 3.3.2. Kalıpların Oluşturulması;

Deney numunelerinin düzenli olarak üretilebilmesi, taşınabilmesi, sabitlenebilmesi amacıyla 16 mm kalınlığında MDF kullanılarak kalıplar üretilmiş ve suyun ahşap kalıplara zarar vermemesi amacıyla yağlıboya ile boyanmıştır. Kalıplar oluşturulurken numunelerin hasarsız şekilde ayağa kaldırılması, taşınması ve temelin yükleme çerçevesine bağlanması amacıyla çeşitli aparatlarda kalıba eklenmiştir. Şekil 3.26'de oluşturulan kalıp kesiti, Şekil 3.27'de üretilen kalıpların birleştirilmesi ve Şekil 3.28'de taşıma ve kaldırma için üretilen elemanlar, Şekil 3.29'da ise temelin sabitlenmesi için kalıba yerleştirilen tijler görülmektedir.verilmiştir.



Şekil 3.26 Üretilen kalıp kesiti



Şekil 3.27 Üretilen kalıpların birleştirilmesi



Şekil 3.28 Yatay konumdaki deney numunelerini kaldırma ve yatay olarak taşıma için kalıba eklenen parçalar



Şekil 3.29 Numune temelini yüklemeye çerçevesine sabitlenmesini sağlayan tij boruları

### 3.3.3. Beton karışım hesapları ve beton dökümü

Mevcut yapıların kalitesiz ve dayanımı zayıf beton özelliklerini yansıtmak üzere deney numunelerinin 9 tanesinde karakteristik beton basınç dayanımı 12 MPa, ABYYHY 1998 hükümlerine göre üretilen 1 adet numunede 20 MPa olarak seçilmiştir.

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de çerçevelerin betonunun 1 m<sup>3</sup> beton için malzeme karışım oranları verilmiştir. Şekil 3.30’da ise granülometri eğrisi verilmektedir. Betonlar laboratuvar mikseri yardımıyla üretilmiş, üretilen numuneler ise kürlenmiştir. Şekil 3.31 ve 3.32 betonlama işlemini, Şekil 3.33 ve 3.34 ise içeride ve dışarıda üretilen numunelerin kürlenmesini göstermektedir.

Tablo 3.1. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C12 )  
(1 m<sup>3</sup> beton için)

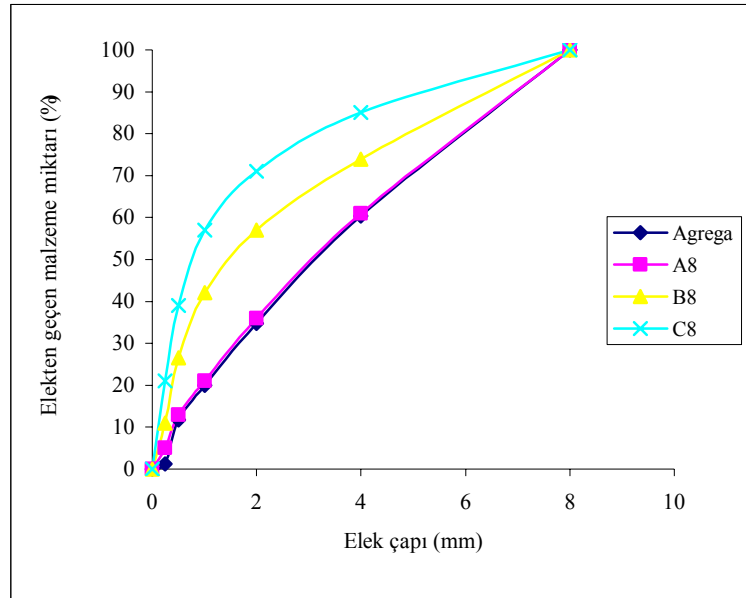
	Ağırlık(kg)
Çimento	240
0-7 mm arası agrega	1810
Su	216
Toplam	2266

Not: Su/çimento oranı %90'dır.

Tablo 3.2. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C20 )  
(1 m<sup>3</sup> beton için)

	Ağırlık(kg)
Çimento	350
0-7 mm arası agrega	1810
Su	150
Akışkanlaştırıcı(Sikament300)	7
Toplam	2317

Not: Su/çimento oranı %43'dür.



Şekil 3.30 Kullanılan agreganın granülometrisi



Şekil 3.31 Beton hazırlama işlemi



Şekil 3.32 Çerçeve numunelerinin beton döküm ve yerleştirme işlemi



Şekil 3.33 Dışarıda dökülen numunelerin kürlenmesi



Şekil 3.34 İçeride üretilen numunelerin kürlenme işlemi

Çerçeve betonu dökümü sırasında yapılan kıvam deneyi sonucunda C20 beton kalitesinde 90 mm, C12 beton kalitesinde 150 mm çökme değeri ölçülmüştür

Betonun karakteristik beton basınç dayanımını ve silindir yarma dayanımını belirlemek için iki grup beton dökümünde de 10 adet standart silindir numune alınmıştır. Silindir numunelerinin çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm'dir. Silindir numuneleri, çerçevelerle aynı şartlarda kür edilmiştir. 10 adet silindir numuneden 1 adedi 3 günlük, 3 adedi 7 günlük, 3 adedi 28 günlük, 3 adedi de silindir yarma deneyinde kullanılmış ve 3 numunenin ortalama değeri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Deney elemanlarının ortalama karakteristik beton basınç dayanımları

Numune No	$f_{ck,3\text{ Gün}}$ (Mpa)	$f_{ck,7\text{ Gün}}$ Ortalama (Mpa)	$f_{ck,28\text{ Gün}}$ Ortalama (Mpa)	$f_{cu}$ Ortalama (Mpa)
C20	10,10	17,50	20,10	2,40
C12	6,70	8,70	11,98	1,27

Hidratasyonda gerekli ideal sıcaklığı elde etmek için beton dökümünden 1 saat sonra, beton yüzeyleri ıslak çuvalarla sarılmış ve 10 gün boyunca sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa sulanmıştır.

ABYYHY 1998 “Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C16 (BS 16)’dan daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz. Ancak birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, aşağıda tanımlanan binalarda C20 (BS 20) veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur” denilmektedir.

Bu deneylerde 2 değişik beton basınç dayanımında çerçeve tipi kullanılmasının sebebi, körü körüne yönetmelik hükümlerinin uygulanması sonucu kırsal kesimde donatısı düzgün fakat yerel şartlar sebebiyle düşük beton mukavemetine sahip birçok binanın bulunduğu ve halen yapılmakta olduğu gerçeğidir. Örneğin 1. derece deprem bölgesi olan Erzincan’ın bir dağ köyünde inşa edilecek okulda harç makinesi ve standart beton işçiliği hazırlanan betonun, C 20 beton sınıfının özelliklerini sağlaması hayalden öteye geçemez. Test edilen



numunelerde bu durumda düşünülerek Tablo 3.4'te şematik görüntüsü verilmiş 10 adet numune test edilmiştir.

Tablo 3.4 Numunelerin şematik görüntüsü

Numune No	Beton Sınıfı	Donatı Özelliği	Şematik Görüntüsü
1	C 20	T 1	
2	C 12		
3 & 5	C 12	T 1 & T 2	
4 & 6	C 12	T 2 & T 1	
7 & 8	C 12	T 1 & T 2	
9	C 12	T 2	
10	C 12	T 2	

Deneyleer sırasında kullanılan donatıların çekilmesinden elde edilen akma ve kopma dayanımları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Deneyleer elemanlarında kullanılan donatılara ait akma ve kopma dayanım değlerleri

Donatı Çapı	Akma Dayanımı $f_{yk}$ (MPa)		Kopma Dayanımı $f_u$ (MPa)		Kopma Birim Uzaması $\epsilon_{su}$	
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama
<b>Φ 4</b>	528	531	687	680	0,21	0,23
	535		673		0,25	
	530		681		0,23	
<b>Φ 6</b>	533	530	690	693	0,22	0,24
	530		692		0,26	
	527		696		0,23	
<b>Φ 7</b>	538	533	685	689	0,23	0,23
	533		693		0,21	
	528		689		0,25	

### 3.3.5. Kaldırma ve taşıma aparatlarının üretilerek numunelerin ayağa kaldırılması ve yerleştirilmesi;

Numunelerin yatay durumdan düşey duruma getirilmesi için U160 profiller kalıplar sökülmeden sıkıca dış kolon ve kirişlere geçirilmiş ve vinç yardımıyla temel etrafında döndürülerek ayağa kaldırılmıştır (Şekil 3.35). Ayağa kaldırılan numuneler vinç yardımıyla içeri konularak Şekil 3.36’da gösterildiği gibi yükleme çerçevesi ile birlikte imal edilen yürüyen vinç sayesinde taşınmıştır. Şekil 3.37 ve 3.38’de U 160 profillerinin bağlanma şekli verilirken Şekil 3.39’da numunelerin dışarıya alınması verilmiştir.



Şekil 3.35 Deney numunelerin yatay konumdan düşey konuma getirilmesi



Şekil 3.36 Deney numunelerinin taşınması için imal edilen vinç



Şekil 3.37 Profiller yardımıyla çerçevenin bağlanması



Şekil 3.38 Çerçevenin düşey konuma getirilmesi için kullanılan aparat



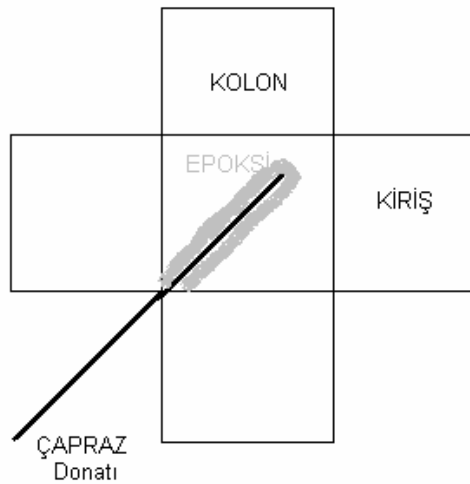
Şekil 3.39 Deney sonrası numunenin dışarı alınması

### 3.3.6. Güçlendirme için Kullanılan Çapraz Çubukların Yerleştirilmesi

Bu bölümde epoksi ile çapraz filizlerinin ekilmesi, çapraz donatıların eklenmesi, gerginin yapılması ve kaynakla ekleme yapılması hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan çaprazlama yöntemi şematik olarak Şekil 3.40’da verilmiş olup aşağıdaki basamaklardan oluşmuştur;

- Çaprazlama elemanlarının kolon kiriş birleşimine ekilmesi için, kullanılan epoksi üreticisi firmanın Kullanma kılavuzunda belirtilen şekilde 10 mm çapında ve 8 mm derinliğinde delikler açılmıştır.
- Açılan deliklerin tozu tel fırçalar yardımıyla iyice temizlenmiş, ardından kompresör yardımıyla tozdan tamamen arındırılmıştır.
- Çift bileşenli kendinden karışan epoksi deliğin  $\frac{3}{4}$ 'üne kadar doldurulmuş ardından ankraj çubuğu döndürülerek açılan deliğe iyice yerleştirilmiştir; Şekil 3.41, Şekil 3.42 ve Şekil 3.43’te bu işlemlerin yapılışı gösterilmektedir.
- Epoksi ile filiz ekiminin 1 gün sonrasında ekilen filizler gerdirilerek boşluk kalmayacak şekilde kaynatılmıştır. Şekil 3.44 ve Şekil 3.45’te bu işlemin detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.40 Kullanılan çaprazlama detayı



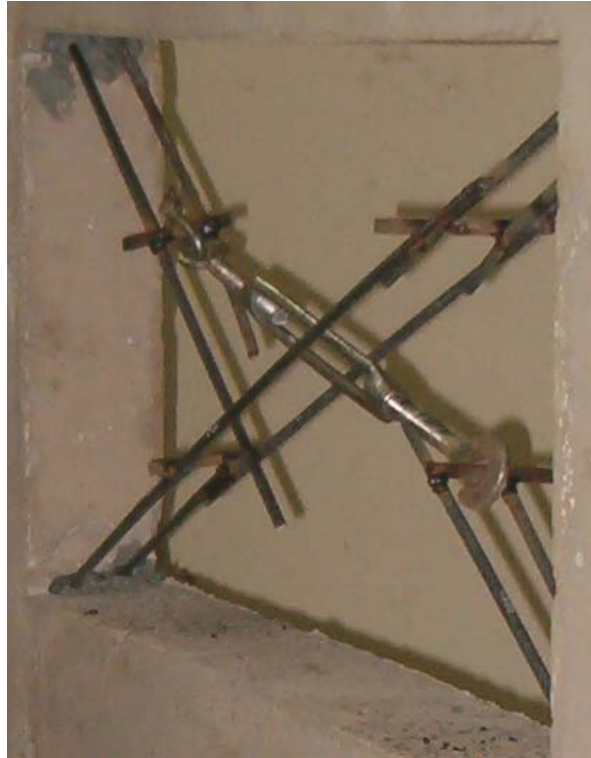
Şekil 3.41 Epoksi enjeksiyonu



Şekil 3.42 Çapraz filizlerinin yerleştirilmesi



Şekil 3.43 Çapraz filizlerinin sabitlenmesi



Şekil 3.44 Çapraz filizlerinin gerdirilmesi





Şekil 3.45 Çaprazlar çubukların kaynaklanması

### 3.3.7. Duvar Örülmesi ve Sıva Yapılması;

Numunelerin hazırlanmasındaki son basamak kat boşluklarının modellenmiş tuğla duvar ile örülmesi işlemidir. 19\*19\*13,5 cm ebatlarındaki yatay delikli tuğla duvar mermer kesme makinesi ile dört eşit parçaya bölündükten sonra düşey delikli olarak örülmüştür. Şekil 3.46 örülme işlemini, Şekil 3.47 ise örülen tuğla duvarın sıva öncesi halini göstermektedir.

Tuğla örümünün ardından duvarın her iki yanına yaklaşık 8-10 mm kalınlığında çimento kireç harçlı sıva yapılmıştır.Şekil 3.48 sıva yapımını göstermektedir.



Şekil 3.46 Tuğla duvar örülmesi



Şekil 3.47 Örülmüş tuğla duvar



Şekil 3.48 Sıva yapılması

Tüm bu işlemlerin ardından numuneler test edilmeye hazır hale gelmiştir.

## 4. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

### 4.1. Giriş

Bu doktora tez çalışmasında çok katlı çok açıklıklı, betonarme çerçevelerin çelik çaprazlarla güçlendirilmesiyle ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar, S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanmış olan 10 adet betonarme çerçeve numunesi, 250 kN kapasiteli rijit çelik yükleme çerçevesi sistemi kullanılarak, depremi benzeştiren, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deneysel verilerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.

### 4.2. Deney Düzenegi

Hazırlanmış olan betonarme çerçeve numunelerini denemek için, rijit yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Rijit yükleme çerçevesi, farklı çelik profillerden imal edilmiş ve üst kat seviyesinde yatay yük uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem, deney numunelerinin ankastre mesnetlenmesine imkan veren rijit bir taban plakasına sahiptir. Bu plaka 30 mm kalınlığında platineden ve 100 mm aralıklarla 24 mm çapında delikler açılarak imal edilmiştir. Denenecek çerçeveler, bu rijit taban plakasına 22 mm çapında transmisyon çeliği kullanılarak sabitlenmiş ve böylece elemanın herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir. Deney elemanlarına yatay yük, rijit yükleme çerçevesinin düşey kolonlarına mesnetlendirilmiş durumdaki U profilinden oluşturulan ve yükleme plakasının üzerinde sabitlenmiş olan hidrolik kriko ve çekme çubuğu yardımıyla uygulanmıştır. Hidrolik kriko sistemi, iki yönlü çalışabilmekte olup, numuneye hem çekme hem de basınç kuvveti uygulayabilmektedir. Basınç durumunda hidrolik kriko sistemi bulon

ve platine yardımıyla bağlı olduğu numuneyi itmekte, çekme durumunda ise bu uçtan diğer uca kadar uzanan ve diğer uçtaki platineye uçlarından bulonla birleştirilen 4 adet 30 mm çapındaki transmisyon çeliği yardımıyla numuneyi çekmektedir. Böylece numunenin uç bölgelerinde ezilme olmadan numuneye tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulanmıştır. Deney numunelerinin düzlem dışına çıkıp yana yatmasını engellemek için, rijit yükleme çerçevesinin platineden imal edilmiş olan rijit taban plakasına sabitlenmiş 8 adet kolon ve bunların arasındaki çapraz bağlantılardan oluşan ve numunenin düzlem hareketini engellemeyecek biçimde üst kat kirişinin çelik makaraların arasında hareket etmesine imkan veren bir düzenek kullanılmıştır. Stabilité için kullanılan bu elemanlar, oluşturulan kayma düzeneği sayesinde numunenin yatay yük doğrultusundaki hareketine engel olmamakta ve yük almayarak sadece numunenin yanal stabilitesini sağlamaktadır. Yükleme plakası üzerindeki hidrolik kriko ile numune arasındaki bölgeye yatay yük okumalarını yapabilmek için 500 kN itme ve çekme kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Bu sistemde, yük hücresi ve hidrolik kriko birbirleri ile temas halinde olup; hidrolik kriko, her iki durumda(çekme ve basınç) da yük hücresine basınç kuvveti uygulamakta, böylece yük hücresi numuneye uygulanan yükü okuyabilmektedir. Çerçeveye uygulanan yükün her zaman yatay konumda olabilmesi için, çerçeve üzerindeki platineyle transmisyon çeliklerinin ankrajının yapıldığı platine arasına çelik küre (mafsal) konulmuştur.

Deney numunelerinin, düşey elemanlarına, kenar kolonlara 20 kN, orta kolonlara 40 kN aksel düşey kuvvet, 12 mm çapında olan 50 kN taşıma kapasiteli çelik halat kullanılarak uygulanmıştır. Uygulanan düşey yükün büyüklüğünü okumak için 200 kN kapasiteli yük ölçer kullanılmıştır.

Yükleme çerçevesi, pompa ve yük hücrelerinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey hareketini ve dönmesini sıfıra yakın değerlerde tutacak ve deneydeki ölçümlere etki etmeyecek büyüklükte olması için mümkün olduğunca rijit tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan 250 kN yatay yük taşıma kapasiteli yükleme çerçevesinin boyutları bölüm 3'te verilmiştir.

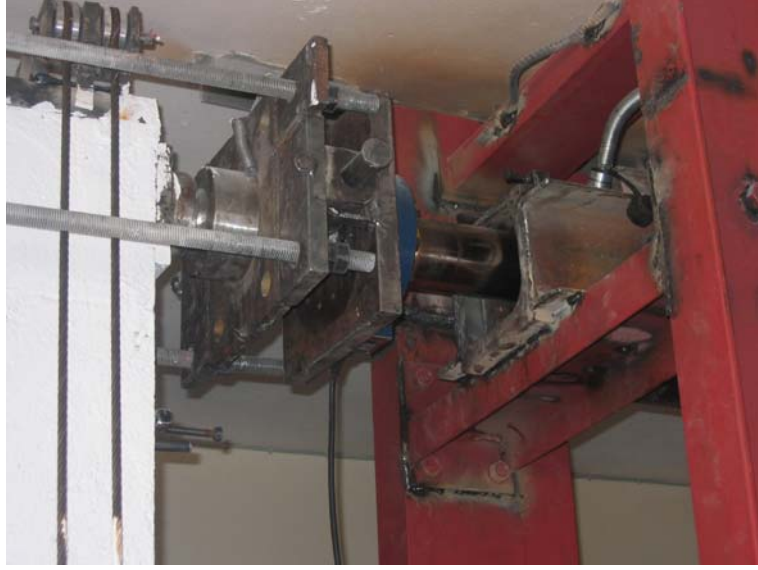
### 4.3. Ölçme Tekniği

DeneYlerde yatay ve dÜşey yük ölçümleri yük ölçerler ile, yer değiştirmeler ise LVDT deplasman ölçerler kullanılarak yapılmıştır. Bu aletlerden okunan değerler anında bilgisayara CoDA isimli veri toplama(data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

#### 4.3.1. Yük Ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük ve manuel hidrolik kriko yardımıyla uygulanan sabit dÜşey yük değerleri yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Yatay yükü ölçmek için kullanılan 500 kN kapasiteli yük hücresi, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücresinden okunan yük değerleri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir. DÜşey yük için 200 kN kapasiteli Taralsa marka tek yönlü yük ölçer ve ENERPAC marka hidrolik kriko kullanılmıştır.

DeneYlerde kullanılan yük hücreleri ve bağlantı sistemleri şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'te görölmektedir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan yatay yük ölçüm düzeneği



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan düşey yük ölçüm düzeneği



Şekil 4.3. Deneyleerde kullanılan düzenek ve yükleme sistemi

#### 4.3.2. Yer Değiş-tirmelerin Ölçülmesi

Deneyleer sırasında, betonarme çerçevelerin kolon ve kirişlerinde ve ilave çelik çaprazlı tuğla dolgu duvarlarda meydana gelen yer değiştirmeler, boy kısıalma ve uzamaları ve yatay kat deplasmanı ölçümleri; dijital LVDT kullanılarak yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyuijo Co. Ltd. markalı LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneyleerde 100, 150, 200 mm'lik LVDT'ler kullanılmıştır.



### 4.3.3. Yük ve Yer Değiştirme Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Yük hücreleri, LVDT'den alınan gerilmeler, ara bağlantı kutuları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Veri toplama sistemi, üzerinde yük hücreleri ve LVDT'lerin çıkış uçlarının bağlandığı 32 kanaldan ve 4 adet Mitutoyo marka dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 5 adet veri toplama kutusu ile bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir communicator'a bağlanmakta ve veriler bu kutudan bilgisayara aktarılmaktadır. CoDA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınabilmektedir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım CoDA programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm, komparametreler için 0.001 mm hassasiyetle, potansiyometrik cetveller için  $\pm 0.5$ ,  $\pm 1\%$  linearite hassasiyetle ve yük hücreleri için de 0.2 kN hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir. Kullanılan kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayarda kayıt altına alınmakta ve deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programında okunabilecek şekildedir. Yük hücresi ve LVDT'lerden , alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan veri toplama sistemi ve bilgisayar düzeneği Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

#### 4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzenegi

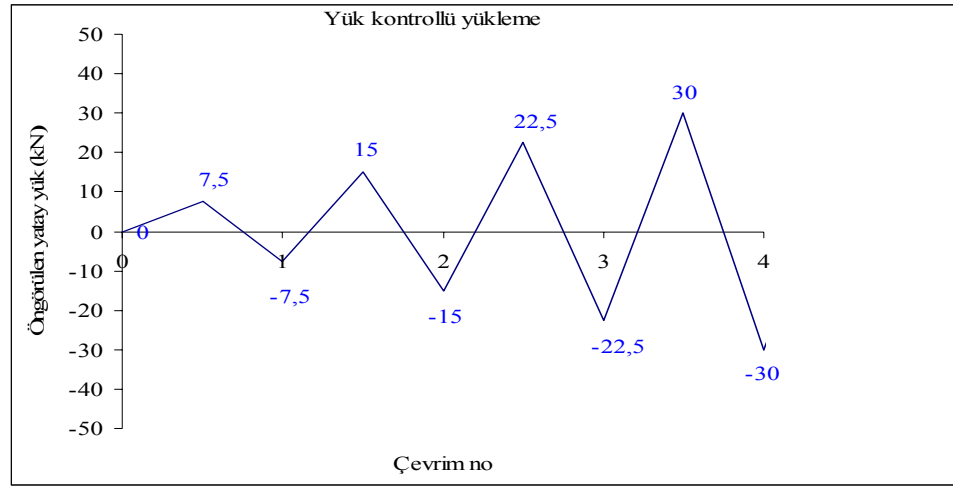
Deneylerde yapılacak yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçümleri için LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) ölçüm aletleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin alındığı ölçüm yerleri Şekil 4.7’de görülmektedir. Her katın temele göre yatay yer değiştirmesinin ölçülmesi için 100 ve 200 mm uzunluğunda LVDT’ler kullanılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak, 1. kat, 2. kat ve 3. kat için yük deplasman eğrileri çizilmiştir. Şekil 4.5’de deney numuneleri için ölçüm düzenegi görülmektedir.



Şekil 4.5. Deney numuneleri için deneylerde kullanılan ölçüm düzenegi

#### 4.5. Çerçeve Deneilerinde Uygulanan Yükleme Programı

Deneilerde uygulanan yükleme programı, sistemin akma yüküne kadar yük kontrollü olarak, akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü olarak planlanmıştır. Yük artımları; 30 kN'a kadar 7.5 kN yük kontrollü, bu yükten sonra deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deplasman artışları ise 10 mm lik adımlarla yapılmıştır. Şekil 4.6'da betonarme çerçeveler için uygulanan yükleme programı gösterilmiştir. Deneilerde uygulanacak yükleme programı, SAP2000'de gerçek malzeme değerleri kullanılarak gerçekleştirilen pushover analiz sonucu elde edilen akma yükü ve bu yük değerindeki tepe deplasmanı dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Denei numuneleri için uygulanan yükleme programı

#### 4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

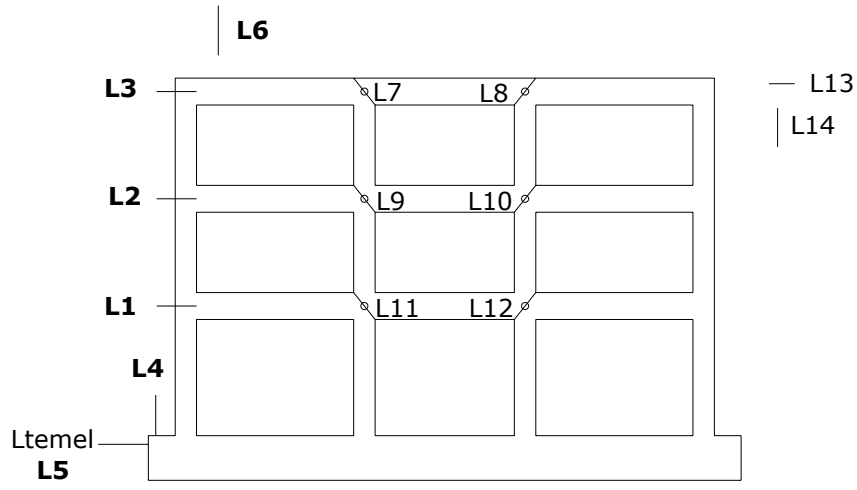
Deneiler esnasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden hareketle, denei numunelerinde görülen davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her denei elemanı için, yük geçmişi ve oluşan hasarlar anlatılmış, yatay yük-tepe deplasmanı ilişkisi, dayanım zarfı grafikleri çizilmiş ve tüketilen enerji değerleri tablo şeklinde verilmiştir.

#### 4.6.1. Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Elde Edilmesi

Deneilerin yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri ile ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan deplasman değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek her numune için yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği çizdirilmiştir.

#### 4.6.2. Yük-Tepe Deplasmanı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yük-tepe deplasmanı grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleriyle, her katta bulunan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu deplasman değerinden ise temel deplasmanı çıkarılmıştır. Diğer taraftan elde edilen veriler ışığında temel deplasmanının olmadığı söylenebilir.



Şekil 4.7. LVDT ölçüm yerleri

Yük uygulanan tepe noktasının ölçülen yatay deplasmanı,

$$\Delta_{\text{Tepe}} = \text{LVDT 3} - \text{LVDT Temel} \quad (4.1)$$

2. kat seviyesindeki ölçülen yatay deplasman,

$$\Delta_{2.\text{kat}} = \text{LVDT 2} - \text{LVDT Temel} \quad (4.2)$$

1. kat seviyesindeki ölçülen yatay deplasman,

$$\Delta_{1.\text{kat}} = \text{LVDT 1} - \text{LVDT Temel} \quad (4.3)$$

Temelde ölçülen yatay deplasman(tabanda),

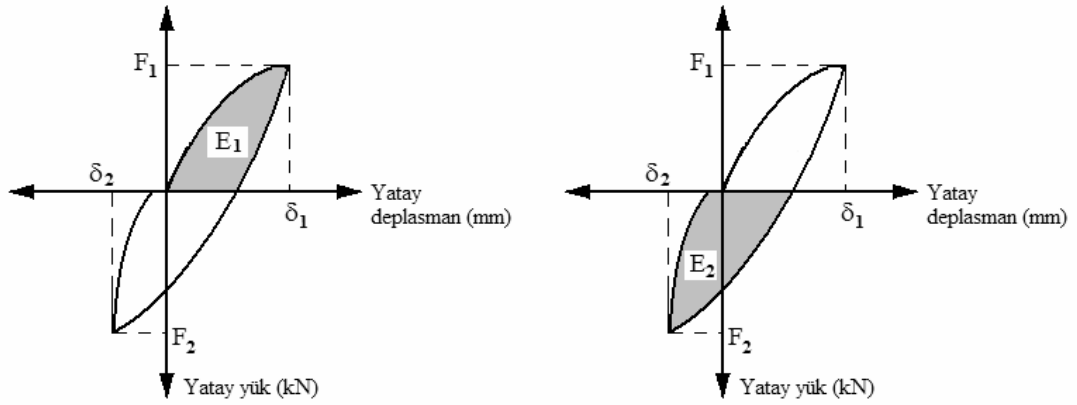
$$\Delta_{\text{Temel}} = \text{LVDT Temel} \quad (4.4)$$

#### 4.6.3. Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Dayanım zarfı grafiklerinin çizdirilmesi için, her çevrim için akmaya kadar en büyük yük değerleri ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri, akmadan sonra ise okunan en büyük yatay deplasman değerleri ve buna karşılık gelen yatay yük değerleri belirlenmiştir. İleri ve geri okumalardan elde edilen deplasmanlarla yük değerlerinin tepe noktaları grafiksel olarak çizdirilmiştir.

#### 4.6.4. Tüketilen Enerji Değerlerinin Elde Edilmesi

Tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki çerçeve sistemleri, üstüne gelen enerjinin bir kısmını deformasyon yaparak tüketmektedir. Tüketilen bu enerji, özellikle deprem etkisi gibi dinamik bir yükleme durumunda çok önemlidir. Enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile kat edilen yolun çarpımına eşittir. Bundan dolayı, deney numunelerin tükettikleri enerji, her çevrimde yük-deplasman eğrisinin altındaki alana eşittir. Bu amaçla, ilk olarak ileri yüklemede yük-deplasman eğrisinin altındaki  $E_1$  alanı hesaplanmıştır. Daha sonra geri yüklemede yük-deplasman eğrisinin altındaki alan  $E_2$  hesaplanmış ve bu çevrim için toplam tüketilen enerji  $E_1$  ve  $E_2$  değerlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Bundan sonra, her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Toplam tüketilen enerji grafiği değerlerinin hesaplanması

## 5. DENEY SONUÇLARI

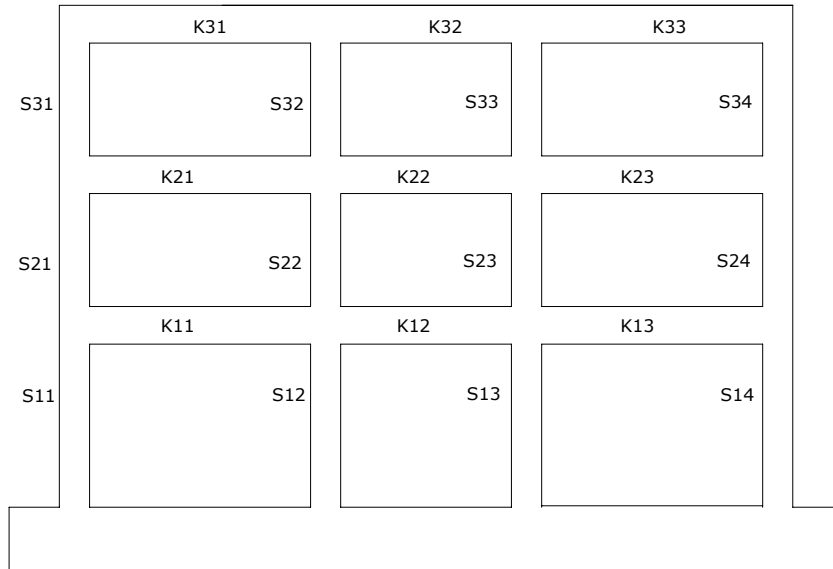
Bu bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve davranış detaylı bir biçimde sunulmaktadır.

Her deneye ait deneyin yapılışı, gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir. Her deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi ve elde edilen yük-tepe deplasmanı grafiği, yük-1. kat deplasmanı grafiği, yük-2. kat deplasmanı grafiği, 1. kat, 2. kat ve 3. kat yatay yük-ötelenme oranı grafikleri, 1., 2. ve 3. kat dayanım zarfı grafikleri sunulmaktadır.

Deneysel esnasında yatay yük sadece 3. kat seviyesinden uygulanmıştır. Burada 1., 2. ve 3. kat için katlar arası ötelenme oranlarının değişimi, katlar arası görel deplasmanın kat yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesiyle ilgili daha ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te bulunmaktadır.

Deney sırasında gözlenen davranış anlatılmış olup giriş ve kolon elemanlarında kullanılan numaralandırma sistemi Şekil 5.1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1.1. Betonarme çerçeve deney numunelerindeki elemanların numaralandırılması

Deney elemanlarının isimlendirilmesinde ilk indis deney numarasını (01,02,... 10 gibi) , ikinci indis donatı düzenini ( DT1 ve DT2 gibi) , 3. indis beton kalitesini (C20, C12 gibi), 4. indis kuşaklamanın yerini ( ortada kuşaklı için OK , yanlarda kuşaklama için KK, tamamen kuşaklı numune için TK, kuşaklamasız numune için HK gibi), son indis ise dolgu duvar bulunan bölgeyi (Ortası dolgu duvarlı için OD, Kenarları dolgu duvarlı için KD, duvarsız için HD gibi) belirtmektedir.

Bu sisteme ve deney numunelerine göre oluşturulan kodlama Çizelge 5.1.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1.1. Deney Numunelerinin Kodlama Sistemi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>
Deney 1	01DT1C20HKHD
Deney 2	02DT2C12HKHD
Deney 3	03DT2C12OKHD
Deney 4	04DT2C12KKHD
Deney 5	05DT1C12OKHD
Deney 6	06DT1C12KKHD
Deney 7	07DT1C12TKHD
Deney 8	08DT2C12TKHD
Deney 9	09DT2C12OKOD
Deney 10	10DT2C12KKKD



### 5.1. 1 nolu Deney (01DT1C20HKHD)

1 nolu deney numunesi T1 donatı düzenine sahiptir. Etriyeler birleşim bölgesinde sıklaştırılmış ve devam ettirilmiştir. Etriyelerin uçları 135° kancalı olarak imal ve montaj edilmiştir. Beton kalitesi C20'dir. Numunenin ABYYHY 1998 hükümlerinde verilen donatı düzeni ve 1.derece deprem bölgelerinde kullanılacak beton kalitesini sağlaması amaçlanmıştır.

Bu deney ABYYHY 1998 hükümleri ışığında depreme dayanıklı olarak tasarlanmış referans numune elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.1.2'de verilmiş olup . Şekil 5.1.3 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.1.2. 01DT1C20HKHD numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 5.1.3. Deney numunesinde ilk oluşan çatlaklar



Şekil 5.1.4. Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.1.5. Mesnetlerde ve zemin kat kolon uçlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, SAP 2000 programında sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN'luk yük kontrollü adımlarla başlamış, ardından +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 4,5 mm değerinin katları şeklinde artırılarak deplasman kontrollü şekilde devam ettirilmiştir.

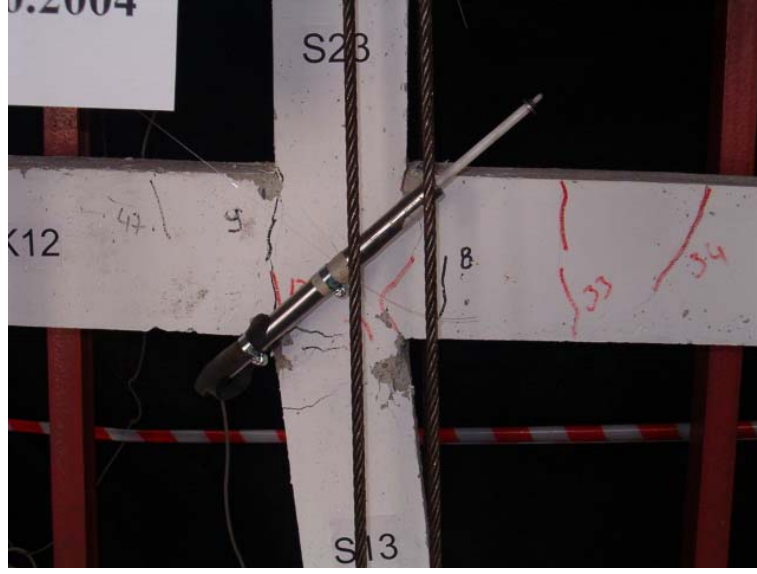
İlk çatlaklar olan 1ve 2nolu çatlaklar +22,5 kN yük değerinde K104 ve K204 kirişlerinin sağ alt ucunda oluşmuştur. 3 ve 4 nolu çatlaklar ise -22,5 kN yük değerinde simetrik şekilde K101 ve K201 kirişlerinin sol alt ucunda oluşmuştur. +30kN yüklemesinde K101 ve K201 kirişleri sağ altında -30 kN yüklemesinde ise K101 ve K104 kirişleri sol alt ucunda çatlaklar oluşmuştur. 30 kN yük değerinde elde edilen 6,5 mm deplasman değerinin katları kullanılarak deplasman kontrollü deneye geçilmiştir. +13.0 ve -13.0 mm değerinin ardından 4,5 mm artışla +20.0 , -20.0 mm, değerlerine ulaşılmıştır. Kirişlerin kolon yüzlerinde mafsallaşma başlamış, +26.5 mm ve -26.5 mm değerlerinde ise zemin kat kolon uçlarında mafsallaşmalar başlamıştır.

Sırasıyla +33.0, -33.0, +39.5, -39.5, +46.5, -46.5 ,+53.0, -53.0, +59.5, -59.5, +66.0, -66.0mm deplasman değerine ulaşılmıştır. Bu deplasman değerine ulaşılırken hasarlar artmış, birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü ani güç tükenmesi görülmemiştir. Diğer taraftan +72.5mm ve -72.5mm deplasman değerine ulaşıldığında yük değeri aşağı yönlenmeye başlamıştır. + 79.0 mm ve -79.0 mm deplasman değerine ulaşılarak deney sonlandırılmıştır.

Yapılan deneyde en çok göze çarpan husus normal şartlar altında kirişlere göre taşıma kapasitesi düşük olan kolonların uygulanan aksenal yükün etkisiyle kirişlerden önce mafsallaşmamasıdır. Mafsallaşma kolonlarda 26.5 mm değerinde başlamıştır ki bu değer yönetmelikte verilen maksimum deplasman sınır değerinin 3 katından fazladır.

Çerçeve istenen ve beklenen şekilde yumuşak kat davranışı göstererek göçmeye gitmiştir.

Numune çerçevesinden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2. ve 3.kat ötelenme oranı ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.1.10 ile Şekil 5.1.18 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.1.6. 1 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma



Şekil 5.1.7. 1 nolu deney numunesinin pilye kırım bölgesinde meydana gelen çatlama (6), kiriş ve kolon üst ucunda hasar, S14 kolon donatısında burkulma

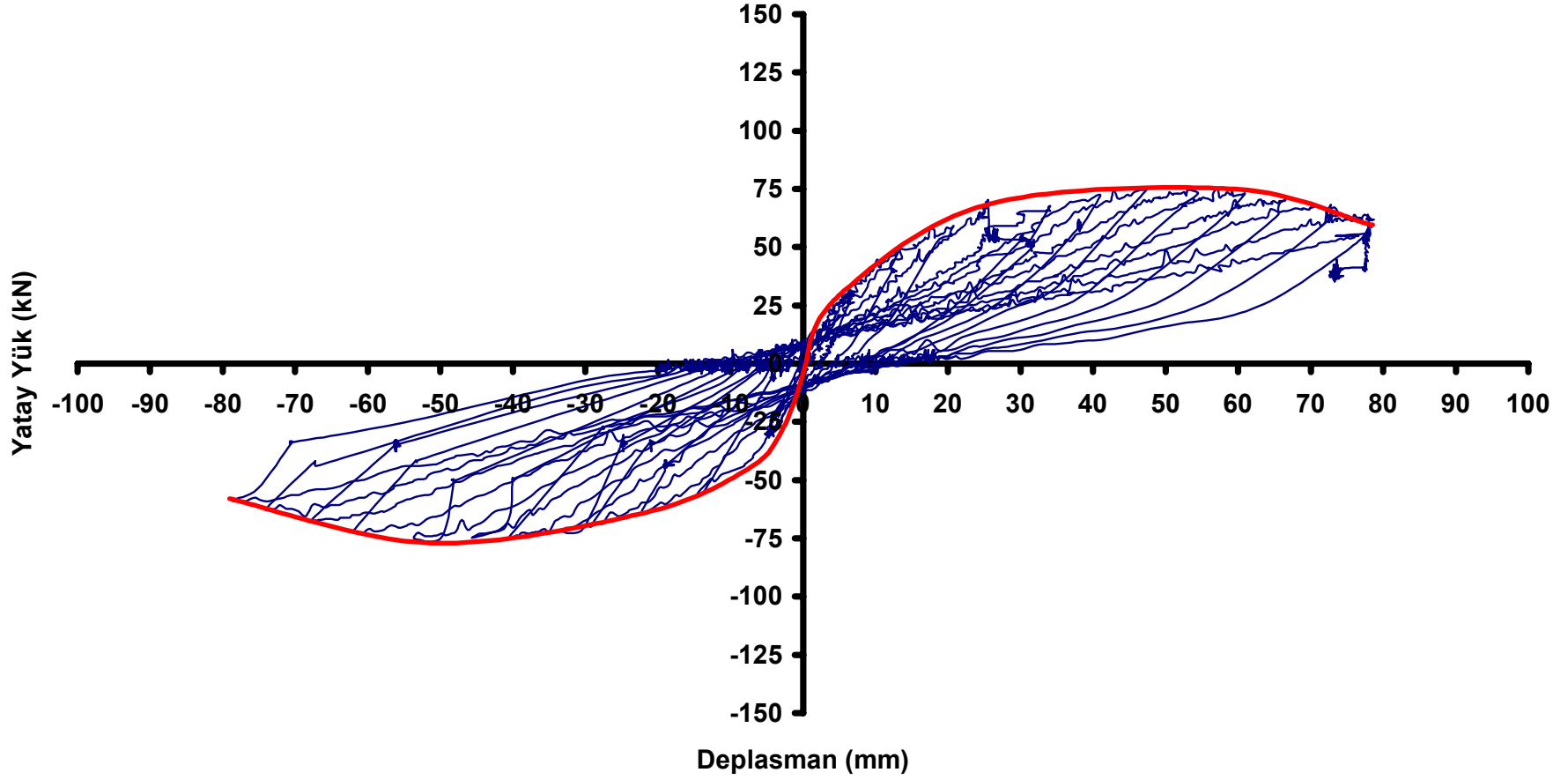


Şekil 5.1.8. 1 nolu deney numunesi 2.kat S21 kolonunun üst ve alt düğümleri



Şekil 5.1.9. 1 nolu deney numunesi zemin kat kolon – temel birleşiminde mafsallaşma

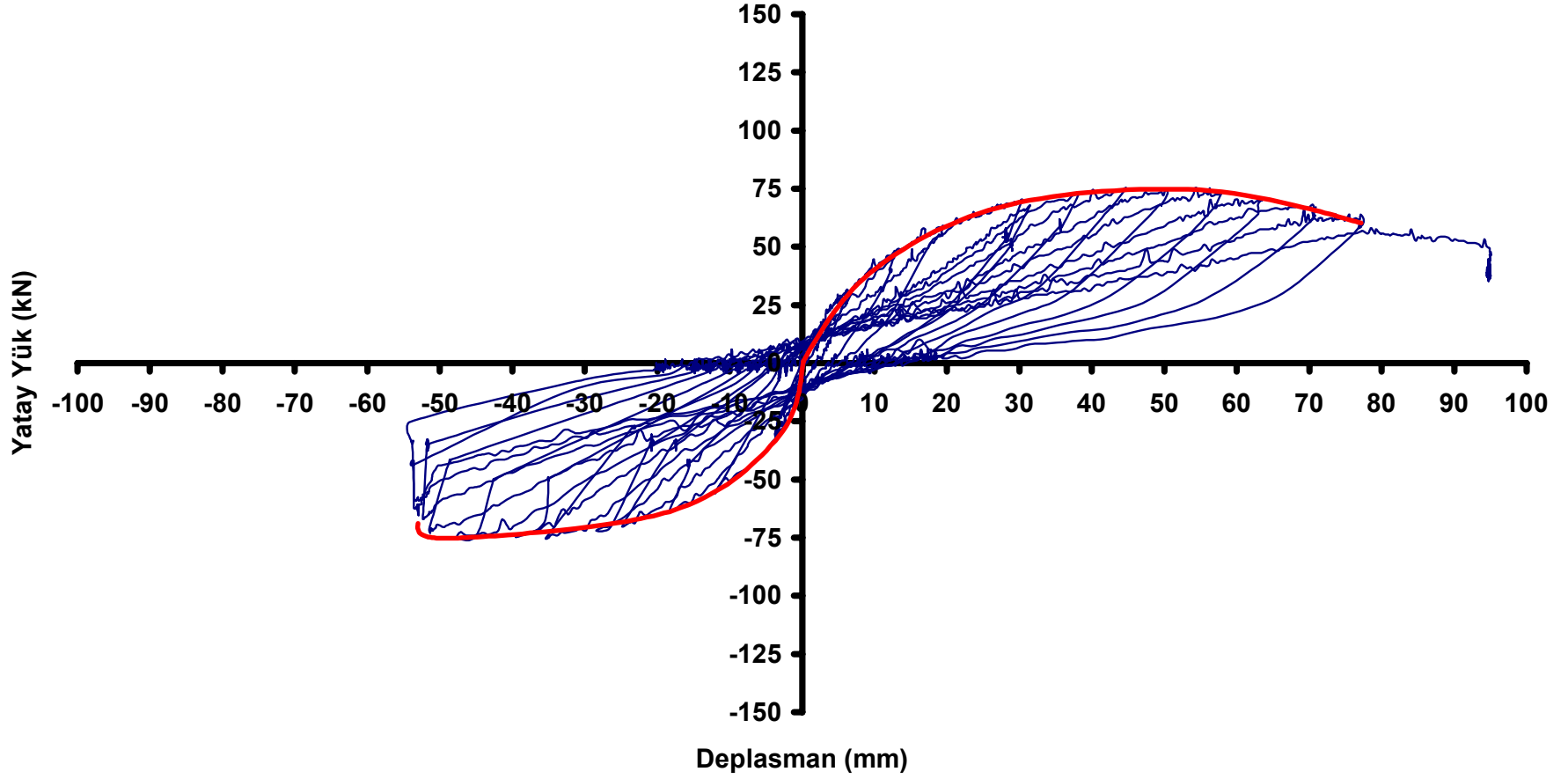
## Deney No 1 Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Grafiği



Şekil 5.1.10 1 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı grafiği

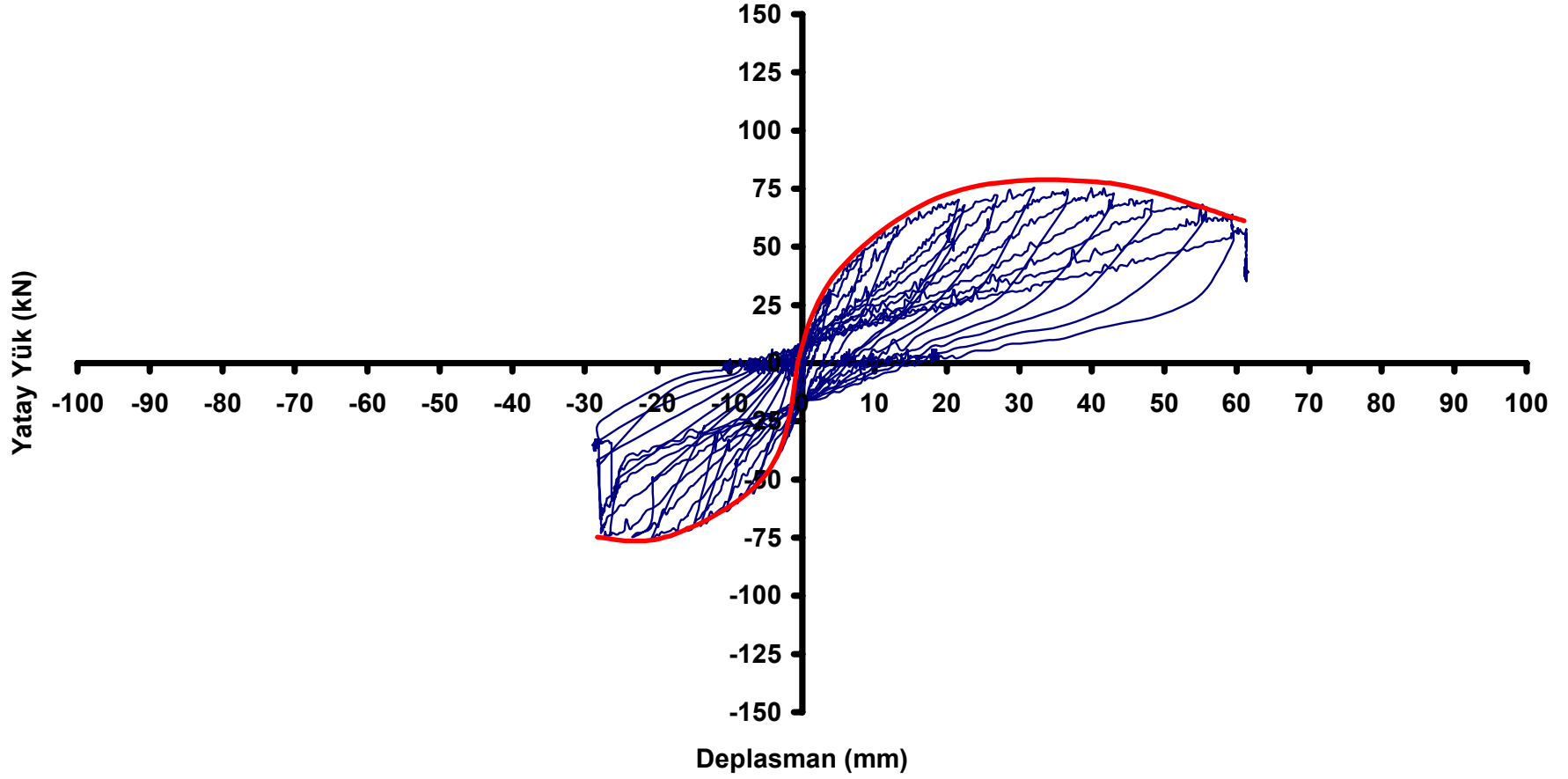


**Deney No 1**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Grafiği**



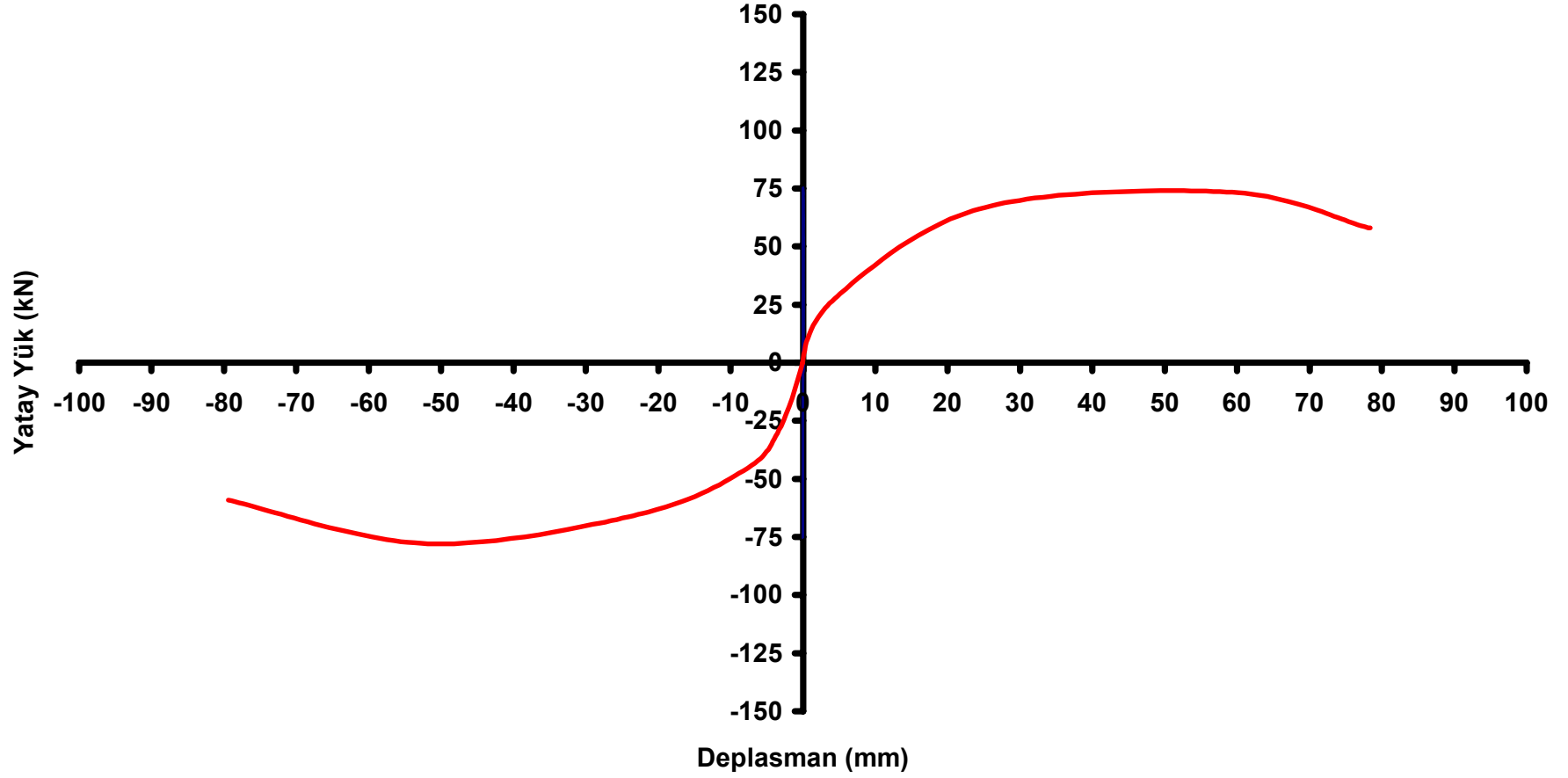
Şekil 5.1.11. 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Grafiği**



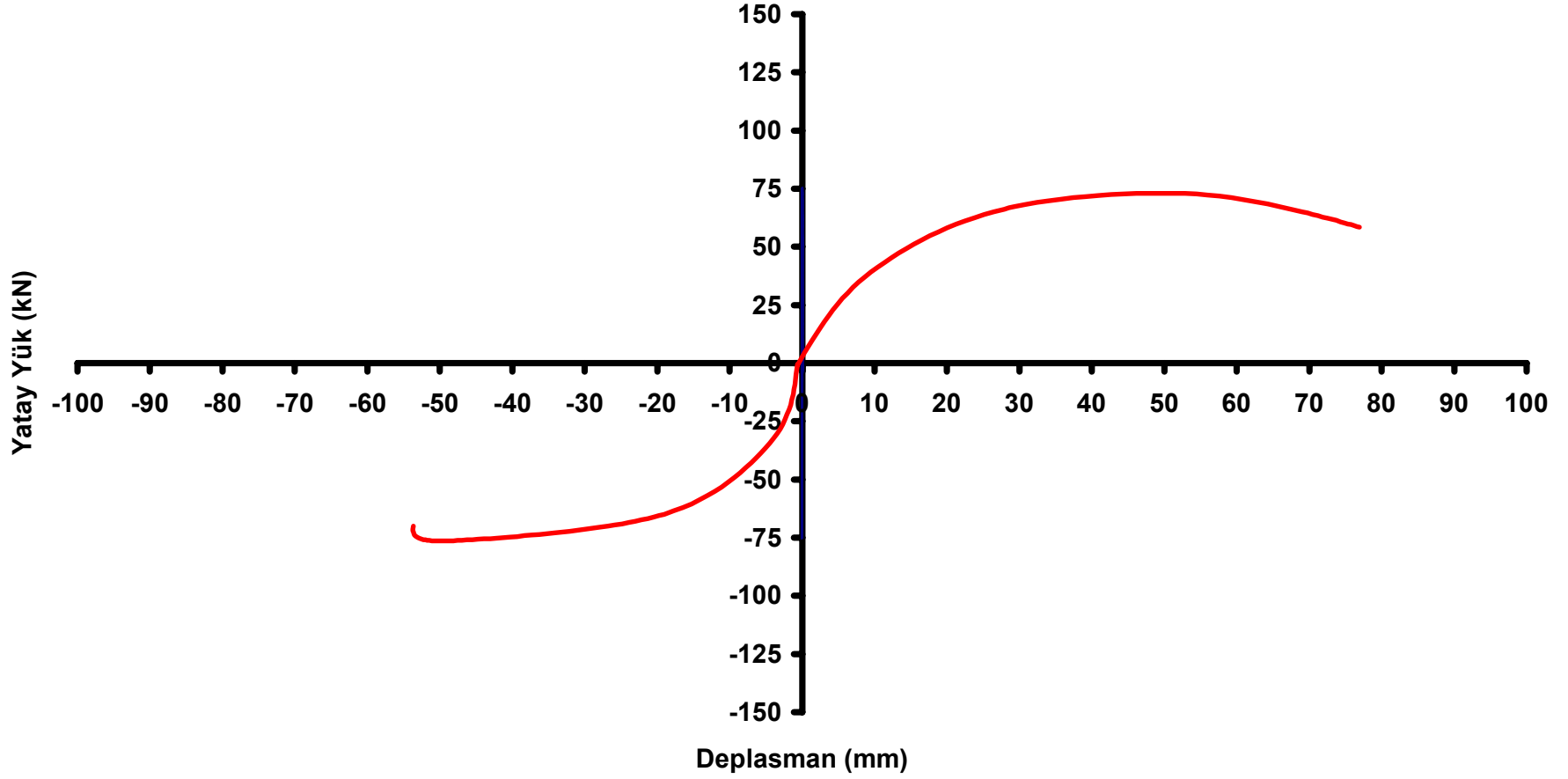
Şekil 5.1.12. 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Garfiği**



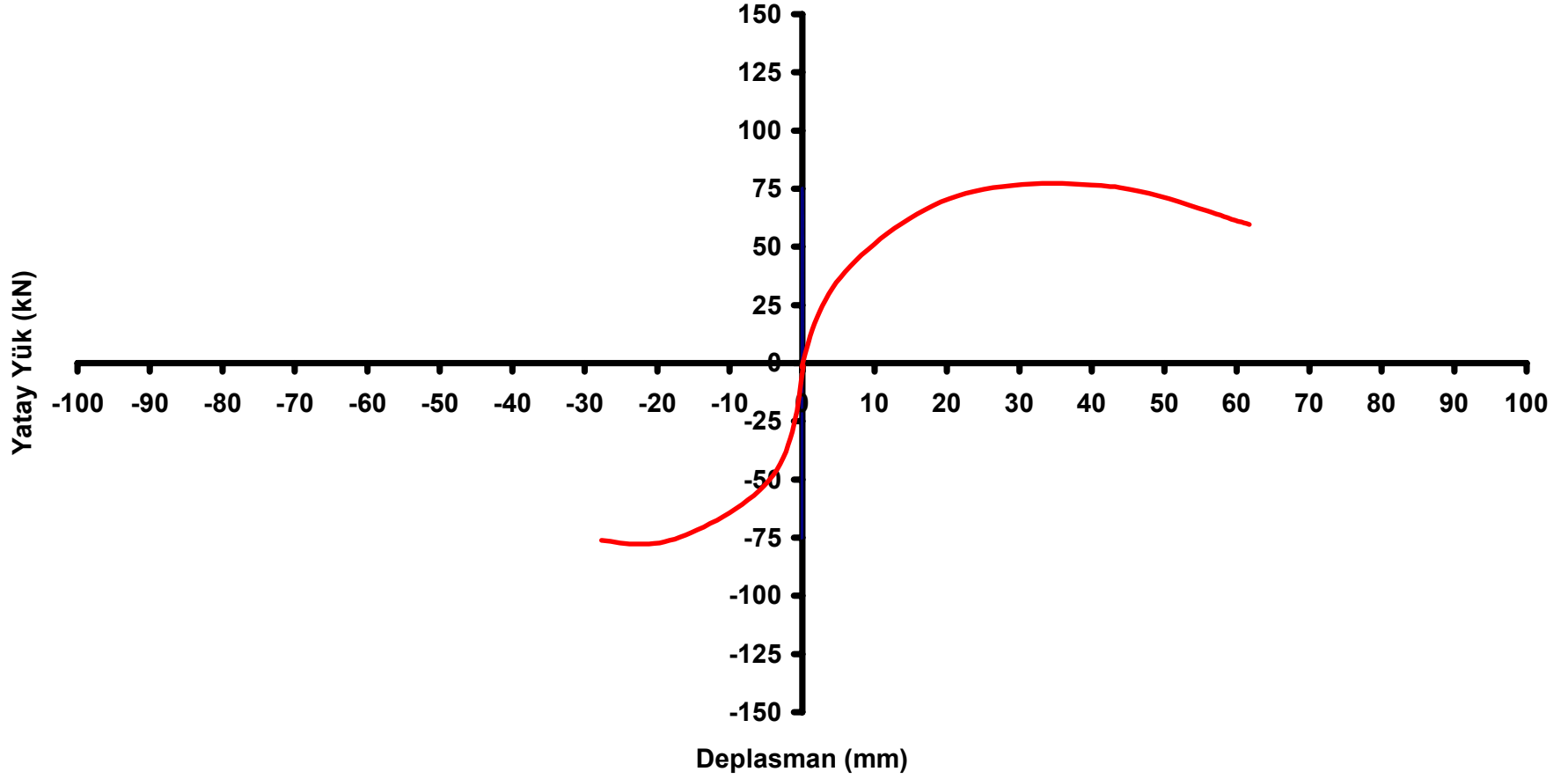
Şekil 5.1.13 1 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



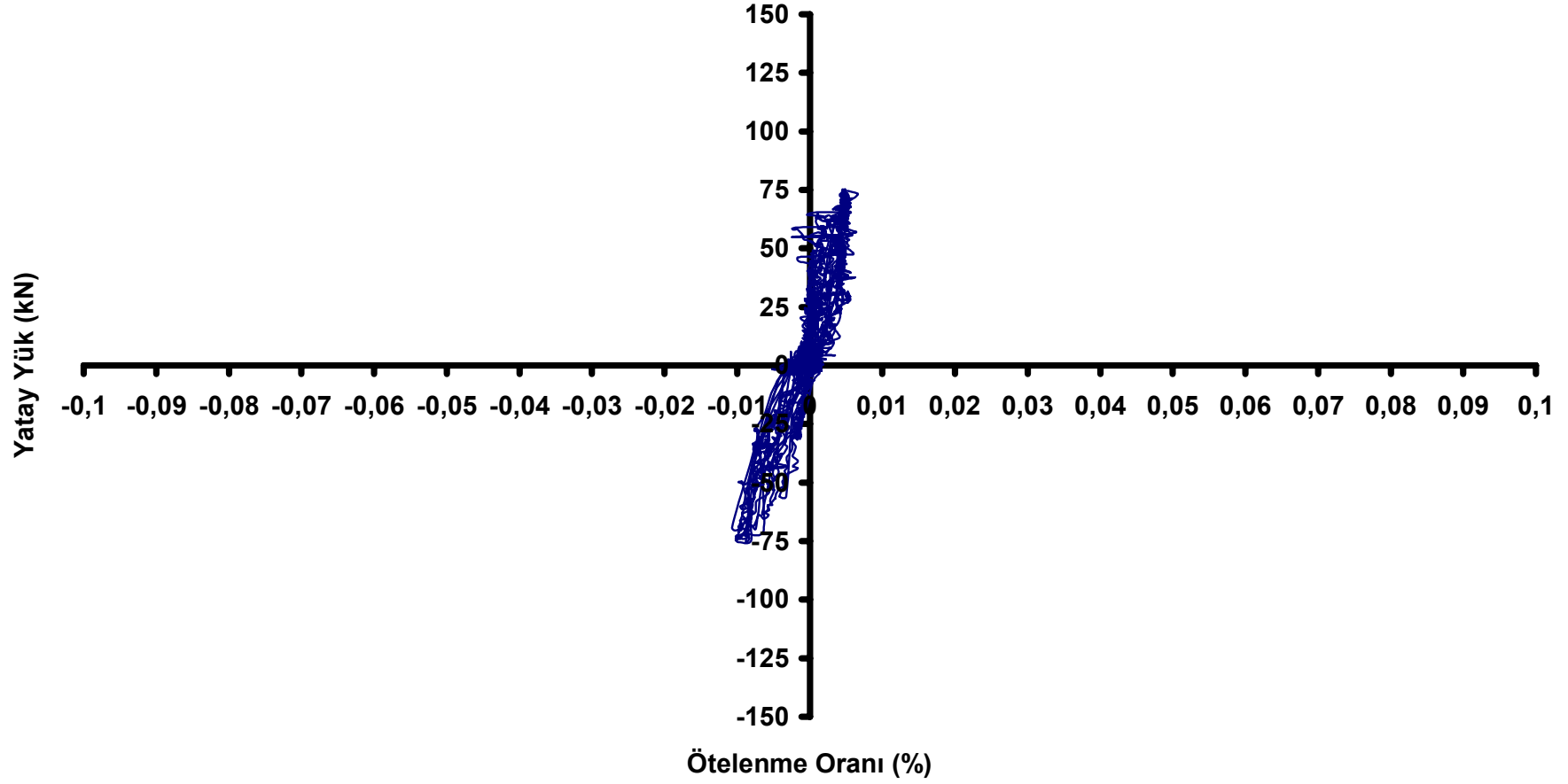
Şekil 5.1.14 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



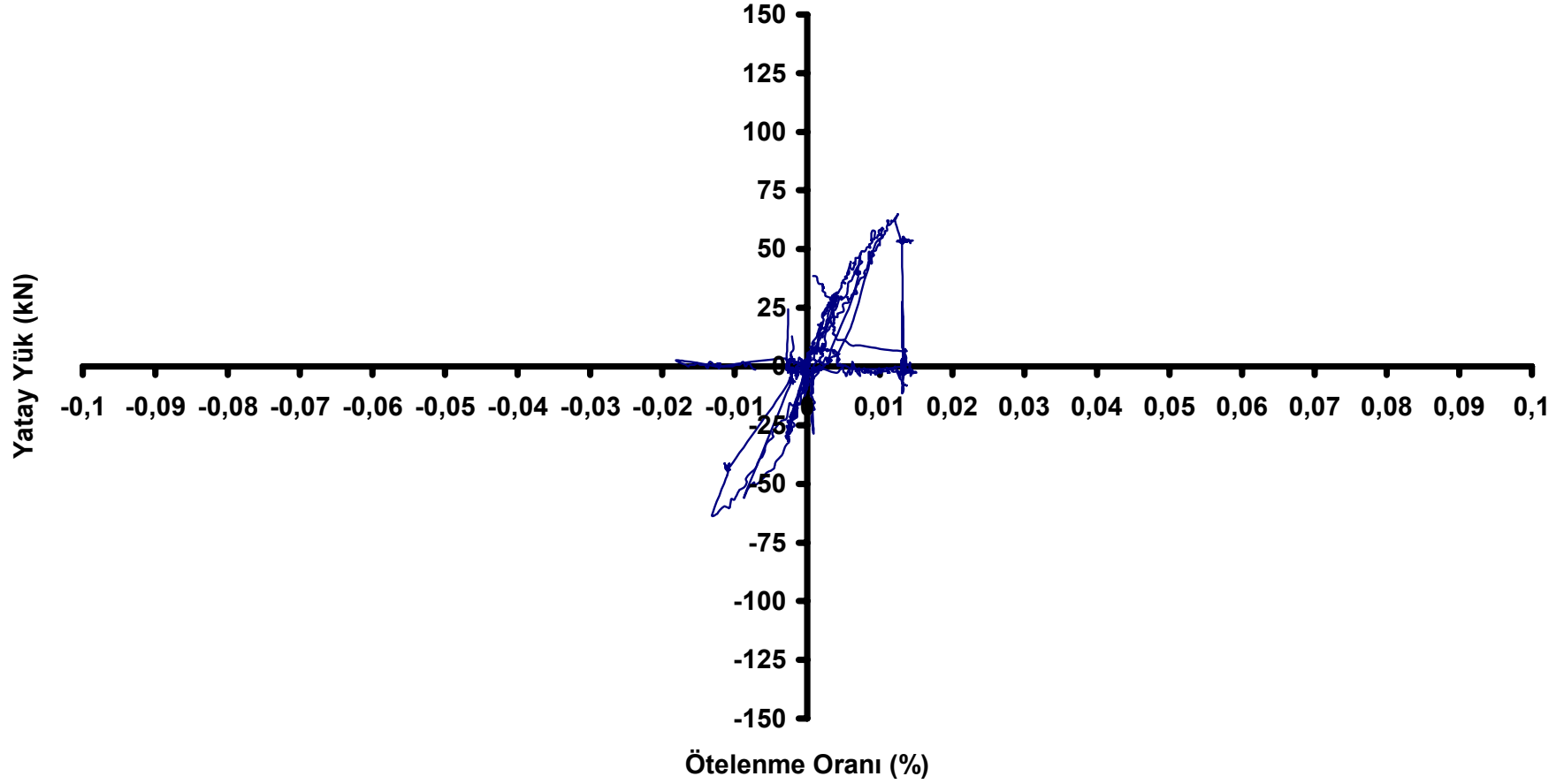
Şekil 5.1.15 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



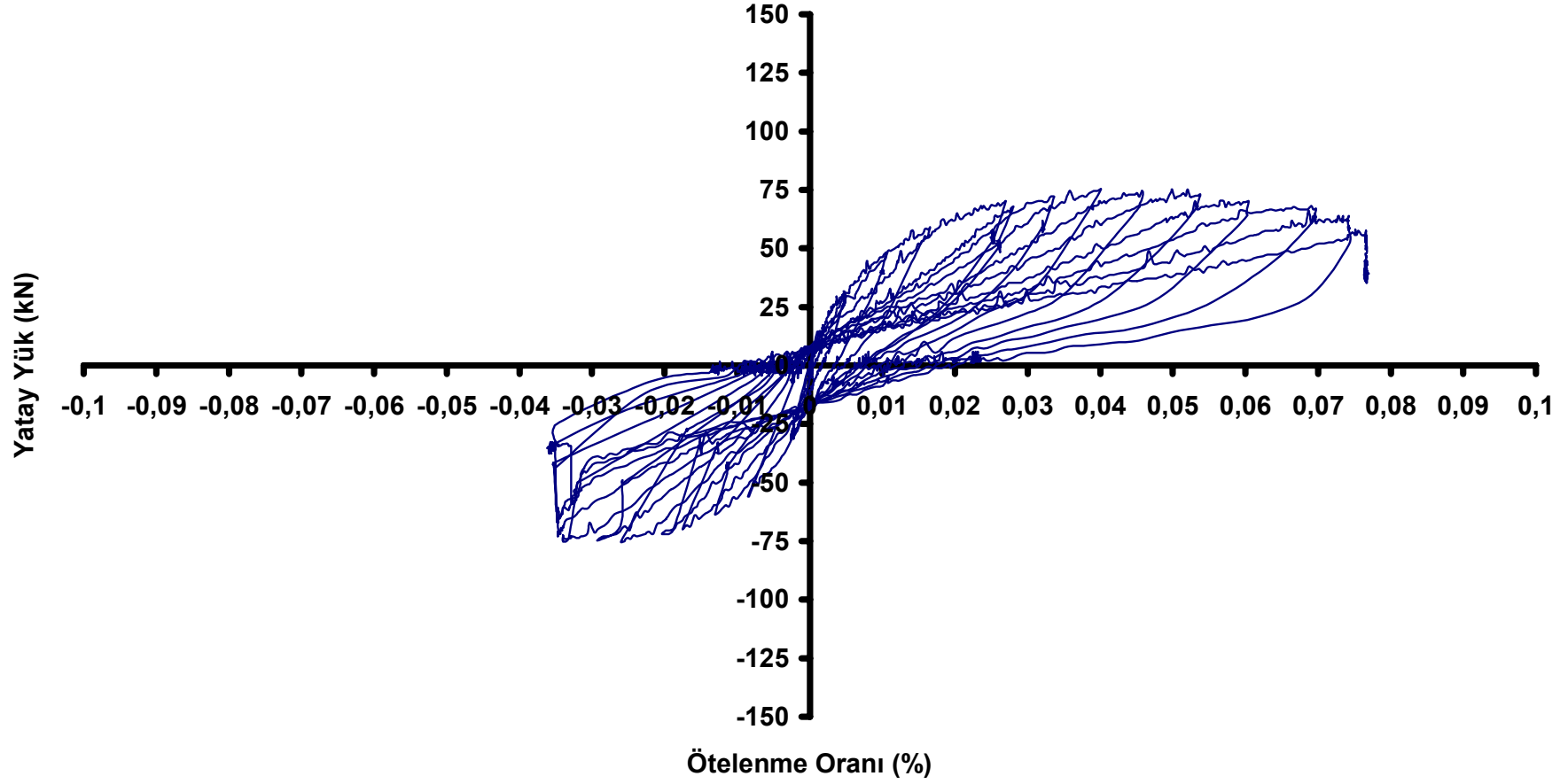
Şekil 5.1.16 1 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.1.17 1 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

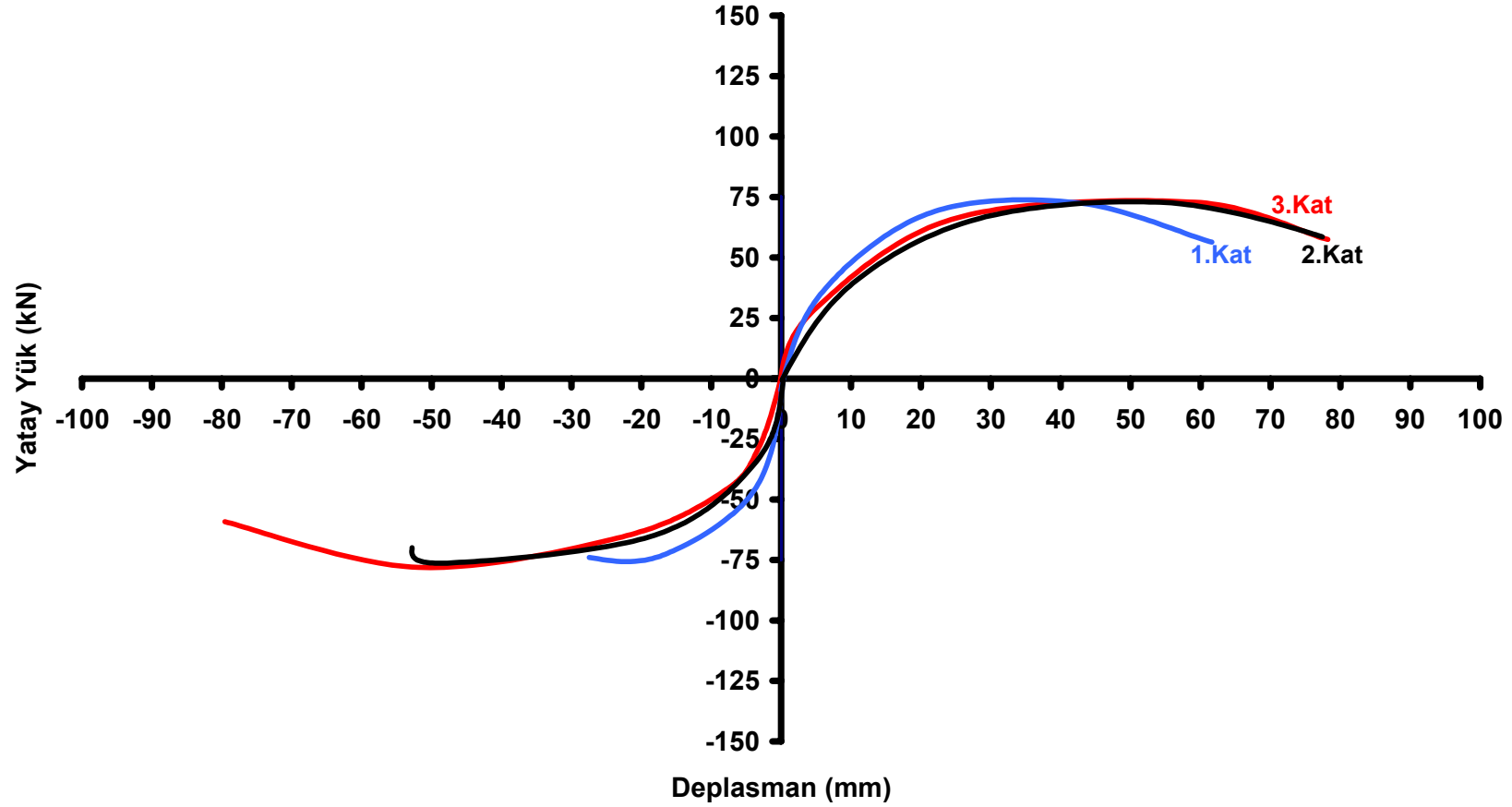
**Deney No 1**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.1.18 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği



**Deney No 1**  
**Yatay Yük - 1,2 ve 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.1.19 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat ötelenme oranı grafikleri

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 80 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 6,50 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 25452 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kenar kolonların eğilme dayanımları kirişlerden %6, orta kolonların eğilme dayanımları ise eksenel yük artışından dolayı kirişlerden %20 fazladır. Bunun sonucu olarak elastik bölgede ilk olarak kenar kolon kiriş birleşimlerinin kiriş yüzlerinde çatlaklar oluşmuştur. Deplasman değerinin artışıyla beraber, eksenel yükün oluşturduğu ikincil moment etkisi, çatlakların ilk olarak kenar kolonlara, sonrasında ise orta açıklıkta bulunan kolonlara kaydığı gözlemlenmiştir.

Artan deplasman değeri sonucunda yumuşak kat davranışı daha da ön plana çıkmıştır. Şekil 5.1.19'da verilen grafikte 2. ve 3. kat deplasmanlarının ilk katta oluşan yumuşak kat davranışının sonucu olarak çakıştığı görülmektedir.

Hasarların irdelenmesi sonucunda, birleşim bölgesinde etriye bulunmasının etkisiyle, birleşim bölgesinde hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiği oldukça sünek bir davranışın göstergesi olarak ortaya çıkmıştır. (Şekil 5.1.10)

## 5.2. 2 nolu Deney (02DT2C12HKHD)

2 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yoktur. Etriyeler 90° gönyeli olarak imal ve montaj edilmişlerdir. Beton sınıfı C12'dir. Aderans boyu kolon ek bölgelerinde 30 Ø ile sınırlandırılmıştır.

Bu deneyin amacı kötü ve yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesi gereken referans numune elde etmektir.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.2.1'de verilmiş olup . Şekil 5.2.2 deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.2.1 02DT2C12HKHD numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 5.2.2 2 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



Şekil 5.2.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.2.4 Deney sonunda etriye olmamasından ötürü parçalanmış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.2.5 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 5mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlaklar olan 1 ve 2 nolu çatlaklar +15 ve -15 kN yük değerinde K12 kirişi sol üstünde ve K11 kirişi sağ altında oluşmuştur. 3 ve 4 nolu çatlaklar ise +22,5 ve -22,5 kN yüklemesinde K11 kirişi sol üstünde ve K13 kirişi sağ üstünde simetrik olarak oluşmuştur. +30 kN ve -30 kN yük değerlerinde ise K12 kirişi sol ve sağ altında çekme çatlakları oluşmuş, K23 kirişi solunda 6 nolu çatlak, K13 solunda altta 7 nolu ve K12 sağ altında 8 nolu çatlak oluşmuştur. +30 kN yük değerinde ölçülen 5 mm deplasman değerinin katları alınarak deplasman kontrollü olarak deneye devam edilmiştir.

-10 mm deplasman değerinde K11 ve K21 kirişleri sol altında 10 ve 11 nolu çekme çatlağı meydana gelmiştir. +10 mm deplasman değerinde ise simetrik şekilde K13 ve K23 kirişleri sağ altında 12, 13 ve 14 nolu çatlaklar oluşmuştur. -15 mm deplasman değerinde 11 nolu çatlak genişlemiş, +15 mm deplasman değerinde ise S14 kolonu temel birleşiminin solunda 16, S13 kolonu temel birleşimi solunda 17, S12 temel birleşimi solunda 18 nolu çekme çatlakları oluşmuştur.

-20 mm deplasman değerinde K22 kirişi sol altında 19 nolu, S32 kolonu üstünde ise kiriş alt ucuna paralel şekilde 20 nolu çatlak oluşmuştur. S11 kolonunun temelle birleştiği bölgenin solunda 21 ve S12 kolonunun aynı bölgesinde 22 nolu çekme çatlağı oluşmuştur.

+20 mm deplasman değerinde kolon alt uçlarında meydana gelmiş olan 16,17,18 nolu çatlaklar büyürken diğer taraflarda ise ezilmeler başlamıştır.

-25 mm deplasman değerinde ise kolon alt uçları ezilmeye devam etti.

+25 mm deplasman değerinde kolonların alt uçları çekme bölgesinde belirgin şekilde ayrılmaya başladı.

-30 mm K11 ucundaki 28 nolu çatlak ilerledi.

+30 mm deplasman değerinde dış kolon kiriş birleşimlerindeki çatlaklar birleşmeye ve artmaya devam etti. Diğer taraftan 2. katlardaki kirişlerde hasarlar oluşmaya devam etti.

-35 mm +35 mm döngüsünde 1.kat dış kolon kiriş birleşimlerinde 32, 33, 34, 35 ve 36 nolu çatlaklar oluşmaya başladı.

Kolon alt uçları çekme yönünde açılmaya devam etti.

-40 mm +40 mm döngüsünde ezilmeler alt kat kolonları temel seviyesinde belirgin hale gelirken pilye kırım bölgeleri çatlamaya başladı.



-45 mm +45 mm döngüsünde hasarlar üst kat seviyesinde görülmeye başlandı. Orta kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye olmamasın da etkisiyle X çatlakları oluşmaya başladı.

Yumuşak kat davranışı belirgin hale gelmeye başladı. 1 kat deplasman değeri 38 mm , 2.kat deplasman değeri 42 mm, 3.kat deplasman değeri 45 mm oldu.

-50 mm + 50 mm döngüsünde kenar kolon uçlarında plastik mafsallar oluştu.

Pilye uçları kolon kiriş bölgesindeki kabuk betonlarının atarak dökülmesine sebep olmaya başladı.

-55 mm +55 mm deplasman değerinde 1.kat dış kolon kiriş birleşimlerindeki hasarlar artmaya başladı.

-60 mm +60 mm döngüsünde çerçeve deplasman yapmaya devam etse de hasarlar birleşim bölgelerinde yoğunlaşmaya başladı.

-65 mm +65 mm döngüsünde 1.kat kolonlarının üst uçlarında ezilmeler belirginleşmeye başladı.

-70 mm +70 mm döngüsünde ve sonucunda kolon donatılarında burkulmalar başladı. Eksenel kuvvet ve burkulan boyuna donatılar sebebiyle kanca yapılmamış etriyelerin açıldığı görüldü.

-75 mm +75 mm döngüsünde zemin kat kolonları üst ucu ezilerek çerçeve yükleme düzlemi dışına doğru burkuldu ve deneye son verildi.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.2.10 ile Şekil 5.2.18 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.2.6 2 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma , burkulma ve etriye çözülümü



Şekil 5.2.7 2 nolu deney çerçevesinde burkulma

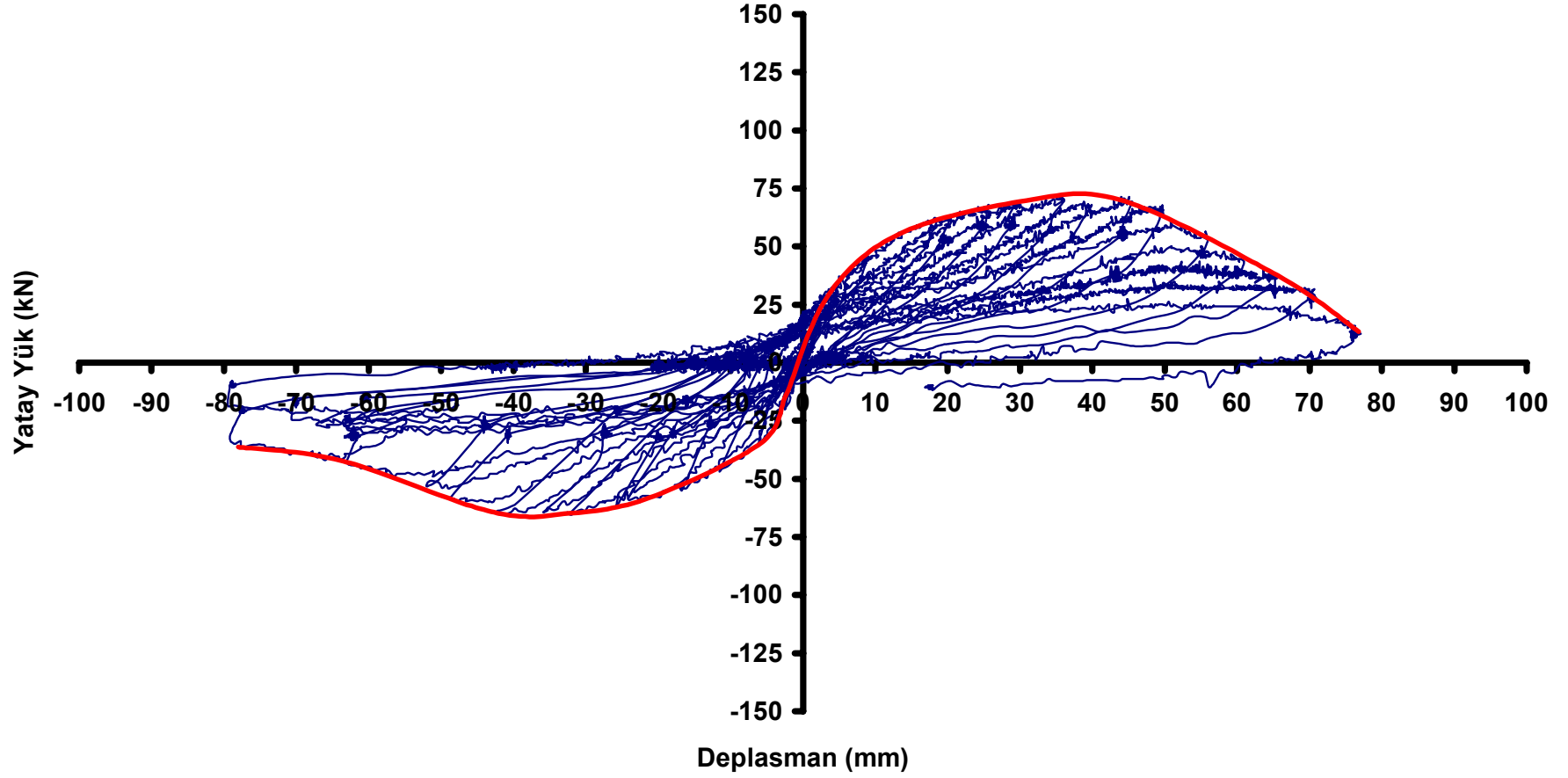


Şekil 5.2.8 2 nolu deney numunesi S12 ve S 13 orta kolon kiriş birleşimleri ve düğümlerde X çatlakları ile çözülmüş etriyeler



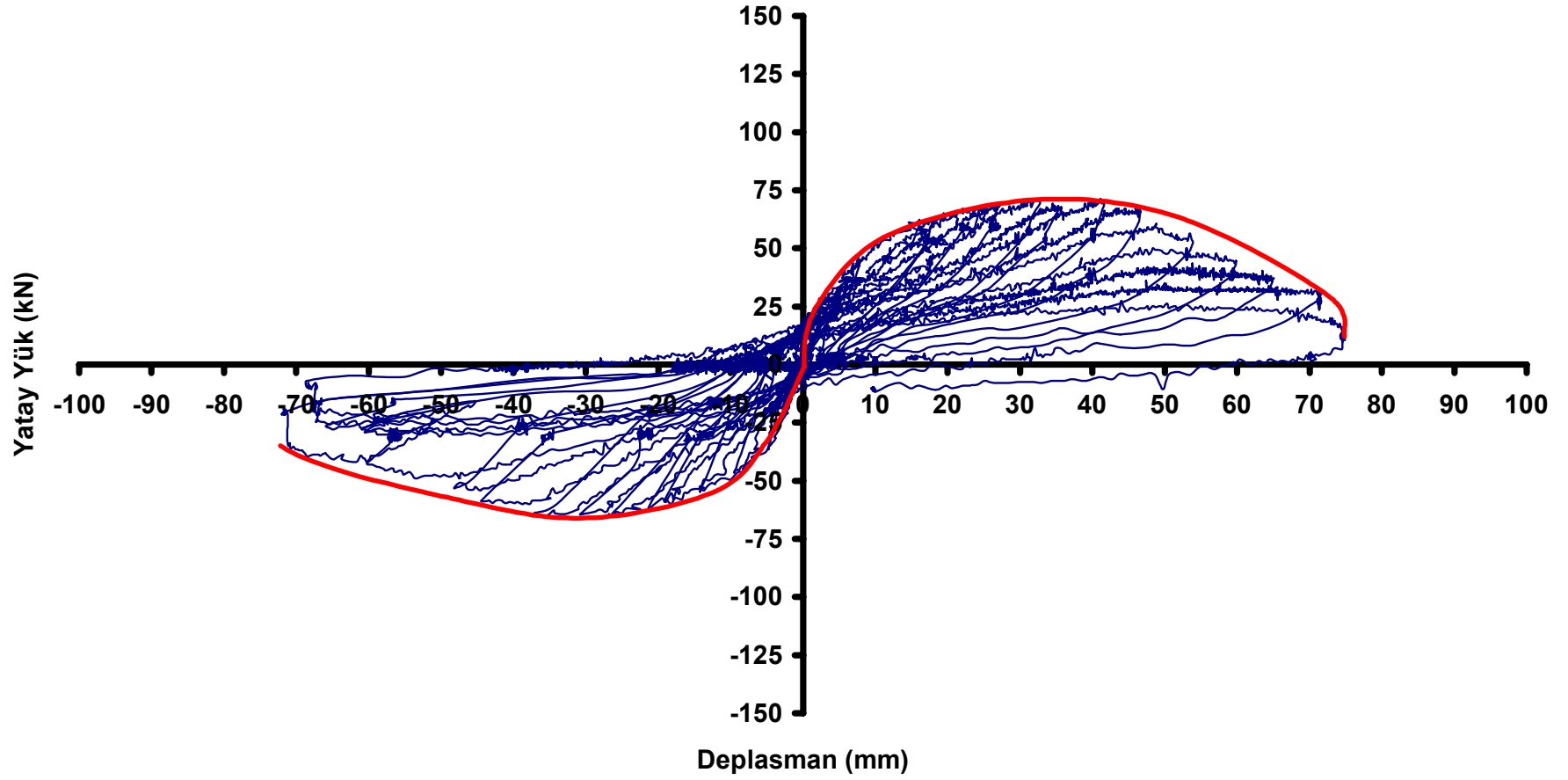
Şekil 5.2.9. 2 nolu deney numunesi S11 ve S14 kenar kolon kiriş birleşimleri

## Deney No 2 Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği



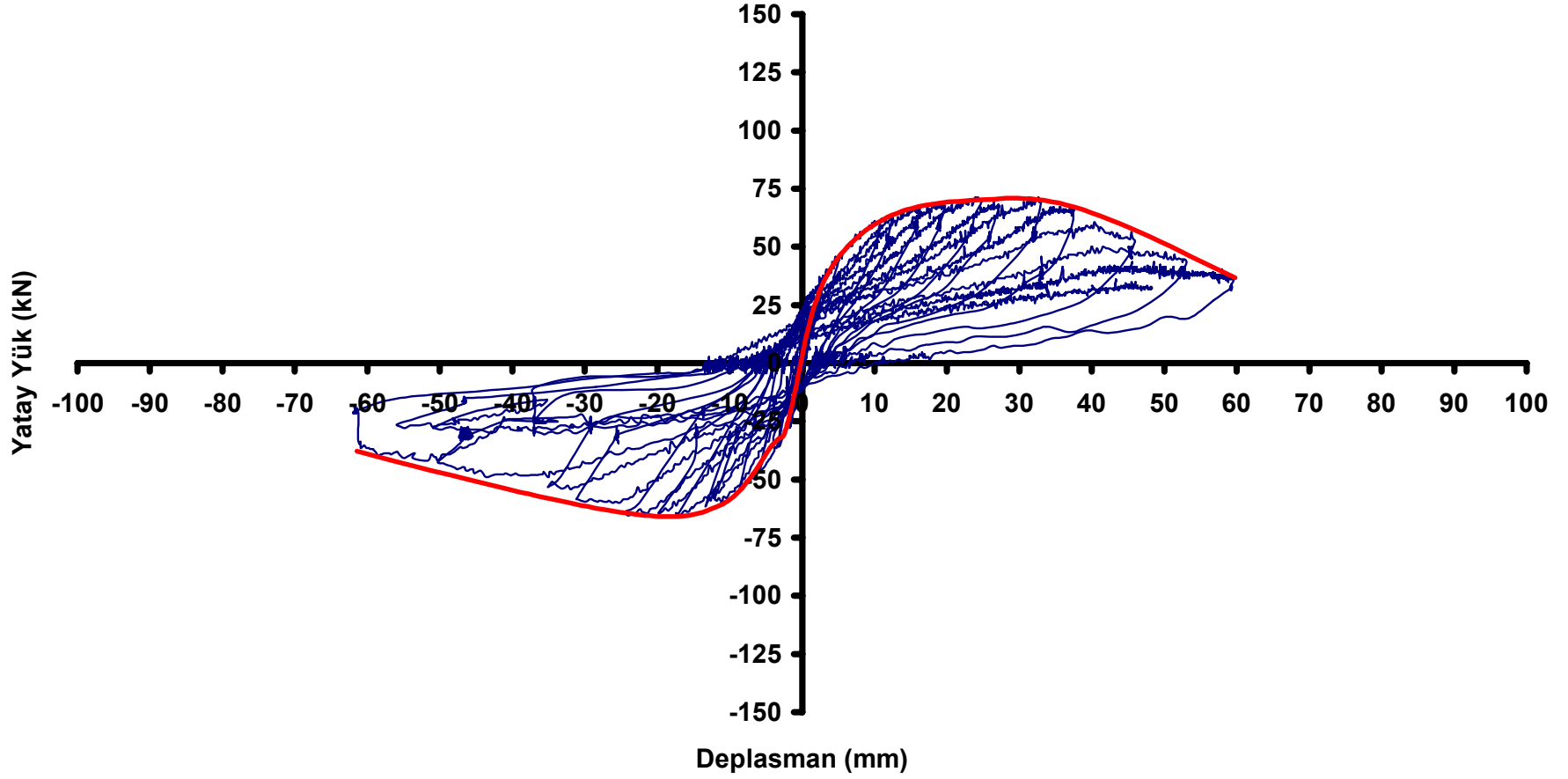
Şekil 5.2.10. 2 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasman Grafiği**



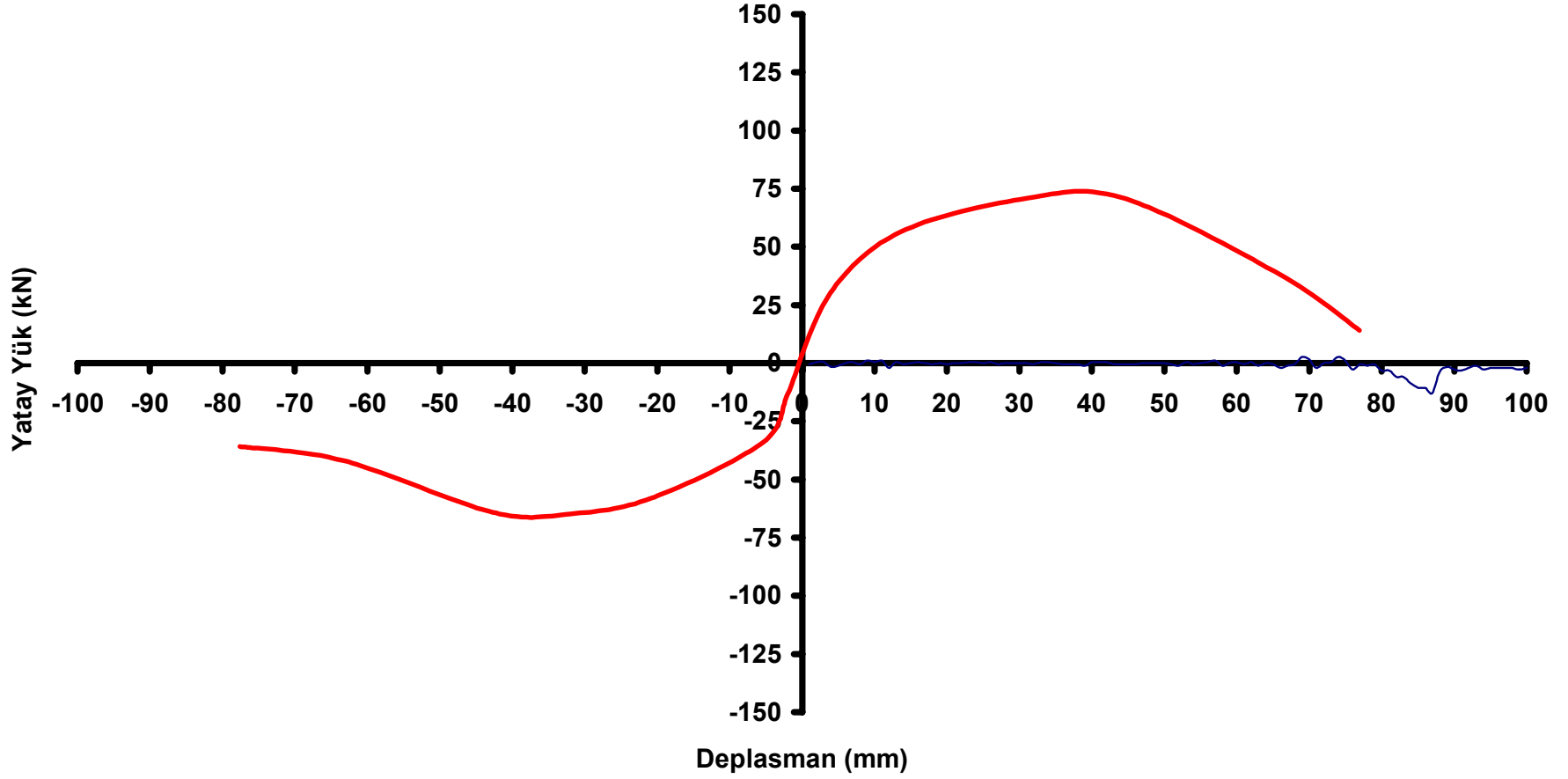
Şekil 5.2.11 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasman Grafiği**



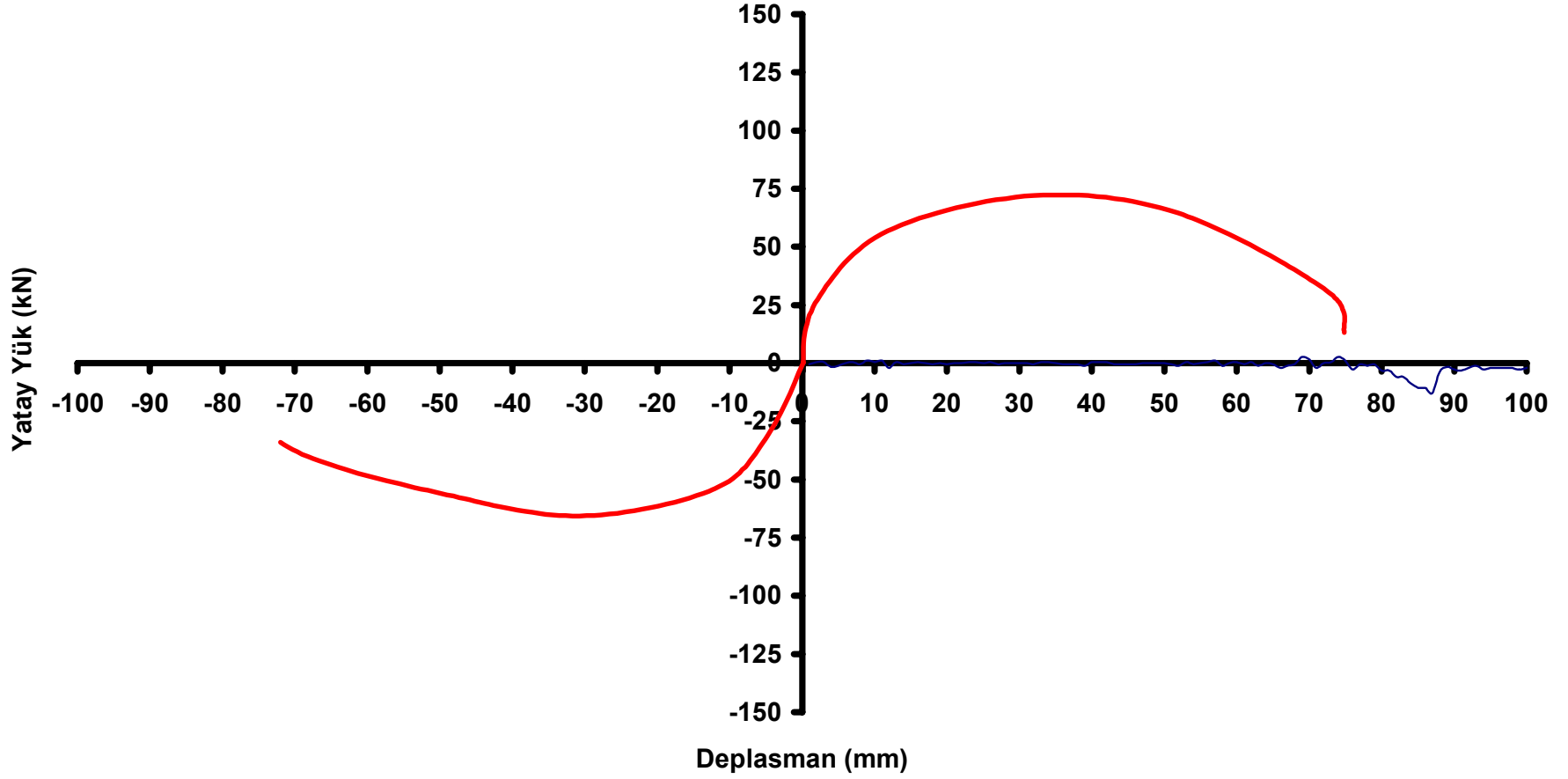
Şekil 5.2.12 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.2.13 2 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

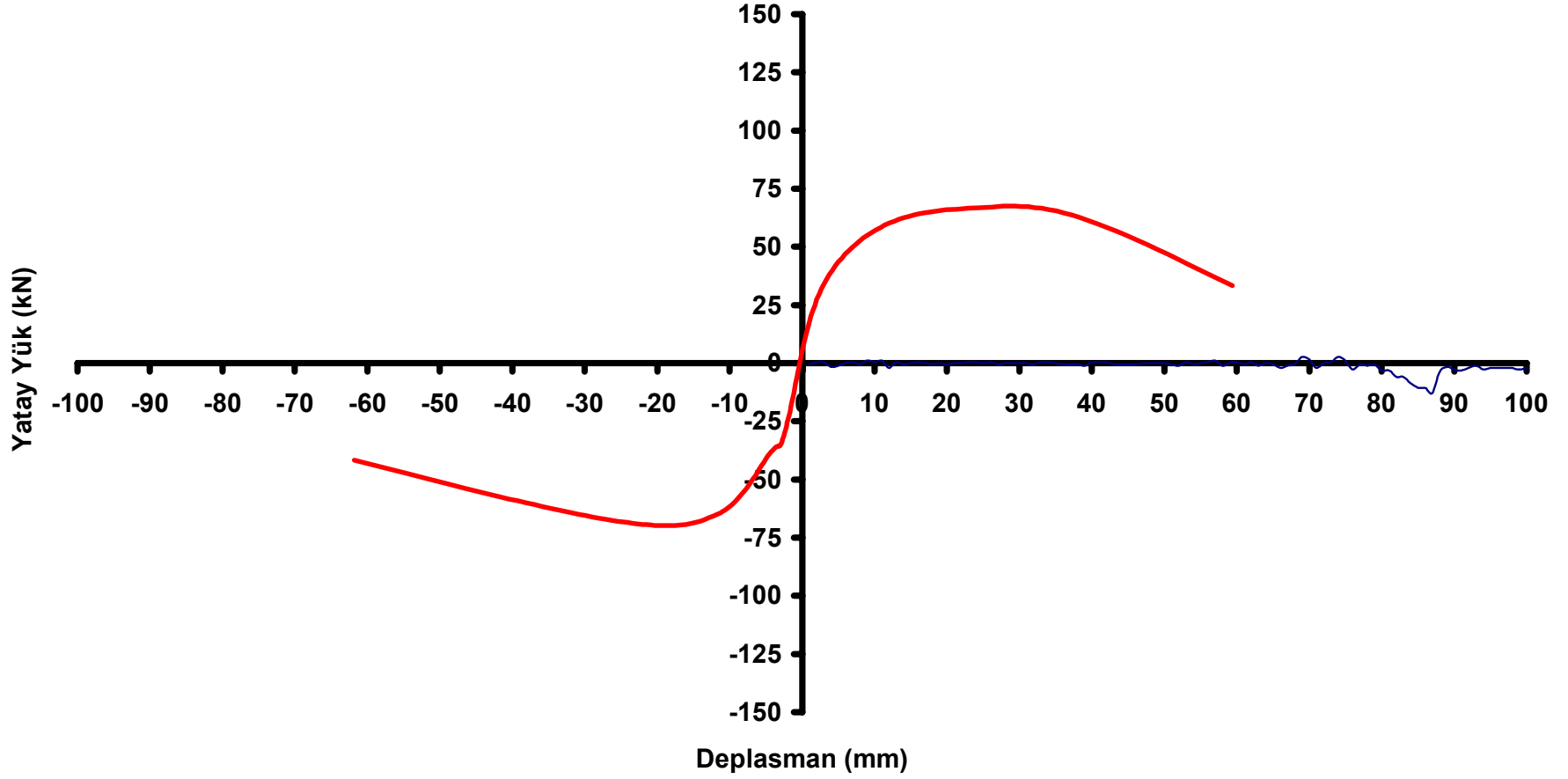
**Deney No 2**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.2.14 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği zarf eğrisi

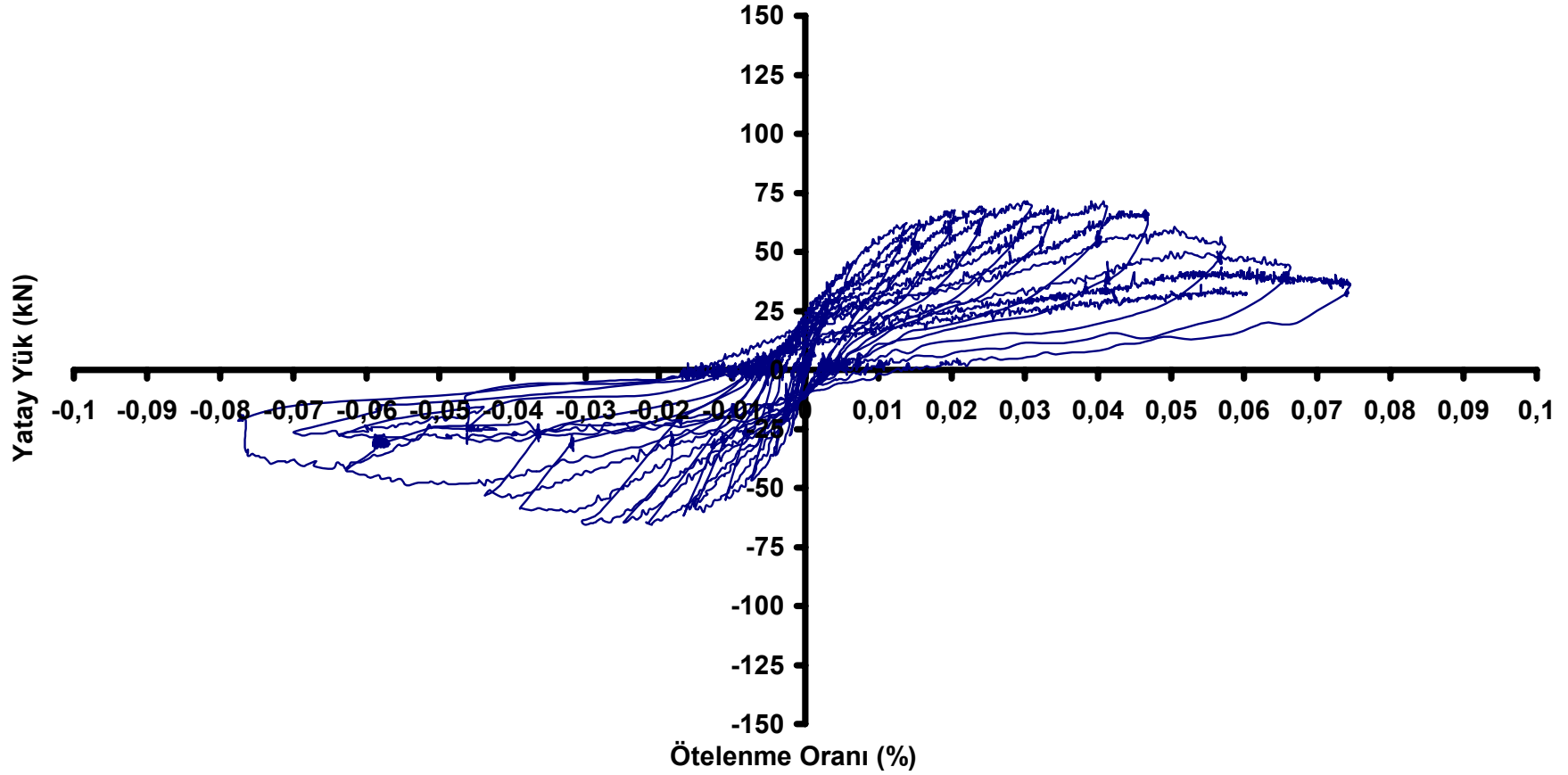


**Deney No 2**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



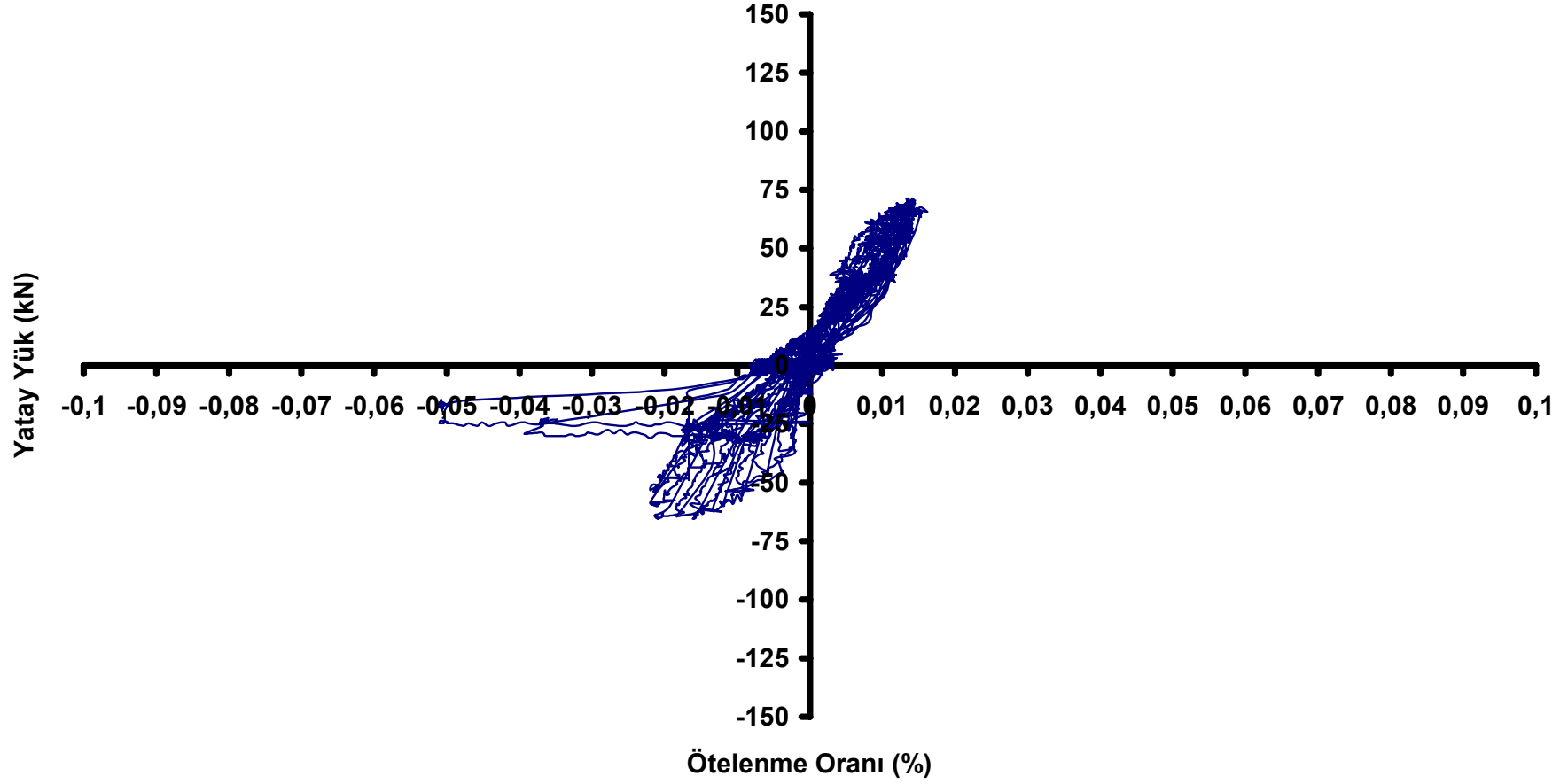
Şekil 5.2.15 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği zarf eğrisi

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



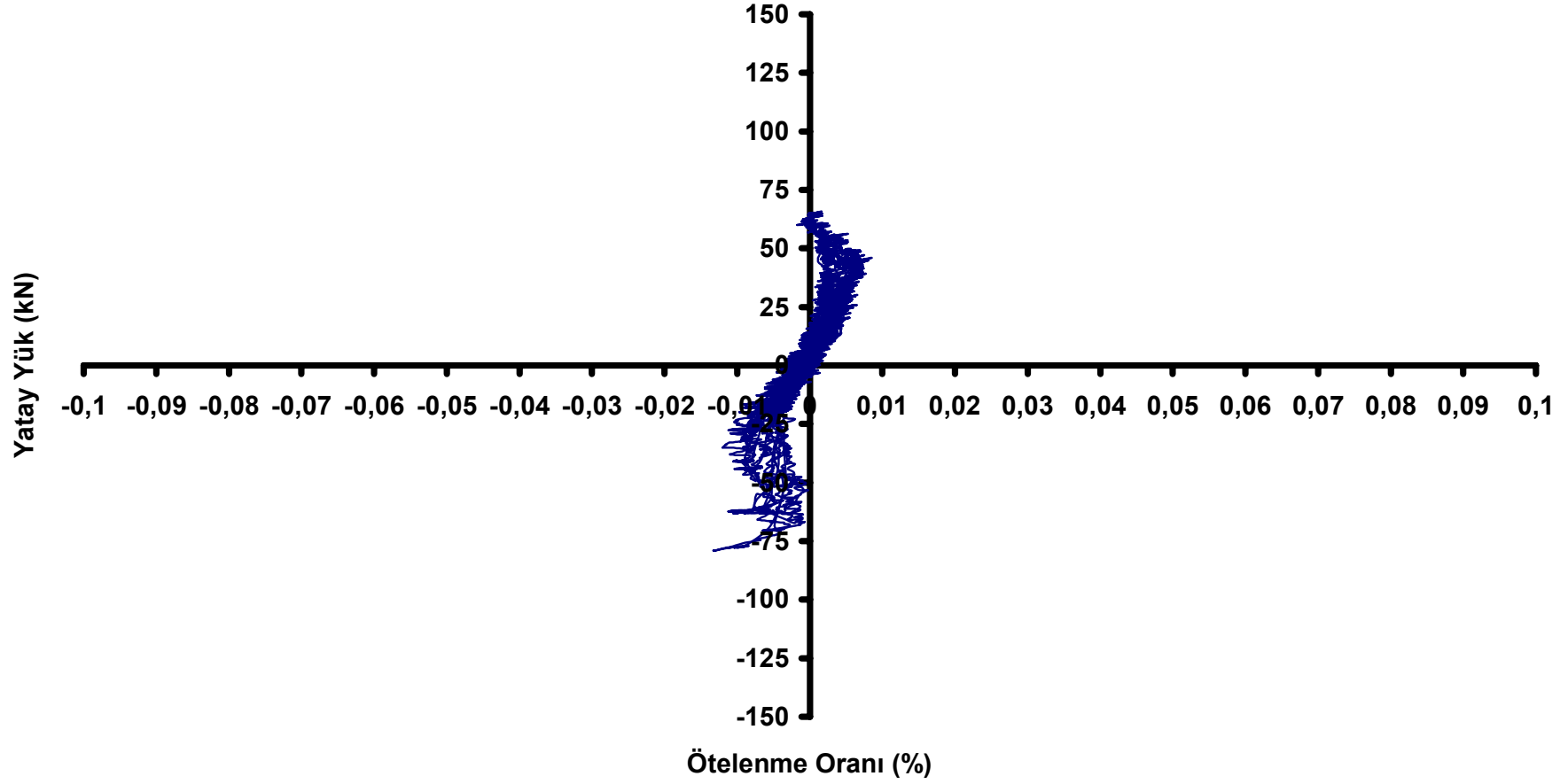
Şekil 5.2.16 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



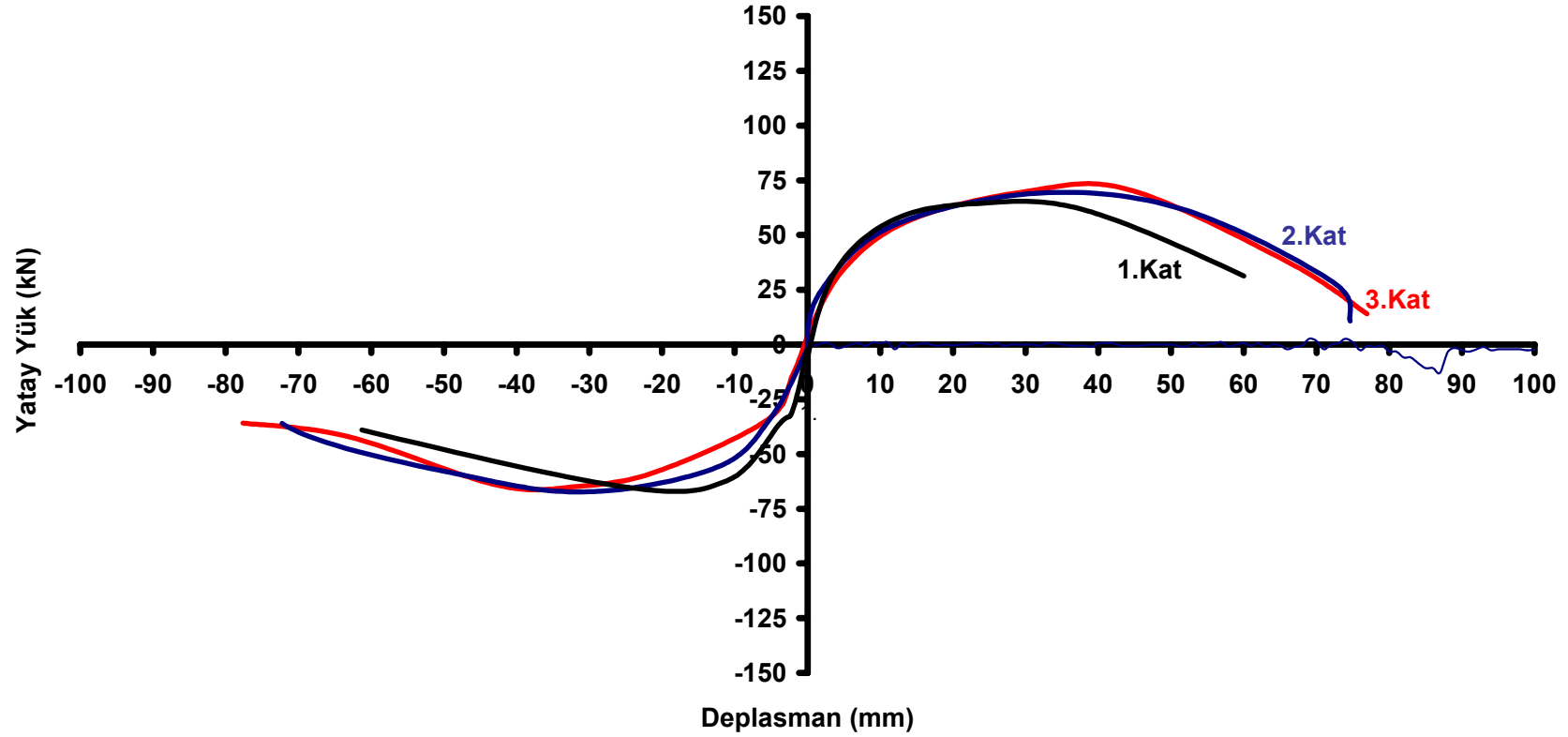
Şekil 5.2.17 2 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.2.18 2 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-1.,2., 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.2.19 2 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2.,3. kat deplasmanı grafikleri

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 75 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 4.20 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 19800 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kenar kolonların eğilme dayanımları kirişlerden %6, orta kolonların eğilme dayanımları ise eksenel yük artışından dolayı kirişlerden %20 fazladır. Bunun sonucu olarak elastik bölgede ilk olarak kenar kolon kiriş birleşimlerinin kiriş yüzlerinde çatlaklar oluşmuştur. Deplasman değerinin artışıyla beraber, eksenel yükün oluşturduğu ikincil moment etkisi, çatlakların ilk olarak kenar kolon kiriş birleşim bölgesine, sonrasında ise orta açıklıkta bulunan kolon kiriş birleşim bölgesine kaydığı gözlemlenmiştir.

Artan deplasman değeri sonucunda yumuşak kat davranışı daha da ön plana çıkmıştır. Şekil 5.2.19'da verilen grafikte 2. ve 3. kat deplasmanlarının ilk katta oluşan yumuşak kat davranışının sonucu olarak çakıştığı görülmektedir.

Hasarların irdelenmesi sonucunda, birleşim bölgesinde etriye bulunmamasının etkisiyle, orta kolon kiriş birleşim ve kenar kolon kiriş birleşim bölgelerinde X çatlakları oluşmuş, kenar kolon kiriş birleşimleri dağılarak yük taşıyamaz hale gelmiştir. Alt kat kolon üst ve alt uçlarında betonun ezildiği, 90 derece kancalı etriyelerin açıldığı, kolon donatılarının burkulduğu tespit edilmiştir. Bu davranış etriye sıklaştırmasının ve birleşimde devam ettirilmesinin önemini tekrar ortaya koymuştur.

Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiği 75kN maksimum yatay yük değerinde 40 mm tepe deplasman değerine ulaşmış, ardından ise sert bir şekilde aşağıya kıvrılarak gevrek bir sistem göçme davranışı göstermiştir. Elde edilen enerji değeri de bu gözlemimizi doğrulamaktadır.

Elde edilen veriler ışığında, kolon kiriş birleşim bölgesinde etriyelerin kancalı olarak sıklaştırması ve devam ettirilmesinin, kolon kiriş birleşim bölgesinde hasar olmasını engellediği, sistem davranışını ise süneklik bağlamında artırdığı gözlemlenmiştir. Etriyelerin sıklaştırma ve devam ettirilmesi özellikle kenar kolon kiriş birleşimleri için önem taşımaktadır.





Şekil 5.3.2 Numunenin deney sırasındaki görüntüsü





Şekil 5.3.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.3.4 Deney sonunda parçalanmış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi ve kopmuş kolon donatısı



Şekil 5.3.5 Mesnetlerin ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallaşmalar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2,50 mm tepe deplasman değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlaklar olan 1 ve 2 nolu çatlaklar +30 kN yük değerinde K13 ve K23 kirişlerinin sağ üstünde çekme çatlakları olarak oluşmuştur. +30 kN yüklemesinde elde edilen 2.50 mm deplasman değerinin katları alınarak deplasman kontrollü yüklemeye başlamıştır.

+5 mm deplasman değerinde K11 kirişi sağ altında 5 nolu çatlak, K 21 kirişi sağ altında 6 nolu çatlak, K23 kirişi sağ altında 7, nolu çatlak, K13 kirişi sağ altında 8 nolu çatlak ve son olarak K23 kirişi sol üstünde 9 nolu çatlak oluşmuştur.

-5 mm deplasman değerinde K11 ve K21 kirişleri sol altında 10 ve 11 nolu çatlaklar oluşmuştur.

$\pm 5$  mm deplasman değerlerinde çapraz kuşaklamaların çalışmaya başladığı gözlenmeye başlamıştır.

+7,5 mm deplasman değerinde K12 ve K13 kirişleri sağ altında 12 ve 13 nolu çatlaklar oluşmuştur.

-7,5 mm deplasman değerinde K11, K21, K23 ve K13 sağ altında bulunan 5,6,7,8 nolu çatlakların genişlediği gözlemlenmiştir. Ayrıca kolon altlarında çekme çatlakları oluşmaya başlamıştır.

+10 mm deplasman değerinde önemli bir değişiklik olmazken -10mm deplasman değerinde K13 kirişi sol üstünde 13 nolu çatlak oluşmuştur.

+12,5 mm ve -12,5 mm deplasman değerinde K11 ve K21 kirişleri sol altında kolona doğru 14 ve 15 nolu çatlaklar oluşmuştur.

$\pm 15$  mm deplasman değerinde kolon altlarında oluşan çekme çatlakları belirgin hale gelmiştir.

+17,5 mm deplasman değerinde ise zemin kat kolonları üst uçlarında yatay olarak 17,18,19 ve 20 nolu çatlaklar oluşmuş ve mafsallaşma kolon üst uçlarında oluşmaya başlamıştır.

-17,5 mm deplasman değerinde ise kirişlerdeki çatlaklar uzamaya ve kiriş uçlarında birleşmeye devam ederken, kolonların tek yüzünde oluşan çatlaklar diğer uca kadar ilerlemiş oldu.

$\pm 20$  mm deplasman değerinde ise oluşturulan çaprazlamalar çalışmaya devam ettiler.

$\pm 22.5$  mm değerine ulaşıldığında çerçevede gemeye giden bir hasar halen oluşmamış ve ereve 80 kN yatay yük taşımıştır.

$\pm 25$  mm deplasman değerinde çatlaklar belirginleşmeye ve kolonların içerisinde ilerlemeye devam etmiştir.

$\pm 27,5$  mm deplasman değerinde dış kolon kiriş birleşim bölgelerinde mafsallaşmalar ve ozlmeler başlamıştır.

$\pm 30$  mm deplasman değerinde dış kolonlarda daha belirgin olmak uzere ezilmeler başlamış olup bu duruma rağmen ereve  $\pm 35$  mm deplasman değerinde 90kN yatay yük taşımaya devam etmiştir.

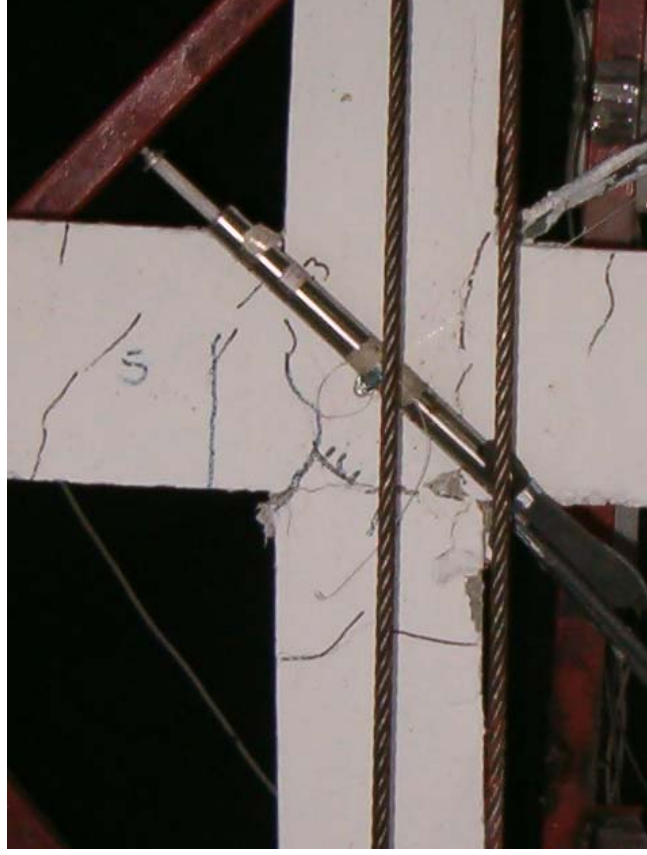
$\pm 40$  mm deplasman değerinde zemin katta bulunan kuşaklamalar zorlanmaya başlamış, dış kolon kiriş birleşim bölgelerindeki kabuk betonları çatlamıştır.

$\pm 45$  mm ve  $\pm 50$  mm deplasman değerinde dış kolon kiriş birleşimlerindeki çatlaklar X atlağı haline gelmeye başlamıştır.

$\pm 60$  mm deplasman değerinde zemin katta çaprazlamalar sıyrılarak devre dışı kalmış,  $\pm 65$  mm deplasman değerinde ise deney numunesinin g tükenmesi gerçekleşmiş ve deneye son verilmiştir.



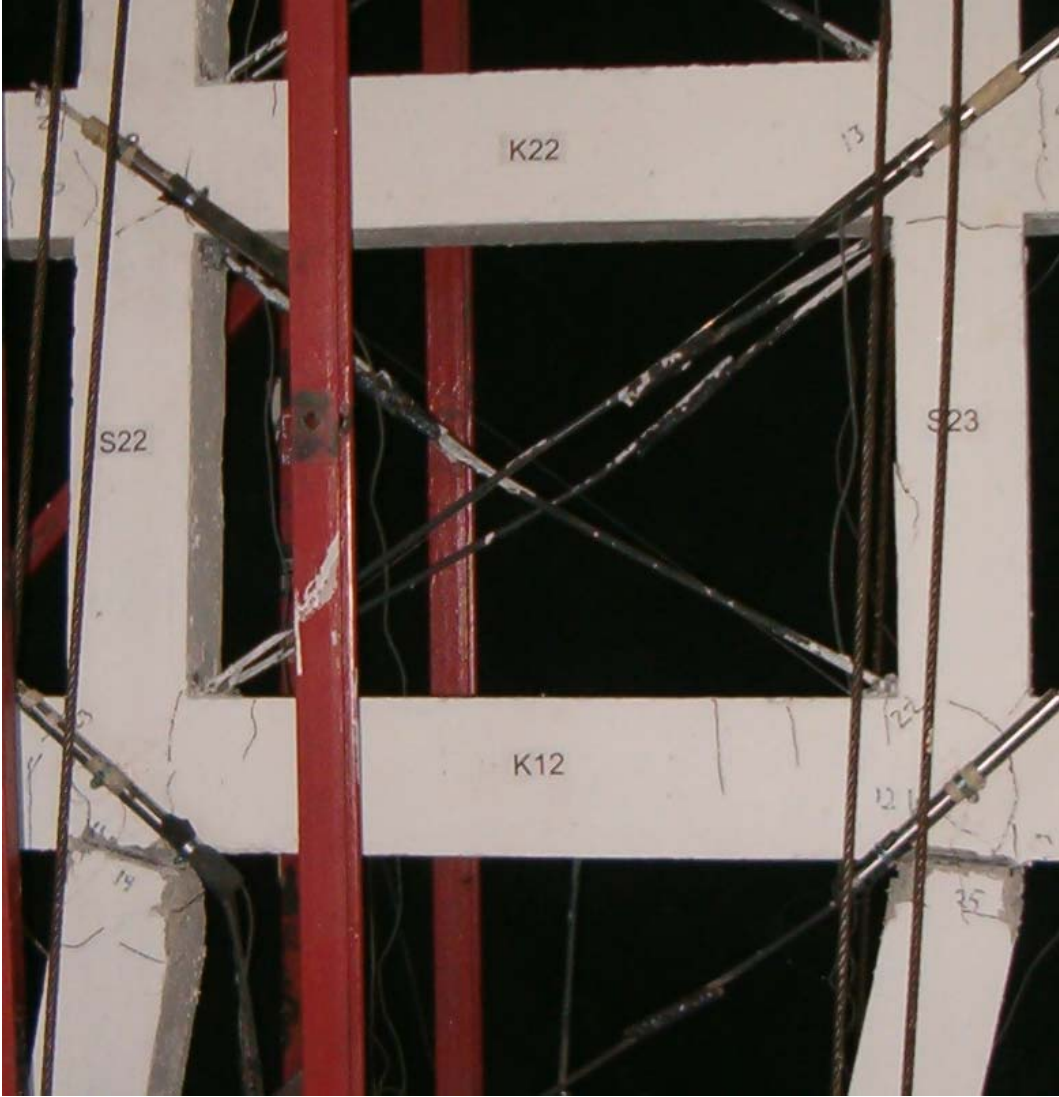
şekil 5.3.6. 3 nolu deney numunesinin kenar kolon üstünde mafsallaşma başlangıcı



Şekil 5.3.7. 3 nolu deney numunesinin orta açıklık kolon kiriş birleşimi



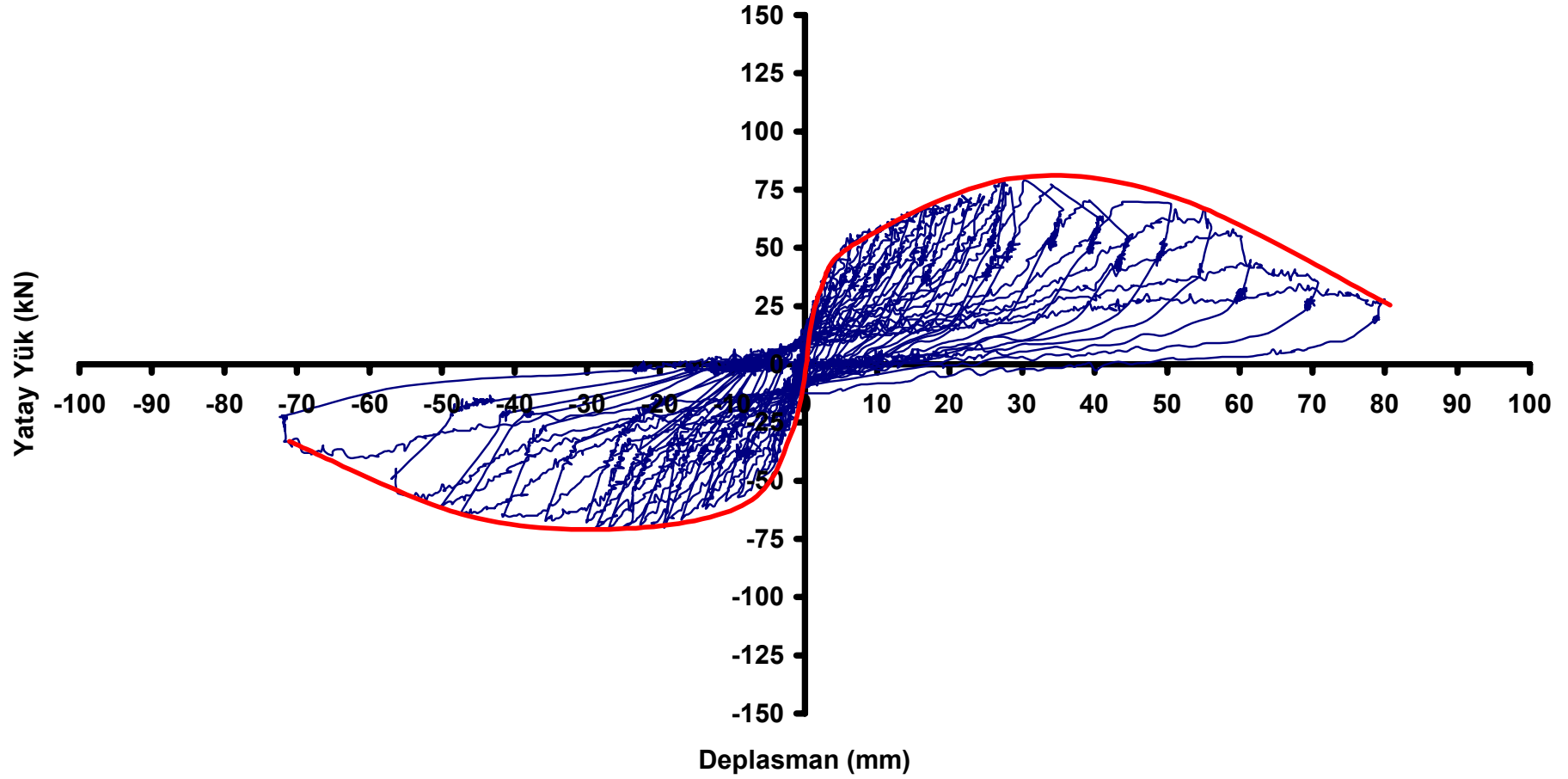
Şekil 5.3.8. 3 nolu deney numunesi orta ve kenar kolon tabanlarında basınç ezilmesi



Şekil 5.3.9. 3 nolu deney numunesi zemin kat kolon üstlerinde mafsallaşmalar ve basınç ve çekmeye çalışan çaprazlar

Deney sonunda elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı grafiği Şekil 5.3.10'da, yatay yük-2. kat deplasmanı grafiği Şekil 5.3.11'de, yatay yük-3. kat deplasmanı grafiği Şekil 5.3.12'de, 3. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.3.13'te, 2.kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.3.14'te, 1.kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.3.16'da, yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.3.17'te, yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.3.18'te, yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.3.19'da, yatay yük-1.2.ve 3.kat dayanım zarfı grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 5.3.20'de verilmiştir.

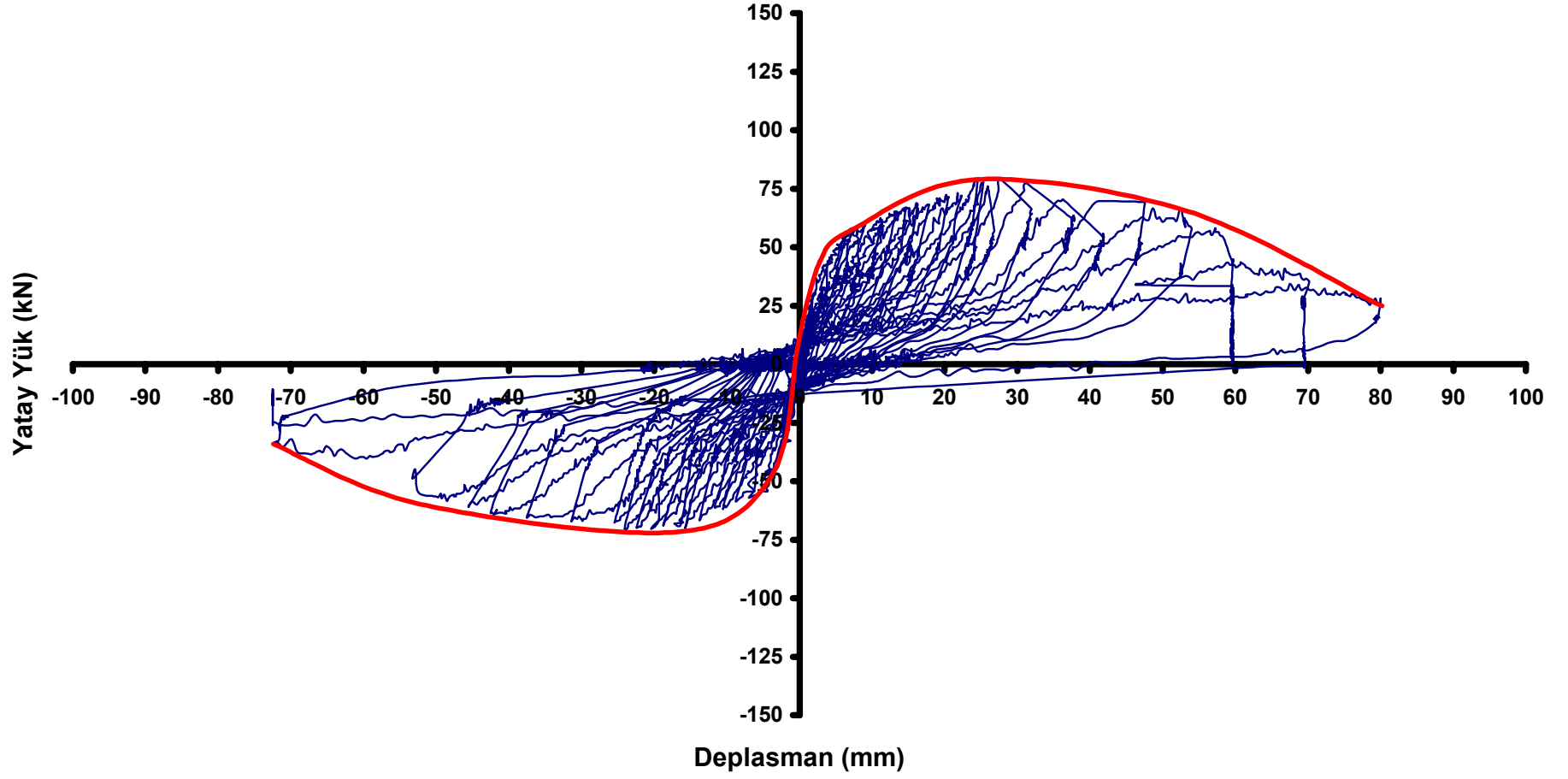
### Deney No 3 Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği



Şekil 5.3.10. 3 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

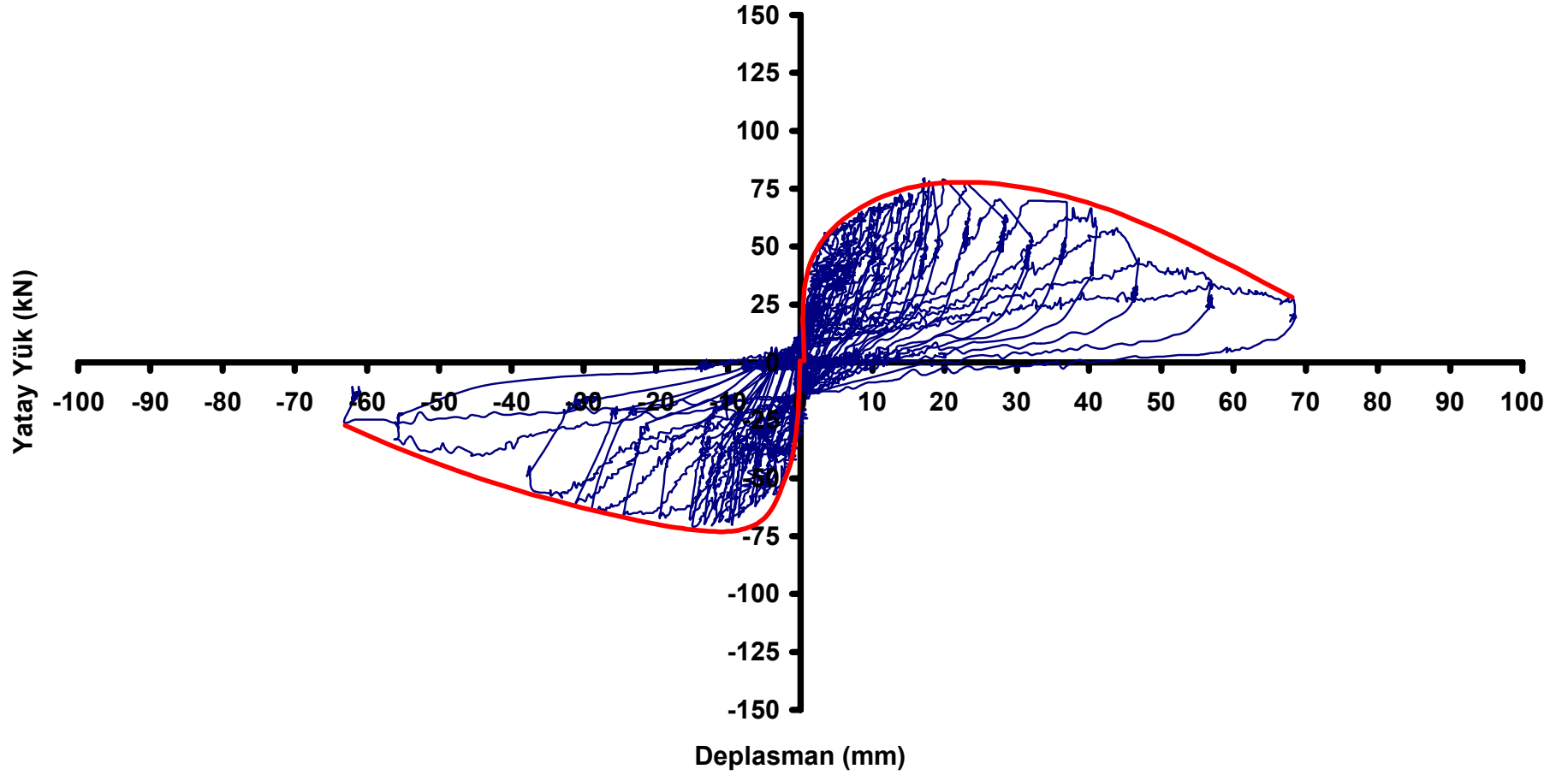


### Deney No 3 Yatay Yük- 2. Kat Deplasmanı Grafiği



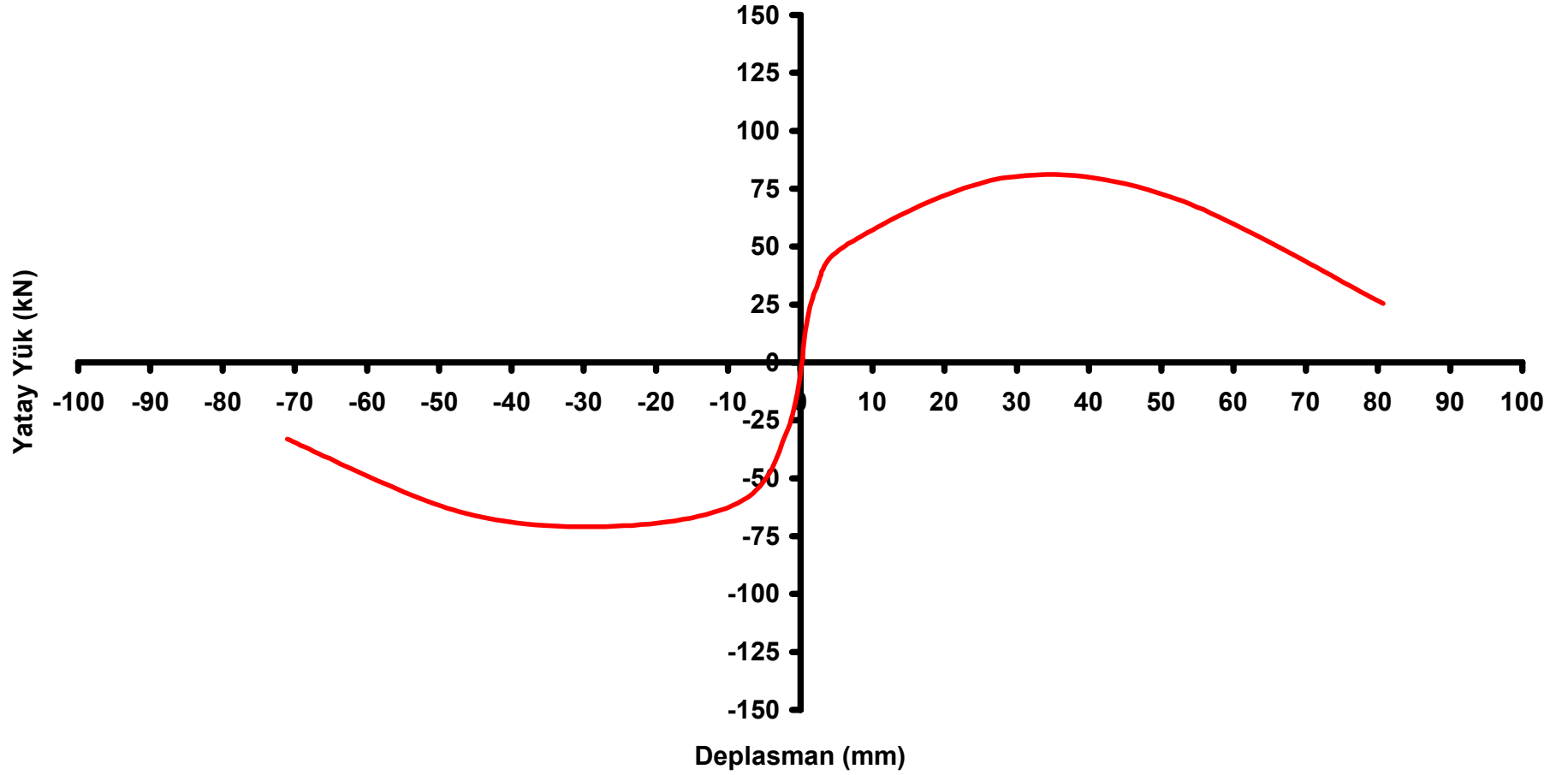
Şekil 5.3.11. 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Grafiği**



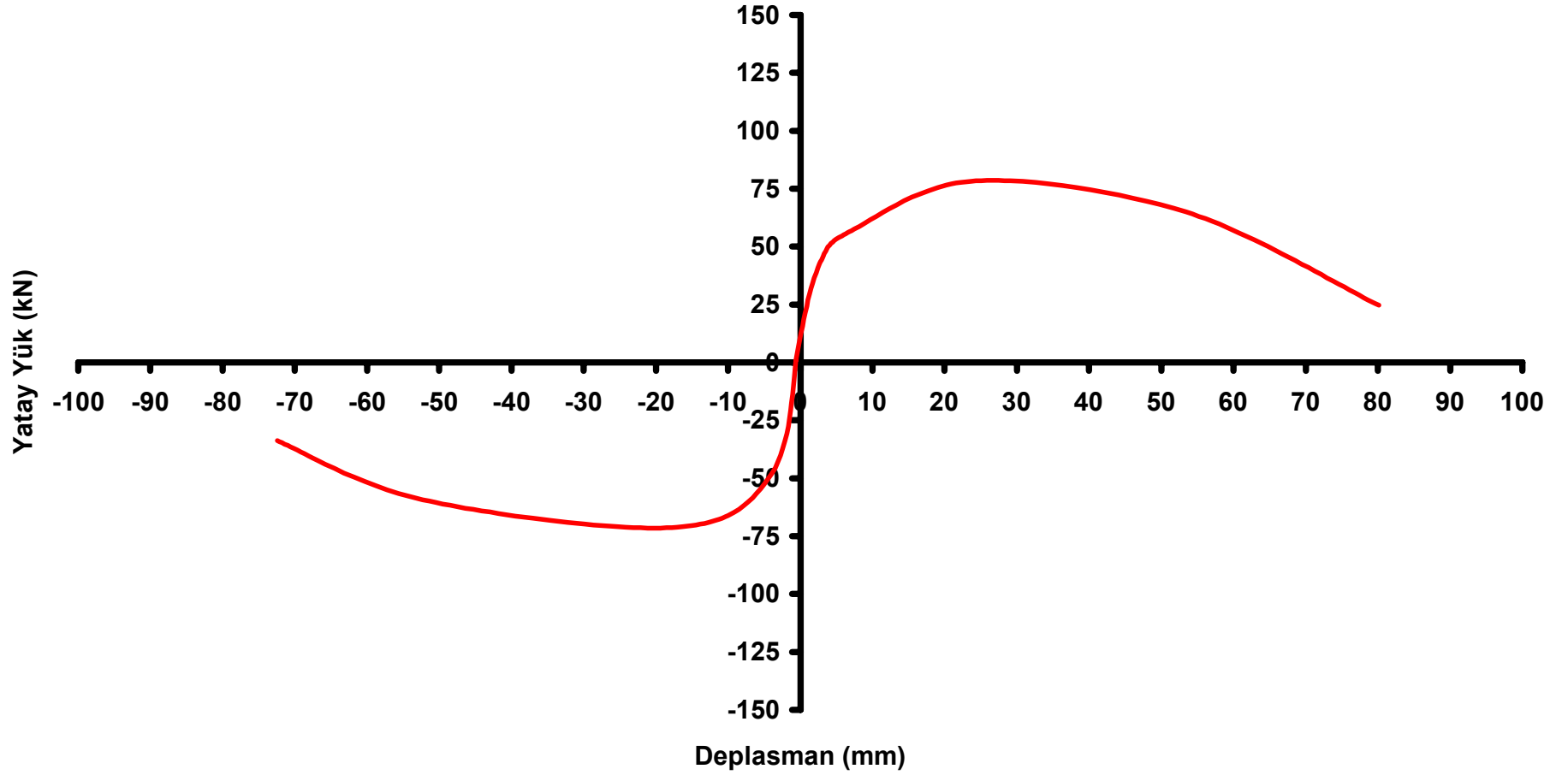
Şekil 5.3.12 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



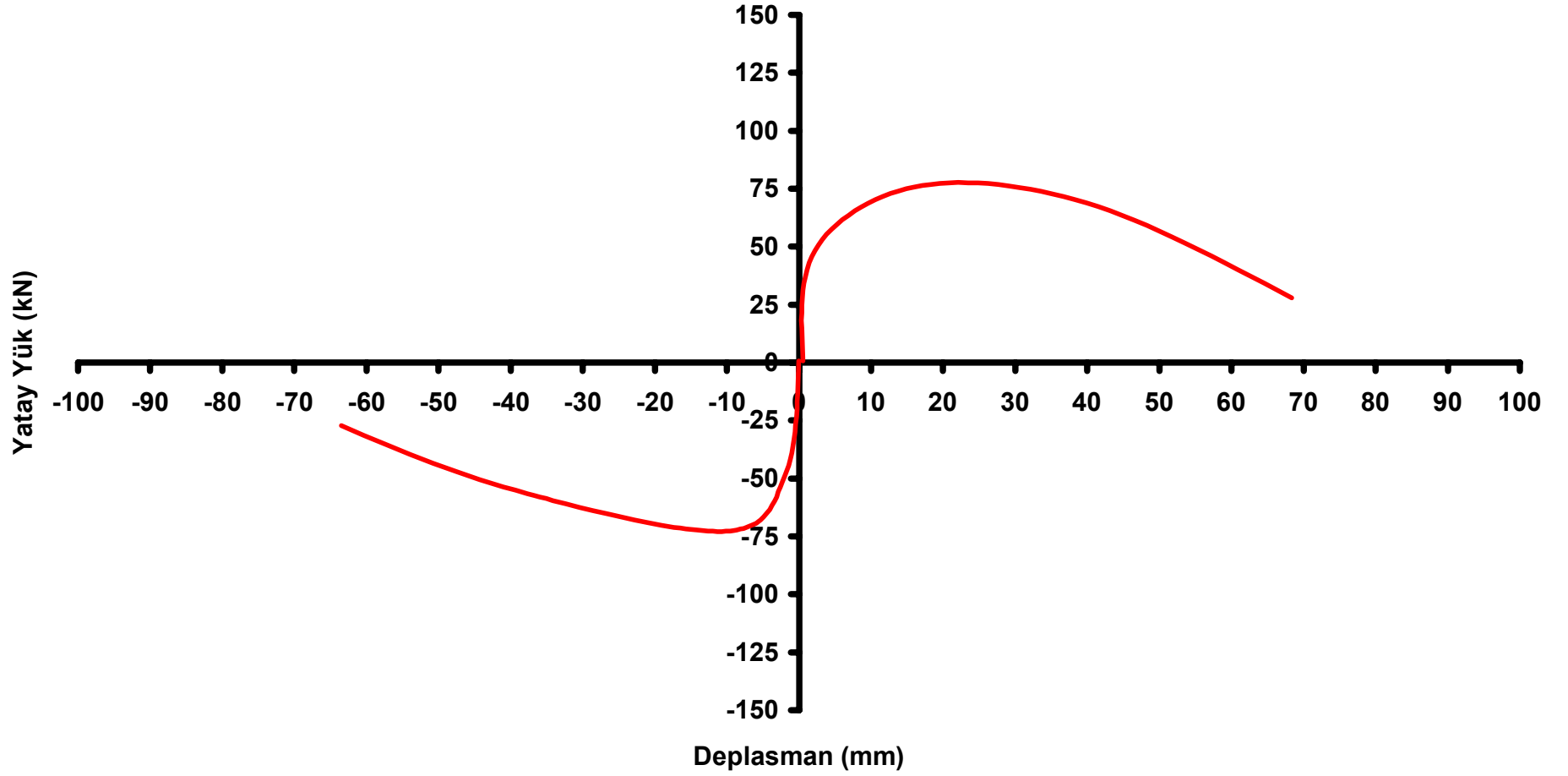
Şekil 5.3.13 3 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük- 2. Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



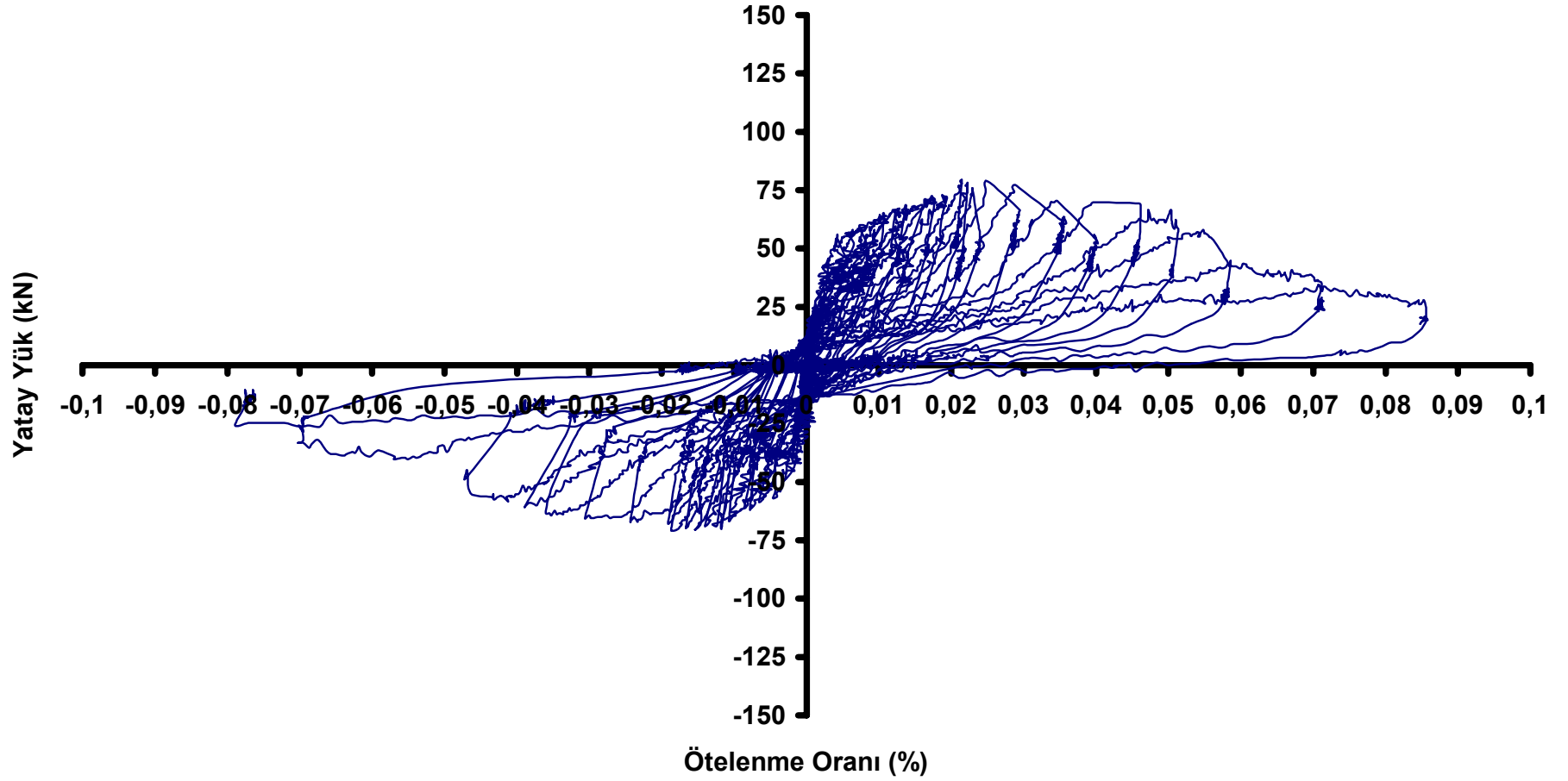
Şekil 5.3.14 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



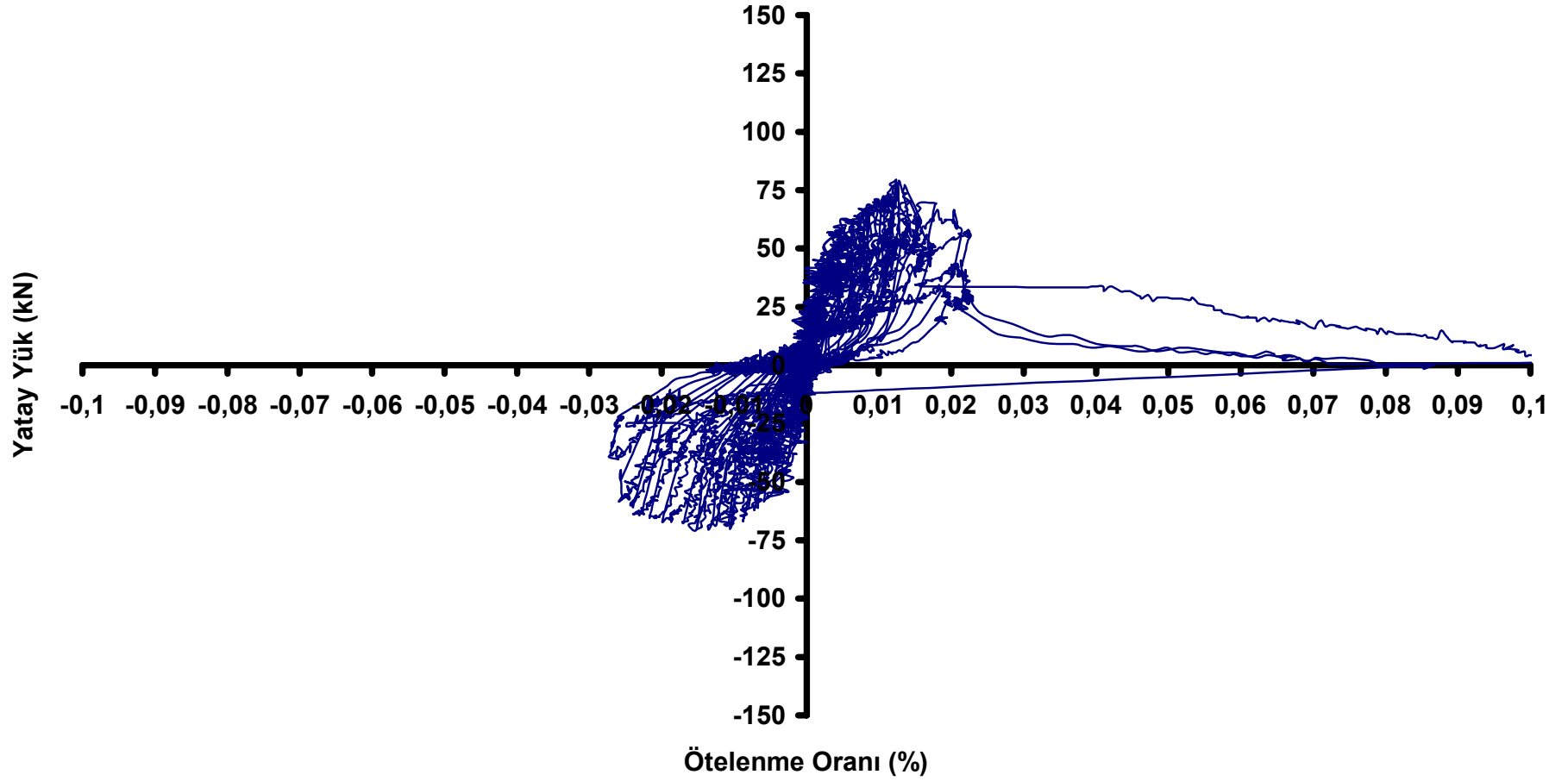
Şekil 5.3.15 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



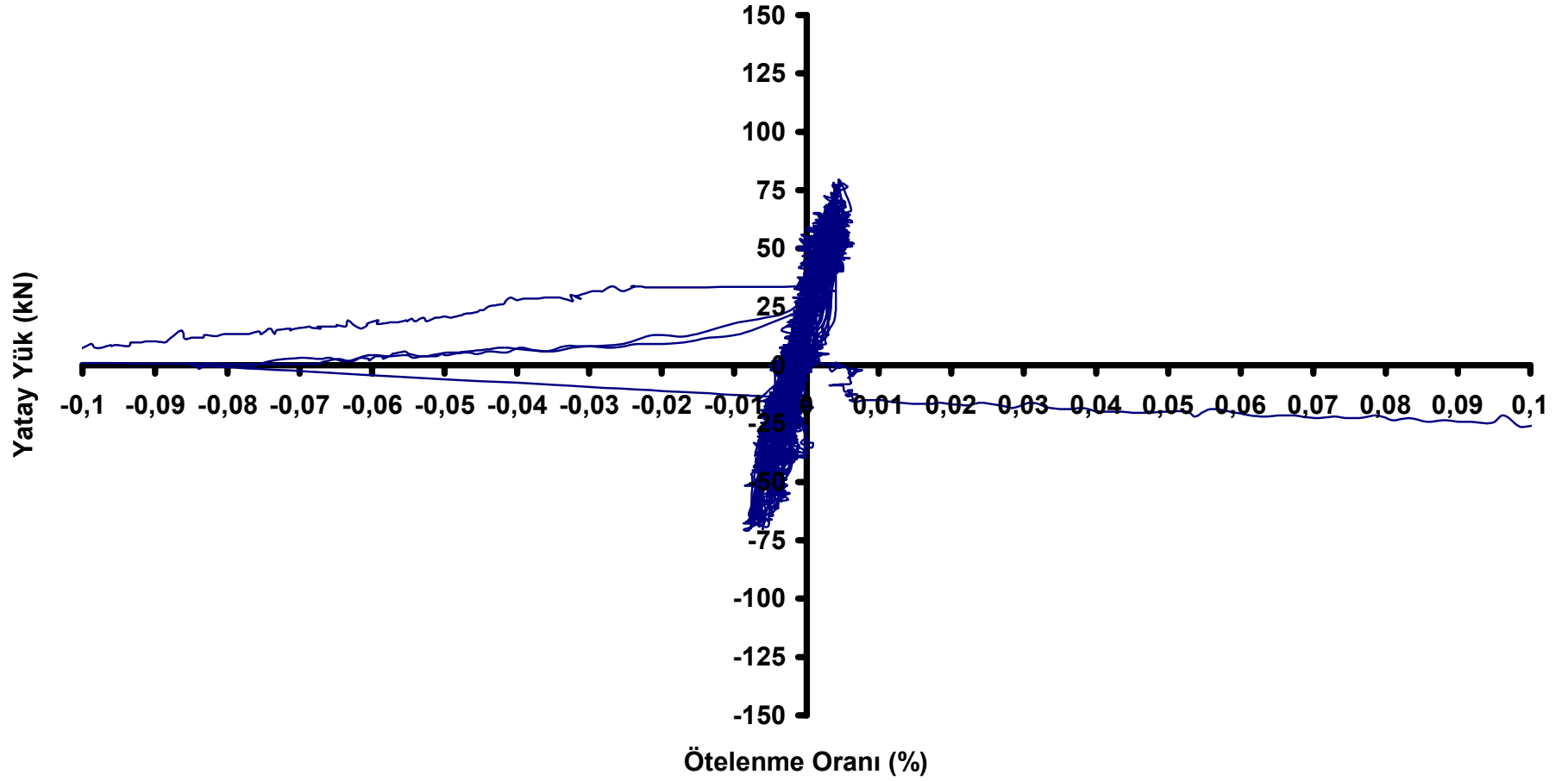
Şekil 5.3.16 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 3**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.3.17 3 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

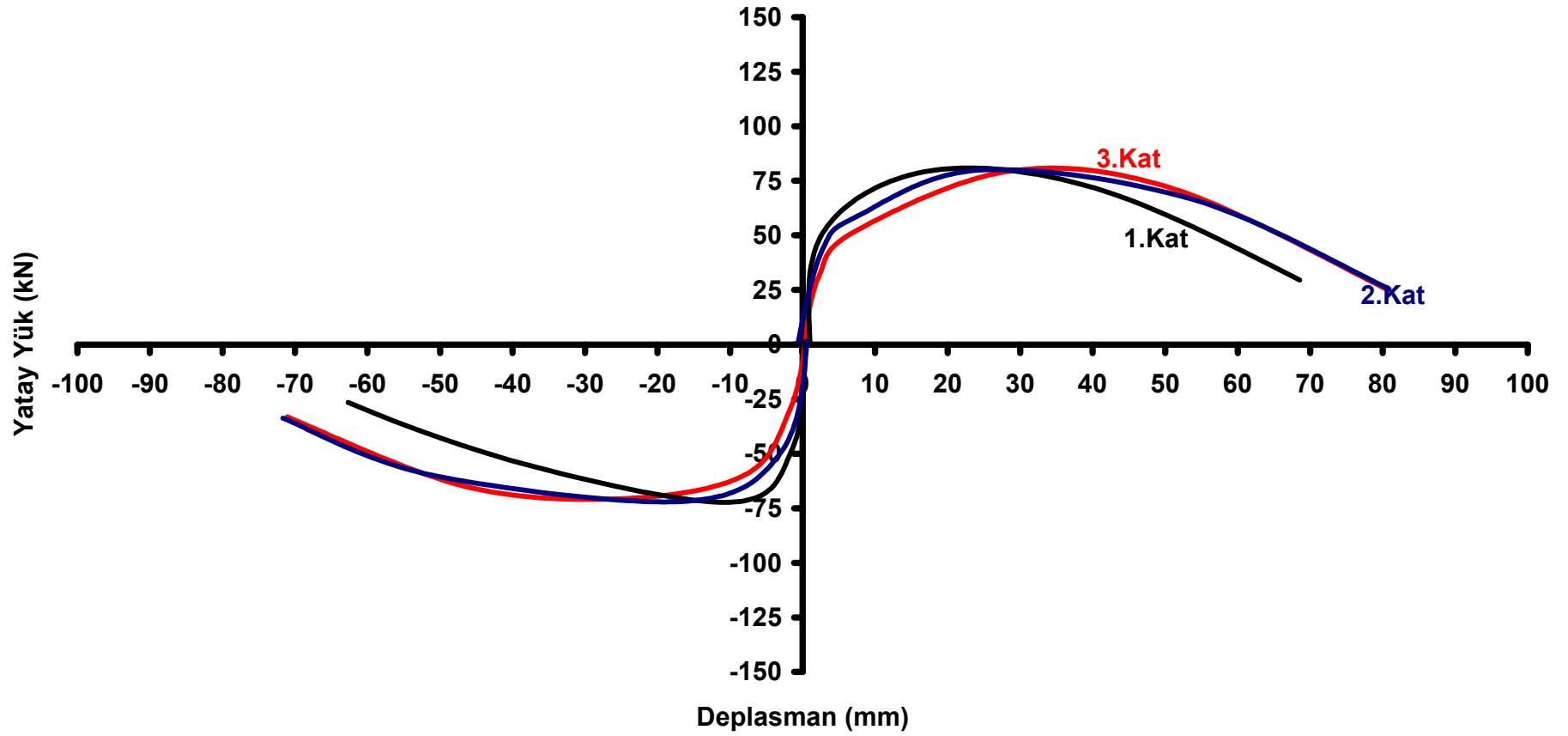
**Deney No 3**  
**Yatay Yük- 3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.3.18 3 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği



**Deney No 3**  
**Yatay Yük-1.,2. ve 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.3.19 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1., 2. ve 3. kat deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 82 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 5,80 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 22000 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönlendirilmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Deneyde dikkat çeken unsur kuşaklamaların çözülmeye kadar geçen yükleme sürecinde 2.kat kolonlarının da hasara uğramaya başlaması ve kenar kolon kiriş birleşim bölgesinde 2.deney numunesi mertebesinde hasar oluşmamasıdır. Bunun sebebi ise orta açıklığın kuşaklama ankrajları çözülmeye kadar kısmi perde davranışı göstermesi ve yatay yükün taşınmasında kenar kolon kiriş birleşimlerinden daha etkin davranmasıdır. Artan deplasman değeri sonucunda ankrajlar çözülmüş, yumuşak kat davranışı daha da ön plana çıkmıştır.

Şekil 5.3.19’da verilen grafikte 2.kat deplasman değeri ankraj sıyrılma değerine kadar 1. ve 3.katlara ait deplasman değerlerinin arasında seyrederken, ankrajların sıyrılması sonucu ortaya çıkan yumuşak kat davranışından ötürü 2. ve 3. kat deplasmanlarını 35 mm deplasman değerinden sonra çakışmıştır

Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerine ulaştırmış olup sistem davranışını ise süneklik ve enerji yutma kapasitesi bağlamında artırdığı gözlemlenmiştir.

#### 5.4. 4 nolu Deney (04DT2C12KKHD)

4 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yoktur. Etriyeler 90° gönyeli olarak imal ve montaj edilmişlerdir. Beton sınıfı C12'dir. Aderans boyu kolon ek bölgelerinde 30 Ø ile sınırlandırılmıştır.

Bu deneyin amacı kötü ve yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesi gereken referans numune elde etmektir.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.4.1'de verilmiş olup . Şekil 5.4.2 deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.4.1 04DT2C12KKHD numunesinin deney öncesi görünümü



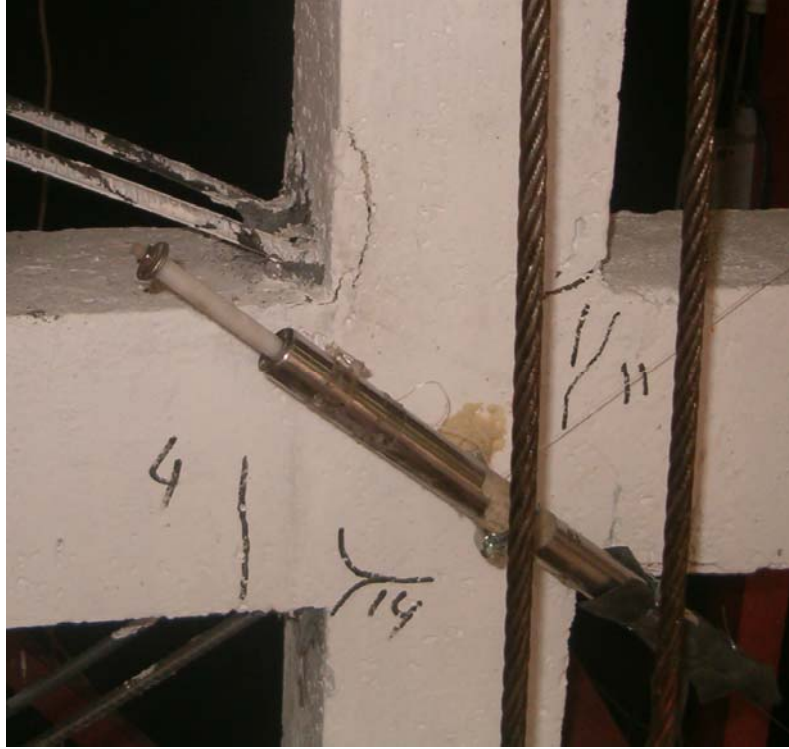
Şekil 5.4.2 4 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



Şekil 5.4.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.4.4 Deney sonunda etriye olmamasına rağmen parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.4.5 Sıyrılmaya başlamış çapraz çubuklar

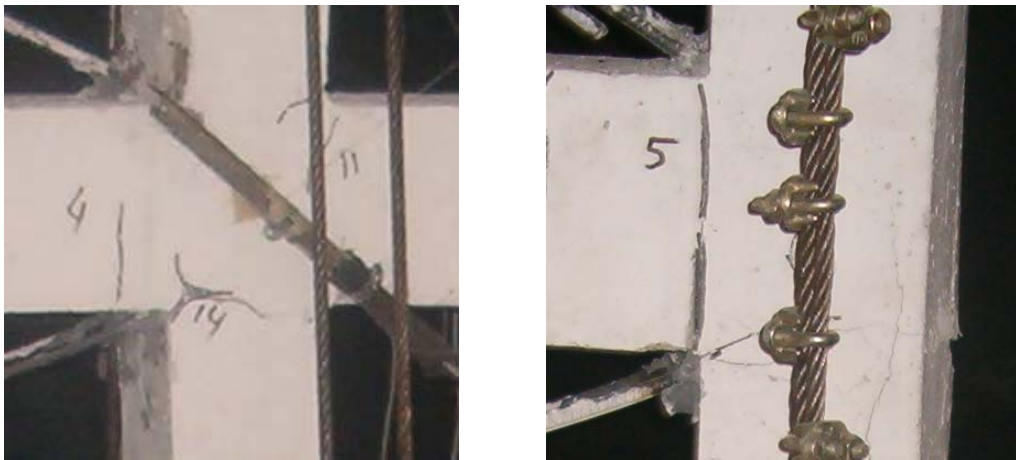


Şekil 5.4.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlak olan 1 nolu çatlak +15 ve -15 kN yük değerinde K23 kirişi sol üstünde ve K11 kirişi sağ altında oluşmuştur. 2 nolu çatlak ise +22,5 ve -22,5 kN yüklemesinde K13 kirişi sol mesnetinde oluşmuştur. +30 kN ve -30 kN yük değerlerinde ise kenar kiriş uçlarında 3,4,5 ve 6 nolu çatlaklar oluşmuştur.  $\pm 4$  mm döngüsünde K13 sol ve K21 sağ mesnetlerinde 8 ve 9 nolu çatlaklar oluşmuştur.  $\pm 6$  mm,  $\pm 8$  mm,  $\pm 10$  mm döngüsünde ise K12, K11 ve K13 kirişlerinde 11,12 ve 13 nolu çatlaklar mesnet uçlarında ortaya çıkmıştır.  $\pm 12$ ,  $\pm 14$  mm döngüsünde S11 ve S14 kolon alt uçlarında çekme çatlakları oluşmaya başladı.  $\pm 16$ ,  $\pm 18$  mm döngüsünde ise sol ve sağ uçlarda bulunan ankrajlar çözülmeye başladı.  $\pm 20$   $\pm 22$  mm döngülerinde kolon altlarında orta kolonlar olan S13 ve S12 kolonlarında çekme çatlakları oluşurken  $\pm 25$  ve  $\pm 30$  mm deplasman değerlerinde kenar kolonlarda ezilme çatlakları oluştu. Aynı sırada  $\pm 30$  mm deplasman değerinde alt kat ankraj çubukları devre dışı kaldı.  $\pm 35$  ve  $\pm 40$  mm deplasman değerlerinde ise tüm alt kat kolonları uç bölgelerinde mafsallaştı. Deney yük değerinin düşmesi ile birlikte  $\pm 55$  mm deplasman değerine ulaşıldığında sonlandırıldı.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı, Yük-1.kat deplasmanı, Yük-2.kat deplasmanı, 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.4.11 ile Şekil 5.4.19 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.4.7 4 nolu deney numunesi orta ve kenar kolon kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

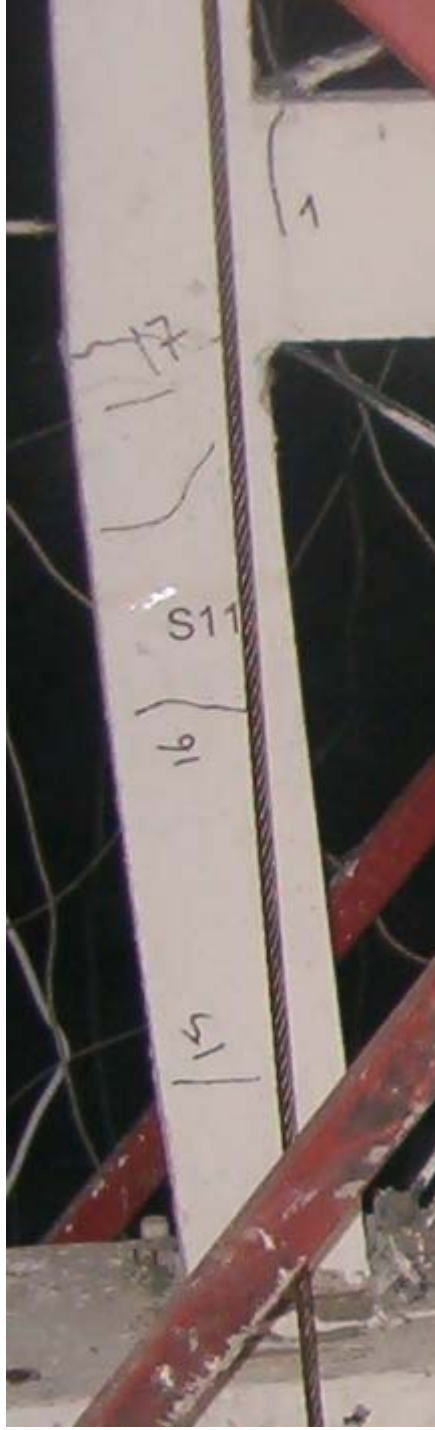




Şekil 5.4.8 4 nolu deney çerçevesi sağ kolon altında mafsall oluşumu

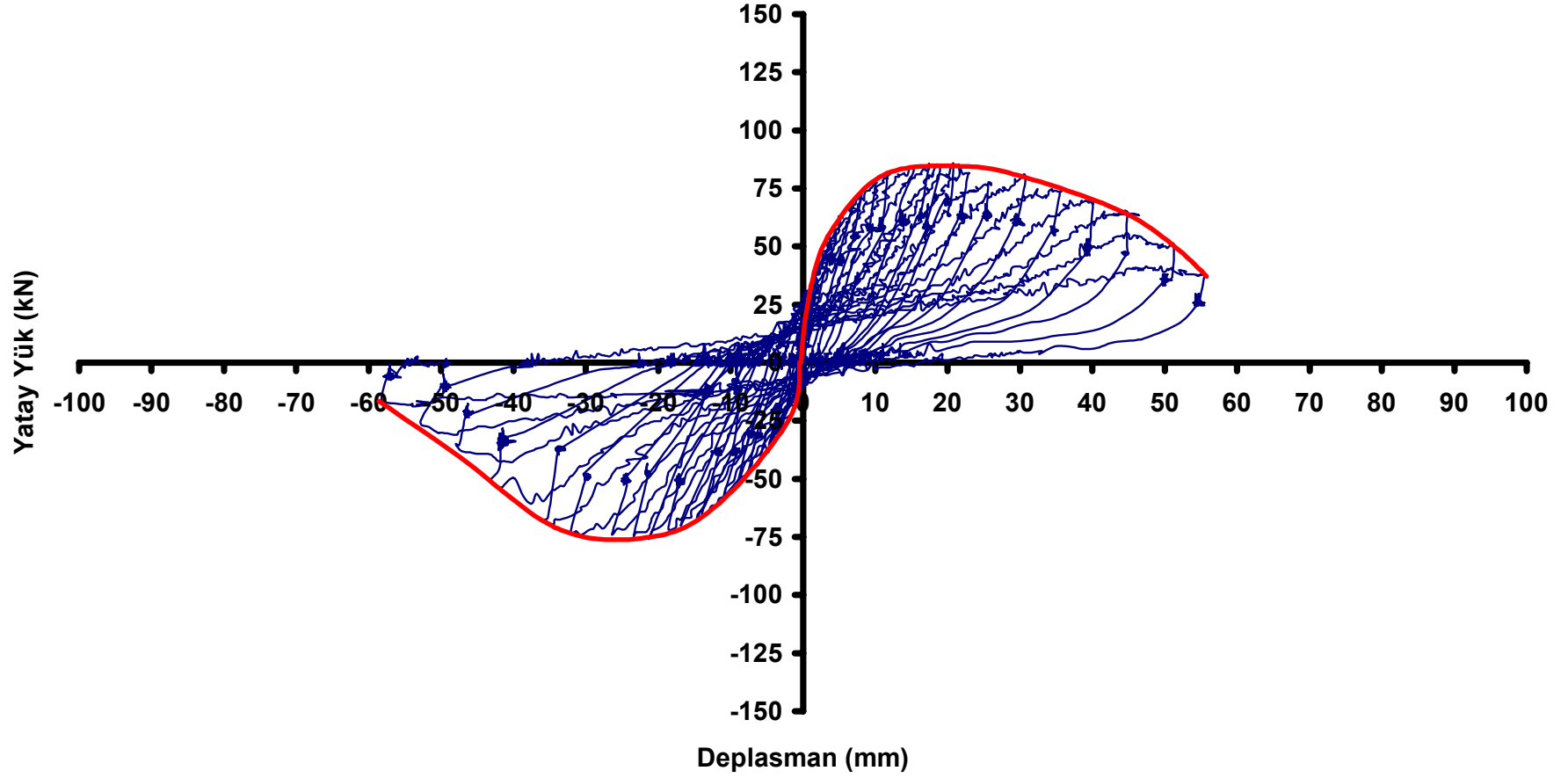


Şekil 5.4.9 4 nolu deney numunesi orta kolon alt ucunda ezilme ve çapraz sıyrılması



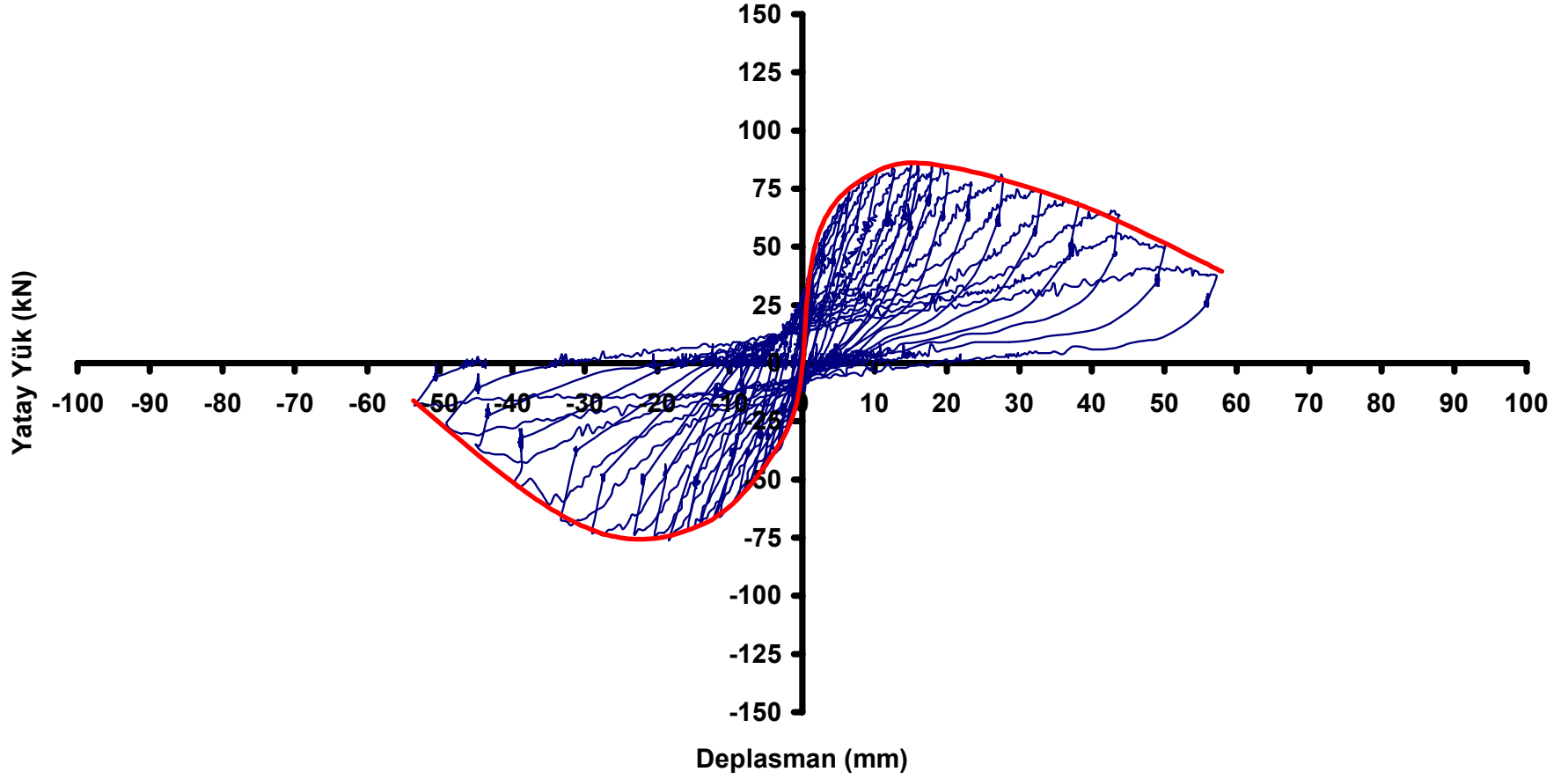
Şekil 5.4.10 4 nolu deney numunesi S11 ve S14 kenar kolonlarında kesme çatlakları

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Grafiği**



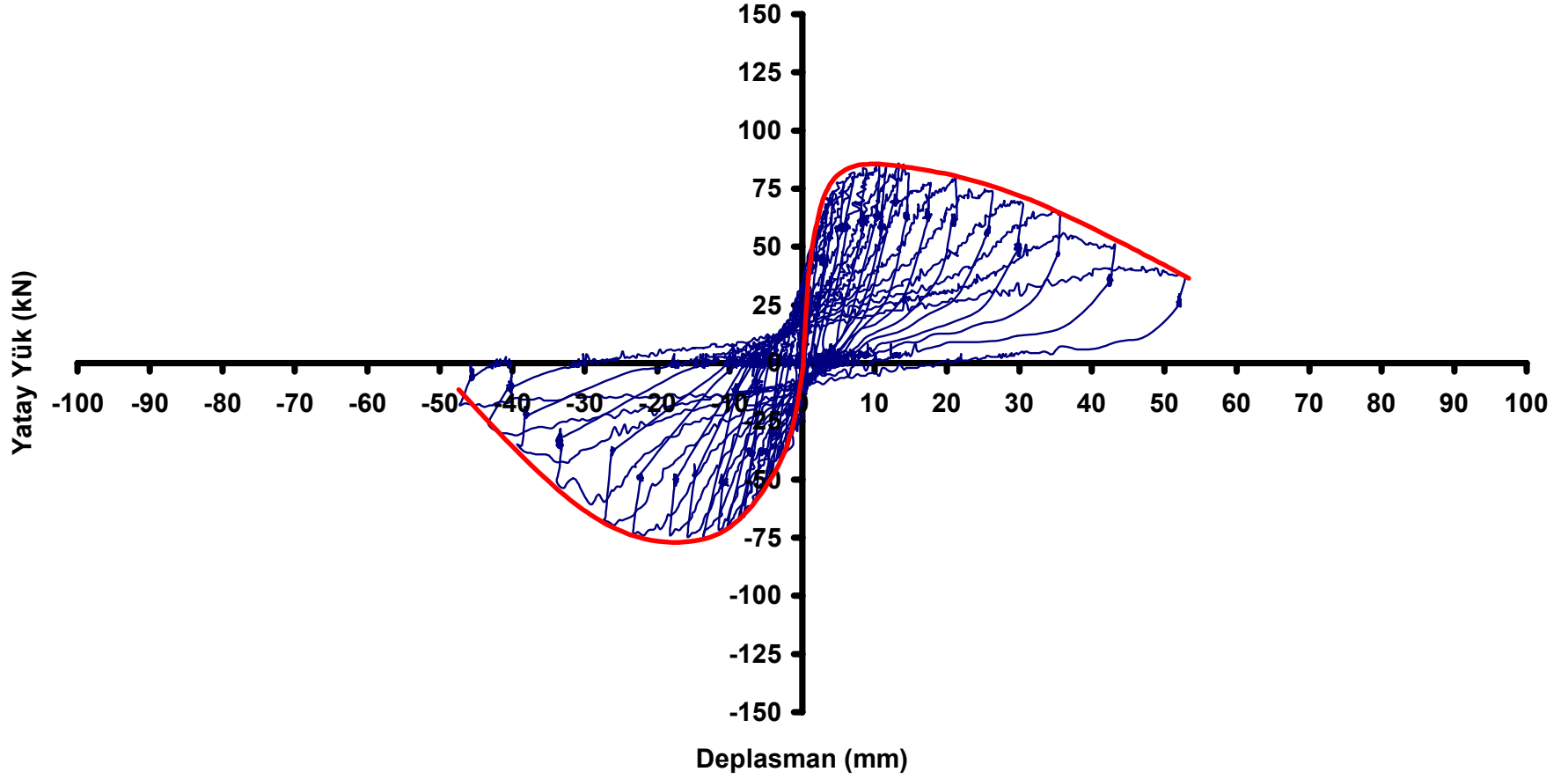
Şekil 5.4.11 4 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Grafiği**



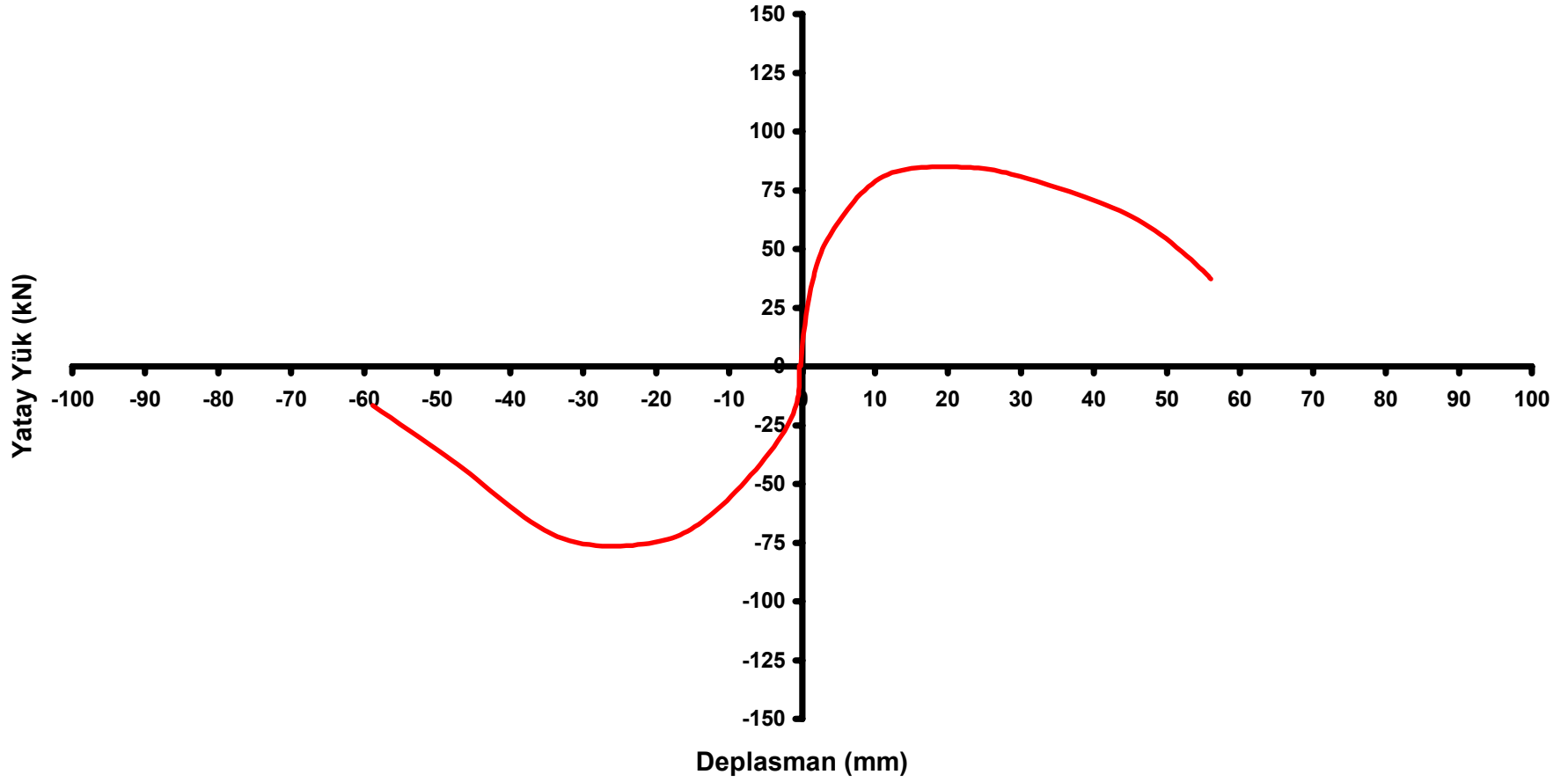
Şekil 5.2.12 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Grafiği**



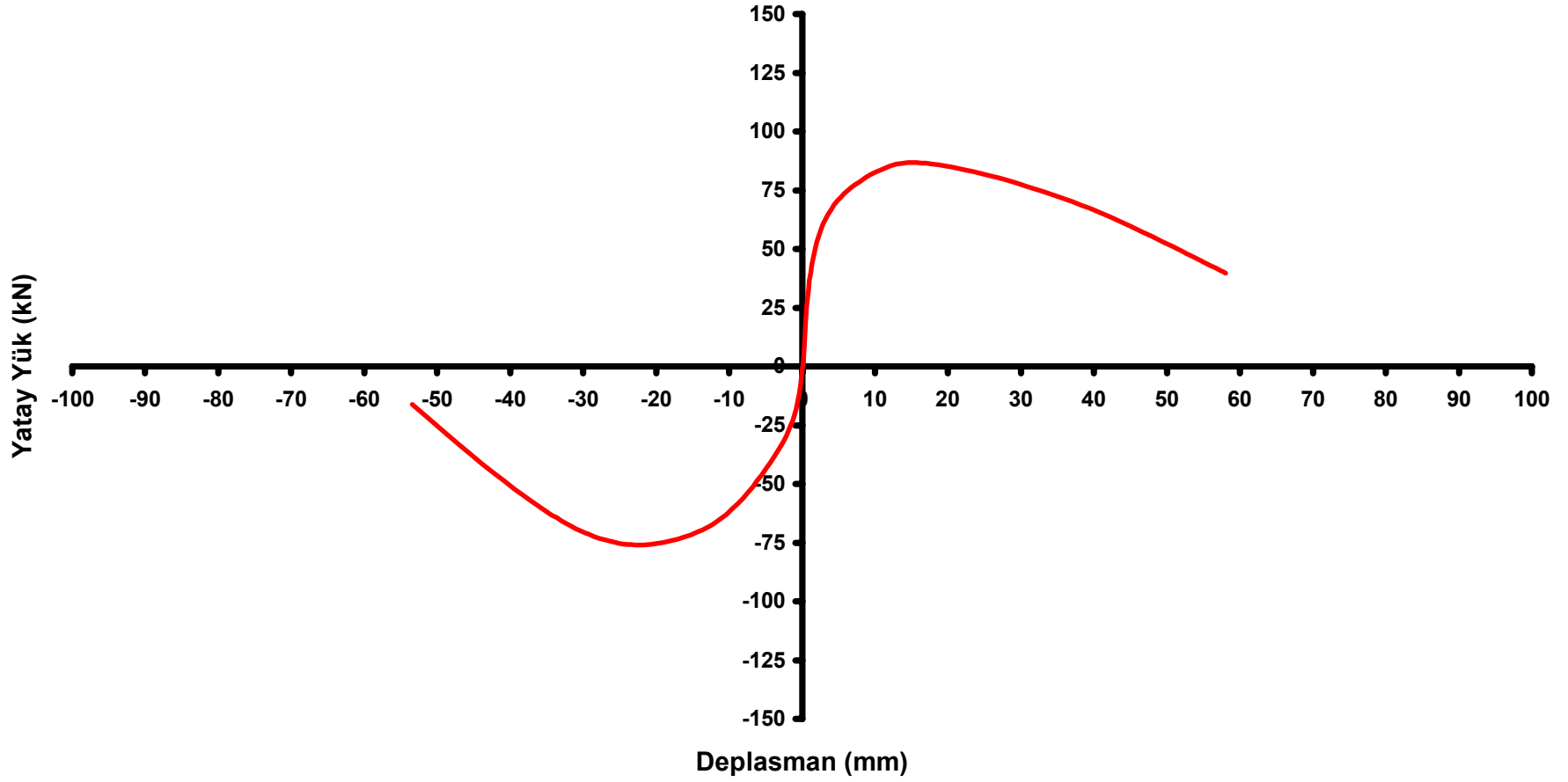
Şekil 5.4.13 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



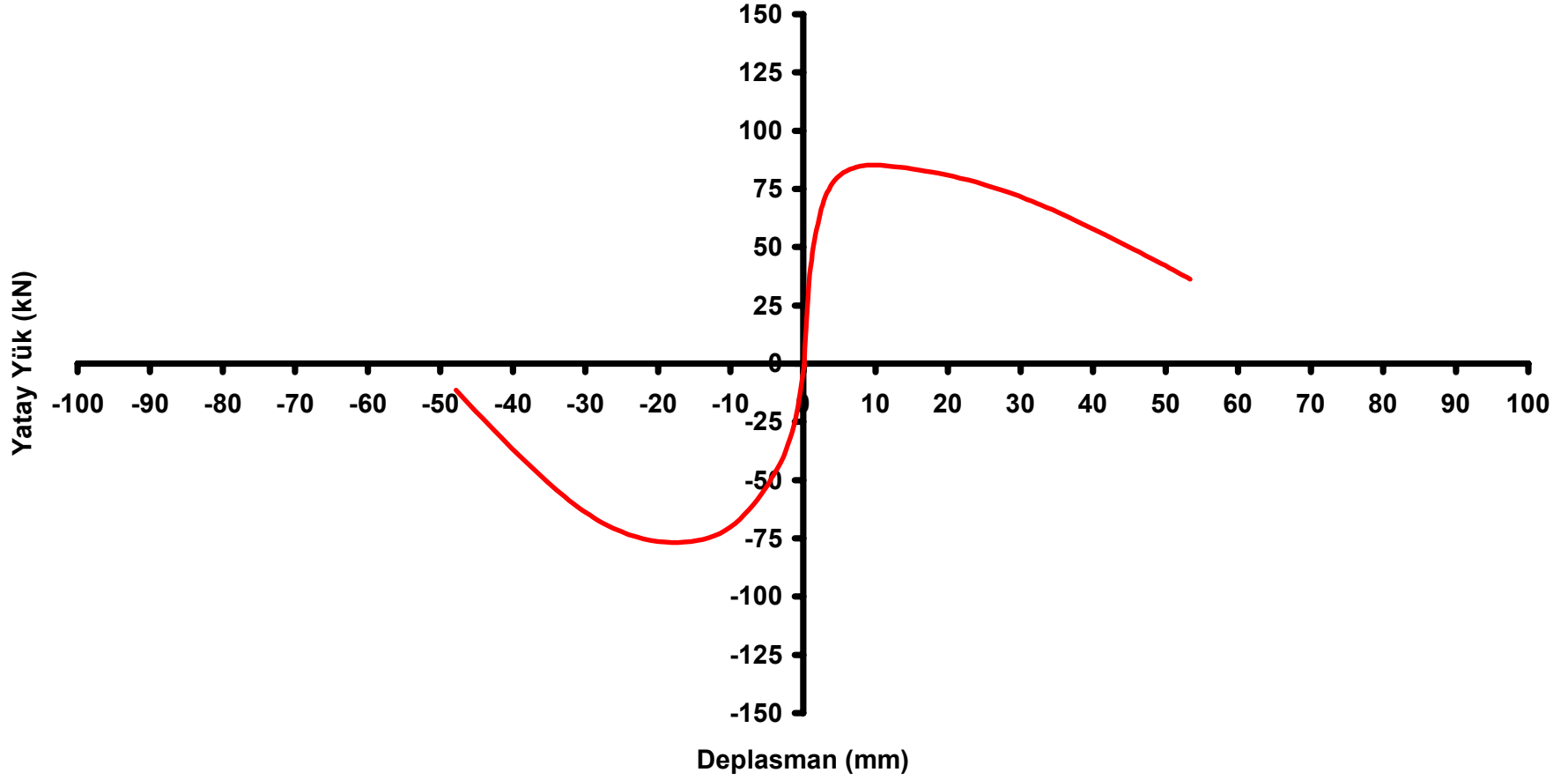
Şekil 5.4.14 4 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.4.15 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

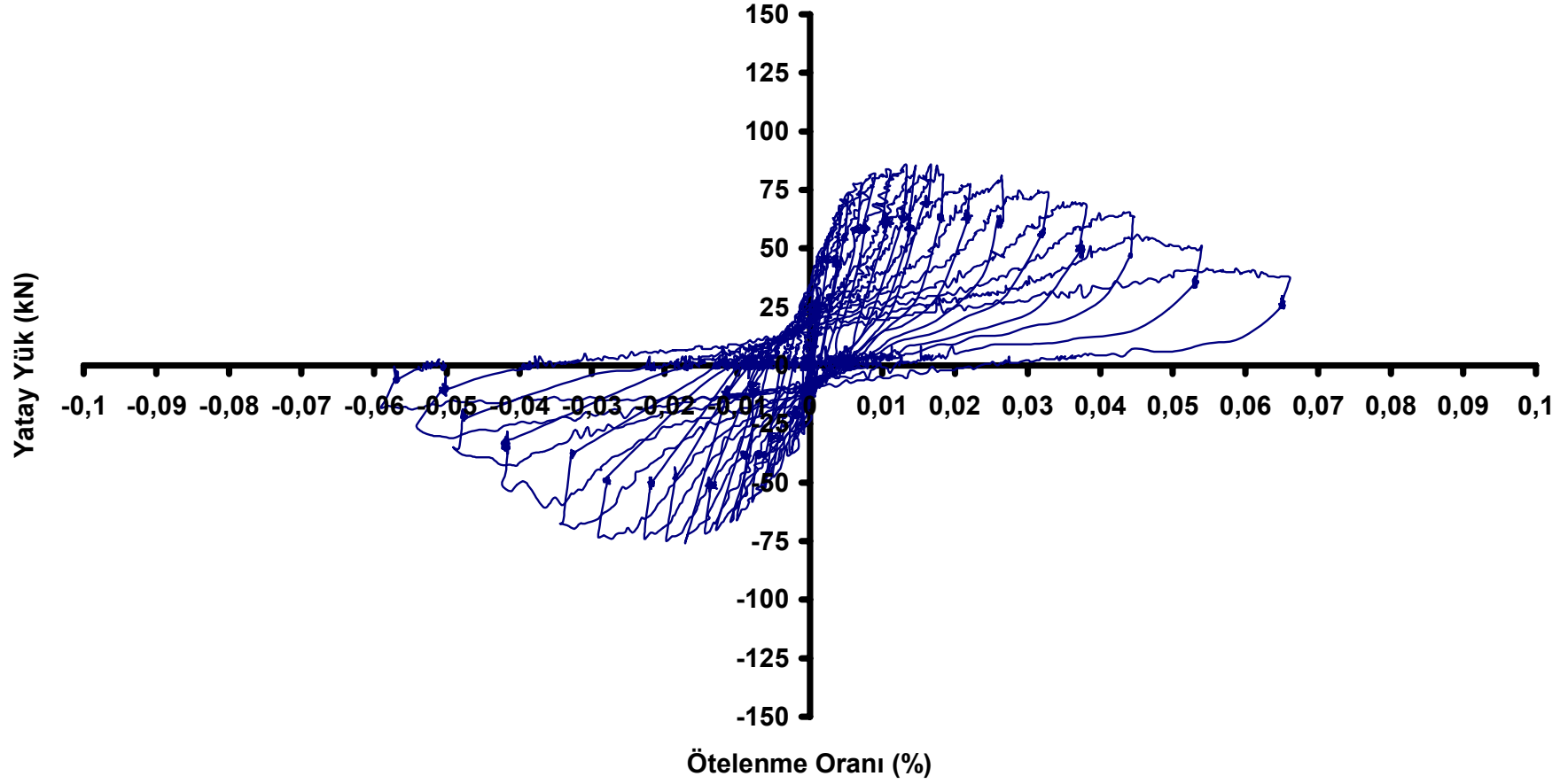
**Deney No 4**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.4.16 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

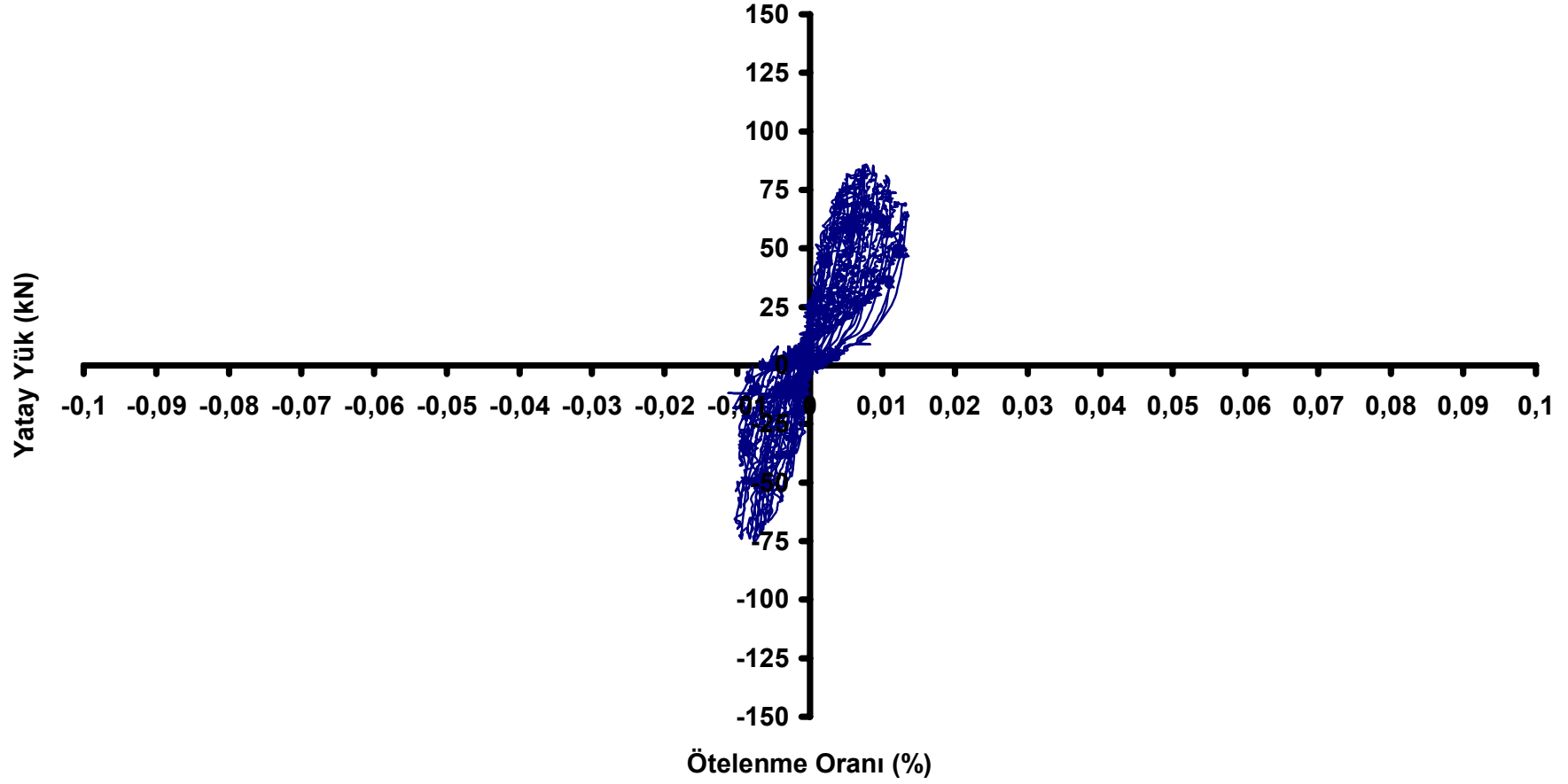


**Deney No 4**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



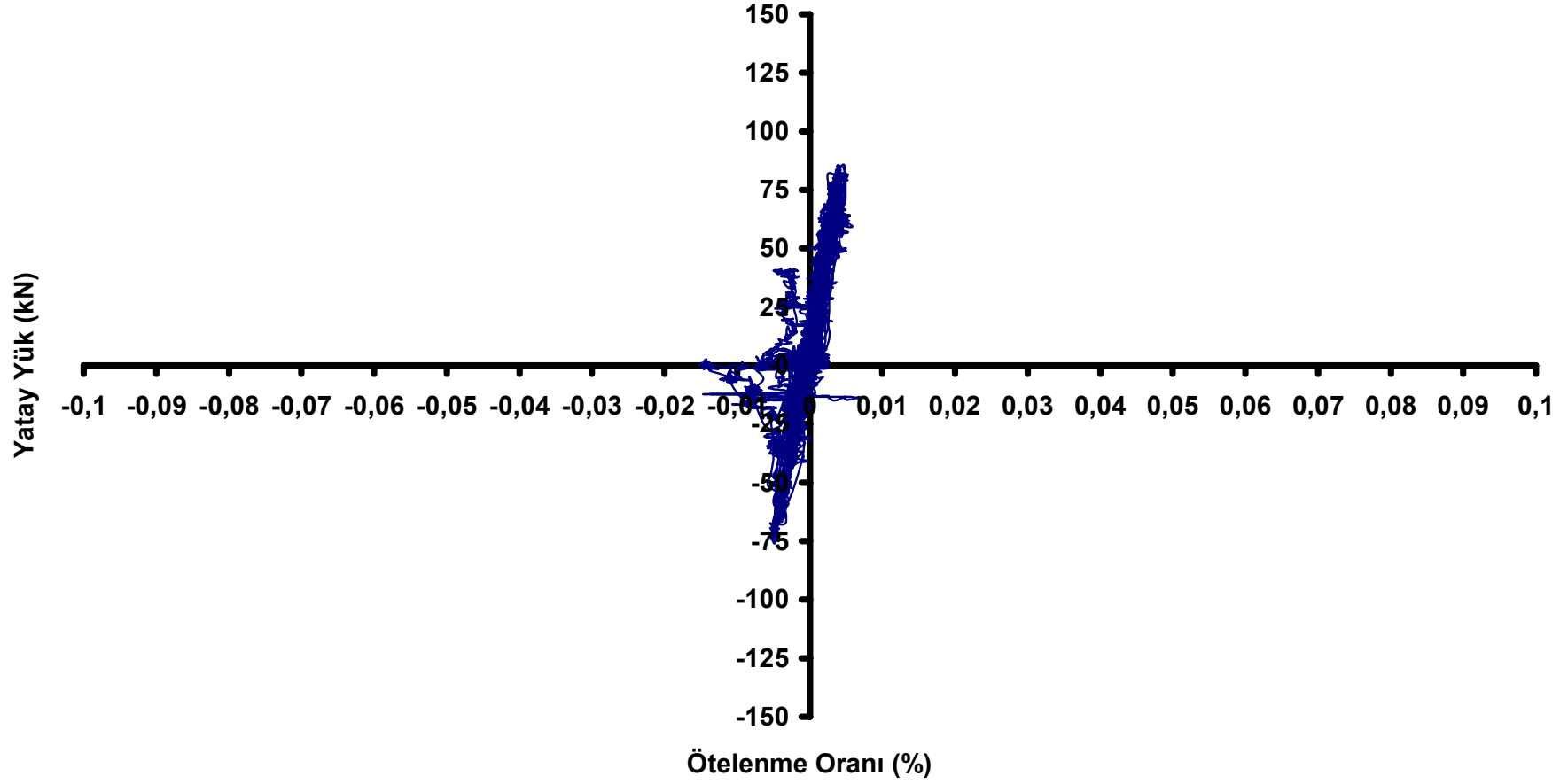
Şekil 5.4.17 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



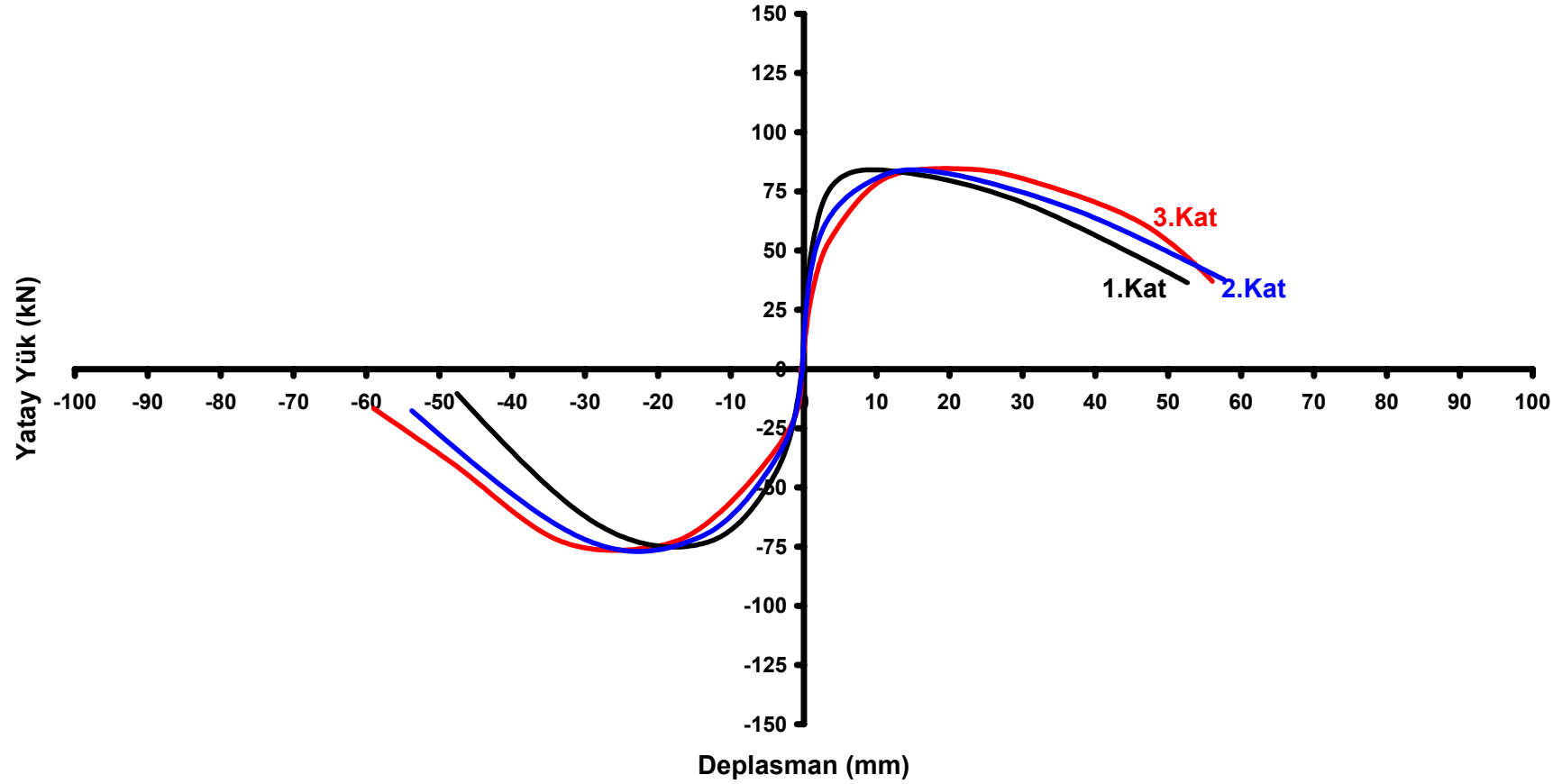
Şekil 5.4.18 4 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.4.19 4 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-1., 2. ve 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.4.20 Yatay yük – 1.,2. ve 3. kat deplasmanlarının karşılaştırılması

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 85 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 7,00 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 24250 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 28 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Sistemin iki bölgesine uygulanan kuşaklamalar sistemde en çok dış kolonların hasar görmesine sebep olmuş, kolonlarda yatay kesme çatlakları oluşmuştur. Bunun sebebi, kenar açıklıkların kuşaklamaların etkisi ile perde davranışı göstermesi ve doğal olarak en dışta bulunan kolonların hem yüksek miktarda basınç hem de oluşan kesme kuvvetinin etkisini karşılamada zorlanmasıdır.

Şekil 5.4.19'da verilen grafikte 2.kat deplasman değeri ankraj sıyrılma değerine kadar 1. ve 3. katlara ait deplasman değerlerinin arasında seyrederken, ankrajların sıyrılması sonucu ortaya çıkan yumuşak kat davranışından ötürü 2. ve 3. kat deplasmanlarını 20 mm deplasman değerinden sonra çakışmıştır

Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerinin üzerine ulaştırmış, diğer taraftan sistem davranışı dış kolonların ezilmesi sebebiyle süneklikten uzaklaşmıştır.

### 5.5. 5 nolu Deney (05DT1C12OKHD)

5 nolu deney numunesi T1 donatı düzenine sahiptir. Etriyeler birleşim bölgesinde sıklaştırılmış ve devam ettirilmiştir. Etriyelerin uçları 135° kancalı olarak imal ve montaj edilmiştir. Beton kalitesi C12'dir. Numune ABYYHY 1998 hükümlerinde verilen donatı düzenini sağlamaktadır.

Bu deney ABYYHY 1998 hükümleri ışığında depreme dayanıklı olarak donatılandırılmış, beton kalitesi düşük numunelerde orta açıklıkta kuşaklamann etkinliğini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.5.1'de verilmiş olup . Şekil 5.1.2 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.5.1 05DT1C12OKHD numunesinin deney öncesi görünümü

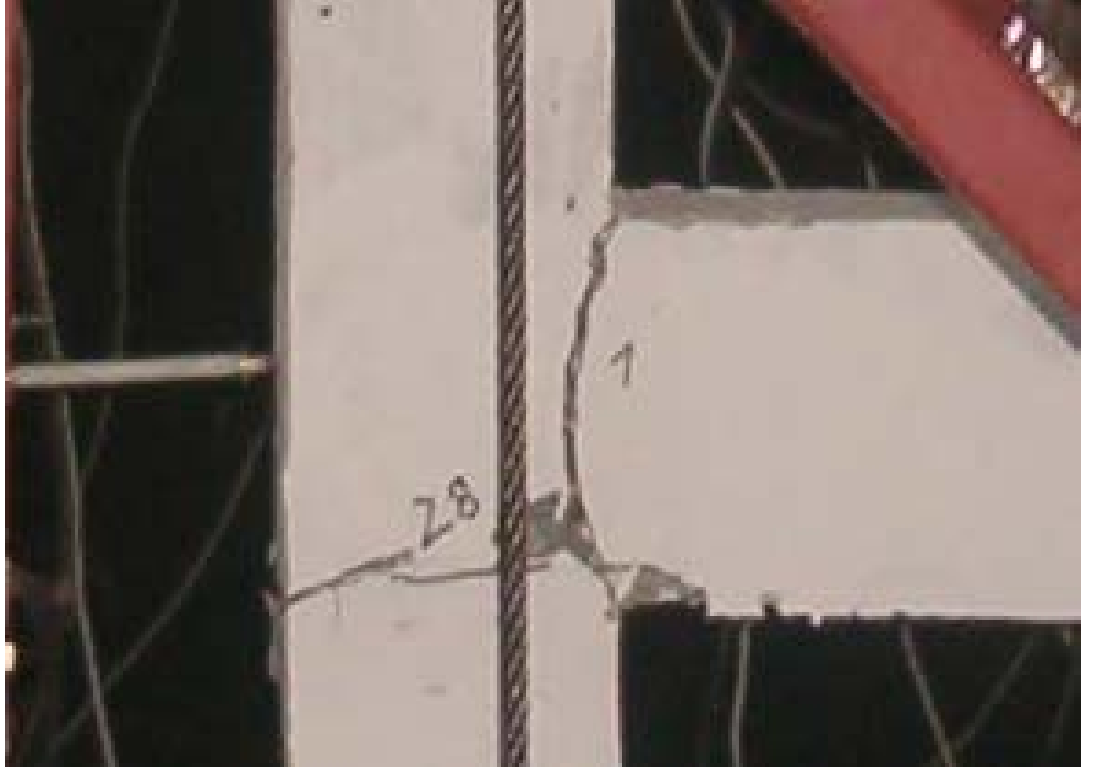


Şekil 5.5.2 5 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar

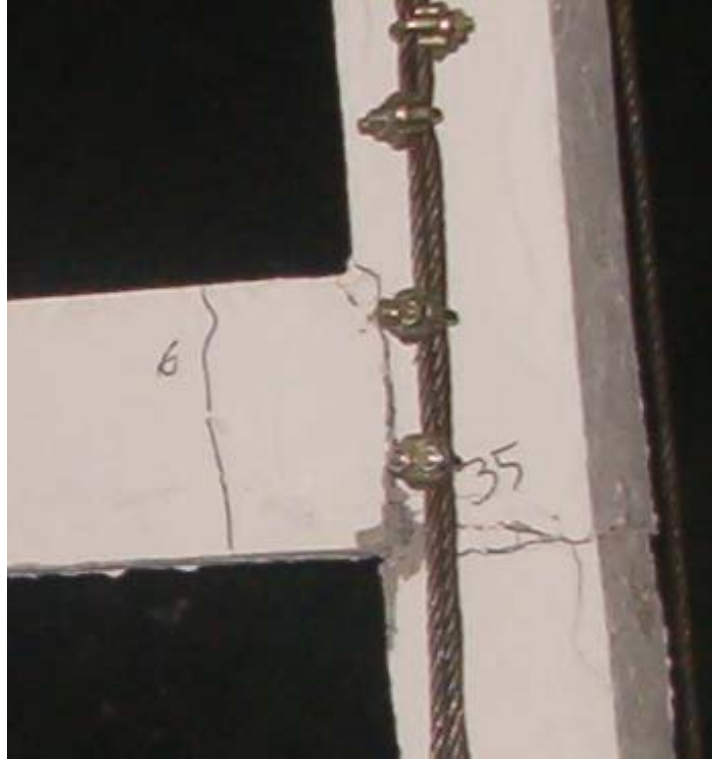


Şekil 5.5.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

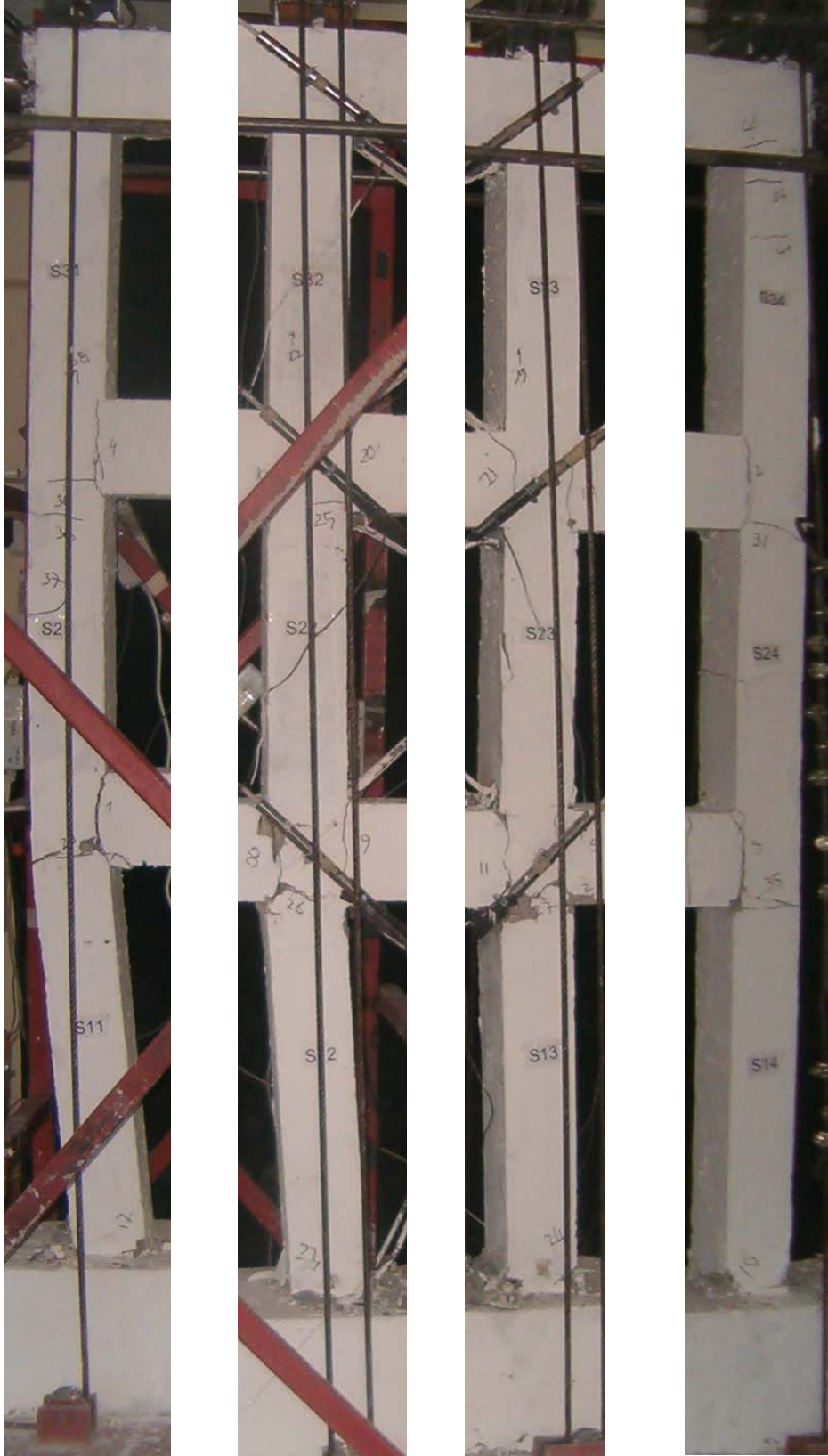




Şekil 5.5.4a Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.5.4b Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.5.5 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlak olan 1 nolu çatlak +22.5 kN değerinde K11 kirişi sol ucunda oluşmuştur. -22,5 kN yüklemesinde K23 kirişi sağ ucunda 2 nolu çatlak oluşmuştur. +30kN yüklemesinde 1 nolu çatlak ilerlemiştir. -30 kN yüklemesinde ise K13 kirişi solunda 3 nolu çatlak oluşmuştur. +4 mm deplasman yüklemesinde K21 kirişi solunda 4 nolu çatlak oluşmuştur. -4 mm deplasman değerinde 2 numaralı çatlak ilerlemiştir. ±6 mm deplasman değerinde çatlaklar ilerlemiştir. +8 mm deplasman değerinde 3 numaralı çatlak ilerlemiş olup 5 numaralı çatlak K13 solunda oluşmuştur. -8 mm deplasman değerinde K13 kirişi sağında 6 nolu çatlak 5 nolu çatlak solunda 7 nolu çatlak oluşmuş olup 1 numaralı çatlak ilerlemiştir. +10 mm deplasman değerinde K11 sağında 8 nolu çatlak, K21 sağında 9 ve 10 nolu çatlak oluşmuştur. K12 sağında 11 nolu çatlak oluşmuştur. -10 mm deplasman değerinde 6 nolu çatlak kiriş boyunca ilerlemiş, K13 solunda 12 nolu çatlak, K23 solunda 13 nolu çatlak, K23 solunda 14 nolu çatlak oluşmuştur. +12 mm deplasman değerinde ise K21 sağında pilye kırım bölgesinde 15 nolu çatlak oluşmuştur. -12 mm deplasman değerinde ise S14 kolonu sol altında 16 nolu çekme çatlağı oluşmuştur. +14 mm deplasman değerinde ise S11 kolonu altında 17 nolu çekme çatlağı oluşmuştur. -14 mm deplasman değerinde ise K2 sağında 18 nolu çatlak oluşmuş, 4 nolu çatlak eleman boyunca ilerlemiştir. +18 mm deplasman değerinde K12 solunda 19 nolu çatlak, K22 solunda 20 nolu çatlak, K22 sağında 21 nolu çatlak, S22 kolonu üzerinde 22 nolu çatlak oluşmuştur. -18 mm deplasman değerinde 8 ve 21 nolu çatlaklar kiriş boyunca ilerlemiştir. +20 mm deplasman değerinde S12 kolonu altında temel hizasında 23 nolu çekme çatlağı oluşmuştur. -20 mm deplasman değerinde 11 ve 19 nolu çatlaklar kiriş boyunca ilerlemiştir. +22 mm deplasman değerinde S13 kolonu altında 24 nolu çatlak oluşmuştur. -22 mm deplasman değerinde 20 numaralı çatlak aşağıya ulaşmış, S22 kolonu üzerinde 25 nolu çatlak kolon boyunca oluşmuştur. +24mm deplasman değerinde S12 kolonu üzerinde 26 nolu yatay çatlak oluşmuştur. -24mm deplasman değerinde S13 üzerinde 27 nolu yatay çatlak, S11 kolonu üzerinde 28 nolu yatay çatlak oluşmuştur. +26 mm deplasman değerinde S33 kolonu üzerinde 29 nolu yatay çatlak oluşmuştur. -26 mm deplasman değerinde K21 üzerinde 30 nolu yatay çatlak oluşmuştur. +28 mm deplasman değerinde S24 üzerinde 31 nolu çatlak oluşmuş, 7, 13, 14 nolu çatlaklar kiriş boyunca ilerlemiştir. K13 kirişi solunda 32, K11 kirişi sağında 33 nolu çatlaklar oluşmuştur.

+30 mm deplasman değerinde K21 solunda 34 nolu çatlak oluşmuştur. -30 mm deplasman değerinde S14 üzerinde 35 nolu çatlak oluşmuştur. Çaprazların çalışmaya başladığı daha etkin olarak izlenmiştir. +35 mm deplasman değerinde 28 nolu çatlak kolon boyunca ilerlemiş, 36 nolu atlak S21 üstünde kiriş altında oluşmuş, S21 üzerinde 36 ve 37 nolu çatlaklar oluşmuştur. -35 mm deplasman değerinde S31 altında kiriş hizasında 38 nolu çatlak oluşmuştur. +40 mm deplasman değerinde S34 üzerinde 39, 40 ve 41 nolu çatlaklar oluşmuştur. -40 mm deplasman değerinde alt katta bulunan çapraz donatılardan 1 adedi sıyrıldı. +45 mm deplasman değerinde çekmeye çalışan donatılardan 1 adedi sıyrıldı. -45 mm deplasman değerinde kolon alt uçları mafsallaşmaya başlamıştır.  $\pm 50$  mm deplasman değerinde önemli bir değişiklik olamamıştır.  $\pm 60$  mm deplasman değerinde alt katta kalan ankrajlarda tamamen özölmüştür. Deney  $\pm 70$  ve  $\pm 80$  mm deplasman değerlerine kadar ilerletilmiş ve sonlandırılmıştır.

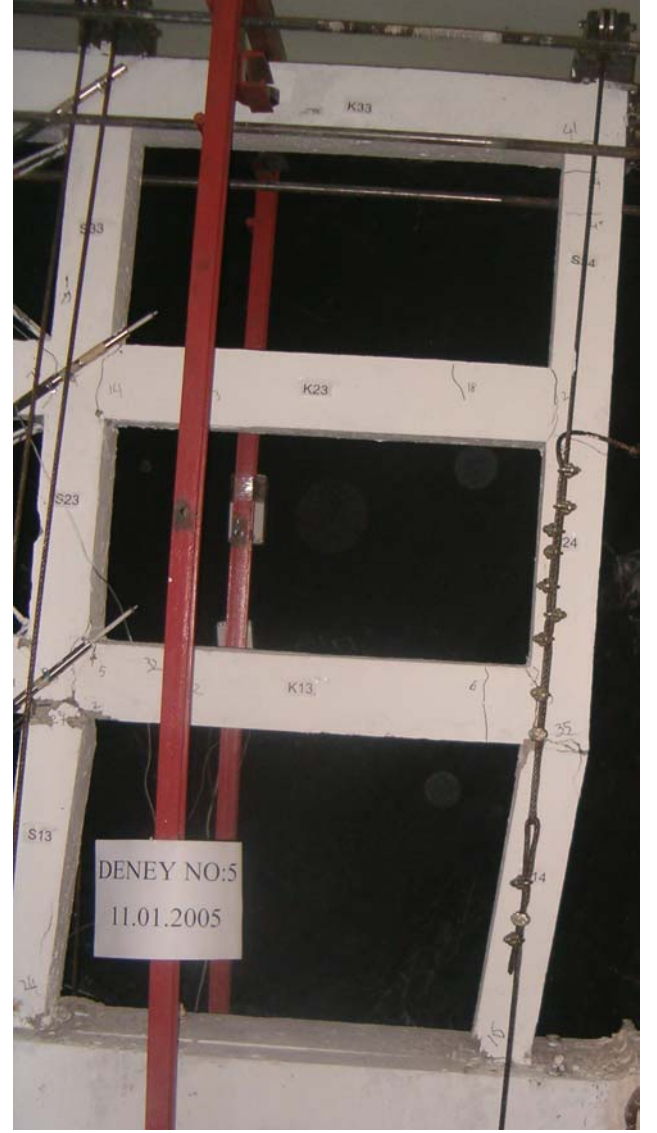
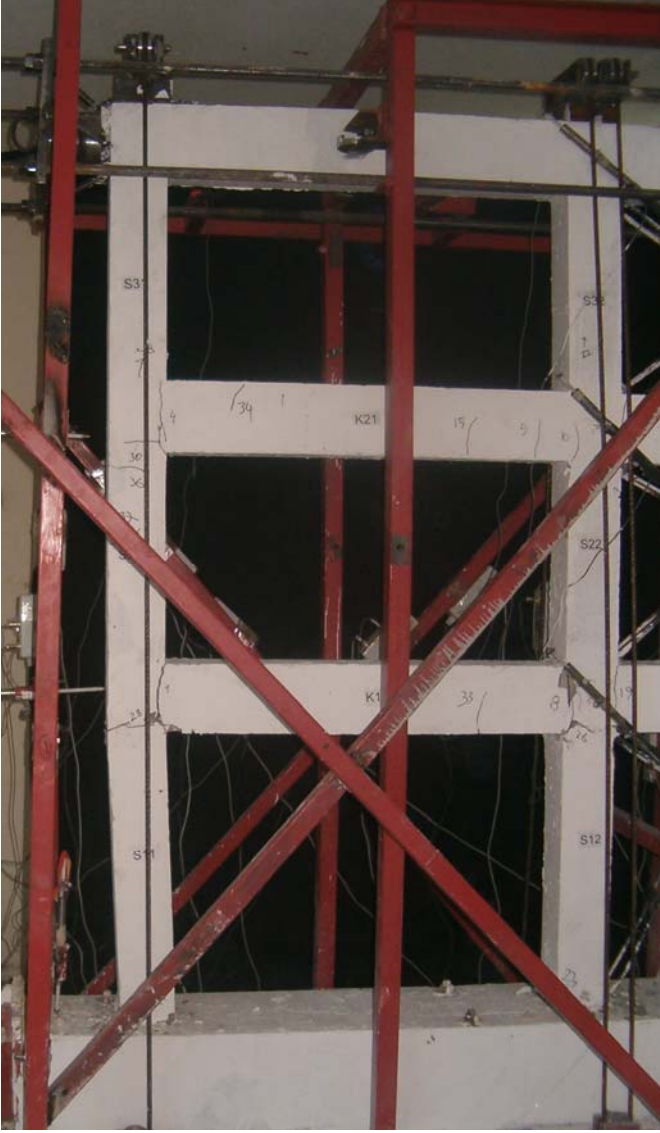
Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.5.10 ile Şekil 5.5.18 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.5.6 5 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma



Şekil 5.5.7 5 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon kiriş birleşimleri

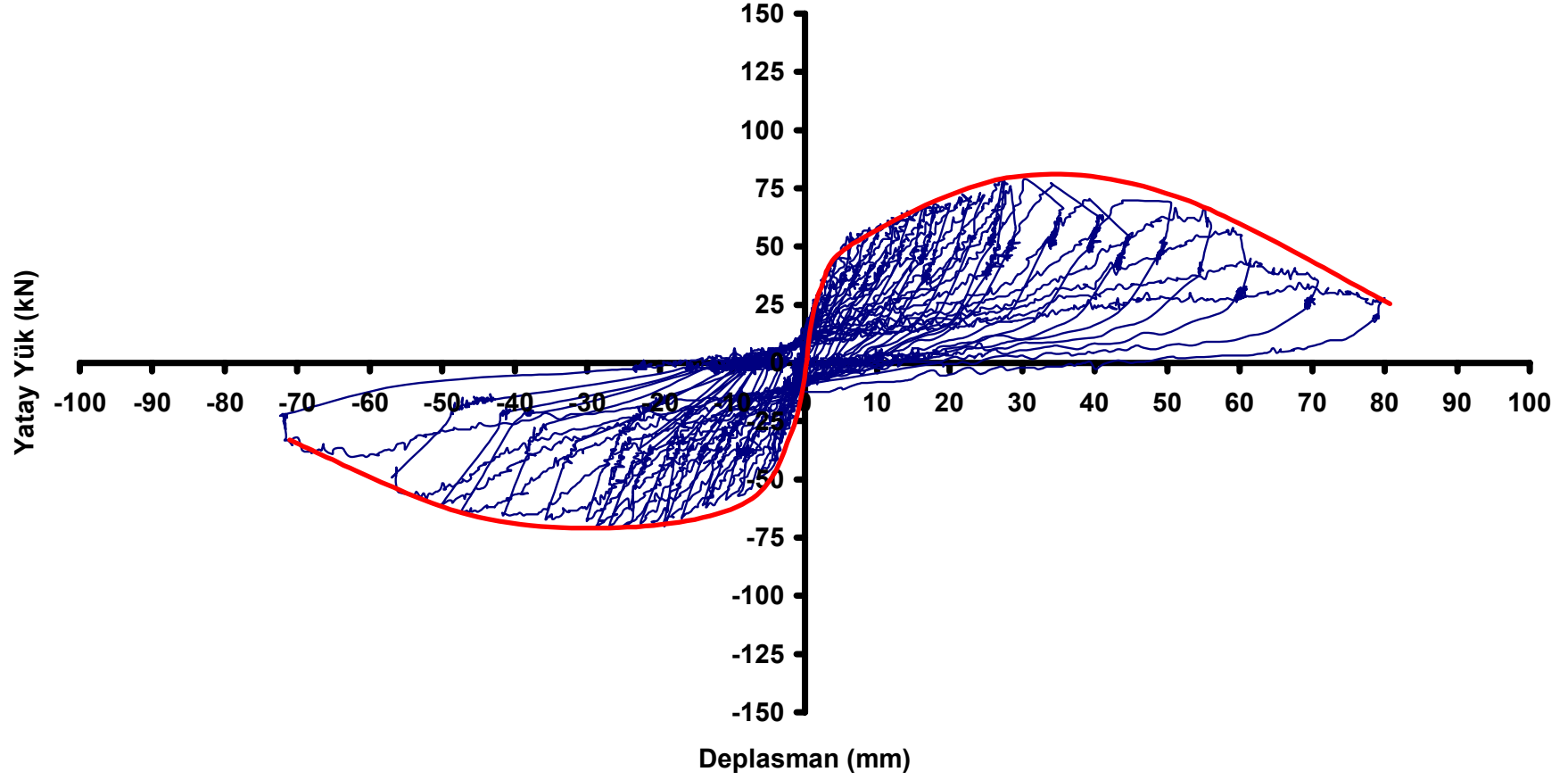


Şekil 5.5.8 5 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması



Şekil 5.5.9. 5 nolu deney numunesinde çalışan kuşaklamalar

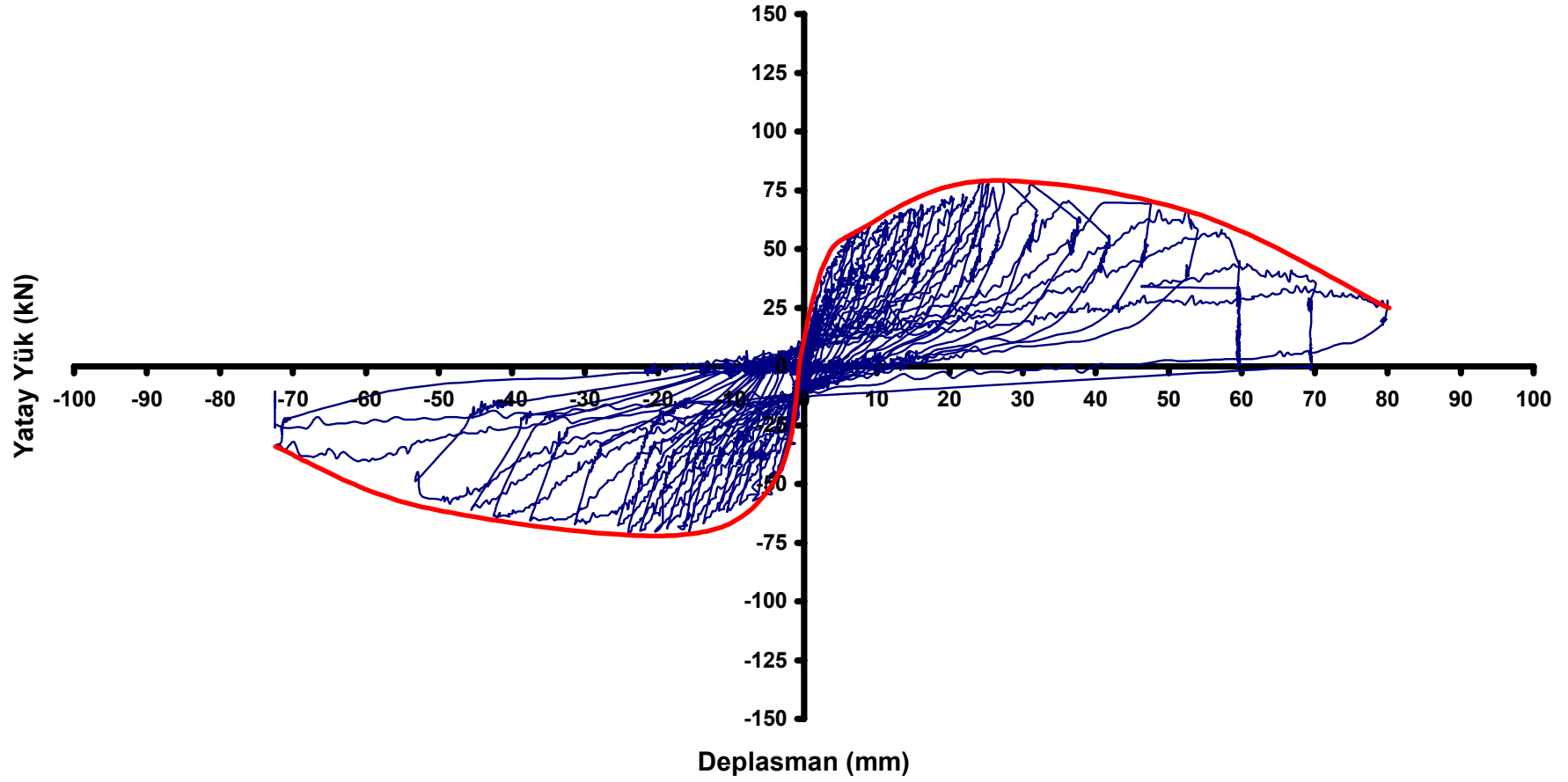
**Deney No 5**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği**



Şekil 5.5.10 5 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

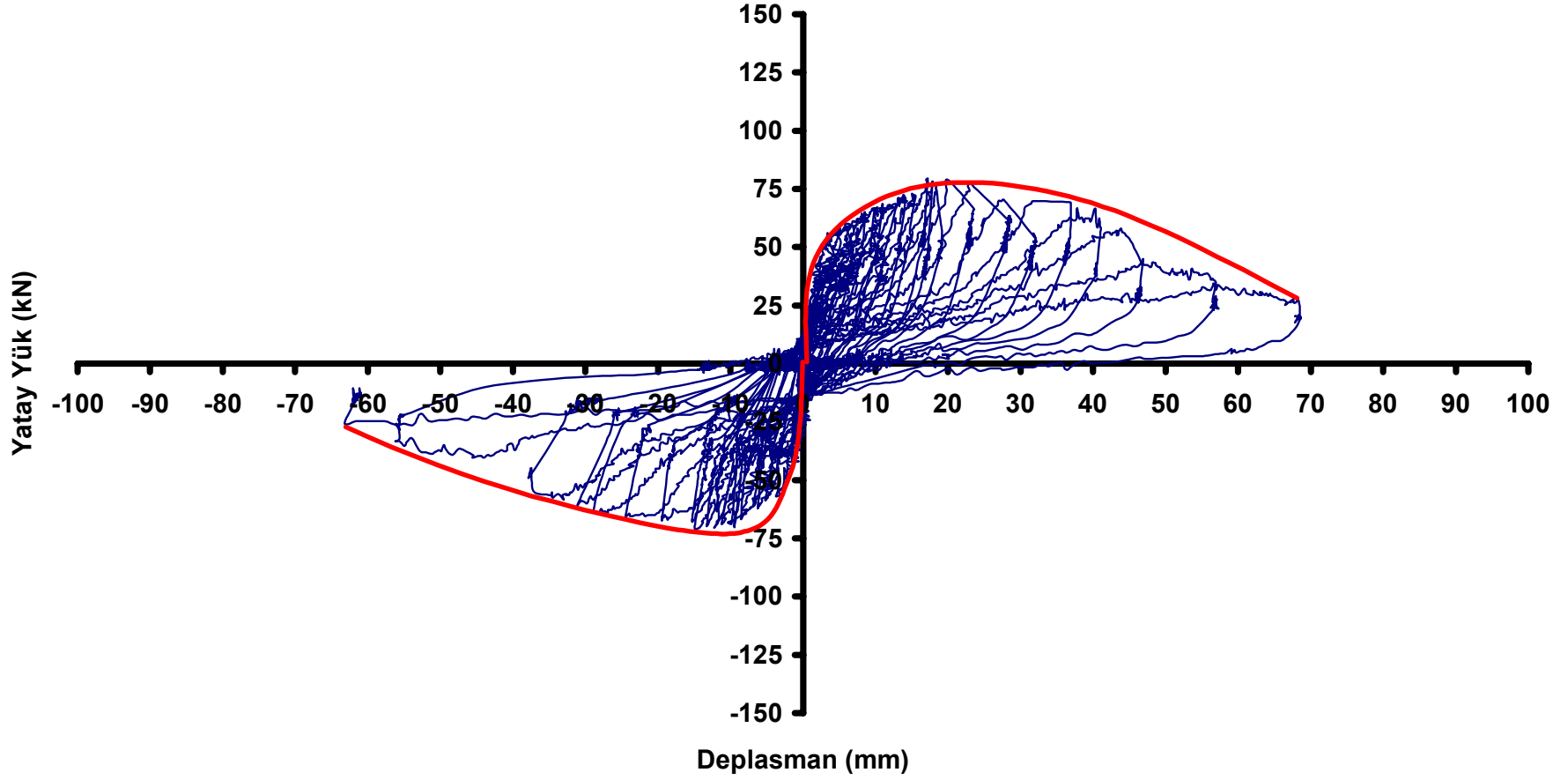


**Deney No 5**  
**Yatay Yük- 2. Kat Deplasmanı Grafiği**



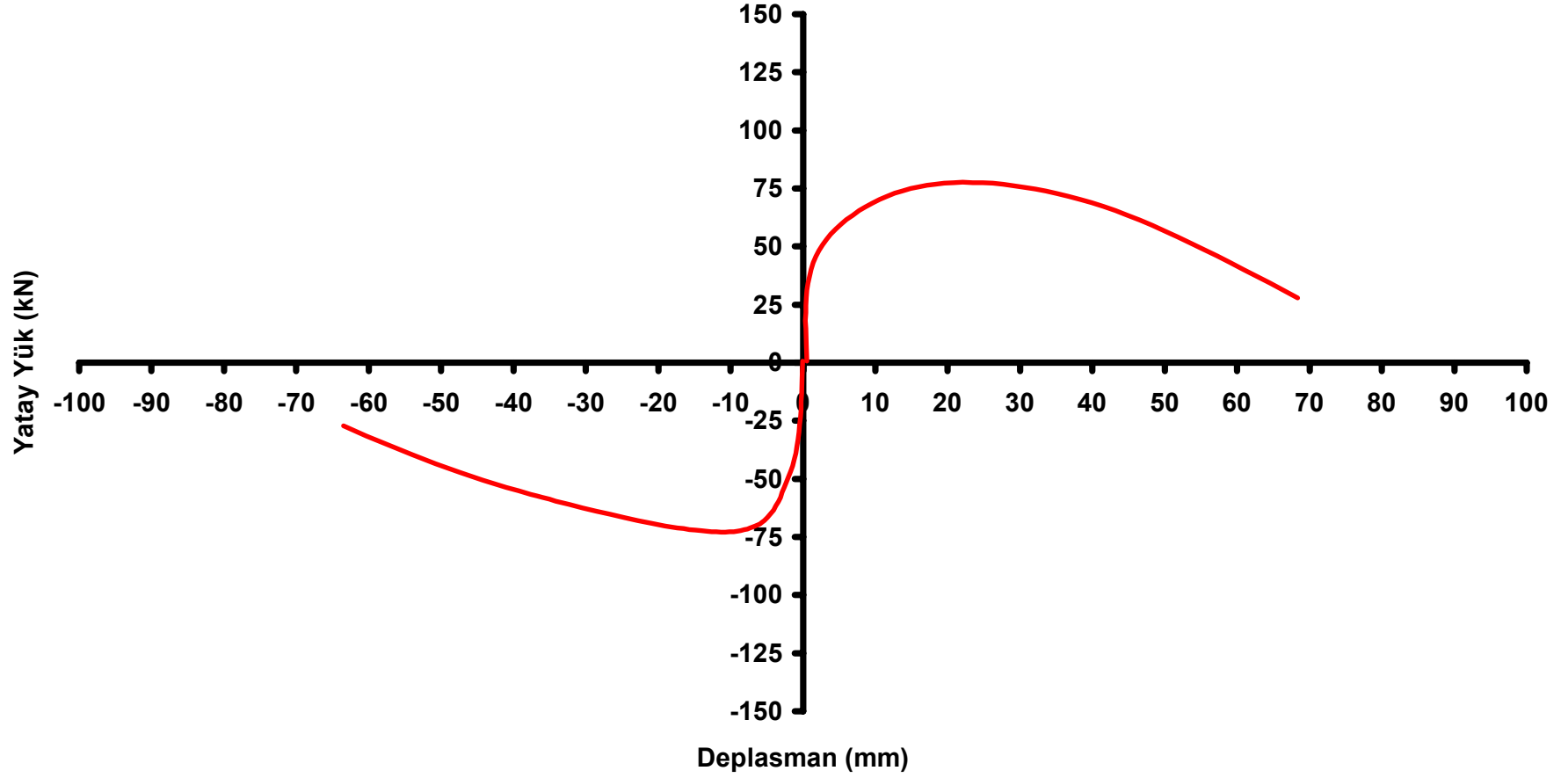
Şekil 5.5.11 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı grafiği

**Deney No 5**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Grafiği**



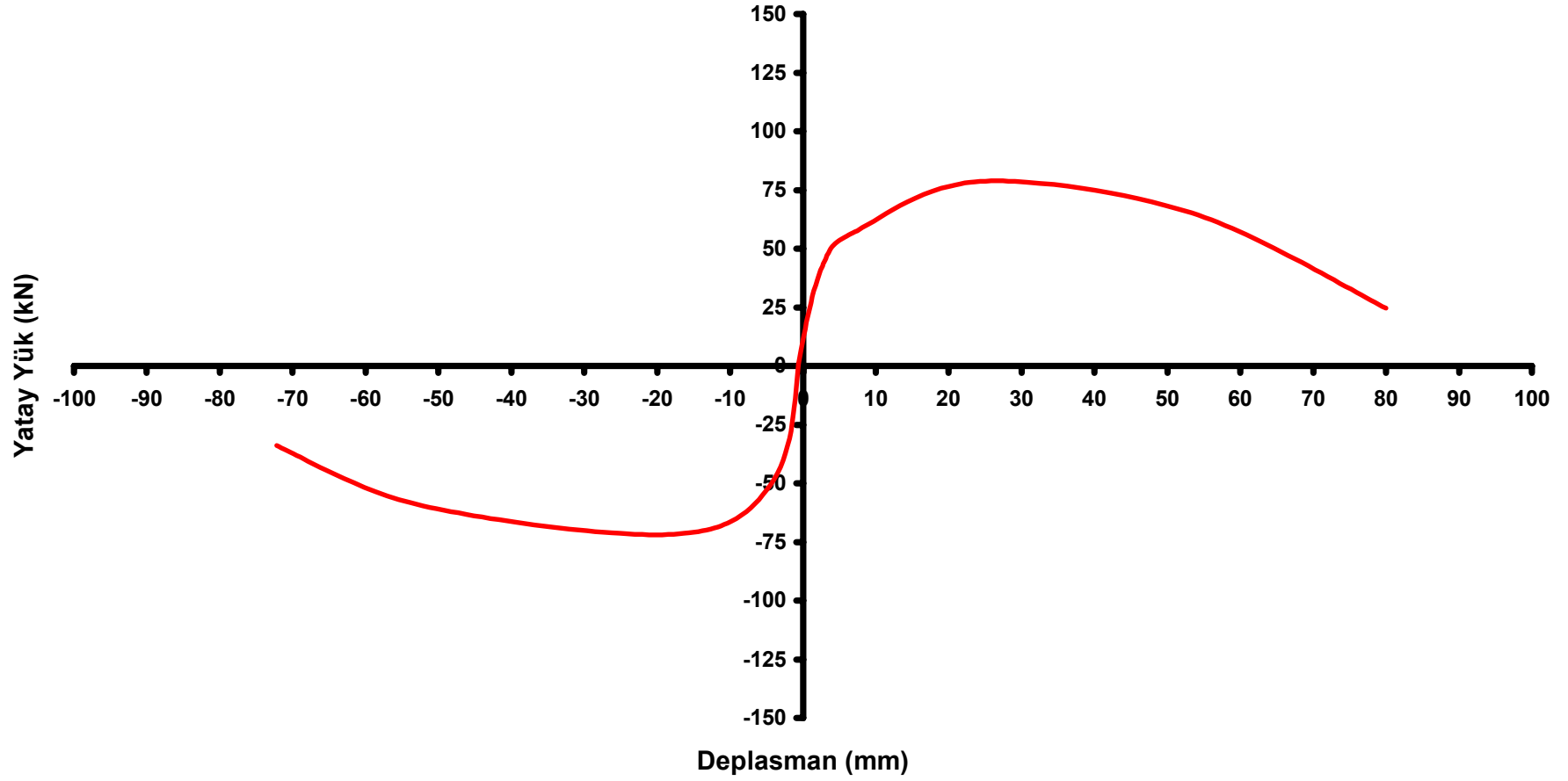
Şekil 5.5.12 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 5**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



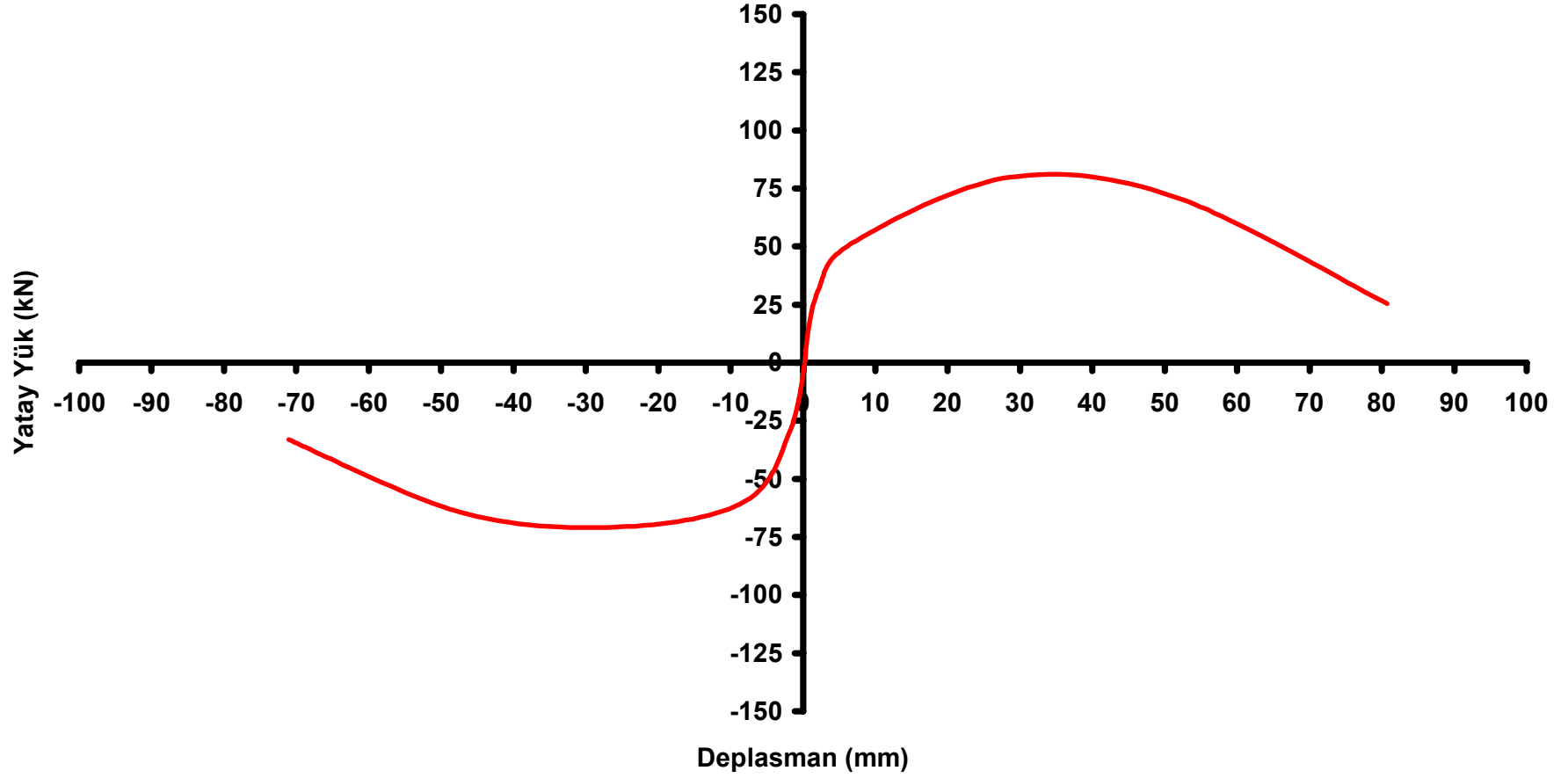
Şekil 5.5.13 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 5**  
**Yatay Yük- 2. Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



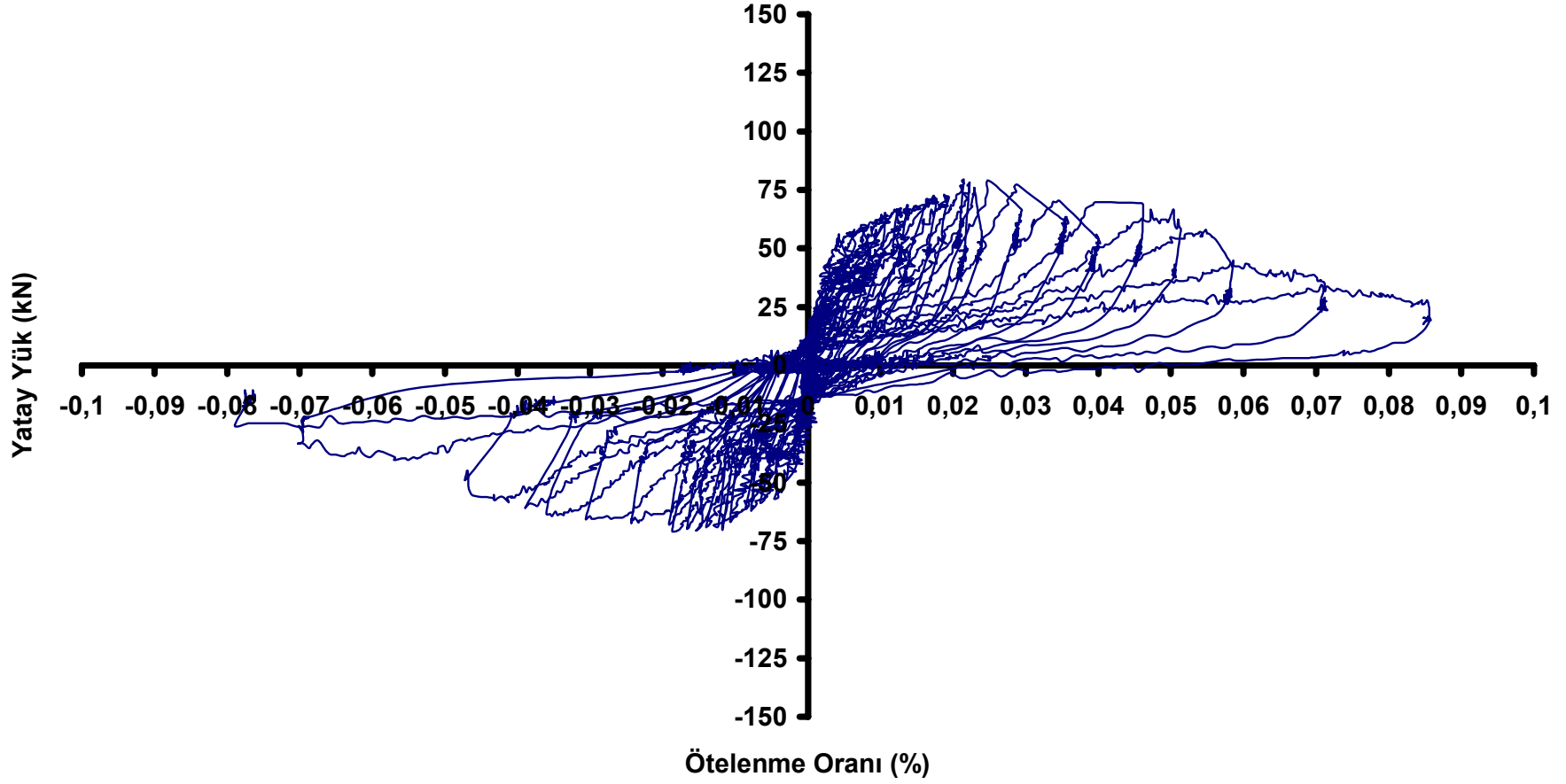
Şekil 5.5.14 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 5**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



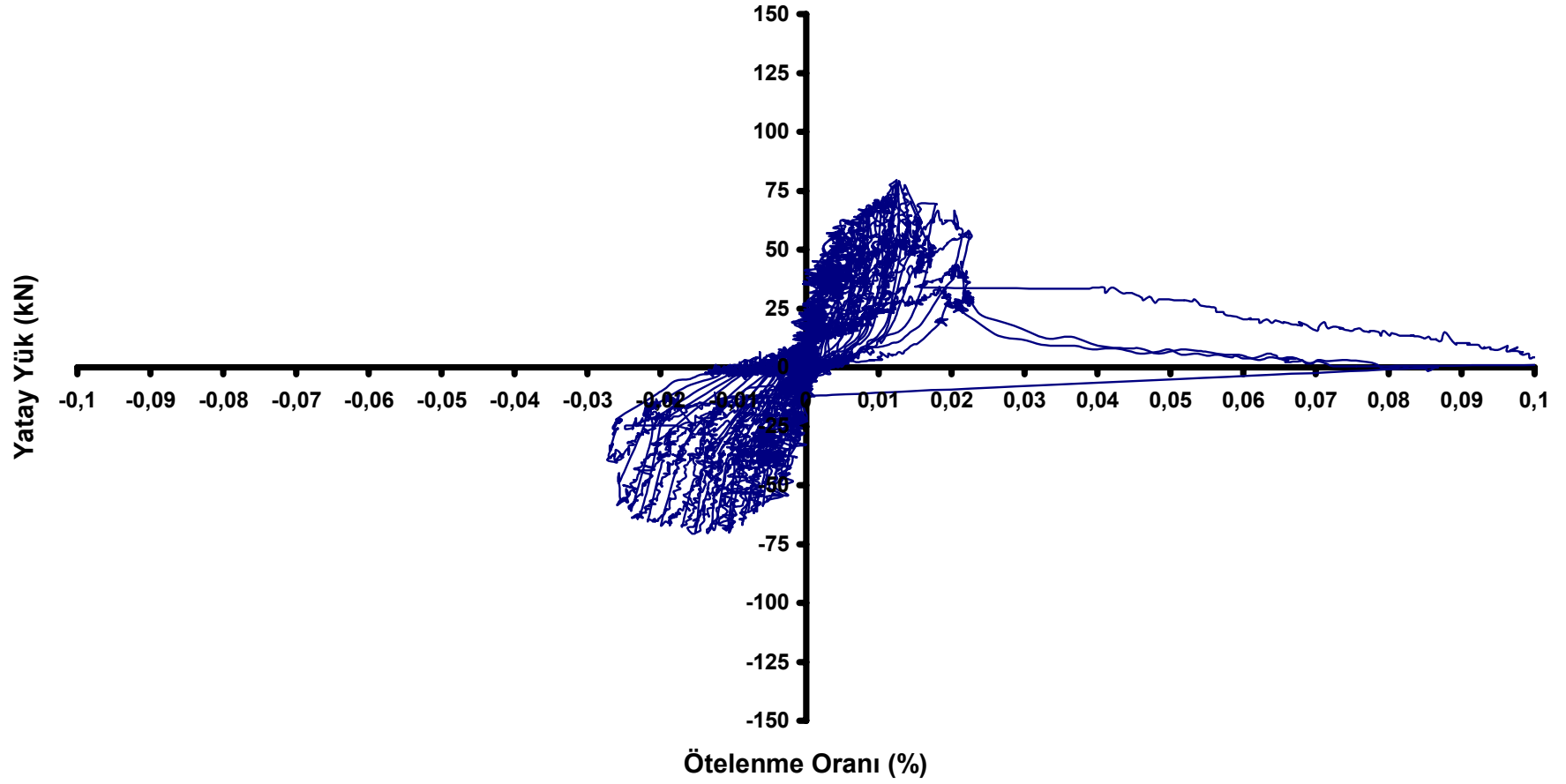
Şekil 5.5.15 5 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 4**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



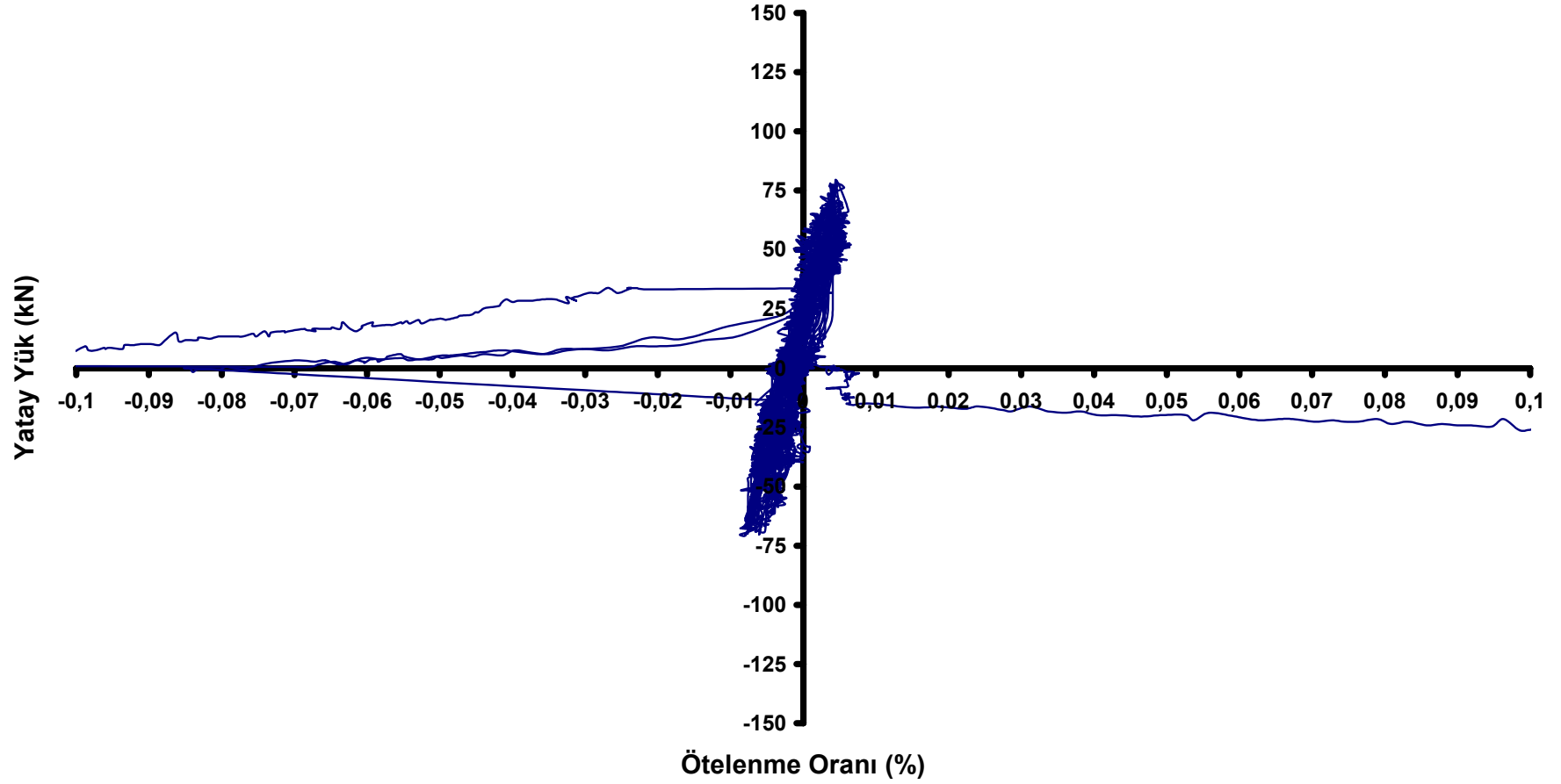
Şekil 5.5.16 5 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 5**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.5.17 5 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

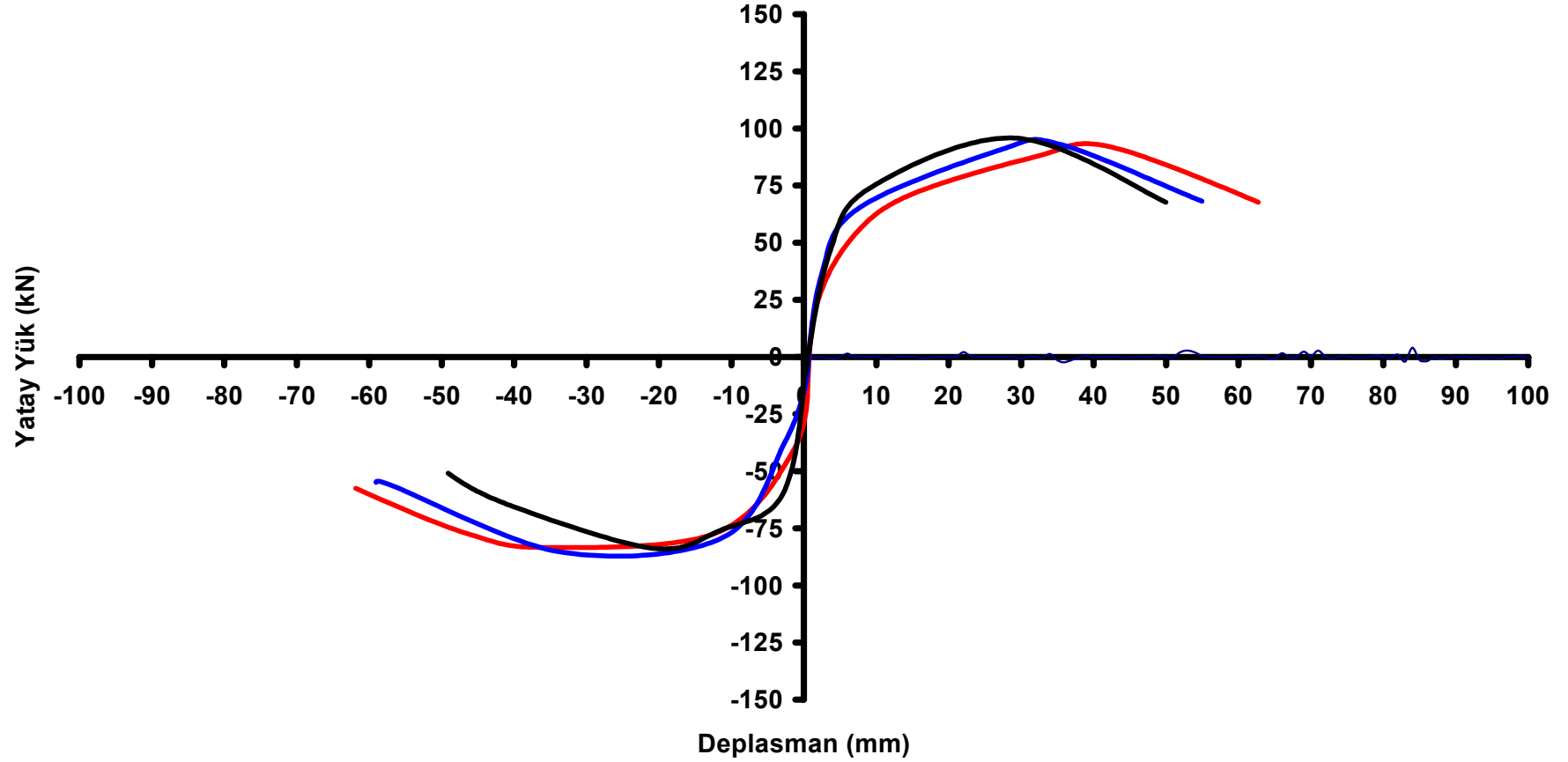
**Deney No 5**  
**Yatay Yük- 3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.5.18 5 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği



**Deney No 5**  
**Yatay Yük-1., 2. ve 3.Kat Deplasmanları Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.5.19 5 nolu deney numunesi için yatay yük-1.,2. ve 3. kat deplasmanlarının karşılaştırılması

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 90 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 7,80 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 28750 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Sistemin orta bölgesine uygulanan kuşaklamalar sistemde en çok bu bölgede bulunan ilk kat düğümlerinde hasara sebep olmuştur. Bunun sebebi, orta açıklığın bulunan kuşaklamaların etkisi ile perde davranışı göstermesi ve doğal olarak uç bölgelerinin en fazla zorlanmasıdır. Bu davranışın diğer sebebi ise en fazla alt kat kuşaklamalarının kuvvete maruz kalması ve sıyrılmaya yüküne kadar birleşim bölgesinde ekstra kesit zorlarına sebep olmasıdır.

Şekil 5.5.19'da verilen grafikte 2.kat deplasman değeri ankraj sıyrılmaya değerine kadar 1. ve 3. katlara ait deplasman değerlerinin arasında seyrederken, ankrajların sıyrılmaya sonucu ortaya çıkan yumuşak kat davranışından ötürü 2. ve 3. kat deplasmanlarını 35-40 mm deplasman değerinden sonra çakışmıştır

Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerinin üzerine ulaştırmış, sistem davranışında süneklik beton kalitesinin referans numuneye oranla çok düşük olmasına rağmen devam etmiştir.

### 5.6. 6 nolu Deney (06DT1C12KKHD)

6 nolu deney numunesi T1 donatı düzenine sahiptir. Etriyeler birleşim bölgesinde sıklaştırılmış ve devam ettirilmiştir. Etriyelerin uçları  $135^\circ$  kancalı olarak imal ve montaj edilmiştir. Beton kalitesi C12'dir. Numune ABYYHY 1998 hükümlerinde verilen donatı düzenini sağlamaktadır.

Bu deney ABYYHY 1998 hükümleri ışığında depreme dayanıklı olarak donatılandırılmış, beton kalitesi düşük numunelerde kenar açıklıkta kuşaklamann etkinliğini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.6.1'de verilmiş olup . Şekil 5.6.2 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.6.1 06DT1C12KKHD numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 5.6.2 6 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



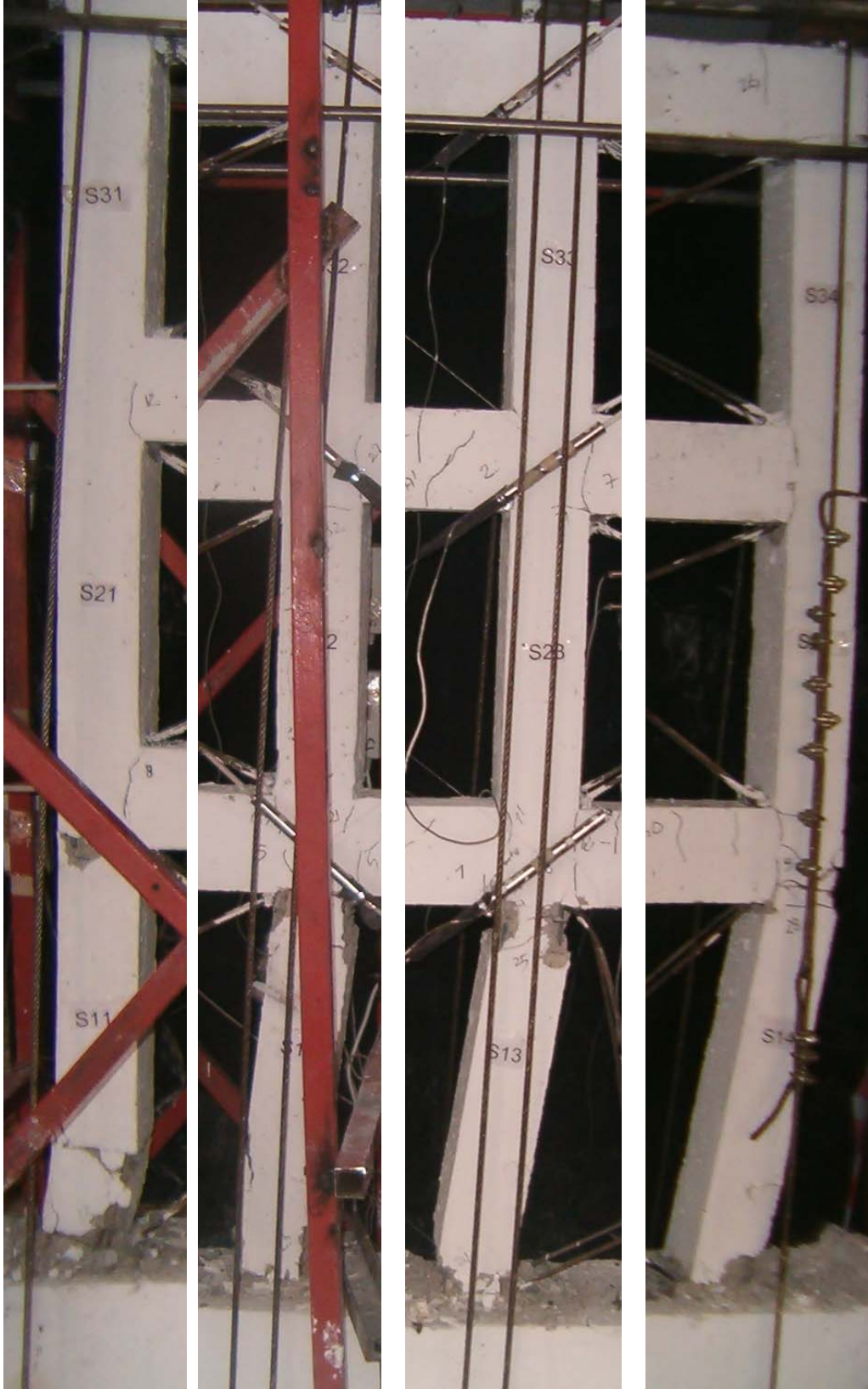
Şekil 5.6.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.6.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.6.5 6 nolu deney numunesinin orta kolon üstünde mafsallaşma (Çapraz kesme çatlakları oluşmamıştır)



Şekil 5.6.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlaklar olan 1 nolu çatlak K12 kirişi sağında oluşmuştur. +4 mm deplasman değerinde 1 nolu çatlak ilerlemiş, K12 kirişi solunda simetrik şekilde 3 nolu çatlak K22 sağında 2 nolu çatlak oluşmuştur. -4 mm deplasman değerinde çatlak oluşmamıştır. +6 mm deplasman değerinde çatlak oluşmamıştır. -6 mm deplasman değerinde çapraz çubuklar çalışmaya başlamıştır. +8 mm deplasman değerinde K 22 kirişi sol üstünde pilye kırım noktasında 4 numaralı çatlak oluşmuş, 2 numaralı çatlak ilerlemiştir. -8 mm deplasman değerinde K12 kirişi sol altında 5 numaralı çatlak oluşmuştur. +10 mm deplasman değerinde 74 kN yatay yük değeri ölçülmüştür. -10 mm deplasman değerinde K13 sol altında 6 numaralı çatlak, K23 sol altında 7 numaralı çatlak oluşmuştur. +12 mm deplasman değerinde K13 sol üstünde 8 nolu, K13 sağ altında 9 nolu , K23 sağ altında 10 nolu çatlak oluşmuştur. -12 mm deplasman değerinde 4 nolu çatlak aşağıya doğru ilerlemeye devam etti. +14 mm deplasman değerinde S11 kolonu üzerinde yatay olarak 11 nolu kılcal çatlak oluşmuş, K21 sol altında 12 nolu, S11 altında 13 nolu çatlak oluşmuş, 9 nolu çatlak ilerlemiş, 10 numaralı çatlakın simetrisi oluşmuştur. -14 mm deplasman değerinde S13 üstünde 14 nolu çatlak oluşmuştur, 1 ve 10 numaralı çatlaklar ilerlemiştir. +16 mm deplasman değerinde çaprazlar etkin olarak çalışmaya devam etmiş, 15 nolu çatlak K11 sağında , K13 solunda 16 nolu çatlak oluşmuş, 3 ve 5 nolu çatlaklar birleşmiştir. -16 mm deplasman değerinde K22 sol tarafında Pilye birleşim bölgesinde 17 nolu çatlak oluşmuştur. +18 mm deplasman değerinde 4 nolu çatlak ilerlemiştir. K12 sağ altında 18 nolu çatlak oluşmuştur. -18 mm deplasman değerinde K22 sol altında Pilye birleşim bölgesinde 19 nolu çatlak oluşmuştur. +20 mm deplasman değerinde S34 üzerinde 20 nolu yatay çatlak, K12 solunda kolon içersisine doğru 21 nolu çatlak oluşmuştur. -20 mm deplasman değerinde K22 sol altında 22 nolu çatlak kolon yüzünde oluştu. +22 mm deplasman değerinde 4 nolu çatlak sola doğru ilerlemiş, 17 nolu çatlak simetrik olarak ilerlemiştir. -22 mm deplasman değerinde 16 ve 18 nolu çatlakların simetriği oluşmuştur. +24 mm deplasman değerinde 8 nolu çatlak aşağıya doğru ilerlemiştir. S 11 kolonu altında ezilme oluşmuş, S12 kolonu altında 23 nolu çekme çatlak oluşmuştur. -24 mm deplasman değerinde S13 altında 24 nolu çatlak oluşmuştur. Ankrajlarda çözümler başlamıştır. +26 mm deplasman değerinde S11 kolonu altında mafsal oluşmuştur. -26 mm deplasman değerinde değişiklik olamamıştır. +30 mm deplasman değerinde S14 üzerinde 25 nolu



çatlak oluşmuştur. -30 mm deplasman değerinde çatlaklar genişlemeye başlamıştır. +35 mm deplasman değerinde S12 üzerindeki 15 nolu çatlak kolona paralel olarak ilerlemiş, S13 üzerinde 25 nolu çatlak oluşmuştur. -35 mm deplasman değerinde K33 sağ tarafında 26 nolu çatlak, K11 üstünde 15 nolu çatlak simetriği, K23 solunda 27 nolu çatlak oluşmuştur. +40 mm de kolon altları ezilmeye başladı, S12 ve S13 kolon altları mafsallaştı. Alt katlarda ankrajlar sıyrıldı. - 40 mm deplasman değerinde S14 kolonu üzerinde 28 nolu yatay çatlak oluştu. ±45 mm deplasman değerinde S11, S12, S13 ve S14 kolon üstleri ve altları mafsallaştı.

+50 mm deplasman değerinde K12 sağ üstünde 29 nolu çatlak oluştu, 17, 27 nolu çatlaklar ilerledi, S24 altında çatlak oluştu. -50 mm deplasman değerinde K13 üzerinde 30 nolu çatlak oluştu, S21 ve S22 üzerinde 31 ve 32 nolu çatlaklar oluştu. S14 üzeri mafsallaştı. ±55 mm, ±60, ±65, ±70 ve 80 mm deplasman değerlerine ulaşarak deneye son verildi.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.6.13 ile Şekil 5.6.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.6.7 6 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu



Şekil 5.6.8 6 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon kiriş birleşimleri



Şekil 5.6.9 6 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması



Şekil 5.6.10 6 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar

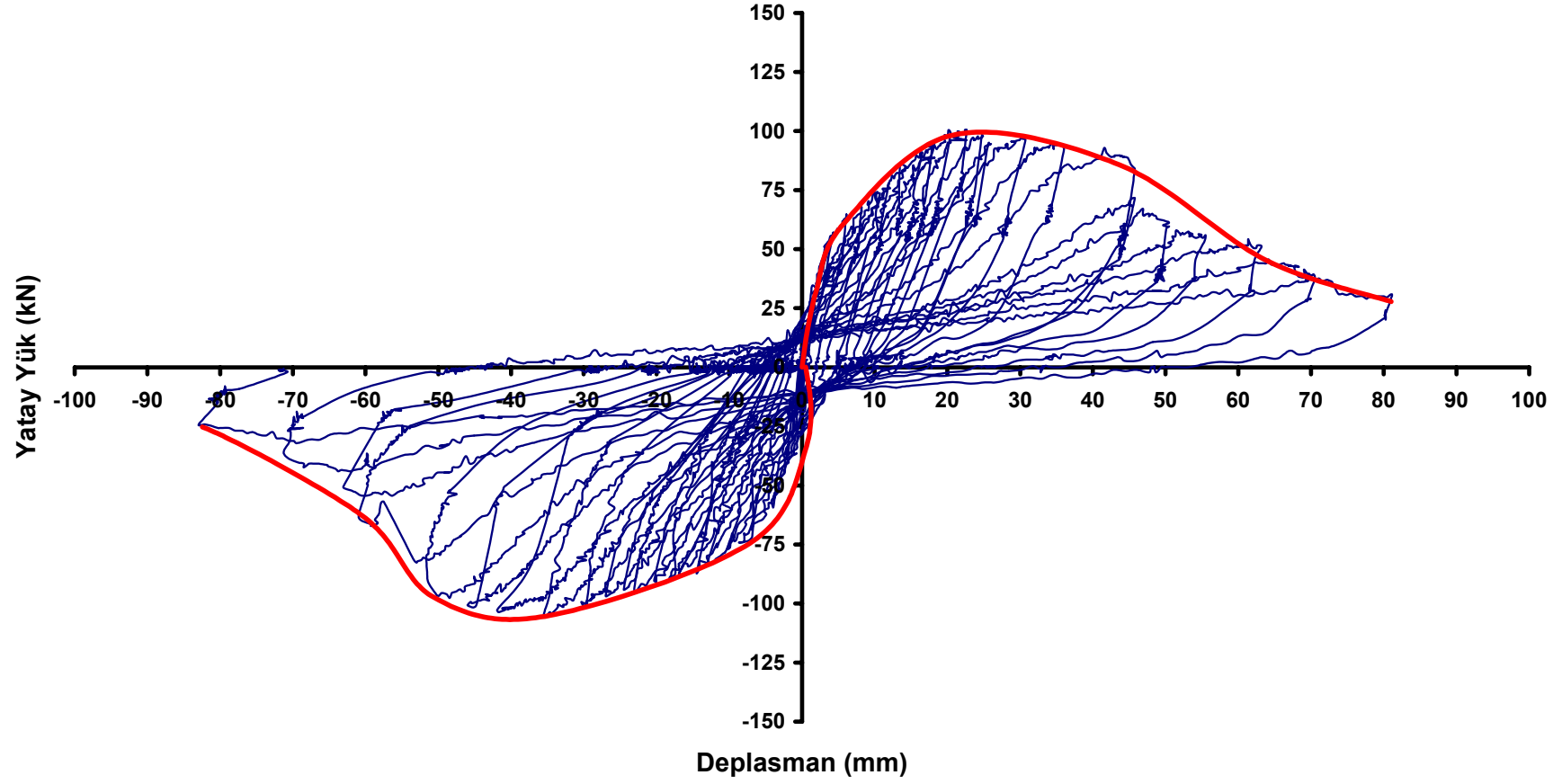


Şekil 5.6.11 6 nolu deney numunesinde alt katta sıyrılmış fakat üst katta çalışmaya devam eden kuşaklamalar



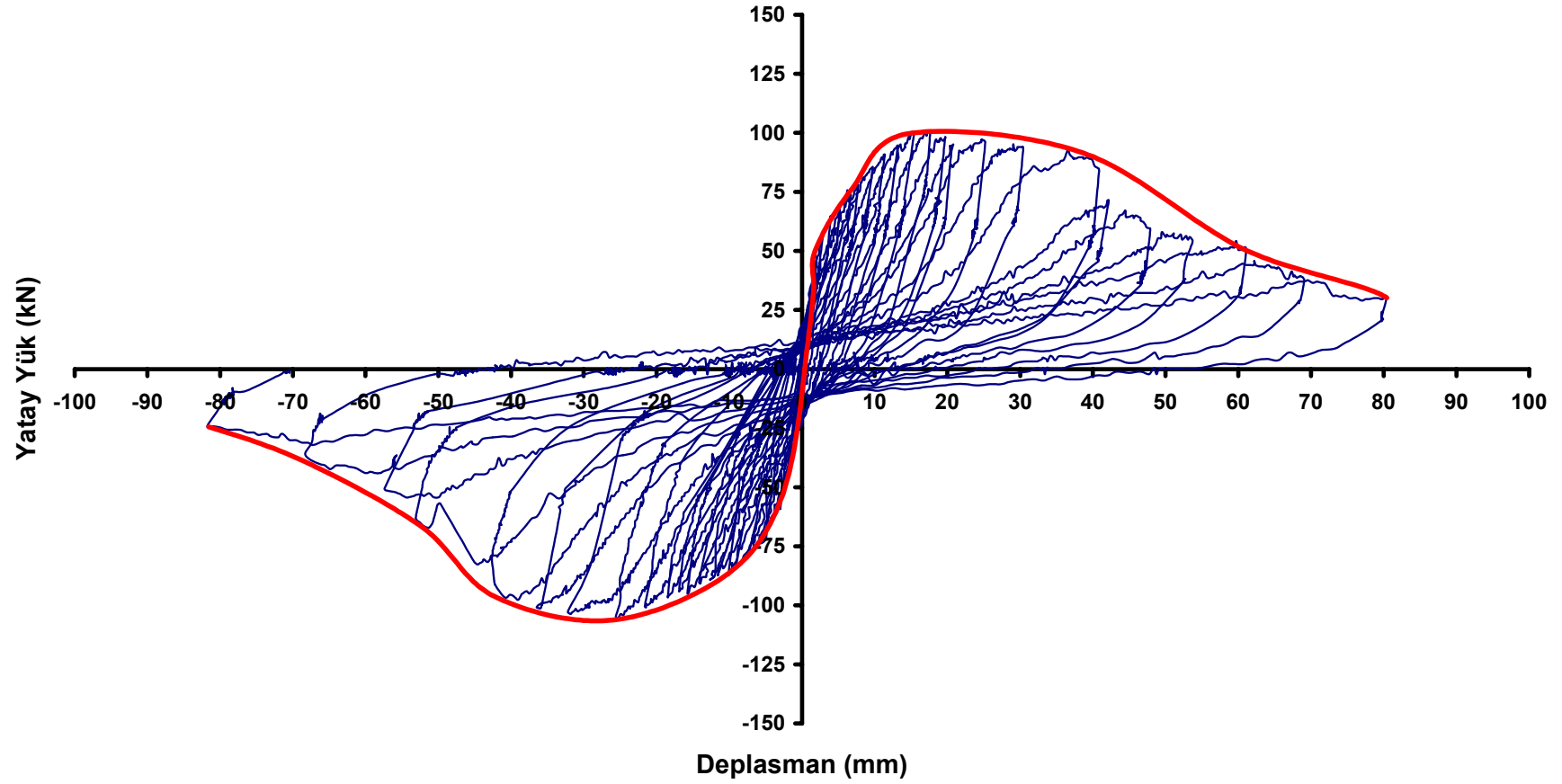
Şekil 5.6.12 Kolon tabanında ezilmeler

### Deney No 6 Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği



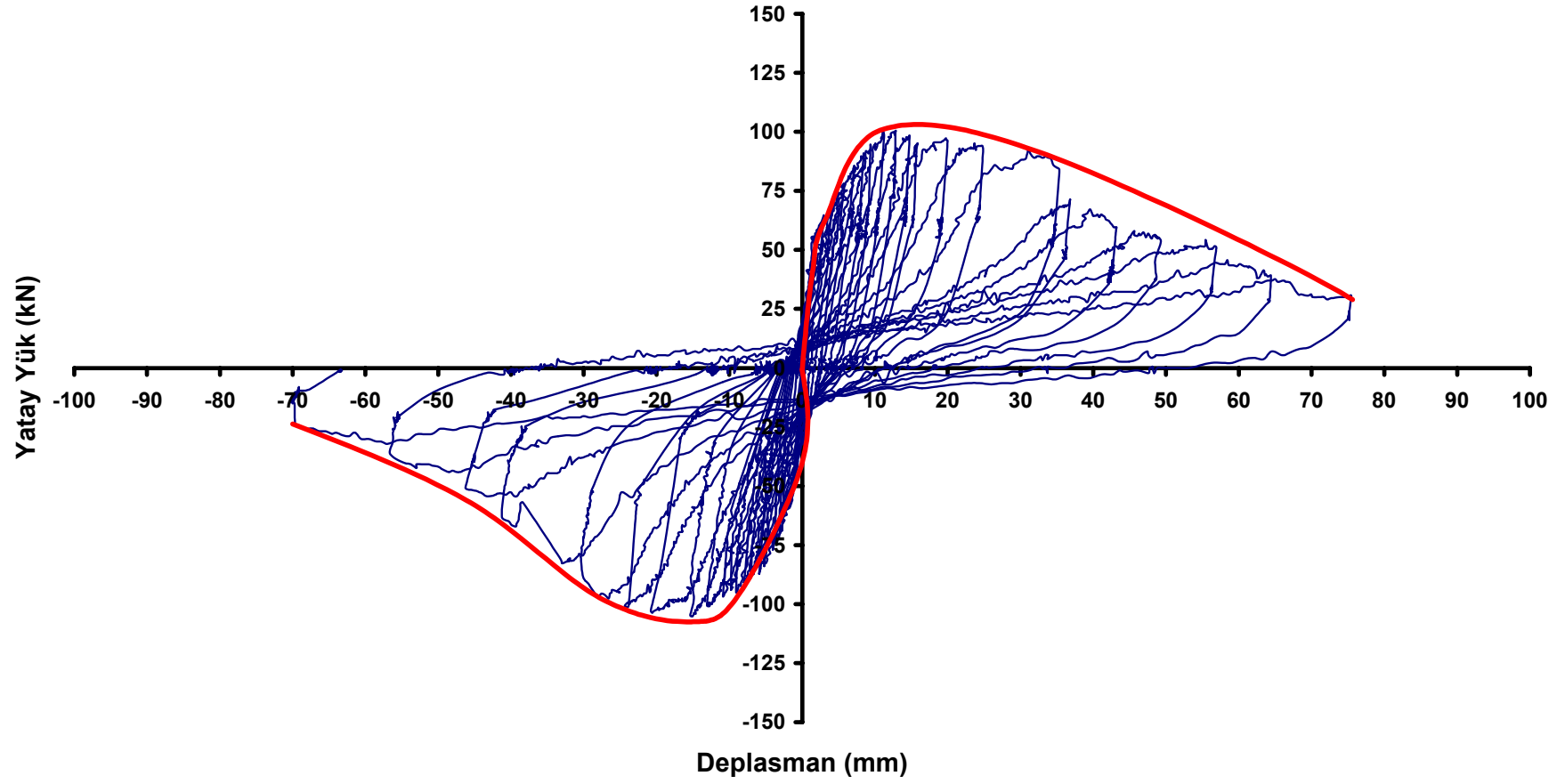
Şekil 5.6.13 6 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasman Grafiği**



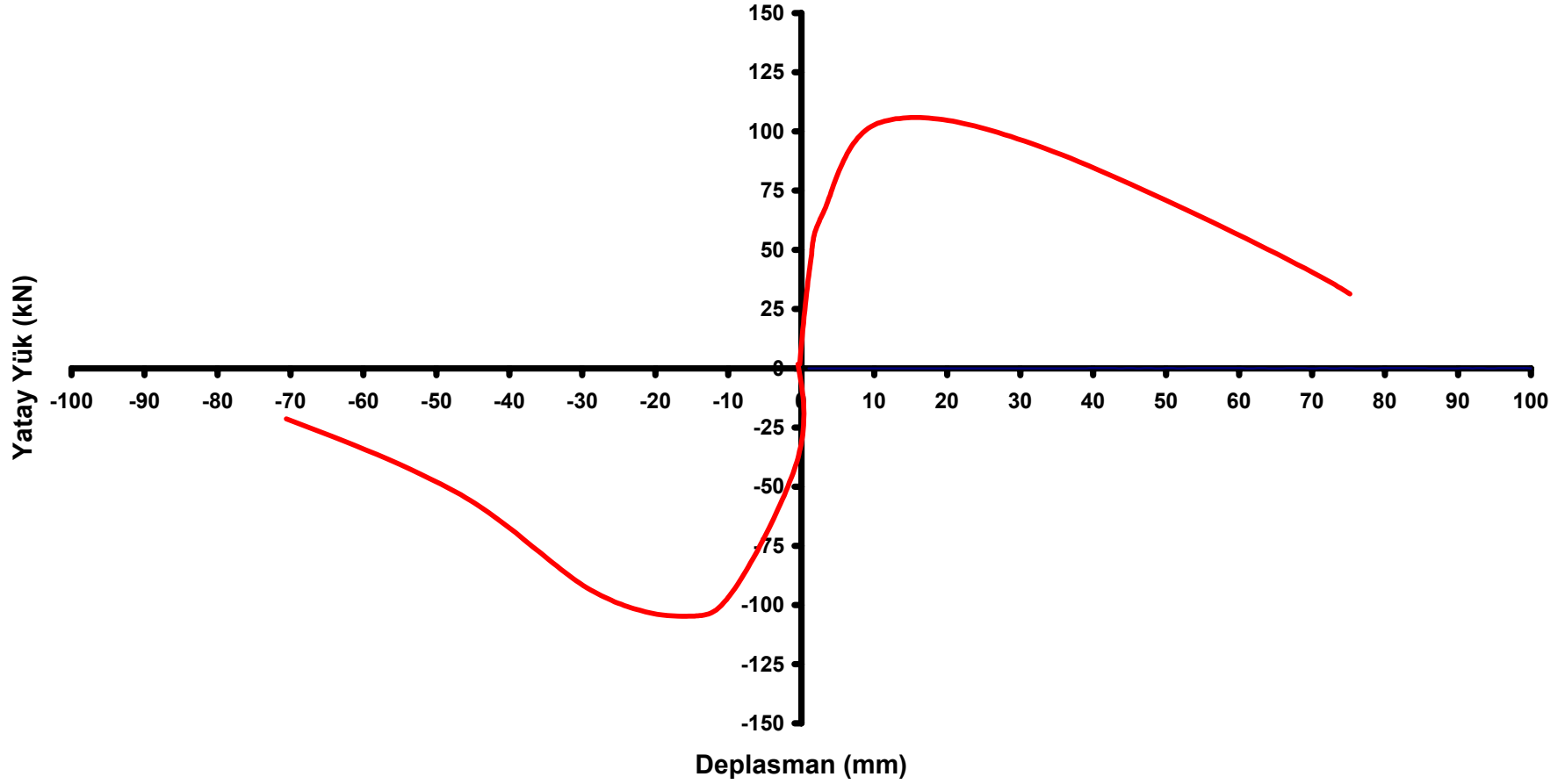
Şekil 5.6.14 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasman Grafiği**



Şekil 5.6.15 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

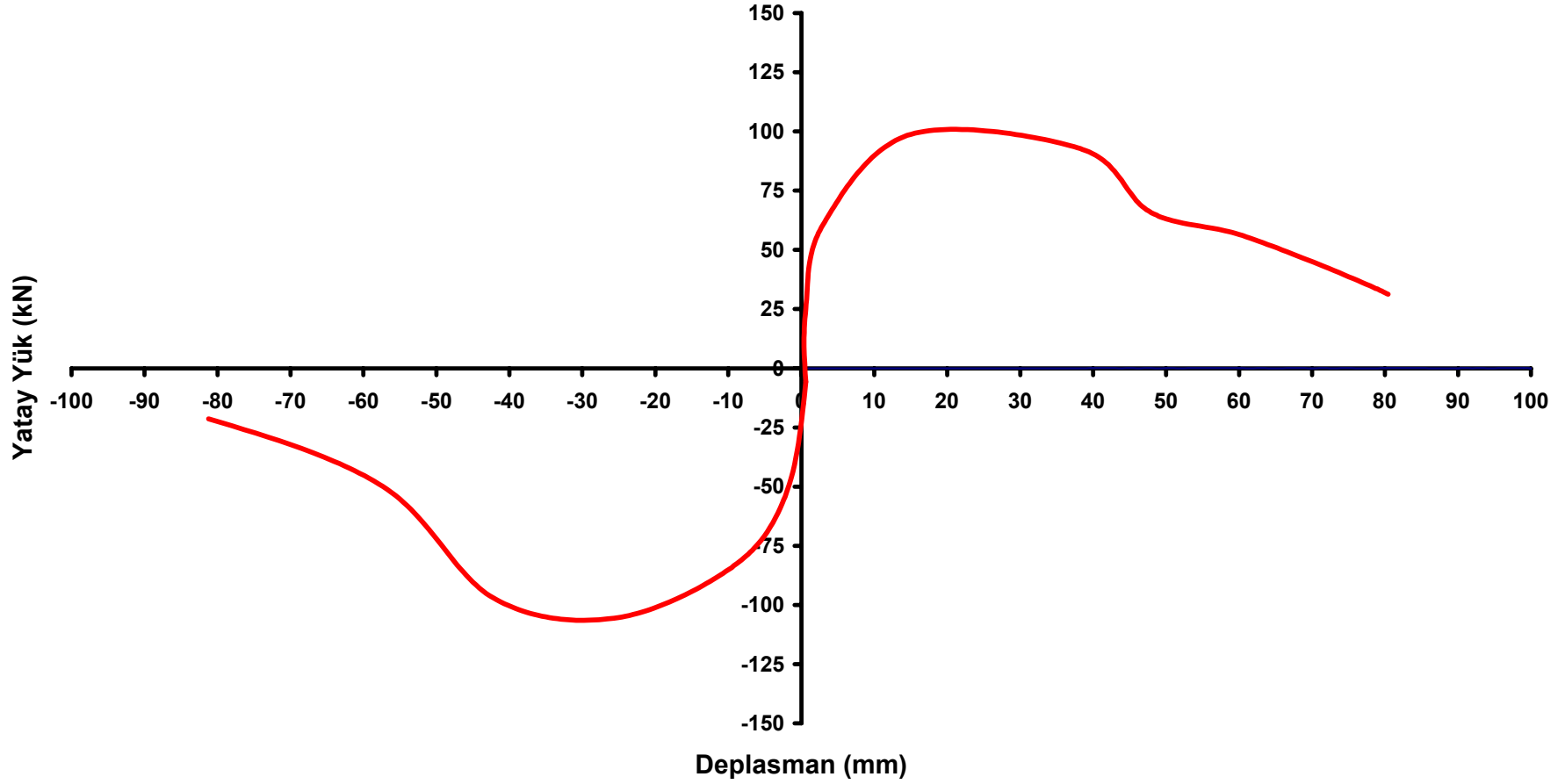
**Deney No 6**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.6.16 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

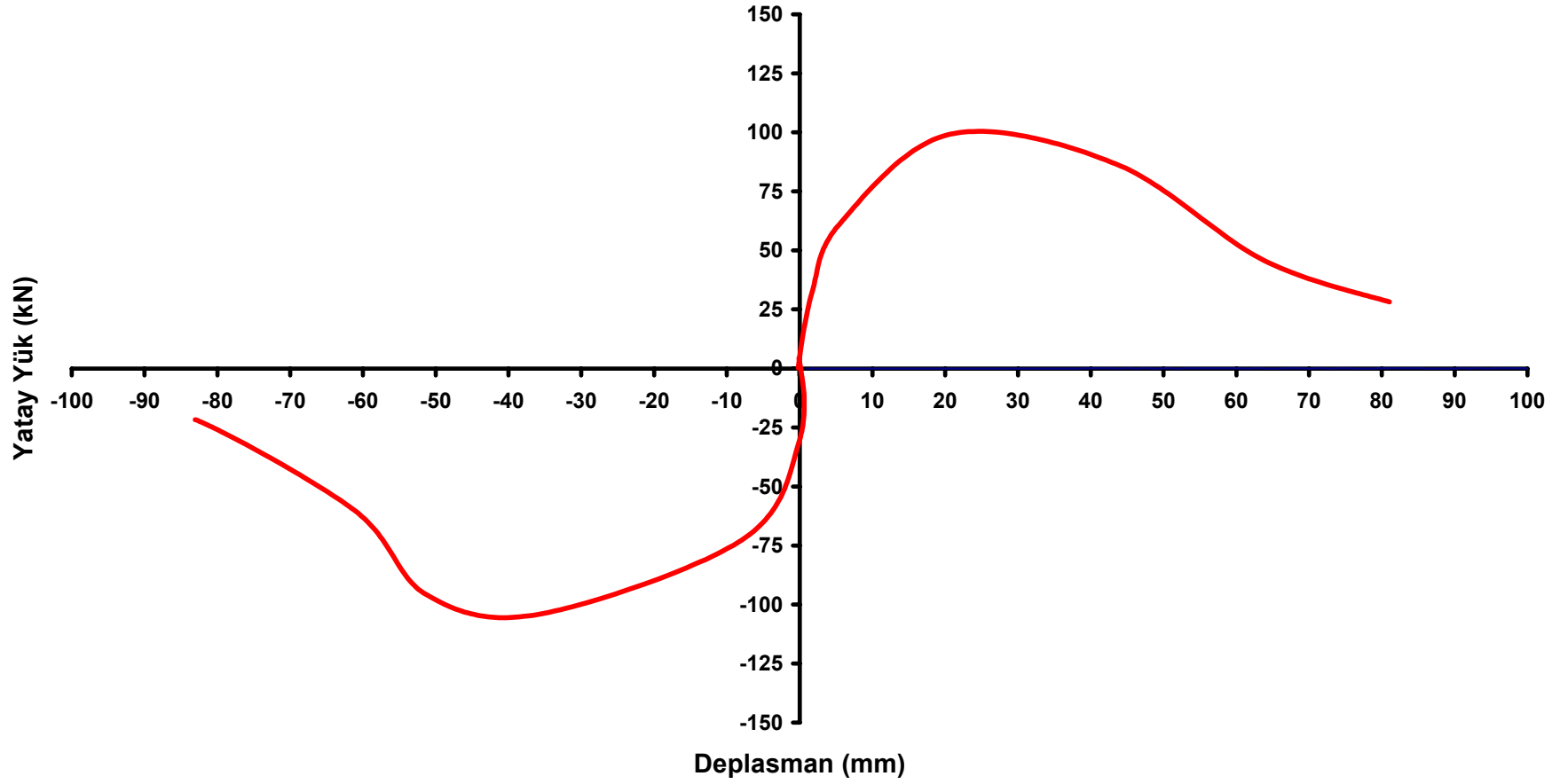


**Deney No 6**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



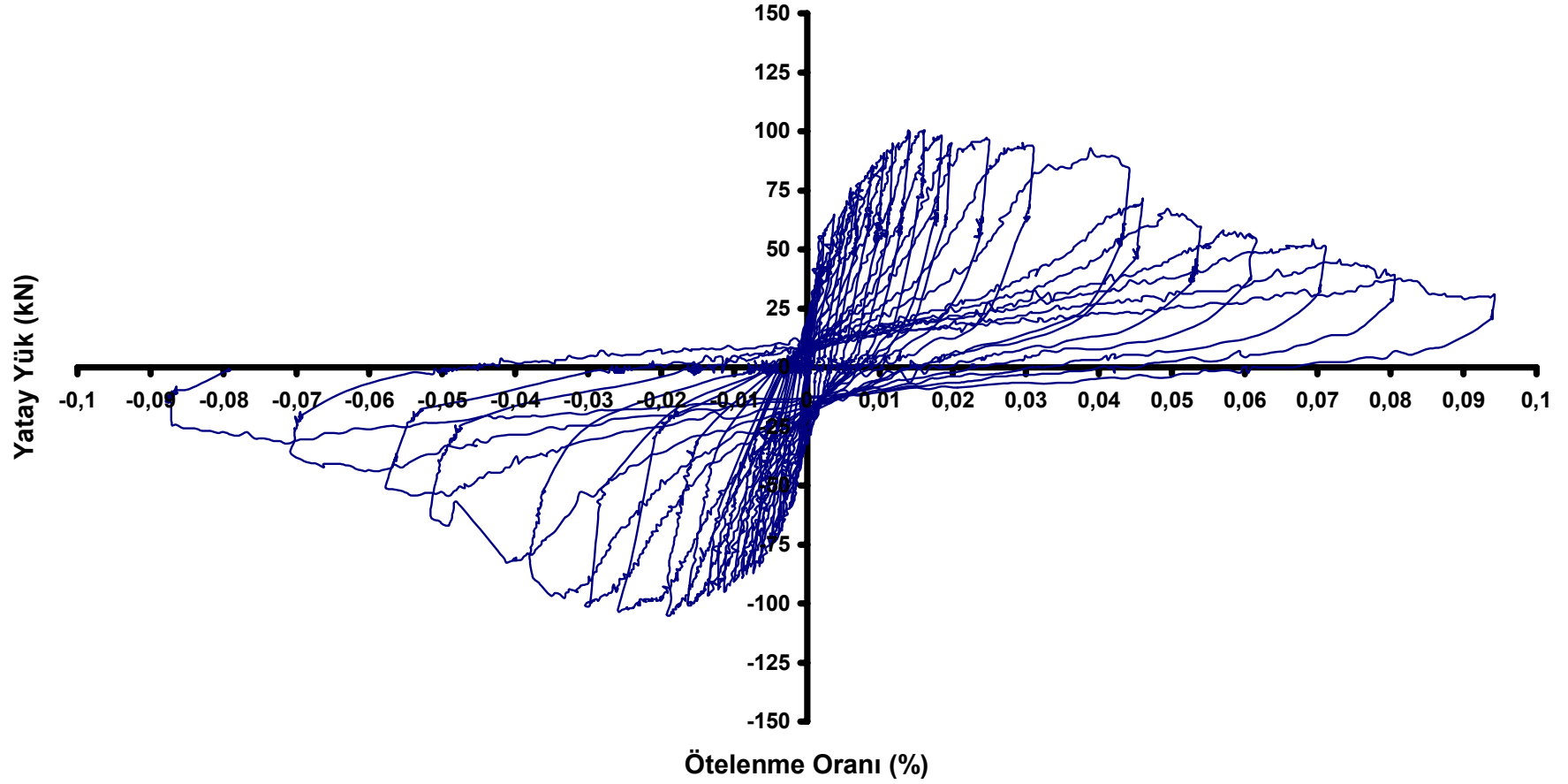
Şekil 5.6.17 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



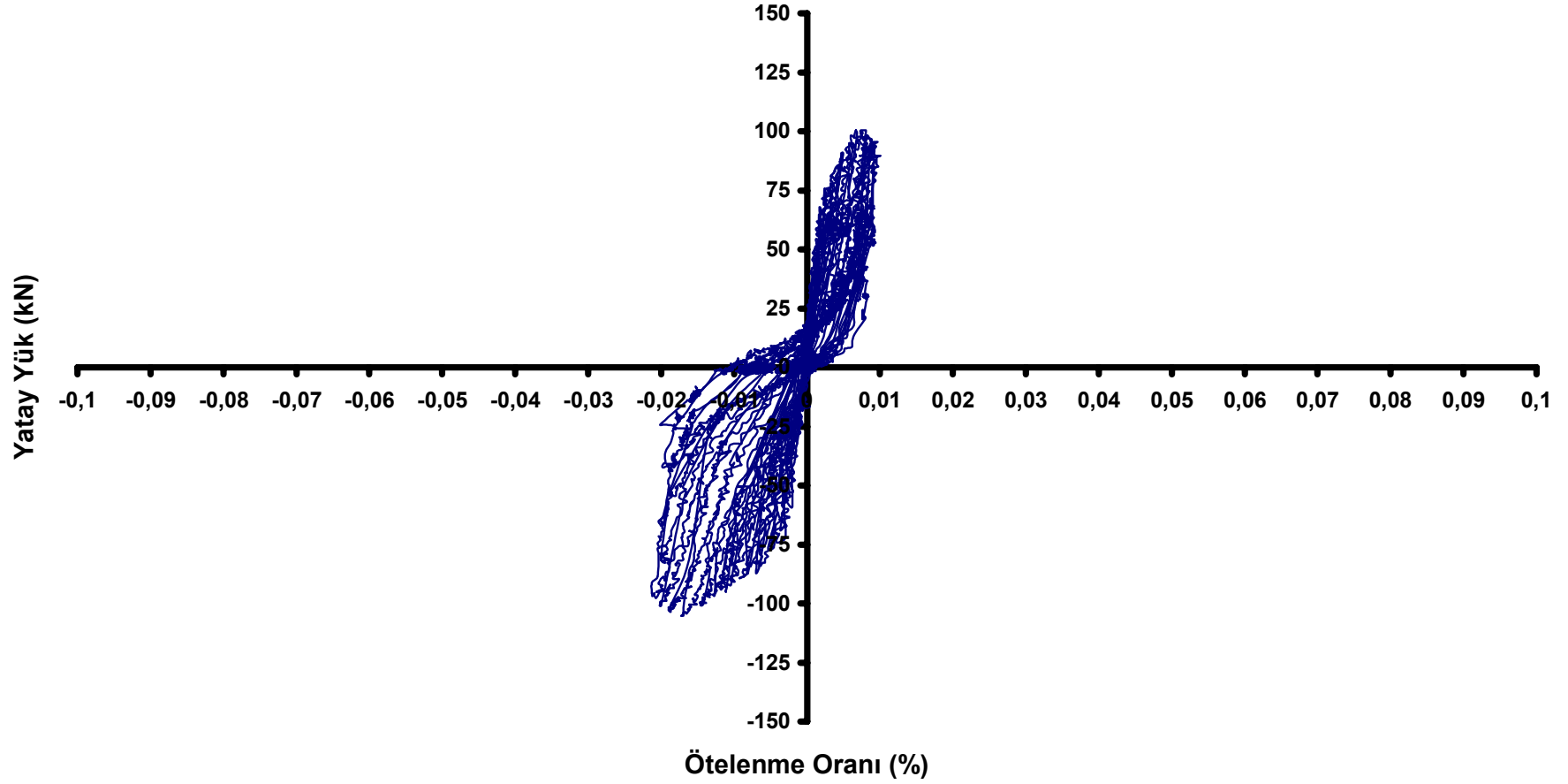
Şekil 5.6.18 6 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



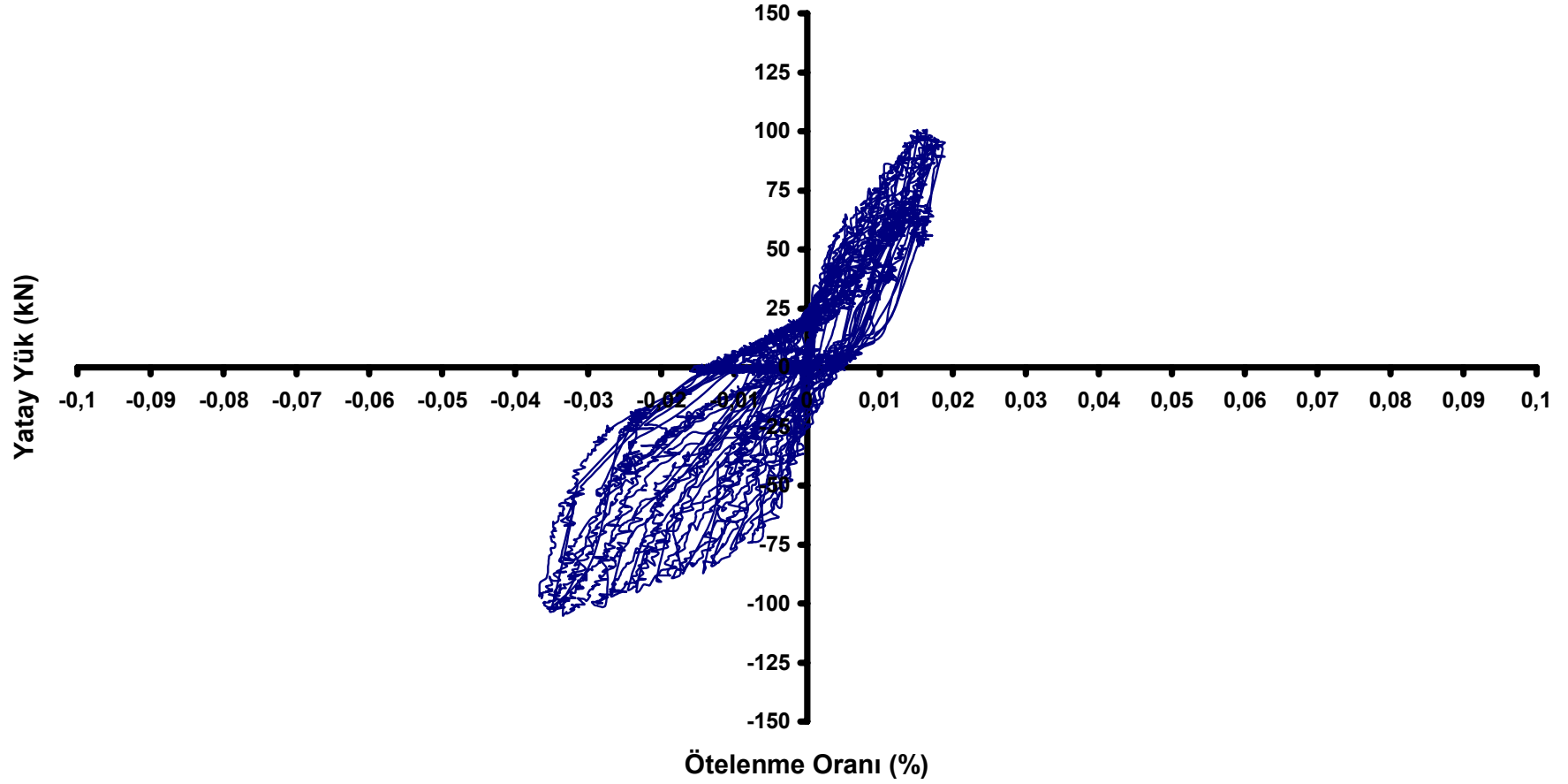
Şekil 5.6.19 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



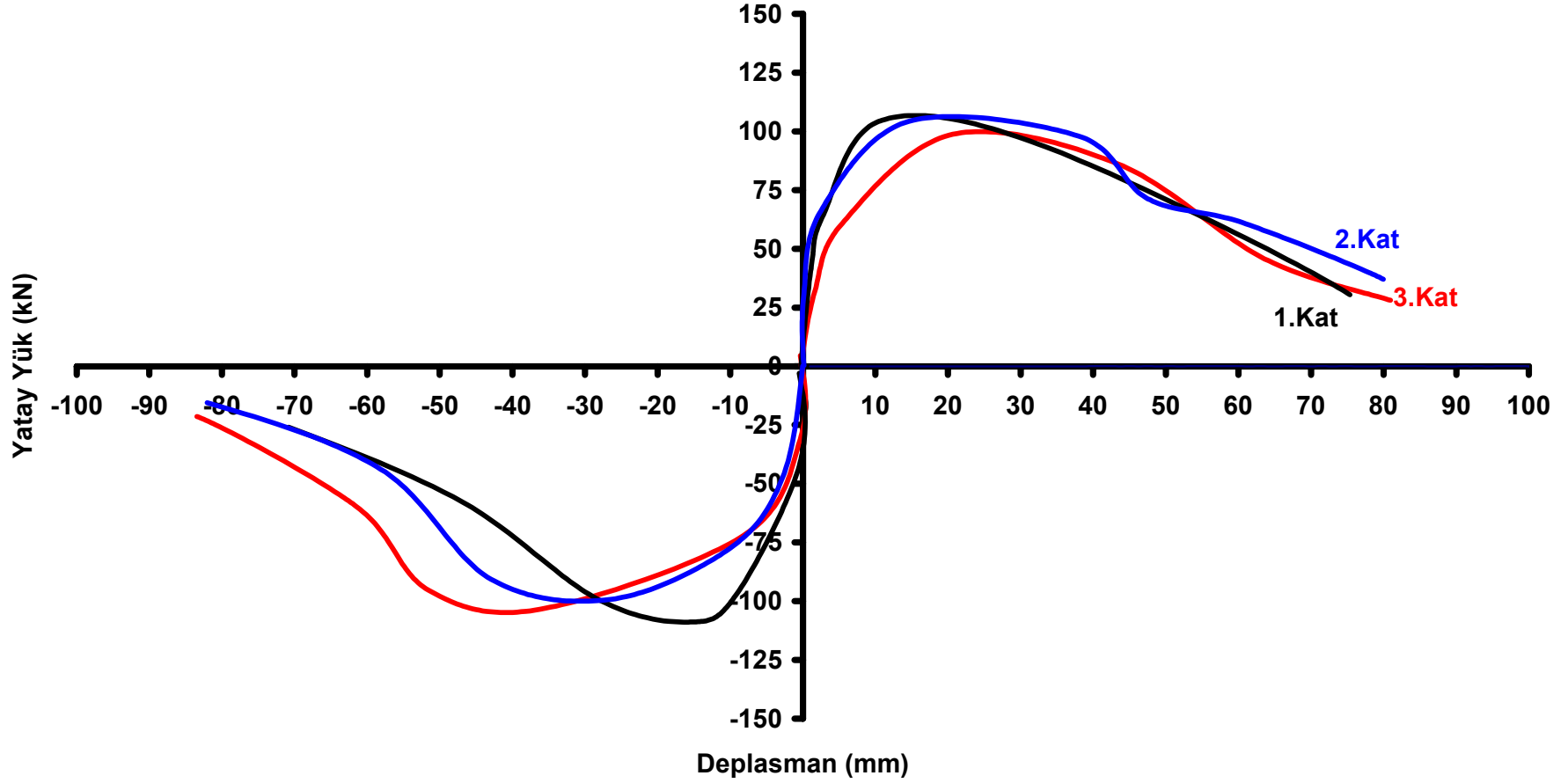
Şekil 5.6.20 6 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.6.21 6 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 6**  
**Yatay Yük-1., 2. ve 3.Kat Deplasmanları Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.6.22 6 nolu deney numunesinin yatay yük-1., 2. ve 3. kat deplasmanları zarf eğrisi grafikleri

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 100 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 30 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 8,20 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 31800 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Sistemin iki bölgesine uygulanan kuşaklamalar sistemde en çok dış kolonların hasar görmesine sebep olmuş, kolonlarda yatay kesme çatlakları oluşmuştur. Bunun sebebi, kenar açıklıkların kuşaklamaların etkisi ile perde davranışı göstermesi ve doğal olarak en dışta bulunan kolonların hem yüksek miktarda basınç hem de oluşan kesme kuvvetinin etkisini karşılamada zorlanmasıdır.

Şekil 5.6.22’de verilen grafikte 2.kat deplasman değeri ankraj sıyrılma değerine kadar 1. ve 3. katlara ait deplasman değerlerinin arasında seyrederken, ankrajların sıyrılması sonucu ortaya çıkan yumuşak kat davranışından ötürü 2. ve 3. kat deplasmanlarını 30 mm deplasman değerinden sonra çakışmıştır

Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerinin çok üzerine ulaştırmış, sistem rijitleşmiştir. Ankrajların sıyrılana kadar sünek şekilde davranan sistem sonrasında hızla dış kolonların ezilmesinin de etkisiyle göçmeye gitmiştir.

### 5.7. 7 nolu Deney (07DT1C12TKHD)

7 nolu deney numunesi T1 donatı düzenine sahiptir. Etriyeler birleşim bölgesinde sıklaştırılmış ve devam ettirilmiştir. Etriyelerin uçları  $135^\circ$  kancalı olarak imal ve montaj edilmiştir. Beton kalitesi C12'dir. Numune ABYYHY 1998 hükümlerinde verilen donatı düzenini sağlamaktadır.

Bu deney ABYYHY 1998 hükümleri ışığında depreme dayanıklı olarak donatılandırılmış, beton kalitesi düşük numunelerde tüm açıklıklarda kuşaklamann etkinliğini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.7.1'de verilmiş olup . Şekil 5.7.2 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



5.7.1 Şekil 07DT1C12TKHD numunesinin deney öncesi görünümü

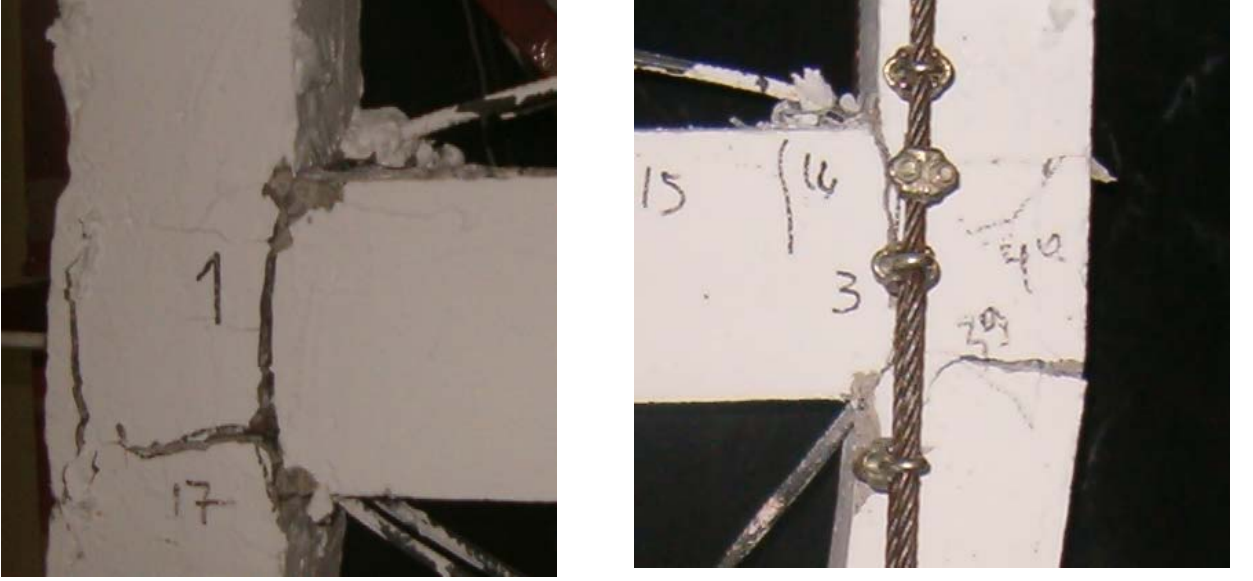




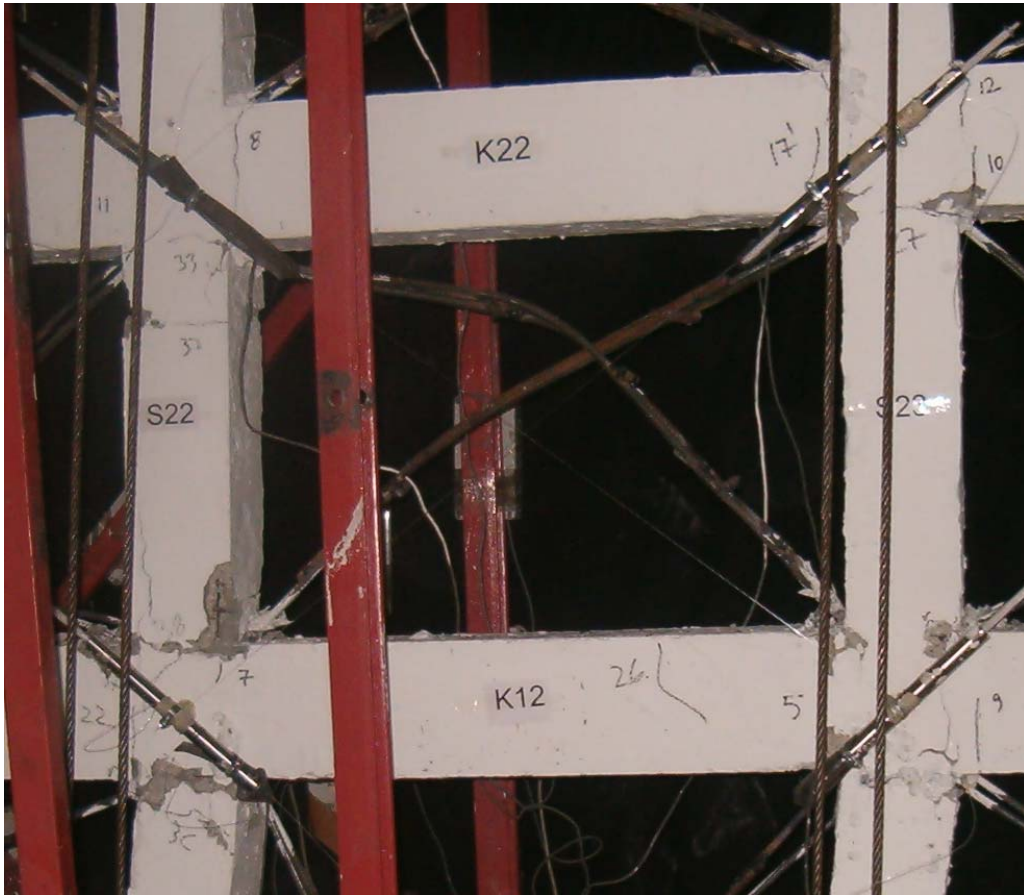
Şekil 5.7.2 7 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



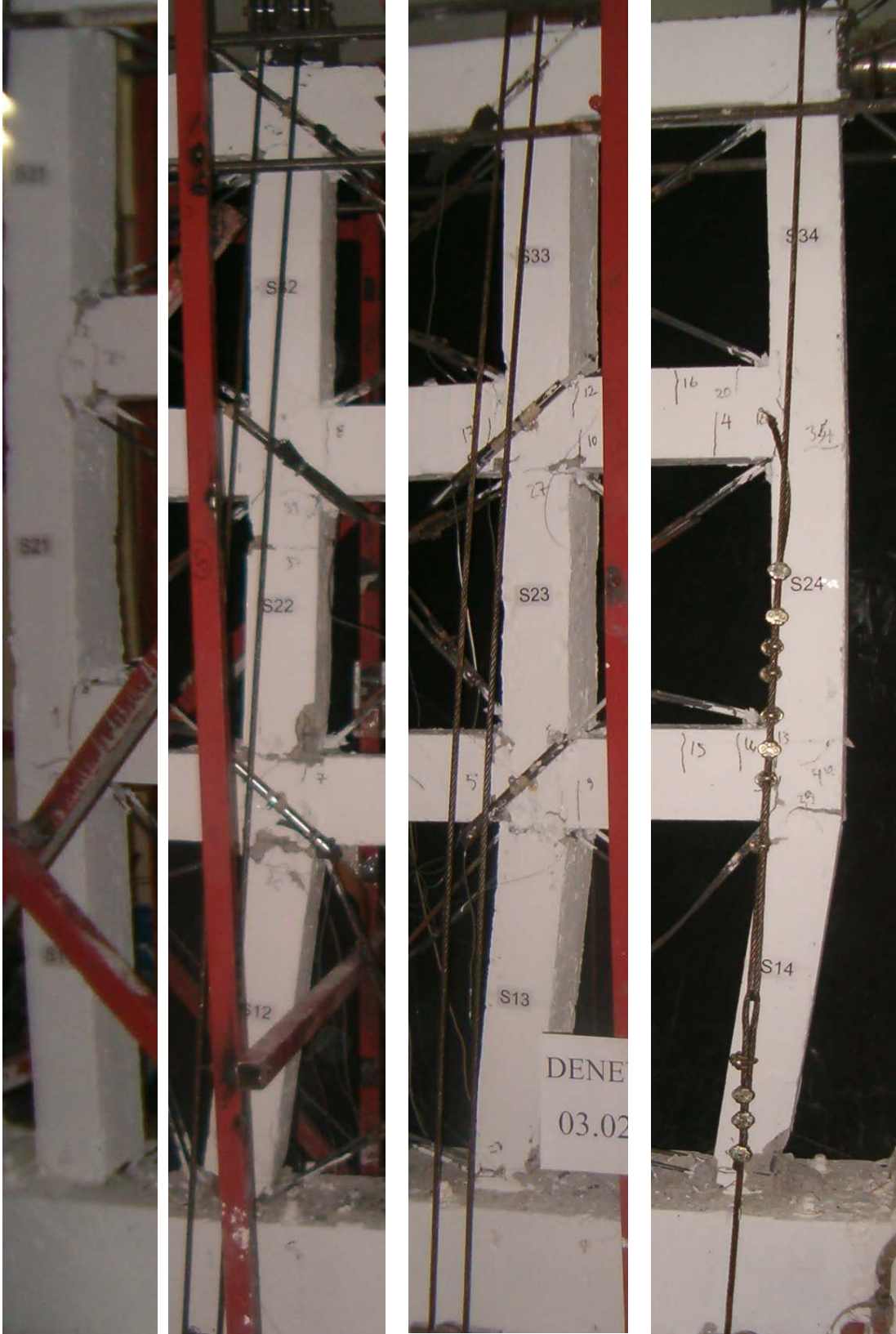
Şekil 5.7.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.7.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmasından ötürü parçalanmamış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.7.5 7 nolu deney numunesinin orta kolon kiriş birleşimleri (Çapraz kesme çatlakları oluşmamıştır)



Şekil 5.7.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlak +8 mm deplasman değerinde K11 kirişi solunda oluşmuştur. +10 mm deplasman değerinde ise K21 kirişi solunda 2 nolu çatlak oluşmuştur. -10 mm deplasman değerinde ise K13 kirişi sağ altında 3 nolu, K23 sağ altında 4 nolu, K12 kirişi sağında 5 nolu, K13 kirişi sağında 6 nolu çatlaklar oluşmuştur. + 12 mm deplasman değerinde K12 kirişi solunda 7 nolu , K22 kirişi solunda 8 nolu çatlaklar oluşmuştur. -12 mm deplasman değerinde K13 solunda 9 nolu, K23 solunda 10 nolu çatlaklar oluşmuştur. ±14 mm deplasman değerinde ise K23 solunda 11 nolu çatlak oluşmuştur. +16 mm deplasman değerinde K21 sağında 12 nolu çatlak, -16 mm deplasman değerinde ise K23 kirişi solunda 13, 14, 15 nolu çatlaklar K23 kirişi solunda oluşmuştur. ± 18 mm deplasman değerinde ise K23 sağında 16 nolu ve K22 sağında 17 nolu çatlak oluşmuştur. ± 22 mm deplasman değerinde K23 sağında 18 nolu, K33 sağında 19 nolu çatlaklar oluşmuştur. ± 24 mm deplasman değerinde K23 sağında 20 ve 21 nolu çatlaklar oluşmuştur. +26 mm deplasman değerinde K11 sağında 22 nolu çatlak oluşmuştur. ±26 mm deplasman değerinde K21 solunda 23 ve 24 nolu çatlaklar oluşmuştur. ± 30 mm deplasman değerinde K12 sağında 25 , K12 sağında 26 nolu çatlaklar oluşmuştur. ±35 mm deplasman değerinde S23 üstünde 27 nolu çatlak oluşmuştur. ± 45 mm deplasman değerinde S14 altında 28 nolu, S13 altında 29, S12 altında 30 ve S11 altında 31 nolu çatlaklar oluşmuştur. ± 50 mm deplasman değerinde ise S22 üstünde 32 ve 33 nolu, S24 üzerinde 34 nolu çatlaklar oluşmuştur. ±60 mm deplasman değerinde ise S12 üstünde 35 ve 36, K11 sağında 37, S22 altında 38 nolu çatlaklar oluşmuştur. Kolonlarda ezilme başlamıştır. ± 70 mm deplasman değerinde ise S14 üstünde 39 ve 40 nolu çatlak oluşmuş, S14 kolonu altı tamamen ezilmiştir. S 11 kolonu ise tabandan ayrılmıştır.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.7.13 ile Şekil 5.7.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.7.7 7 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu



Şekil 5.7.8 7 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon kiriş birleşimleri



Şekil 5.7.9 7 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması



Şekil 5.7.10 7 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar



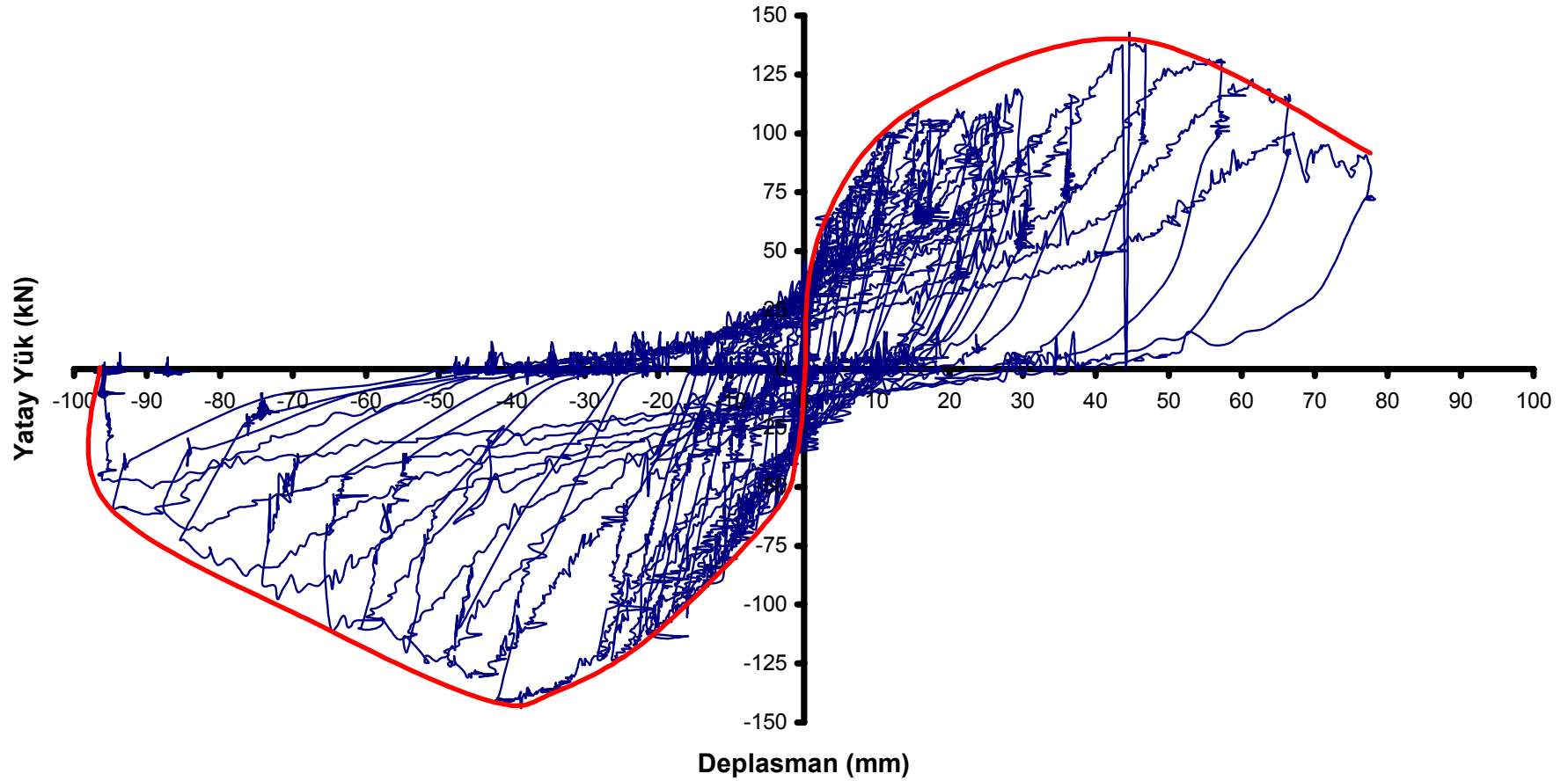


Şekil 5.7.11 7 nolu deney numunesinde kolon ile temel arasında açılma



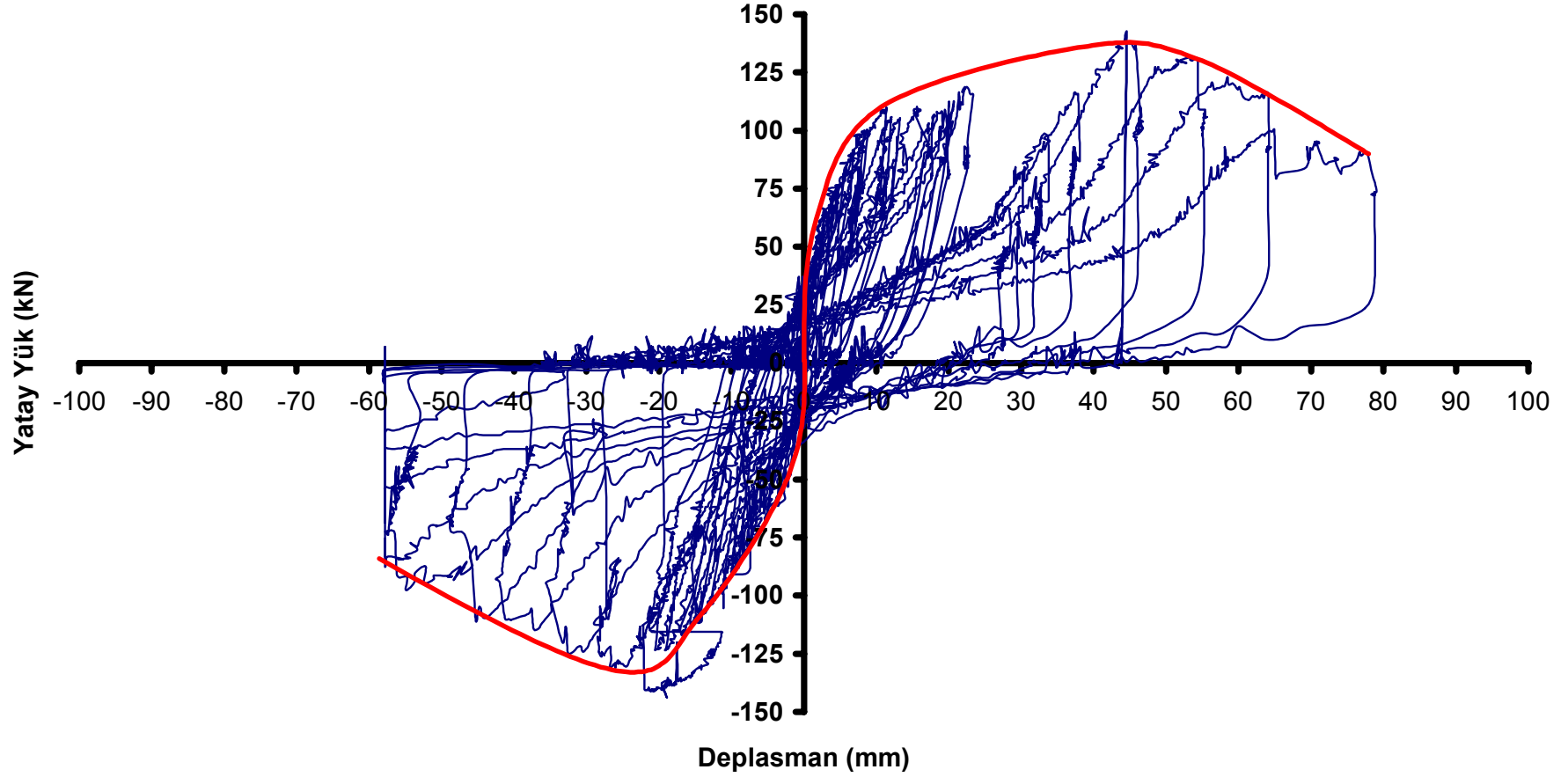
Şekil 5.7.12 Kolon tabanında ezilmeler

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği**



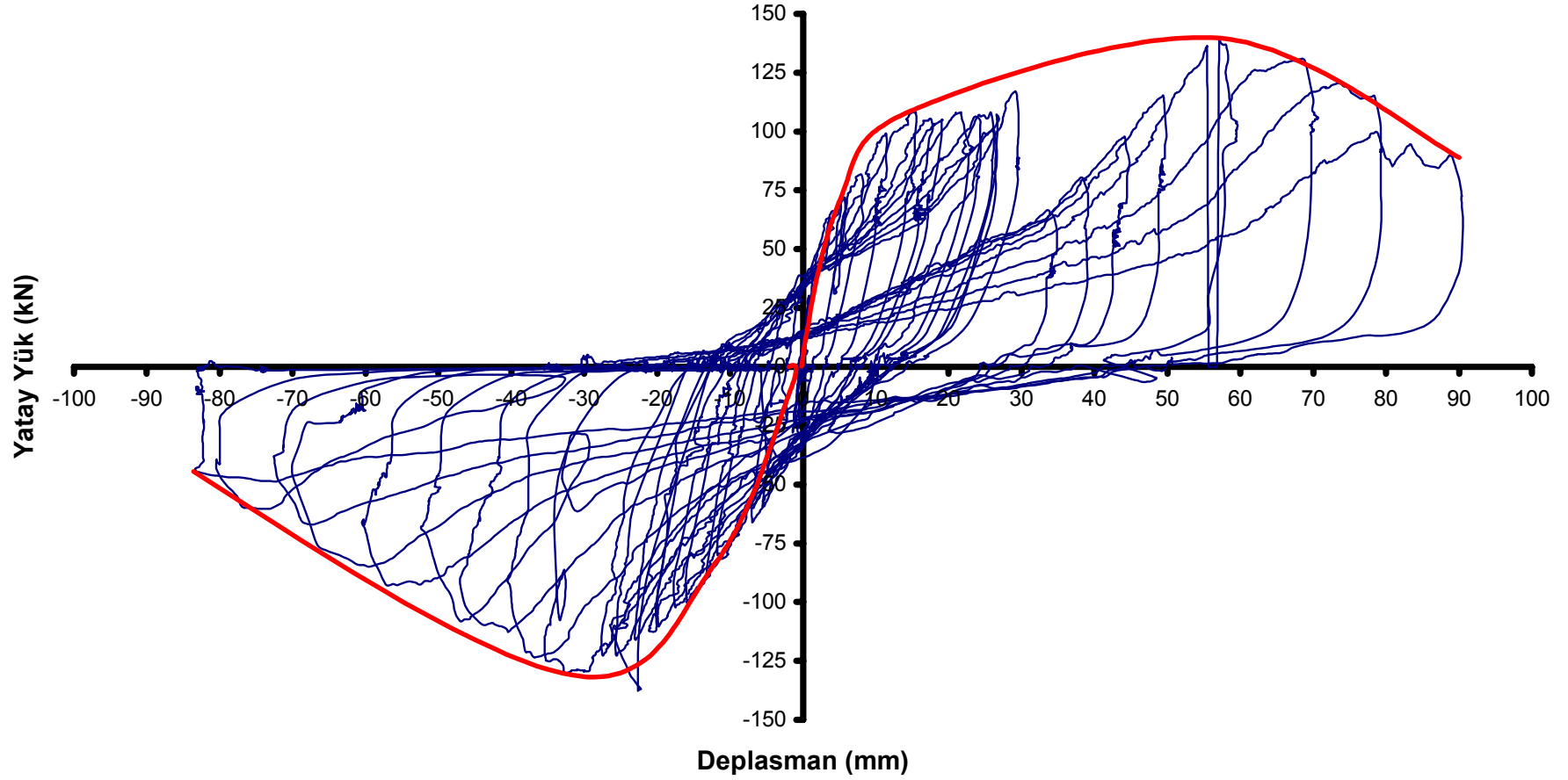
Şekil 5.7.13 7 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasman Grafiği**



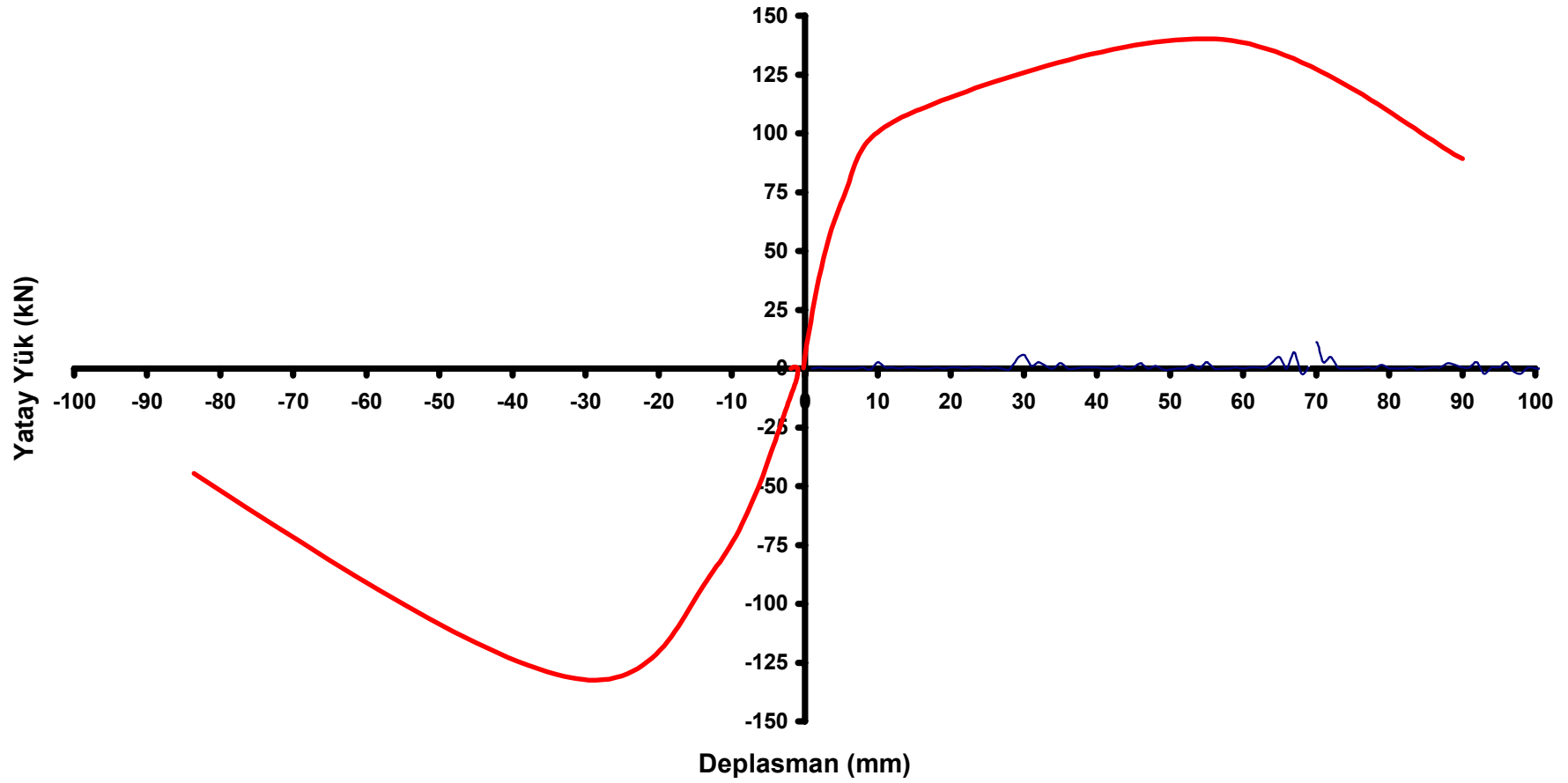
Şekil 5.7.14 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasman Grafiği**



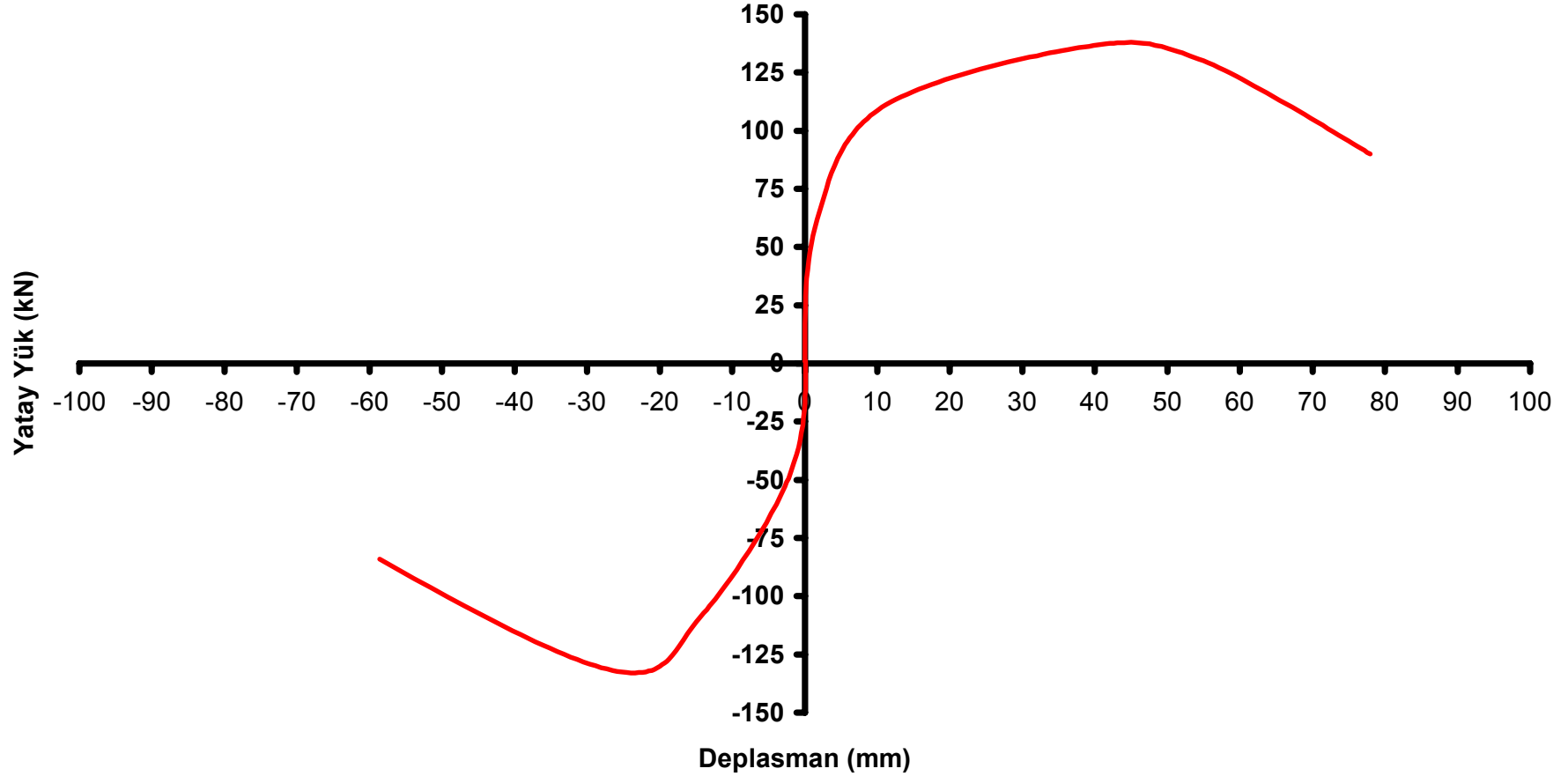
Şekil 5.7.15 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



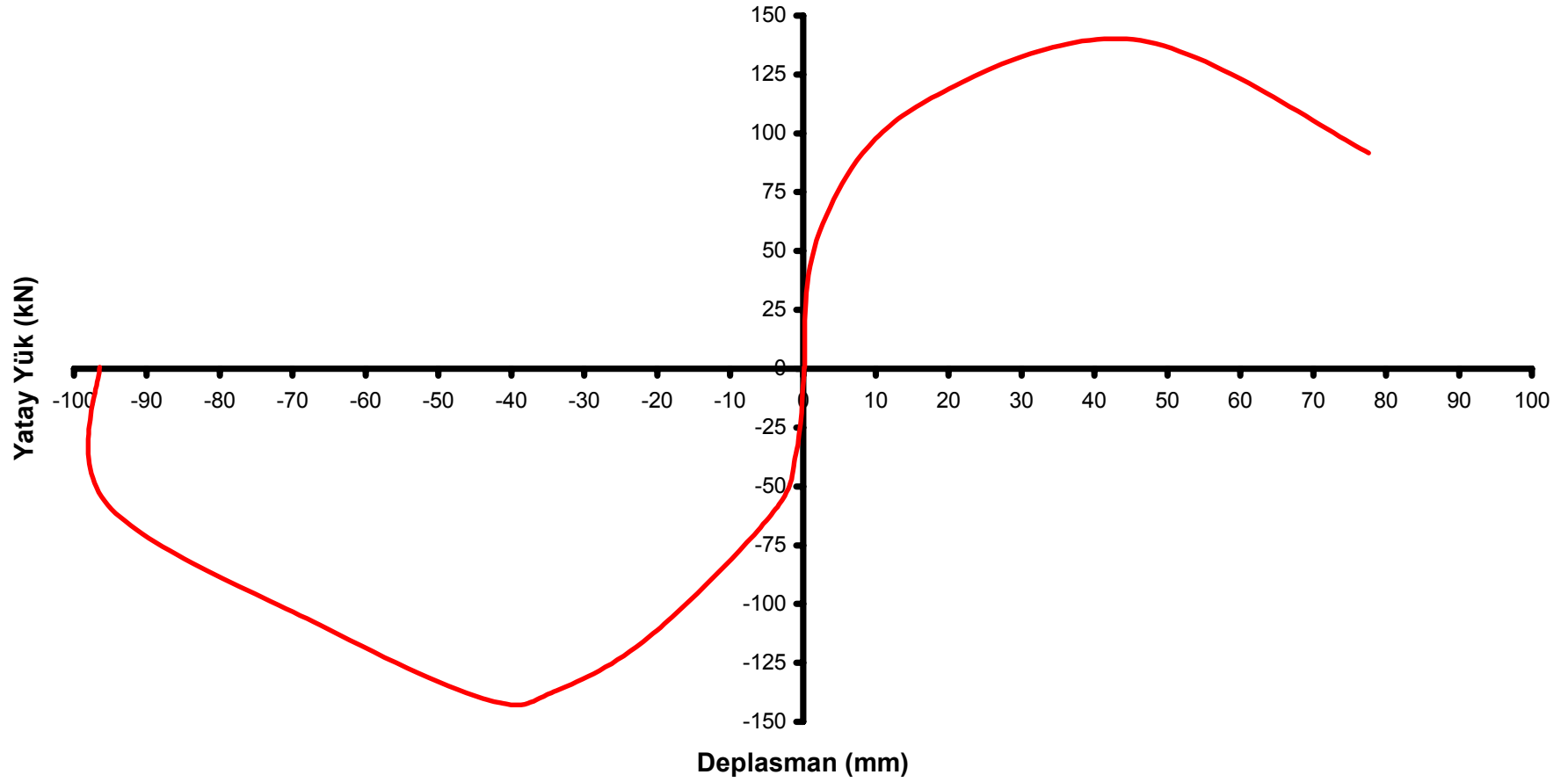
Şekil 5.7.16 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



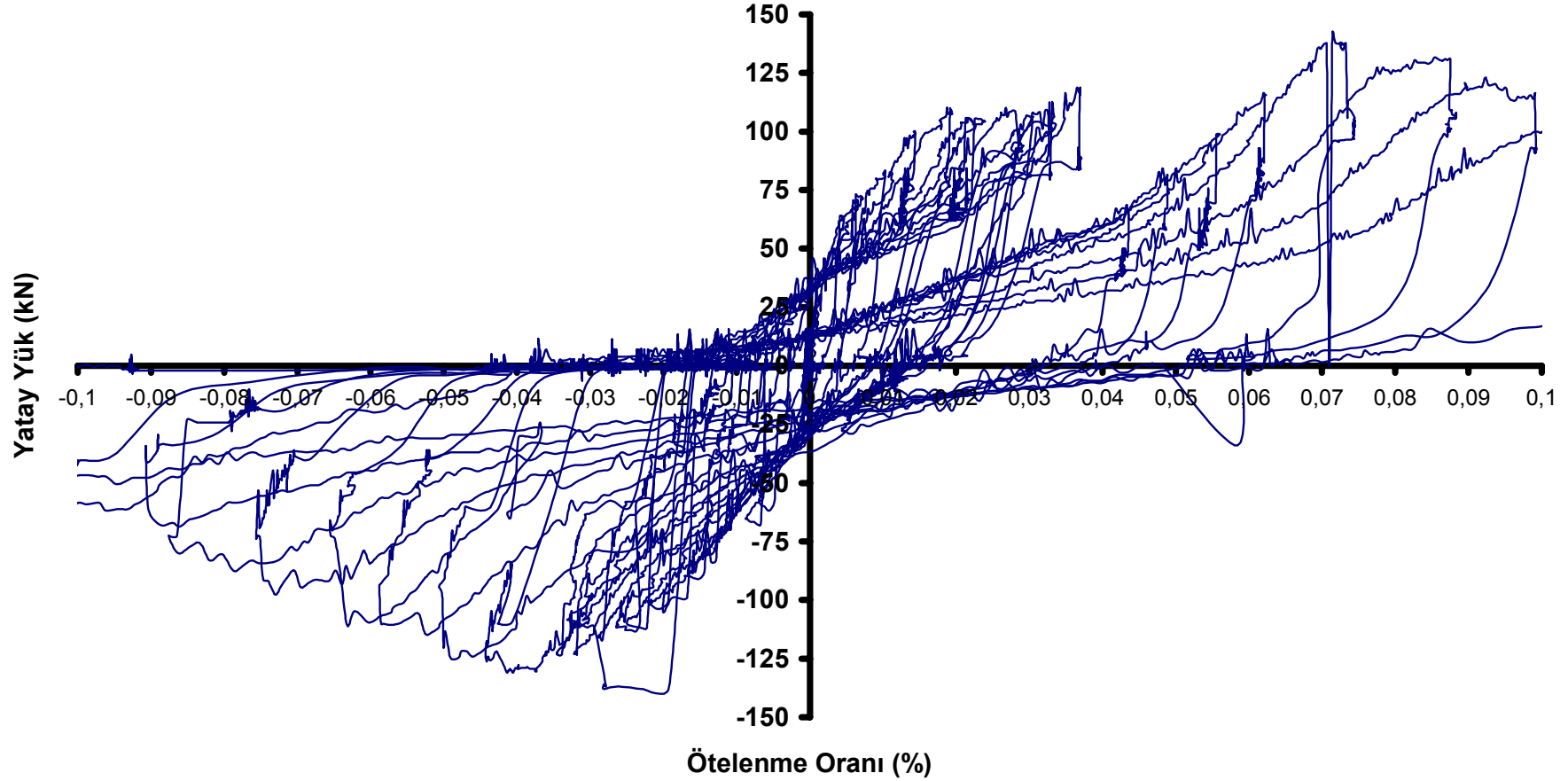
Şekil 5.7.17 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.7.18 7 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

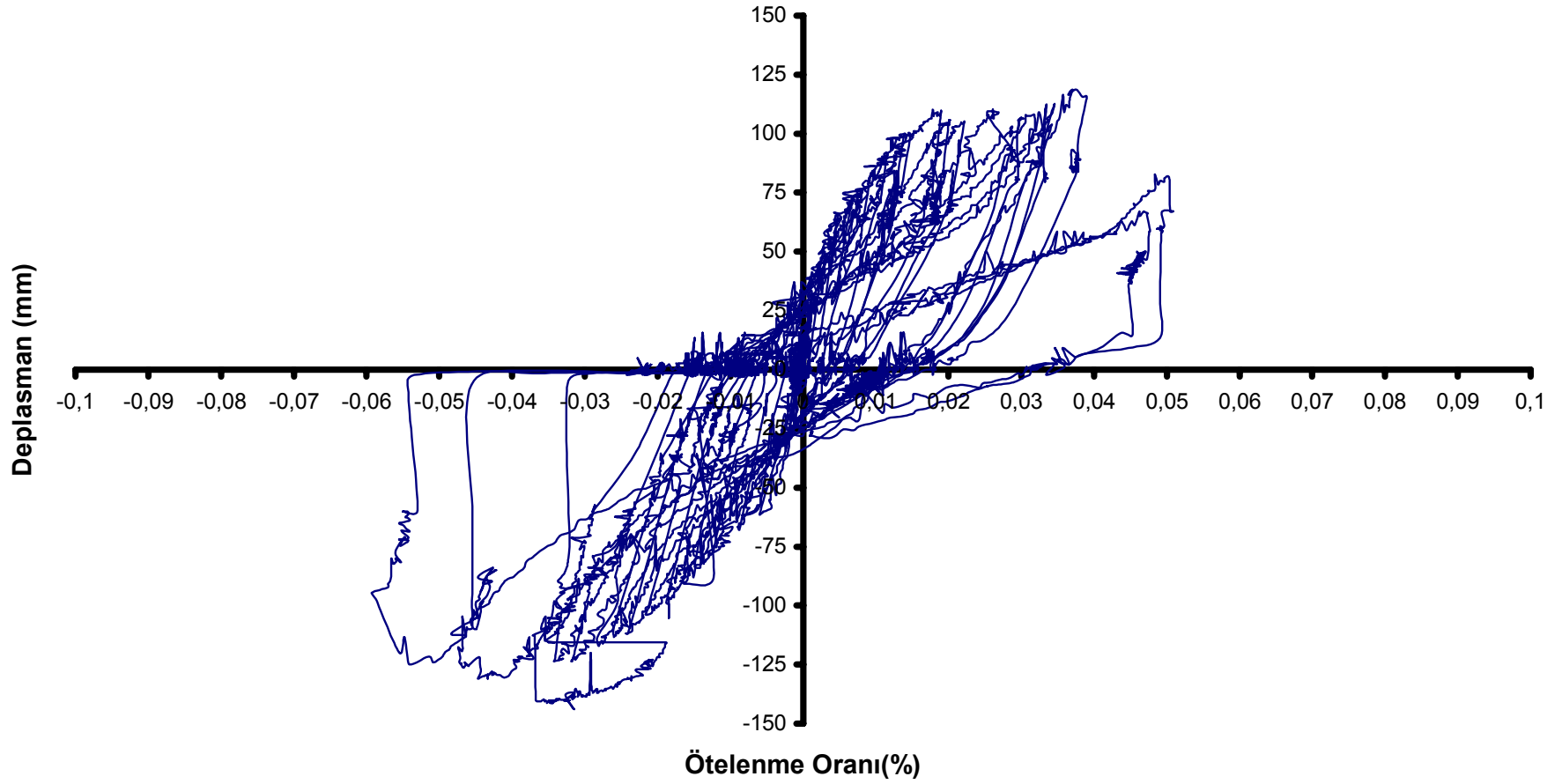
**Deney No 7**  
**Yatay Yük-1. Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.7.19 7 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

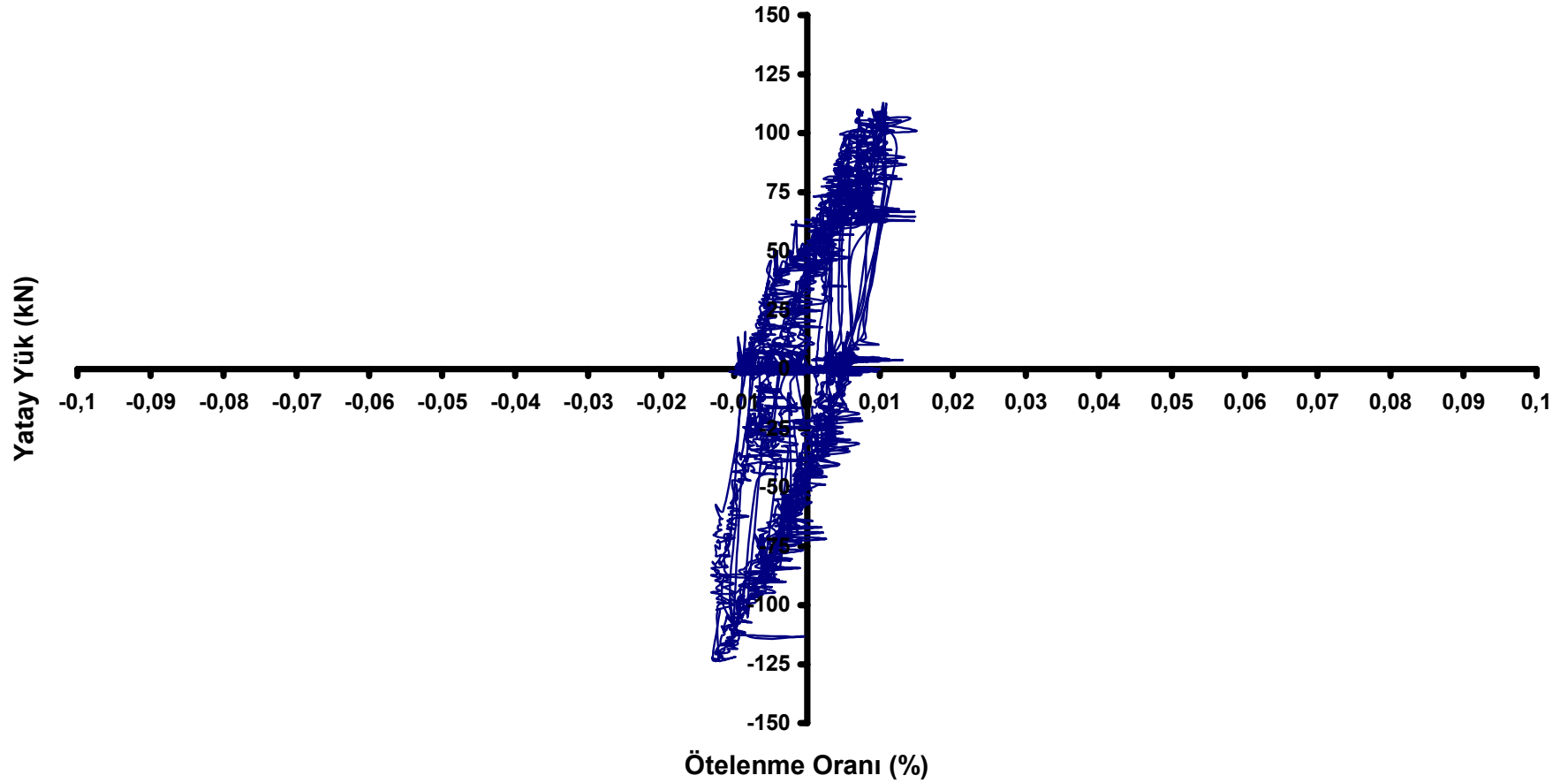


**Deney No 7**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



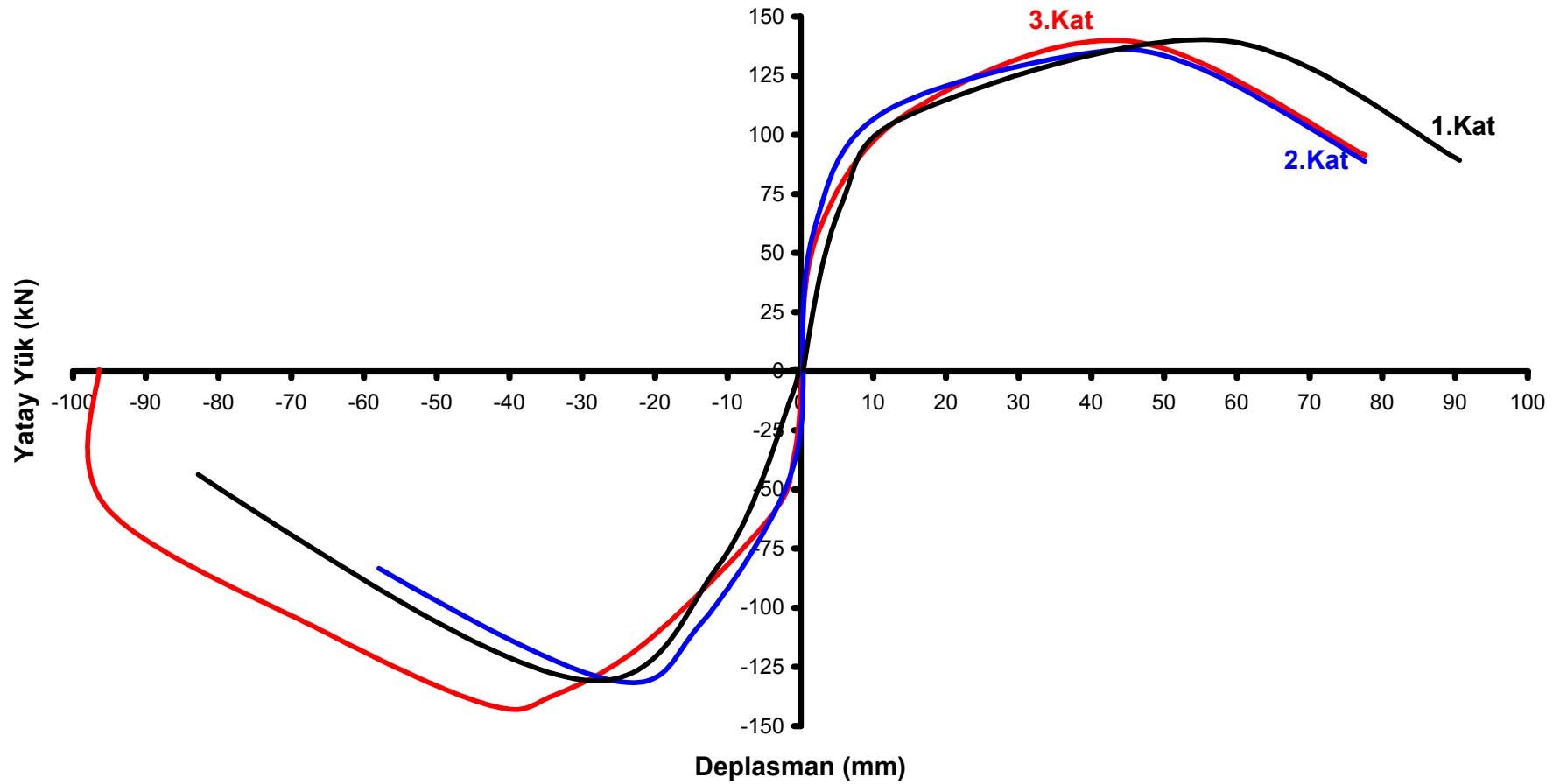
Şekil 5.7.20 7 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.7.21 7 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 7**  
**Yatay Yük-1., 2. ve 3. Kat Deplasmanları Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.8.22 7 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2. ve 3 kat deplasmanları zarf eğrisi grafikleri

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 150 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 50 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 11,50 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 39125 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Sistemin tüm açıklıklarına uygulanan kuşaklamalar sistemin bir bütün rijit eleman olarak davranmasına sebep olmuştur. Bu davranış sonucunda yatay yük kapasitesi artmış, hasarlar 2. kat kolon kiriş birleşim bölgesine ulaşmıştır. Alt kat kuşaklamalarının çözülmesi sonucunda sistem ani olarak taşıma gücünü yitirmiş ve yumuşak kat davranışı ön plana çıkmıştır.

Şekil 5.7.22’de verilen grafik irdelendiğinde yumuşak kat davranışına kadar perdeli bir yapı yada konsol bir kiriş gibi en alt katta minimum, en üst katta ise çok daha büyük bir deplasman oluşurken alt kat kuşaklamalarının çözülmesi ile durum tersine dönmüştür.

Sistem sünek, enerji yutan ve deplasman yapabilen bir şekilde göçmeye gitmiştir. Kullanılan kuşaklamalar etkili şekilde çalışmış ve beklenen şekilde 40 mm deplasman değerinde sıyrılarak alt katta devre dışı kalmıştır.

2.kat ankrajları da gevşeme ve sıyrılmaya başlamıştır. Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerinin çok üzerine ulaştırmış, sistem rijitleşmiştir.

### 5.8. 8 nolu Deney (08DT2C12TKHD)

8 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Etriye aralıkları geniş ve etriye uçları 90°'dir. Beton kalitesi C12'dir. Numune yetersiz donatı ve beton kalitesine sahip numunelerin tüm açıklıklarda kuşaklanmasının etkisinin araştırılması amacıyla üretilip test edilmiştir.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.8.1'de verilmiş olup . Şekil 5.8.2 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.

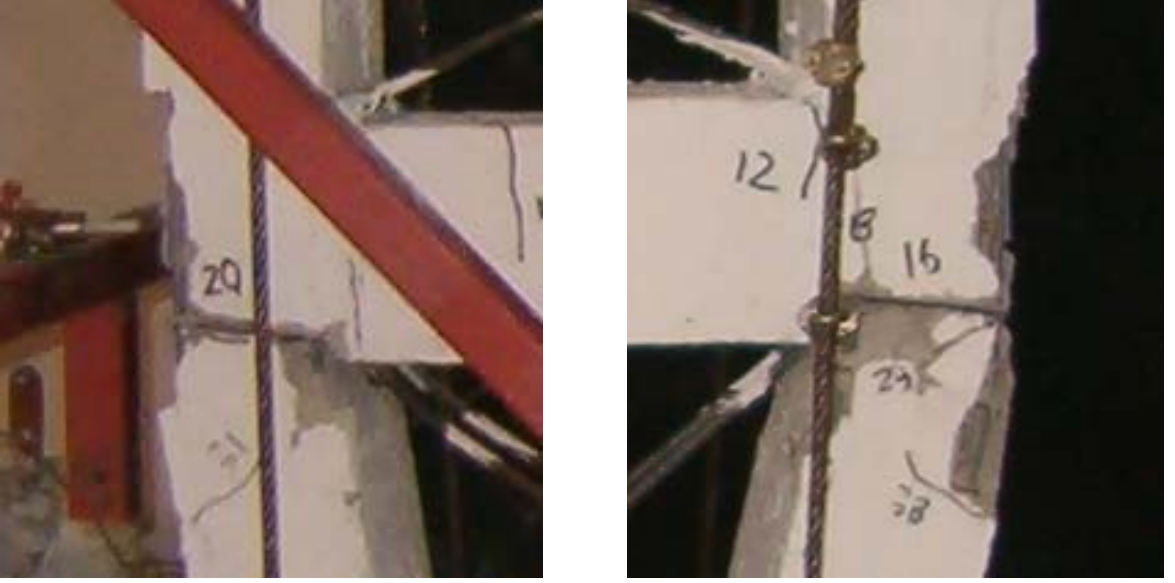


5.8.1 Şekil 08DT2C12TKHD numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 5.8.2 8 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



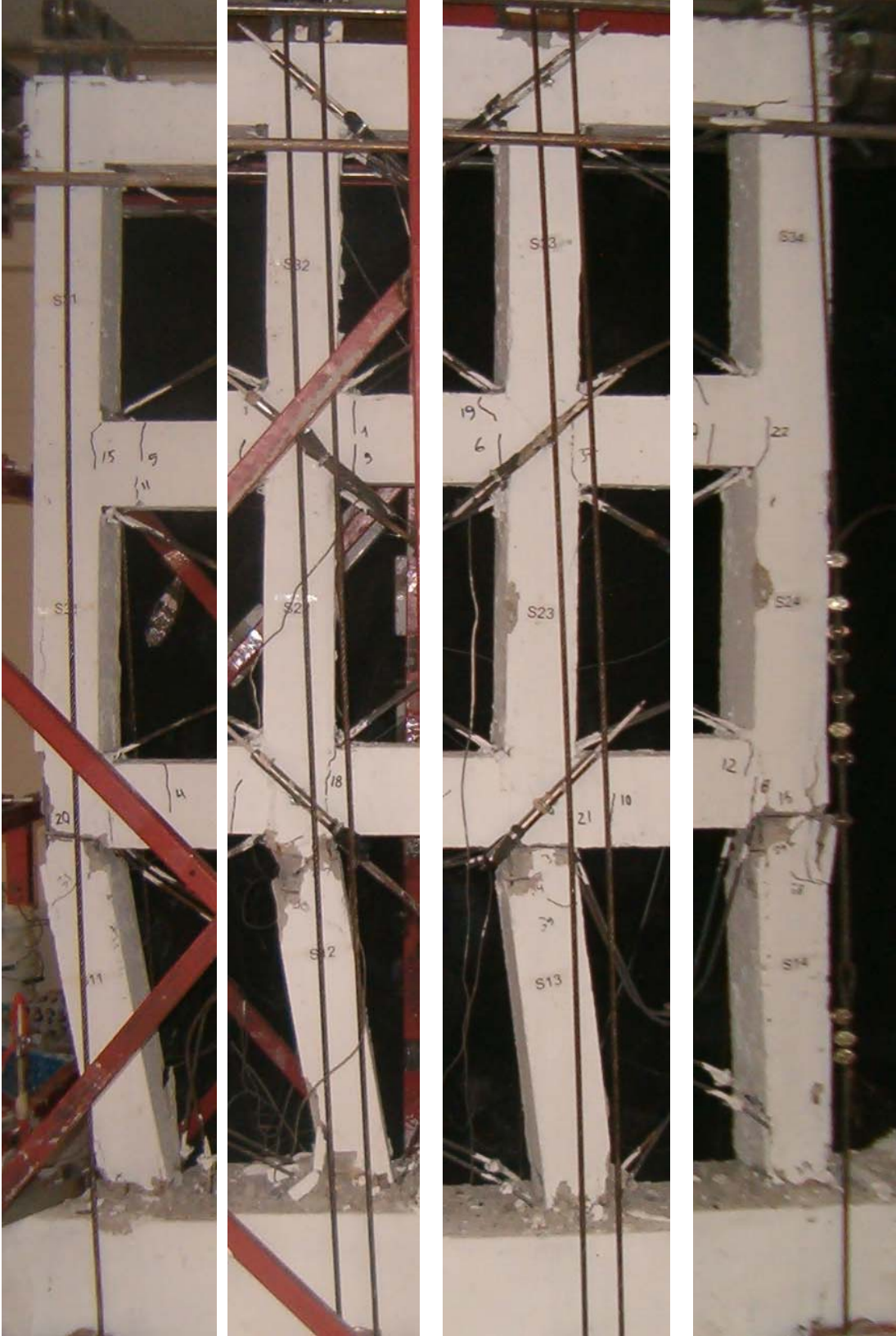


Şekil 5.8.4 Deney sonunda birleşim bölgesinde etriye olmamasından ötürü parçalanmış kenar kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 5.8.5 8 nolu deney numunesinin orta kolon kiriş birleşimleri





Şekil 5.8.6 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 2 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlak +6 mm deplasman değerinde K22 kirişi sağında oluşmuştur. +8 mm deplasman değerinde ise K21 sağında 2 nolu, K11 sağında 3 nolu, K11 solunda 4 nolu, K21 solunda 5 nolu, K22 sağında 6 nolu, K23 sağında 7 nolu, K13 sağında 8 nolu çatlak oluşmuştur.

-8 mm deplasman değerinde ise K22 sol altında 9 nolu, K13 sol altında 10 nolu, K21 sol altında 11 nolu, K12 sağ üstünde 12 nolu, K23 sağ üstünde 13 nolu çatlaklar oluşmuştur.  $\pm 10$  mm deplasman değerinde ise K11 sol üstünde 14 nolu, K21 sol üstünde 15 nolu, S14 üstünde 16 nolu, K23 sağında 17 nolu çatlaklar oluşmuştur. +12 mm deplasman değerinde ise K12 sağında 18 nolu çatlak, K22 sağ üstünde 19 nolu çatlak oluşmuştur.  $\pm 14$  mm deplasman değerinde ise S11 üzerinde 20 nolu, K13 solunda 21 nolu çatlak oluşmuştur.

$\pm 16$  mm deplasman değerinde ise K23 sağında 22 nolu, K33 sağında S34 üstünde 23 nolu, S14 altında 24 nolu, S12 üstünde 25 nolu, S12 altında 26 nolu, S11 altında 27 nolu, S13 altında 28 nolu çatlaklar oluşmuştur.

$\pm 18$  mm deplasman değerinde ise S14 üstünde 29 nolu, S13 üstünde 30 nolu, S13 üstünde 30 nolu ve S11 üstünde 31 nolu, S13 üstünde 32 nolu çatlak, S31 üstünde 33 nolu çatlaklar oluşmuş ve alt kat kolonları mafsallaşmıştır.

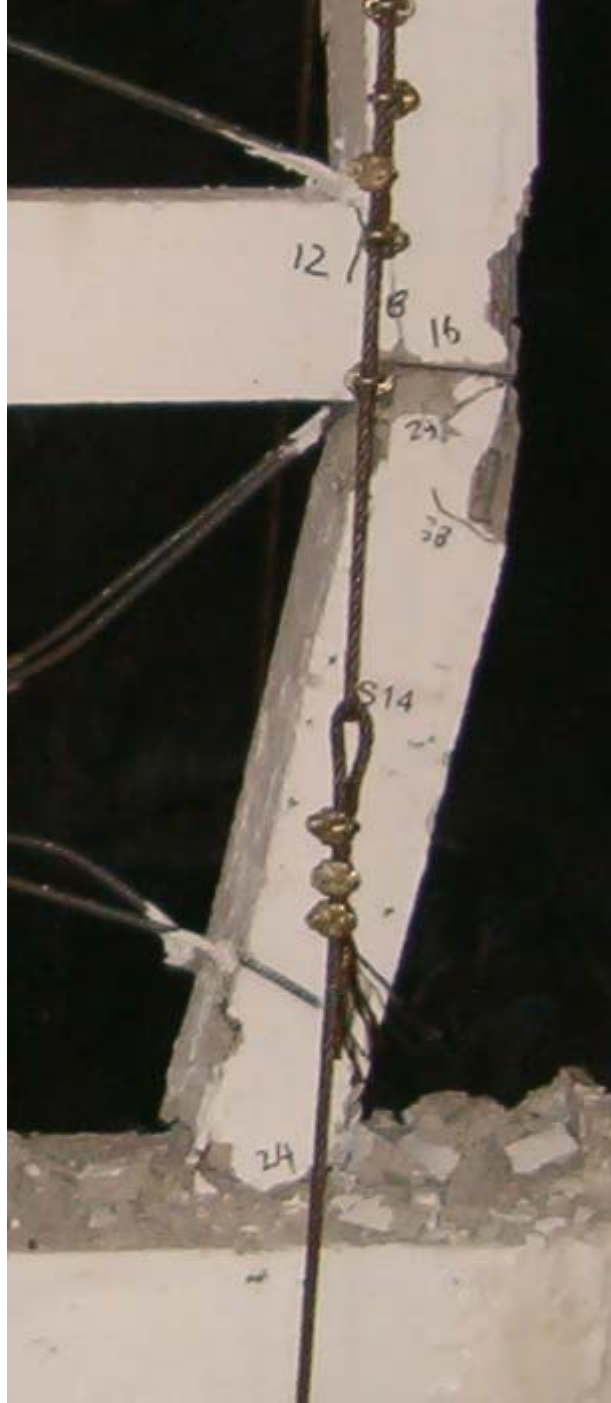
$\pm 20$  mm deplasman değerinde ise S13 altında 34 nolu, çatlak oluşmuştur.

$\pm 25$  mm deplasman değerinde ise Alt kat ankrajları çözülmeye başlamıştır.

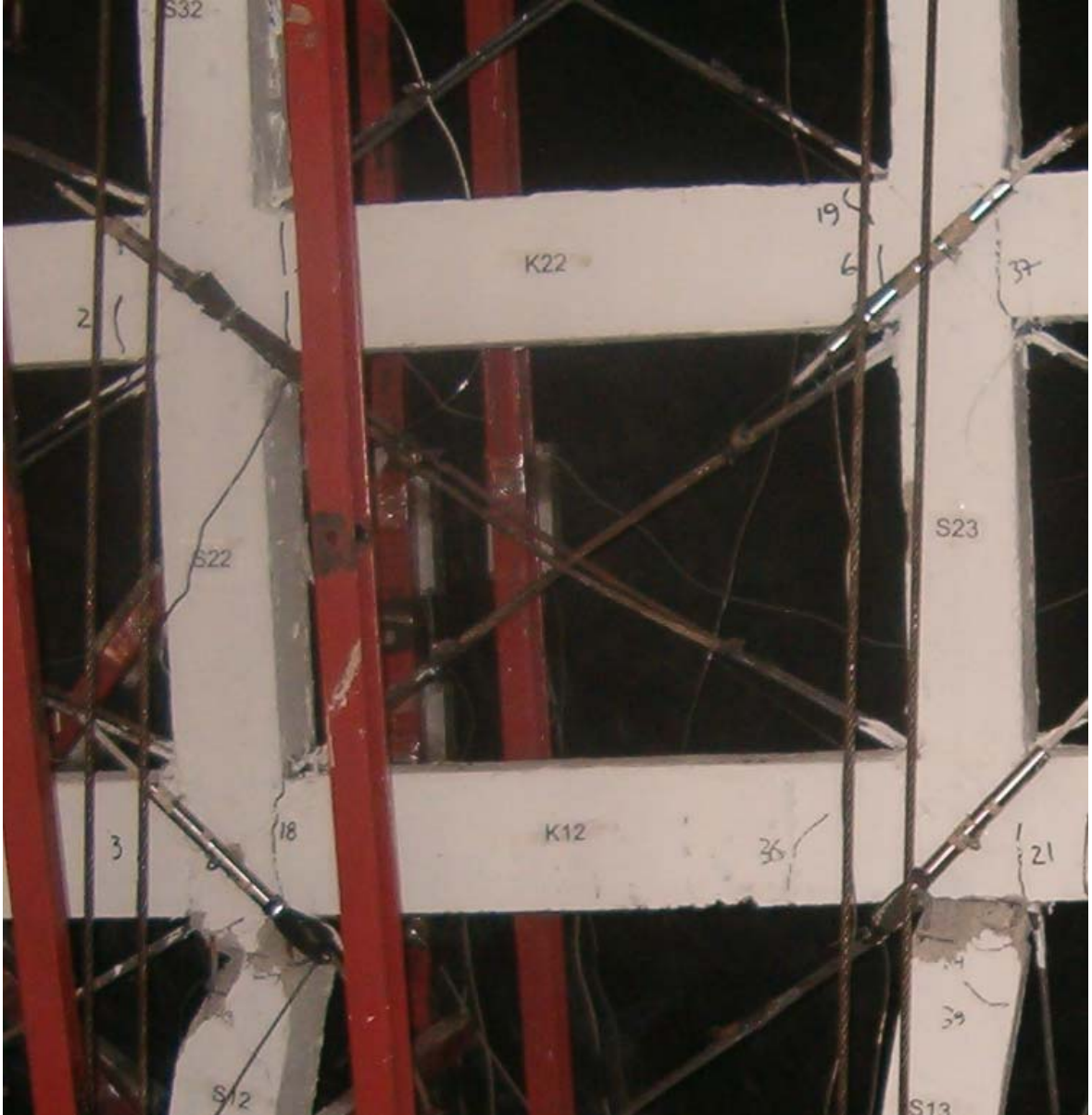
$\pm 45$  mm deplasman değerine kadar Kolon alt ve üstleri tamamen mafsallaşmış, alt kat ankrajları  $\pm 50$  mm deplasman değerinde tamamen sıyrılmıştır.

Deney  $\pm 60$  mm,  $\pm 70$  mm ve  $\pm 80$  mm deplasmanlarda döngüler yapılarak tamamlanmıştır.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.8.13 ile Şekil 5.8.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.8.7 8 nolu deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu



Şekil 5.8.8 8 nolu deney çerçevesi 2.kat orta kolon kiriş birleşimleri



Şekil 5.8.9 8 nolu deney numunesinde yumuşak kat mekanizması



Şekil 5.8.10 8 nolu deney numunesinde çekmeye çalışan ve burkulan kuşaklamalar

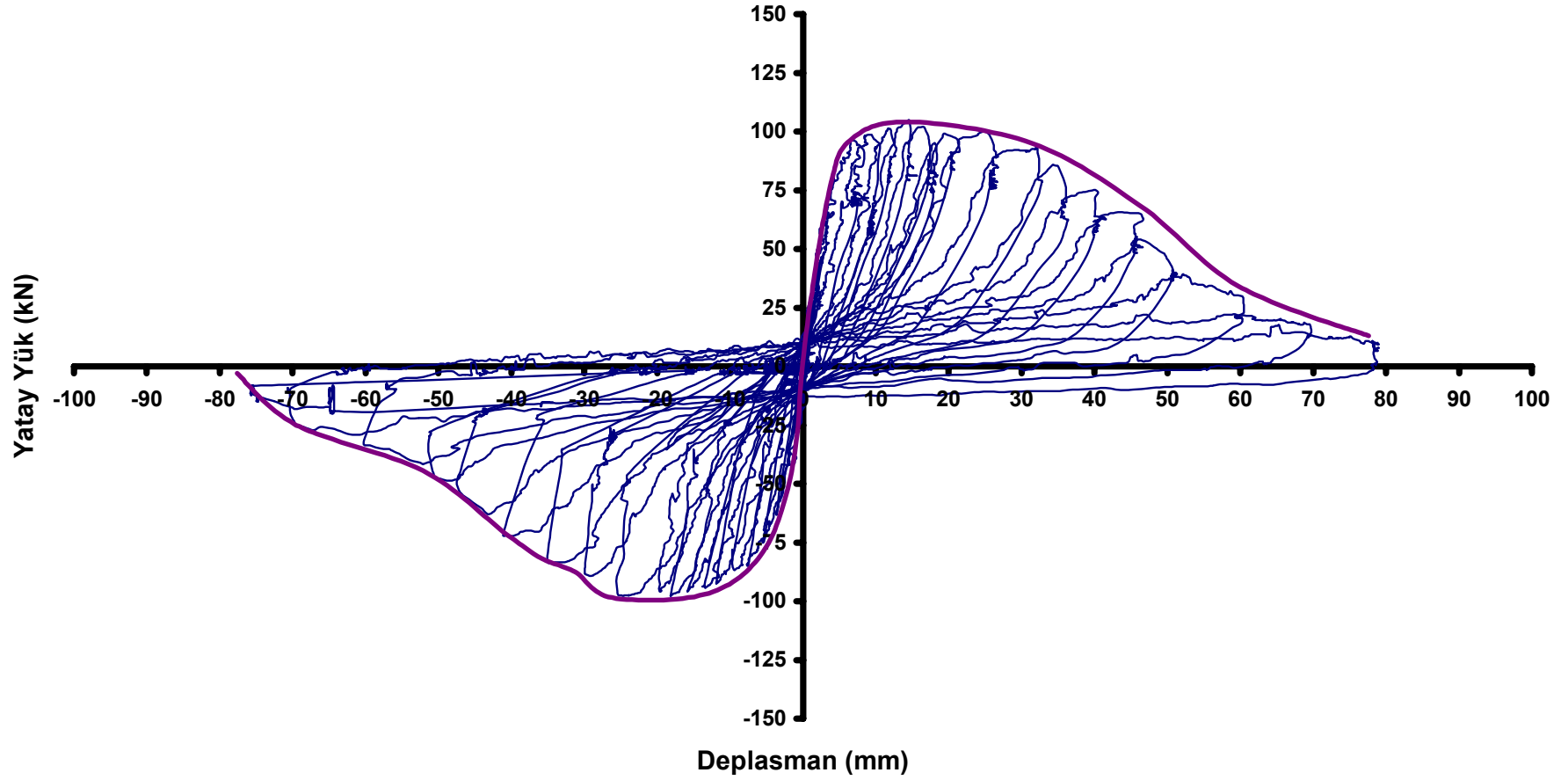


Şekil 5.8.11 8 nolu deney numunesinde 2.kat kirişlerinde hasar oluşumu



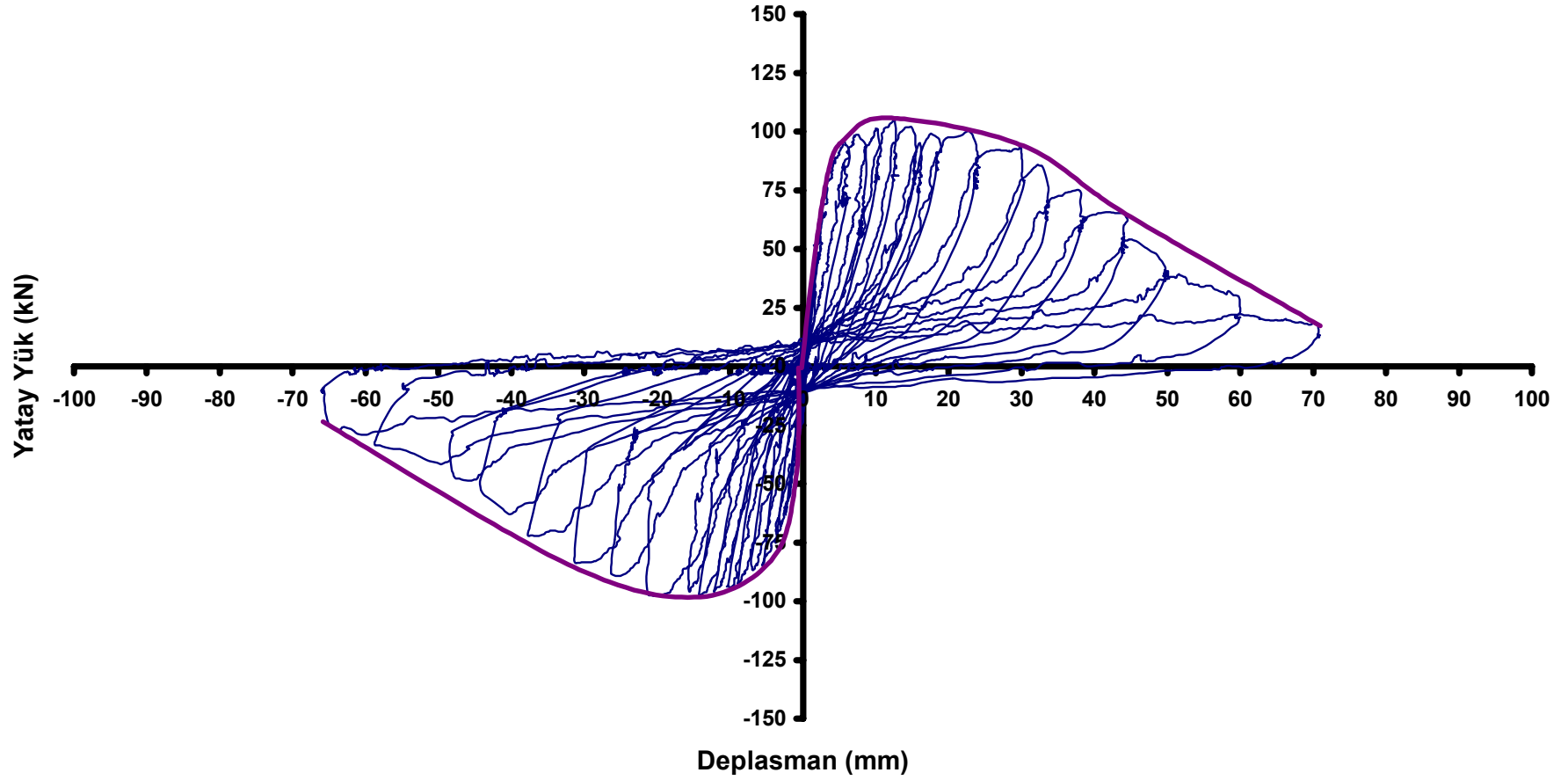
Şekil 5.8.12 Kolon tabanında ezilmeler

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği**



Şekil 5.8.13 8 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

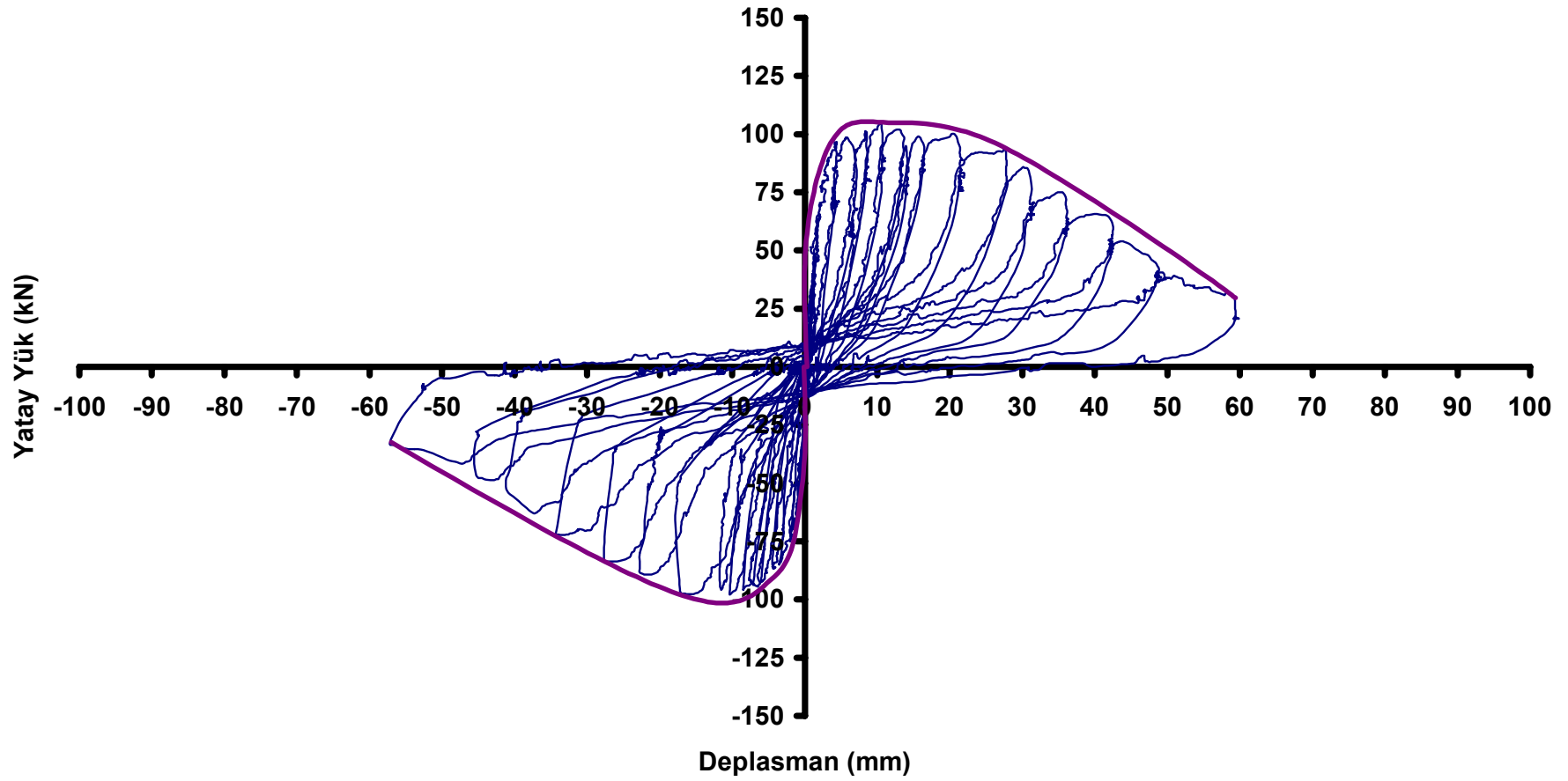
**Deney No 8**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasman Grafiği**



Şekil 5.8.14 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

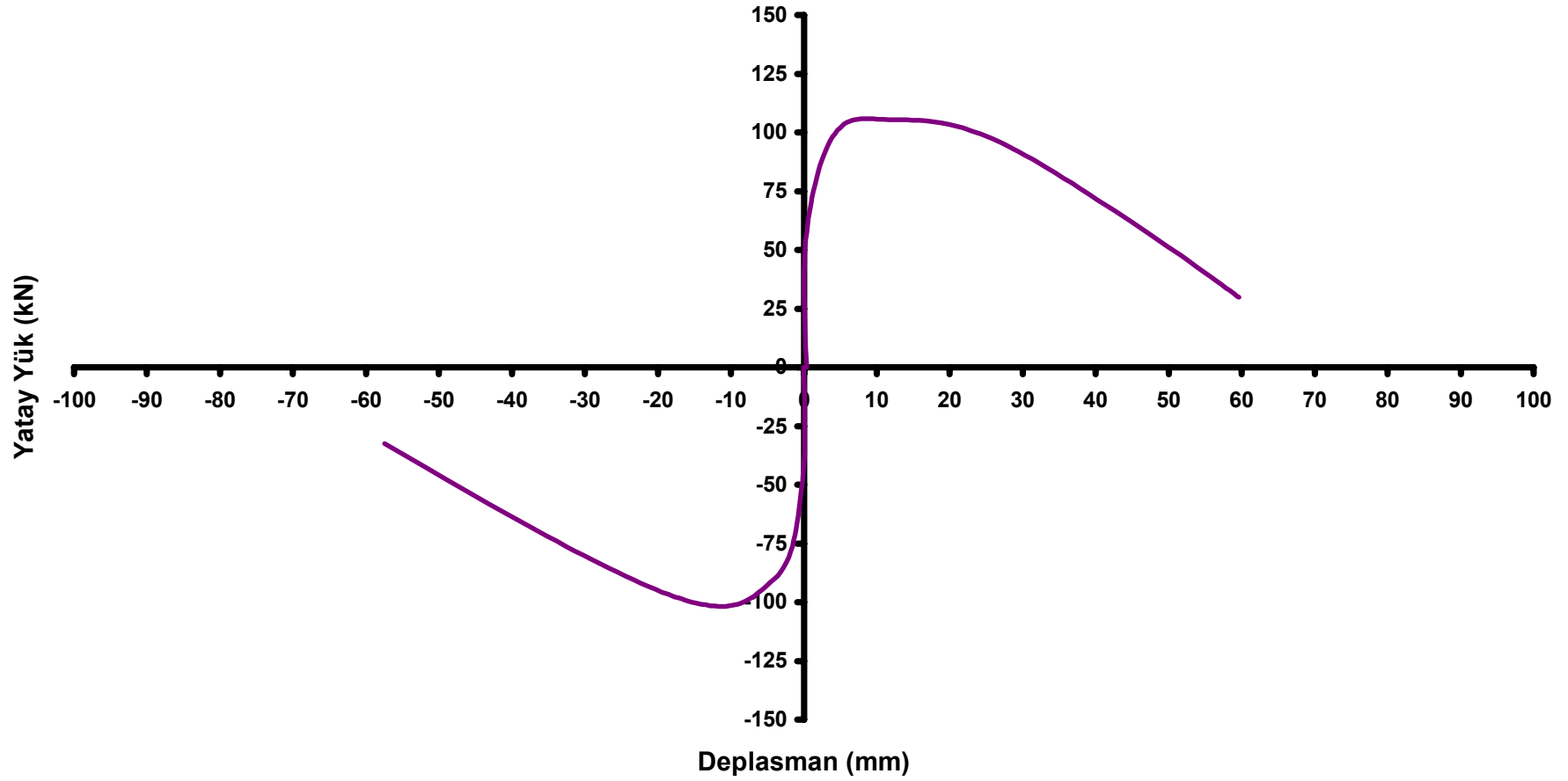


**Deney No 8**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasman Grafiği**



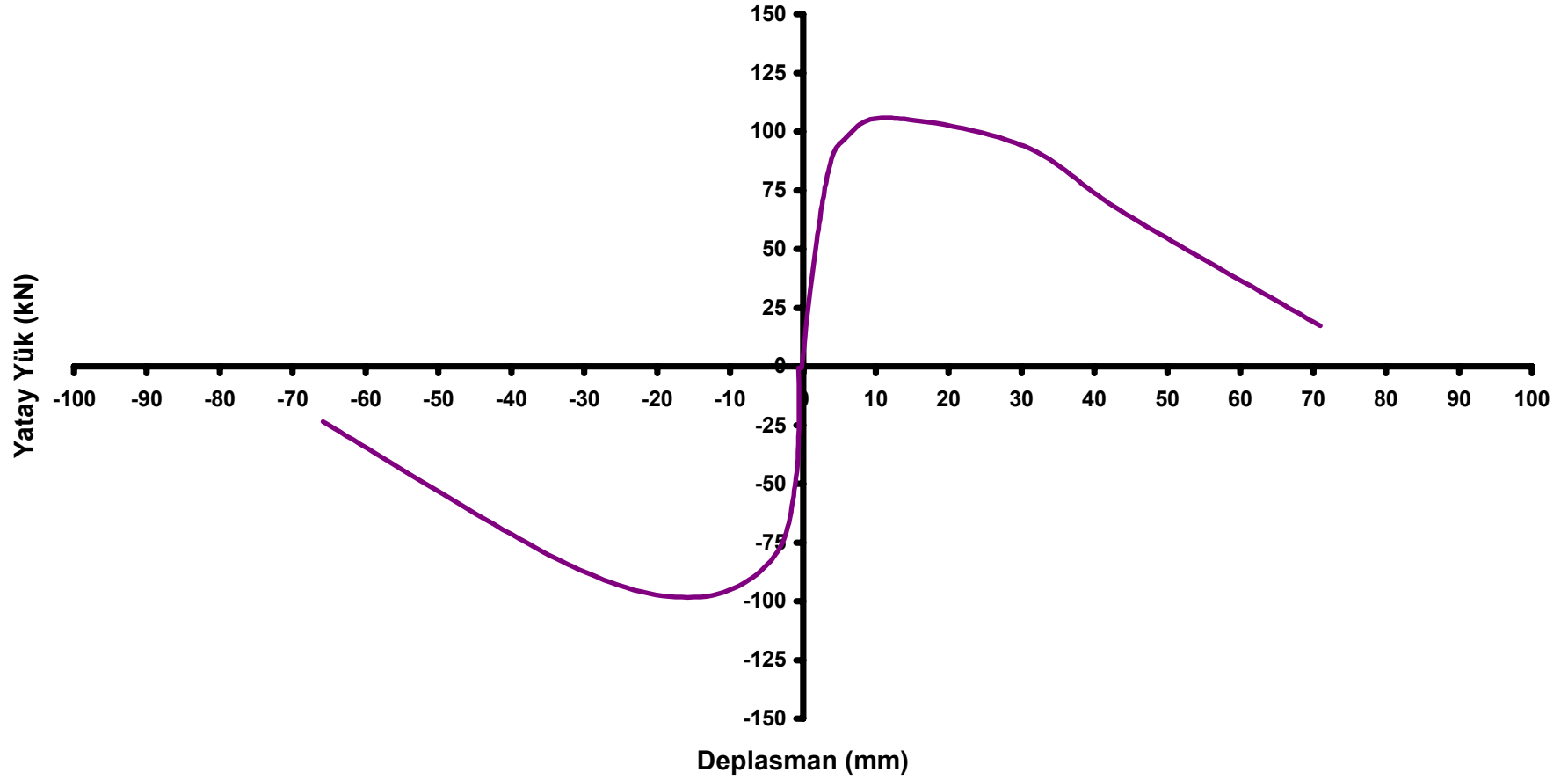
Şekil 5.8.15 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



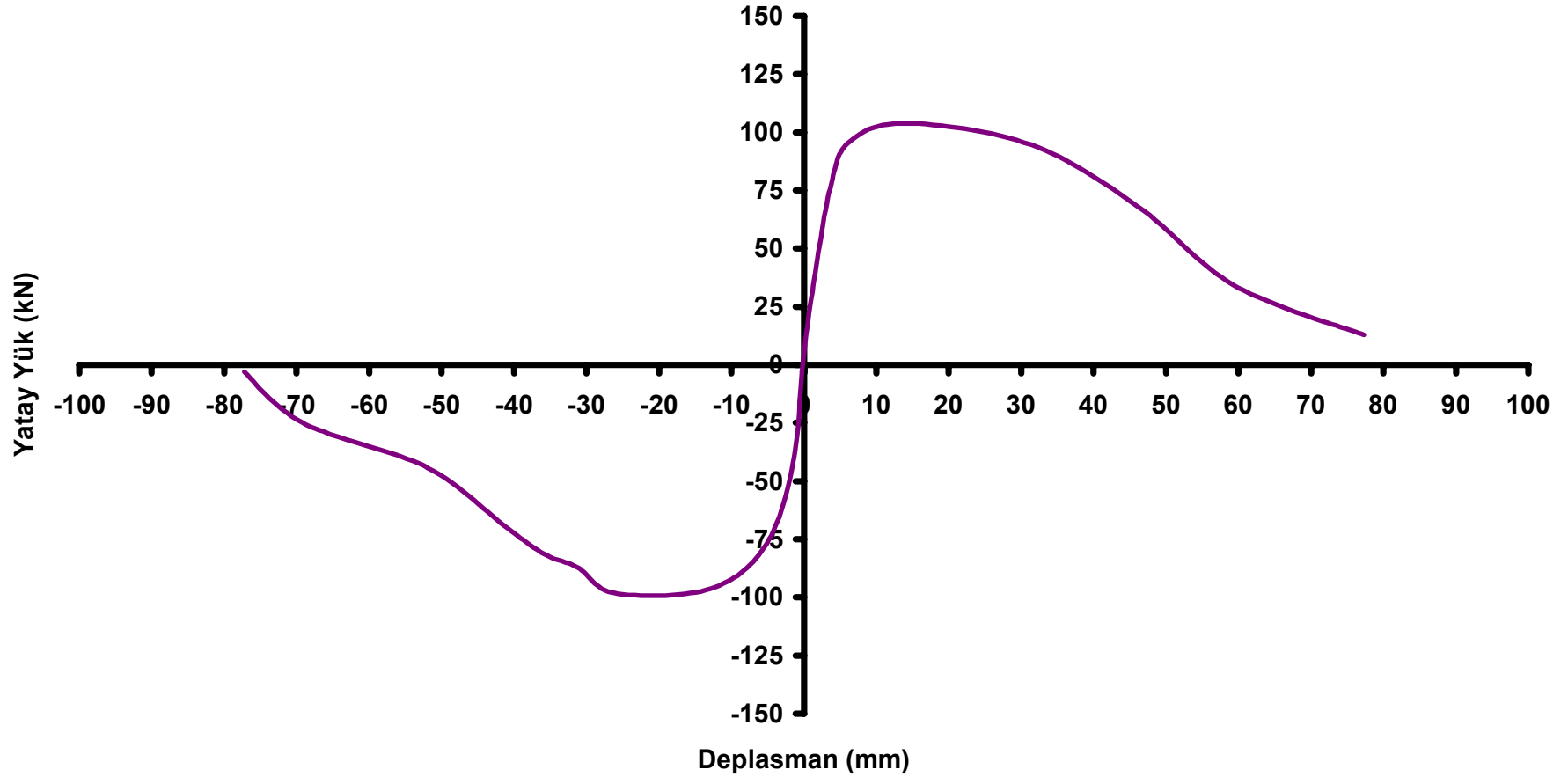
Şekil 5.8.16 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



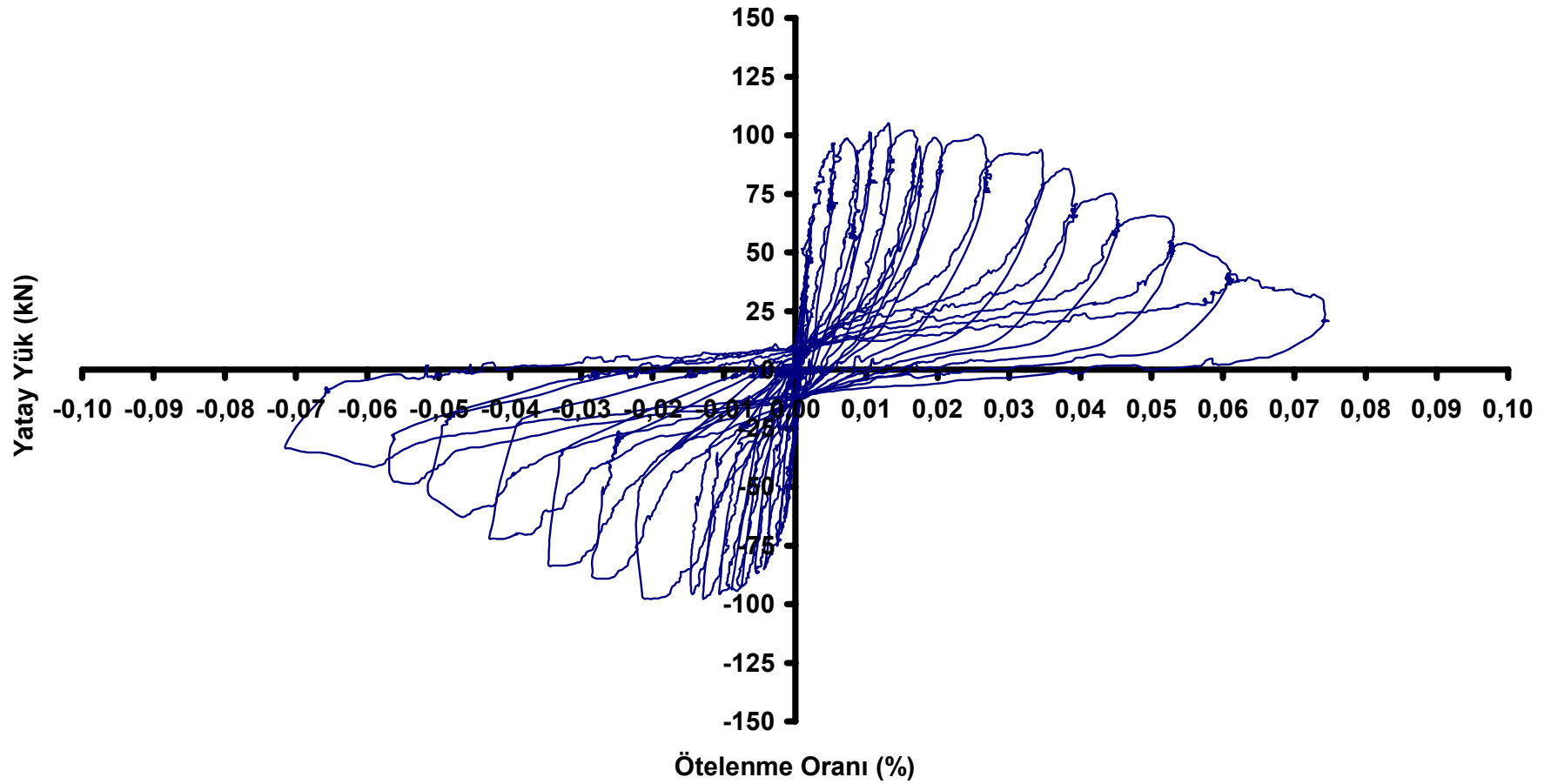
Şekil 5.8.17 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



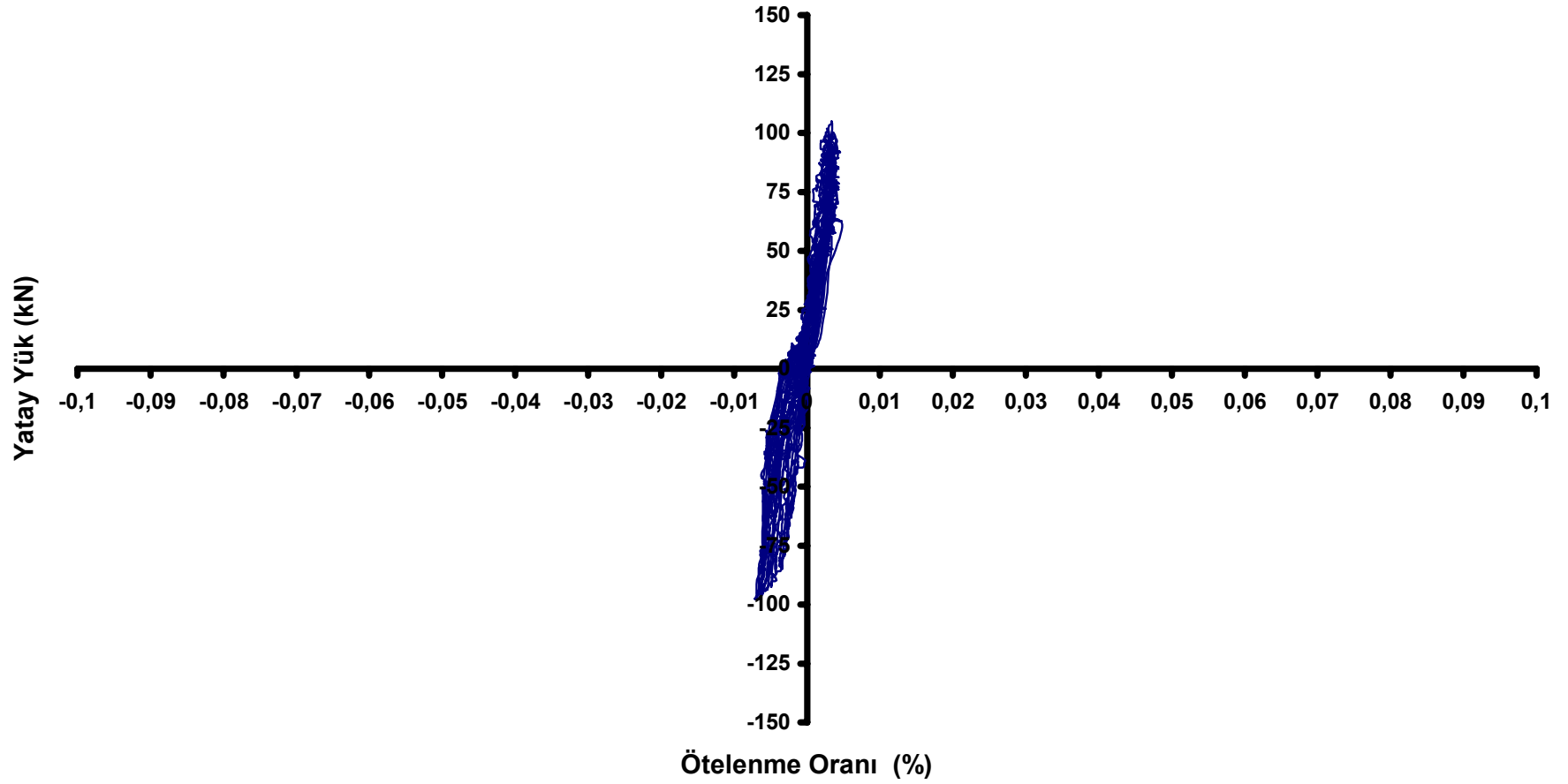
Şekil 5.8.18 8 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



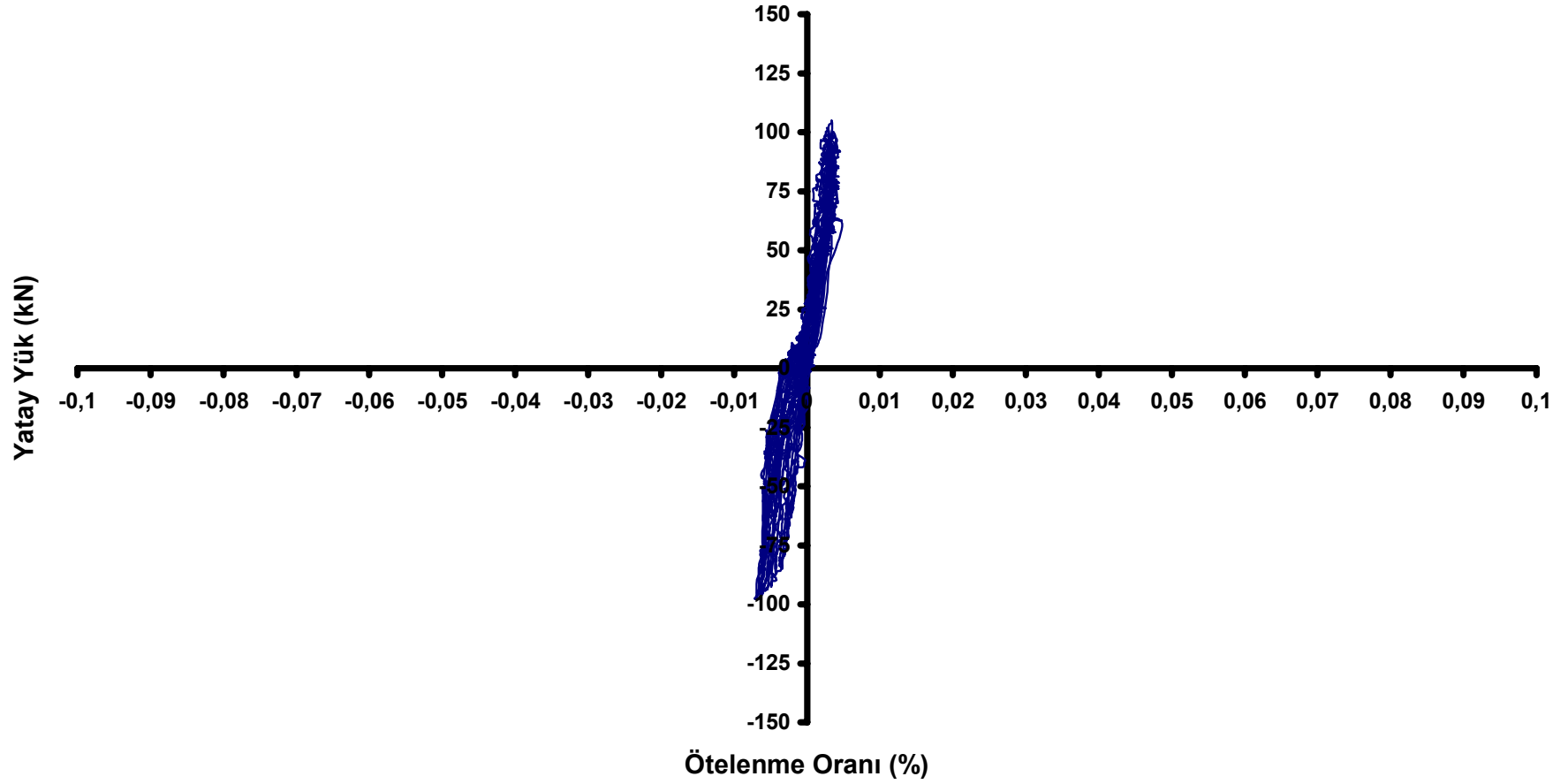
Şekil 5.8.19 8 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



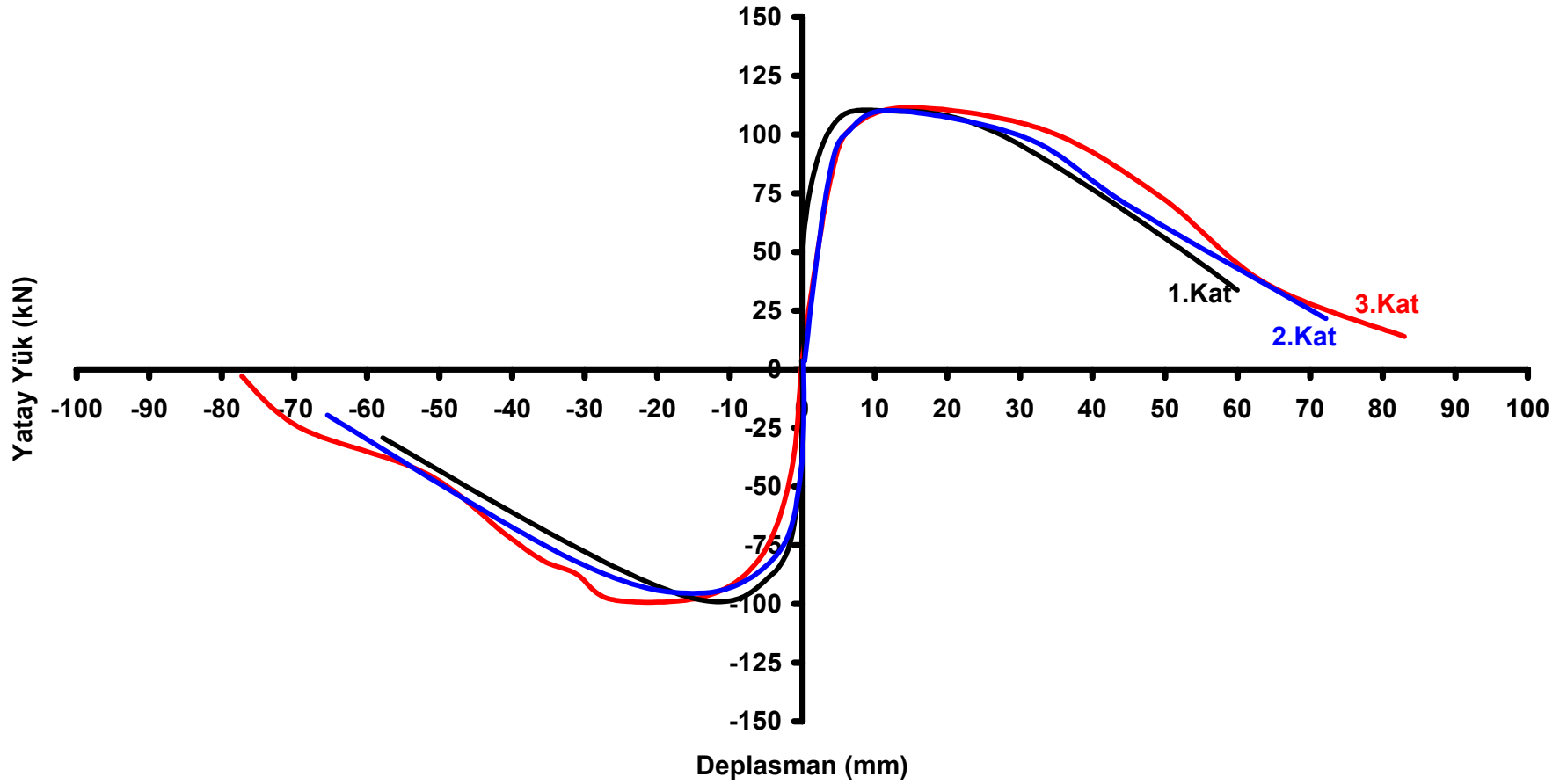
Şekil 5.8.20 8 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.8.21 8 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 8**  
**Yatay Yük-1., 2. ve 3.Kat Deplasmanları Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.8.22 8 nolu deney numunesine ait yatay yük-1., 2. ve 3.kat deplasmanları zarf eğrisi grafiği



Numune çerçevede en yüksek yatay yük 100 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 50 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 5,00 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 28570 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 20 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmış, yerleştirilen kuşaklamaların çözülmeye başlamasının ardından kolonlar hızla hasar görerek mafsallaşmaya başlamış, taşınabilen yatay yük hızla düşmüştür.

Sistemin tüm açıklıklarına uygulanan kuşaklamalar sistemin bir bütün rijit eleman olarak davranmasına sebep olmuştur. Bu davranış sonucunda yatay yük kapasitesi artmış, hasarlar 2. kat kolon kiriş birleşim bölgesine ulaşmıştır. Alt kat kuşaklamalarının çözülmesi sonucunda sistem ani olarak taşıma gücünü yitirmiş ve yumuşak kat davranışı ön plana çıkmıştır.

Şekil 5.8.22’de verilen grafik irdelendiğinde yumuşak kat davranışına kadar perdeli bir yapı yada konsol bir kiriş gibi en alt katta minimum, en üst katta ise çok daha büyük bir deplasman oluşurken alt kat kuşaklamalarının çözülmesi ile durum tersine dönmüştür.

Sistem sünek, enerji yutan ve deplasman yapabilen bir şekilde göçmeye gitmiştir. Kullanılan kuşaklamalar etkili şekilde çalışmış ve 25-30 mm deplasman değerinde sıyrılarak alt katta devre dışı kalmıştır

2.kat ankrajları da gevşeme ve sıyrılmaya başlamıştır. Kullanılan kuşaklamalar yatay yük değerini referans numune değerinin üzerine ulaştırmış, sistemi rijitleştirmiştir.

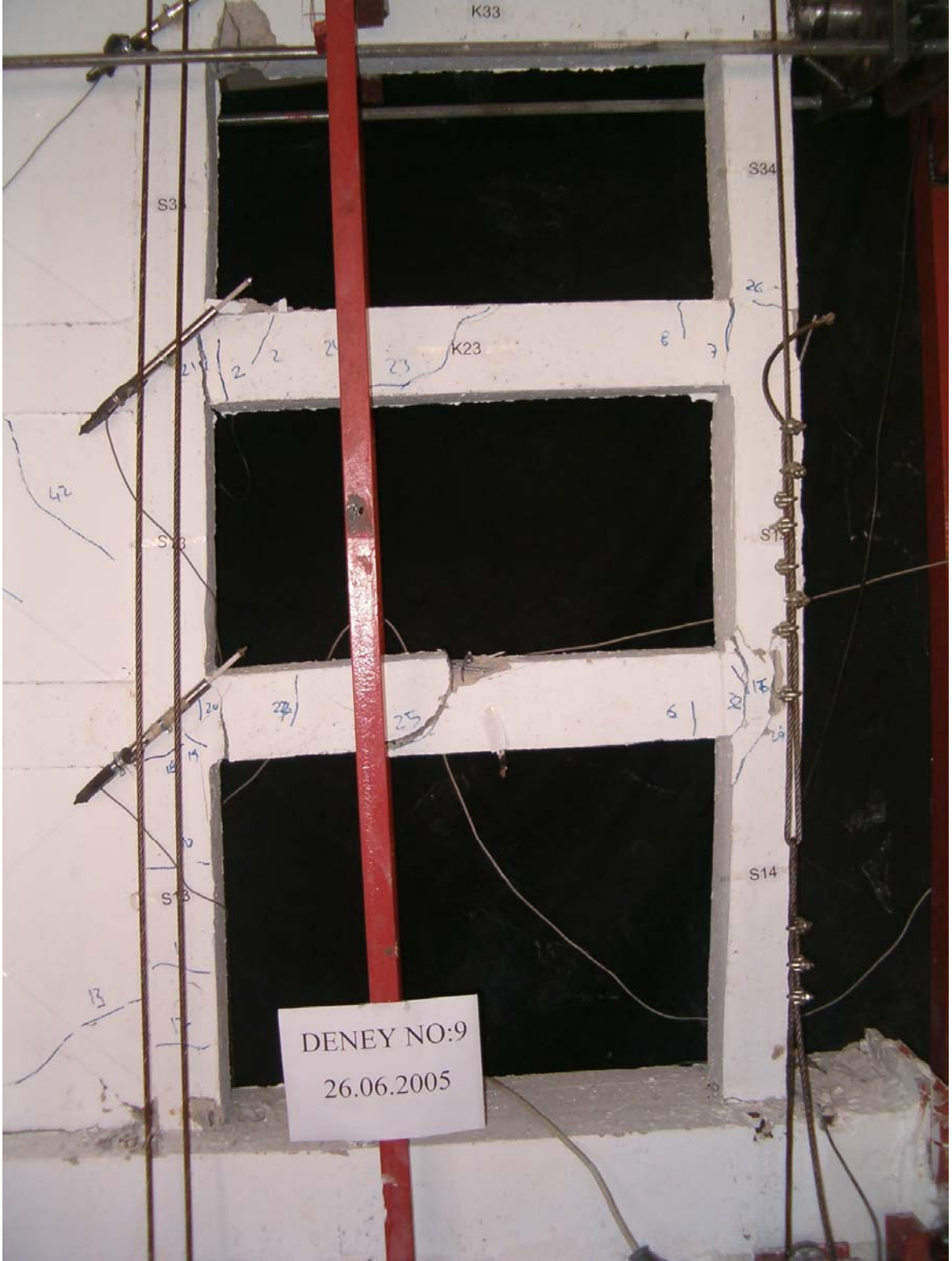




Şekil 5.9.2 9 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



Şekil 5.9.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü

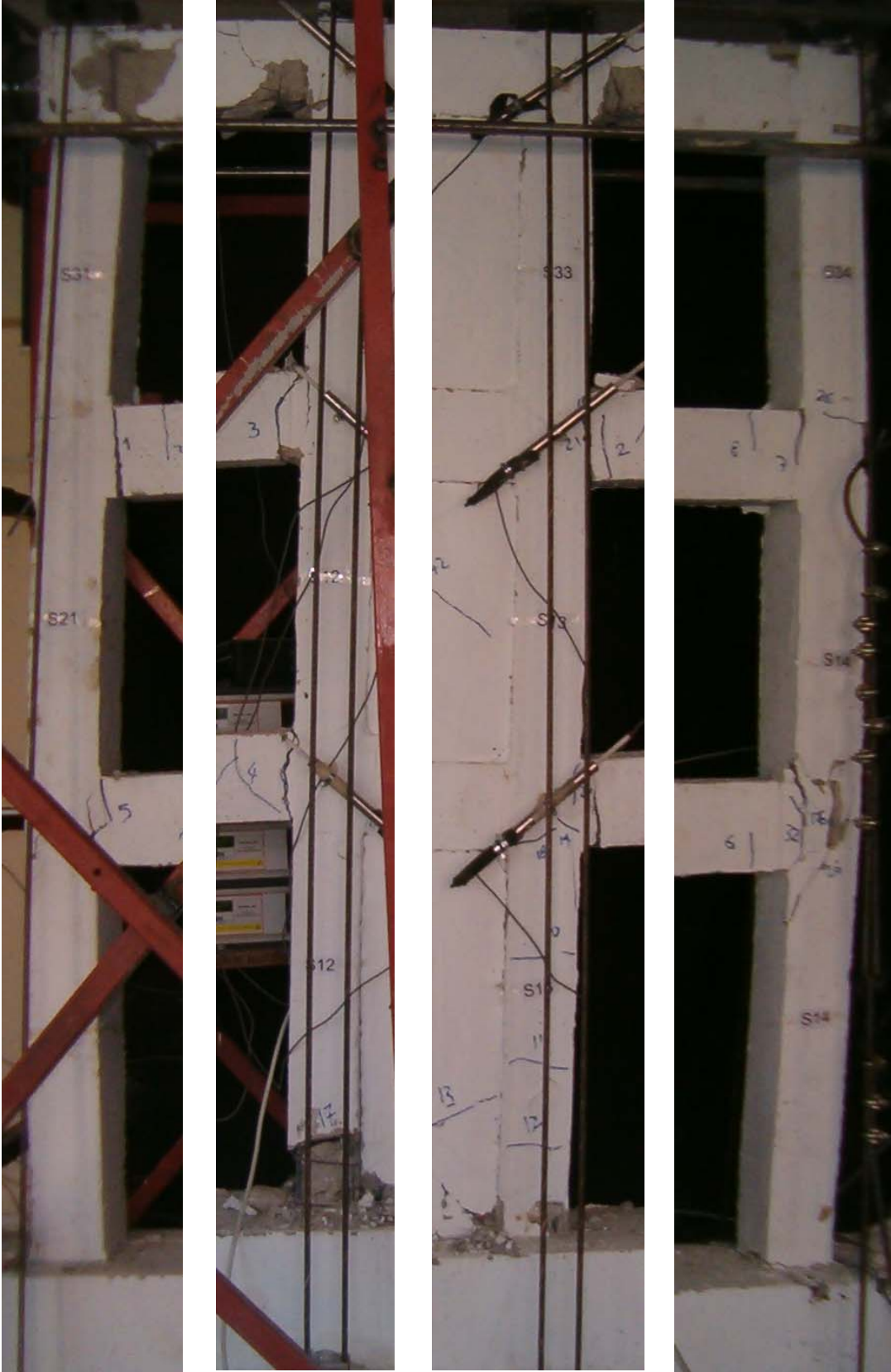


Şekil 5.9.4 Sol açıklıkta hasar mekanizması





Şekil 5.9.6 Orta açıklıkta bulunan dolgu duvarda hasar oluşumu



Şekil 5.9.7 Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

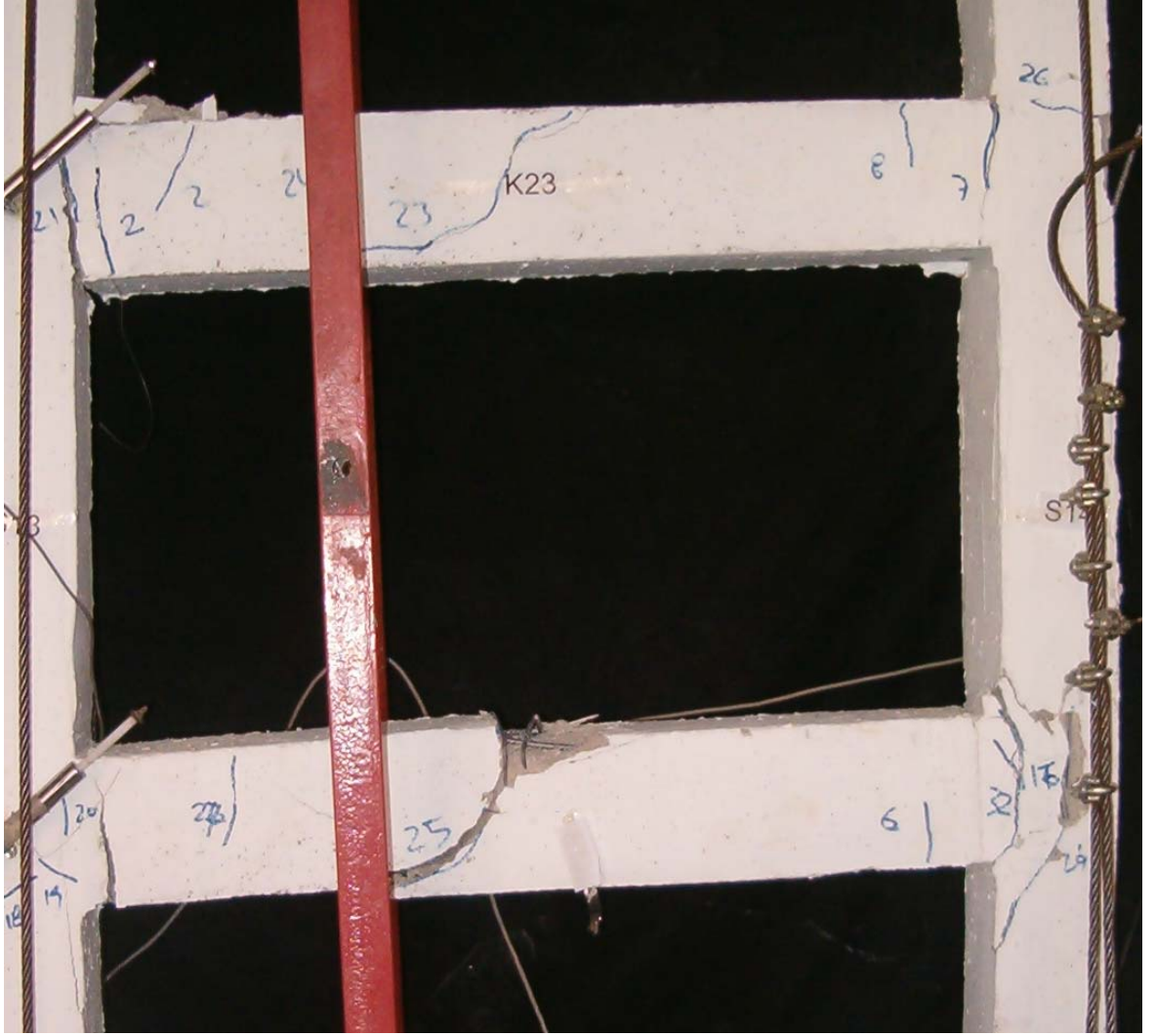


Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 0,50 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

İlk çatlak +4 mm deplasman değerinde 127 kN yatay yükte K21 kirişinin solunda oluşmuştur. 2 nolu çatlak ise -4 mm deplasman değerinde K23 kirişi sol altında oluşmuştur. +8 mm deplasman değerinde ise K21 kirişi sağında 3 nolu, K11 kirişi sağında 4 nolu, K11 kirişi solunda 5 nolu, K13 kirişi sağında 6 nolu çatlak oluşmuştur.

-8 mm deplasman değerinde 165 kN yatay yük değerine ulaşılmış ve K23 kirişi sağında 7 ve 8 nolu çatlaklar oluşmuştur. +16 mm deplasman değerinde 1.kat duvarı temelden ayrılmaya başlamış, S13 kolonu oluşan Eksenel çekme sebebiyle 3 ayrı yerden enine çatlama, 1.kat duvarlarında çapraz çatlaklar oluşmaya başlamış, 9nolu, 10 nolu, 11 nolu, 12 nolu, 13 nolu, 14 ve 15 nolu çatlaklar oluşmuştur. -16 mm deplasman değerinde K13 kirişi sağında 16 nolu, S12 kolonunun tabandan 10 cm yukarısında 17 nolu çatlak oluşmuş ve çatlak 4-5 mm ayrılmıştır. ±32 mm deplasman değerinde ise 228 kN yatay yük değerine ulaşılmış, K23 kirişinde ve S14 kolon donatısında burkulma başlamış, K11, K13, K21 ve K23 kirişlerinin orta bölgesinde kesme çatlakları oluşmuştur. +48 mm deplasman değerinde S13 kolonu tabandan ayrılmıştır. -48 mm deplasman değerinde S 12 kolonu oluşan çekme kuvveti sebebiyle 12-13 mm açılmıştır. ±64 mm deplasman değerinde oluşan çekme çatlakları açılmaya devam etmiş, perde davranışı gösteren orta açıklığa bağlanan kirişlerde ağır hasarlar oluşmuştur. ± 80 mm deplasman değerinde yüklemeye yapılarak deney sonlandırılmıştır

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.8.13 ile Şekil 5.8.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.9.8 Orta kat kirişlerinde kesme hasarı



Şekil 5.9.9 Kolon altında ezilme



Şekil 5.9.10 9 nolu deney numunesinde ilk kat dış kolon kiriş birleşiminde hasar oluşumu

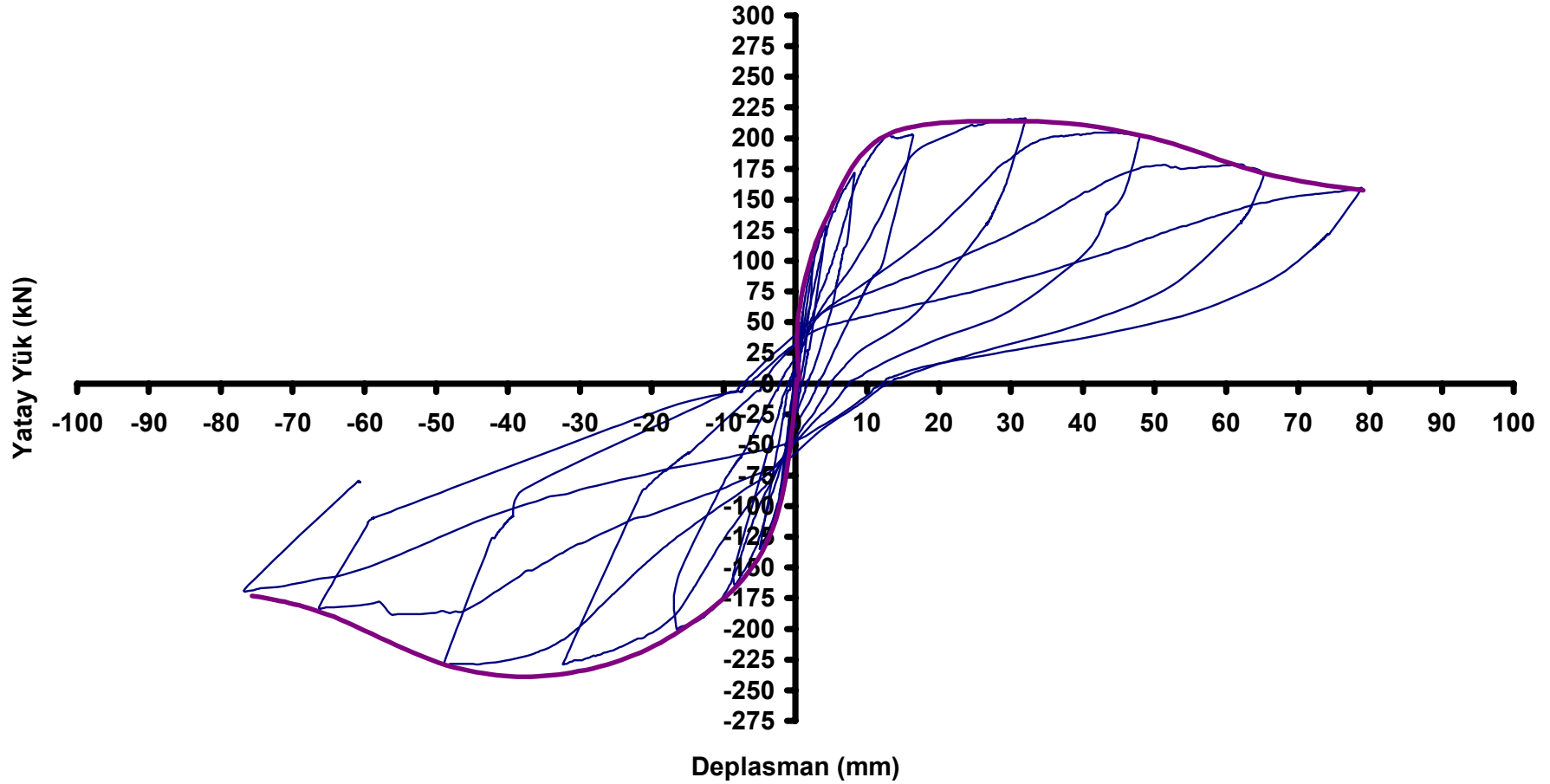


Şekil 5.9.11 Duvara saplanan üst kat kiriş ucunda hasar

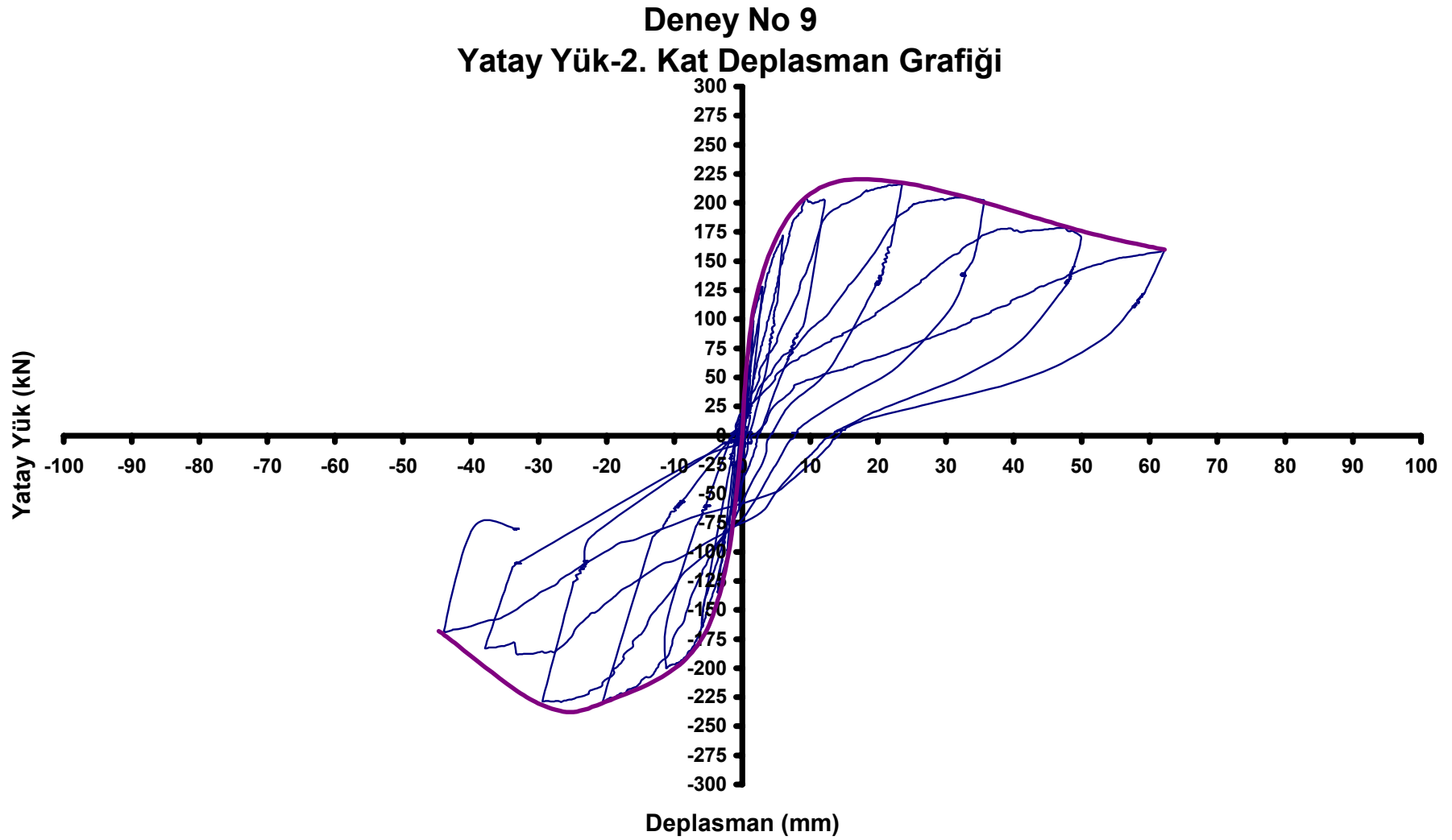


Şekil 5.9.12 Kolon tabanında ezilmeler ve ayrılmış dolgu duvar

**Deney No 9**  
**Yatay Yük- Tepe Deplasman Grafiği**

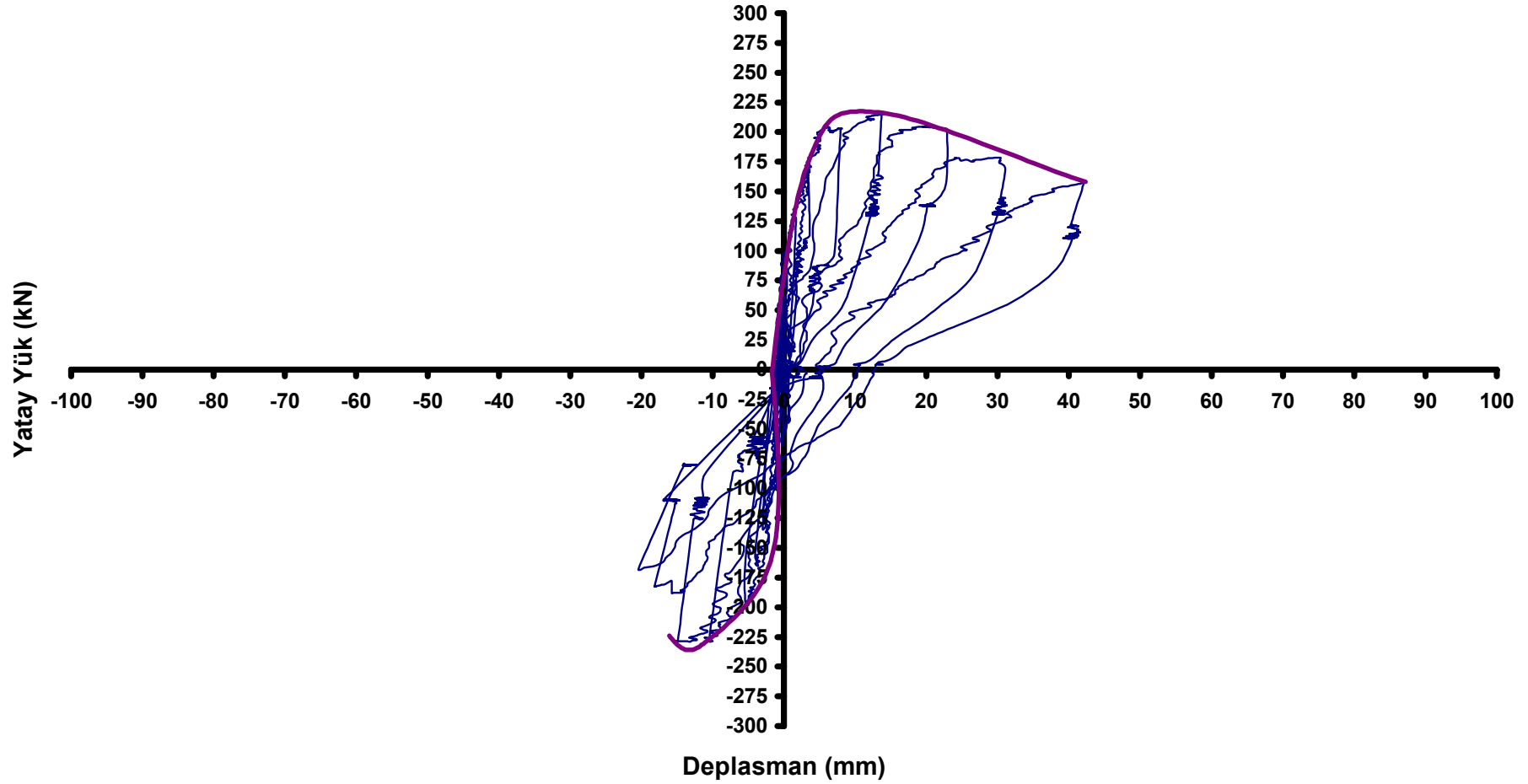


Şekil 5.9.13 9 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği



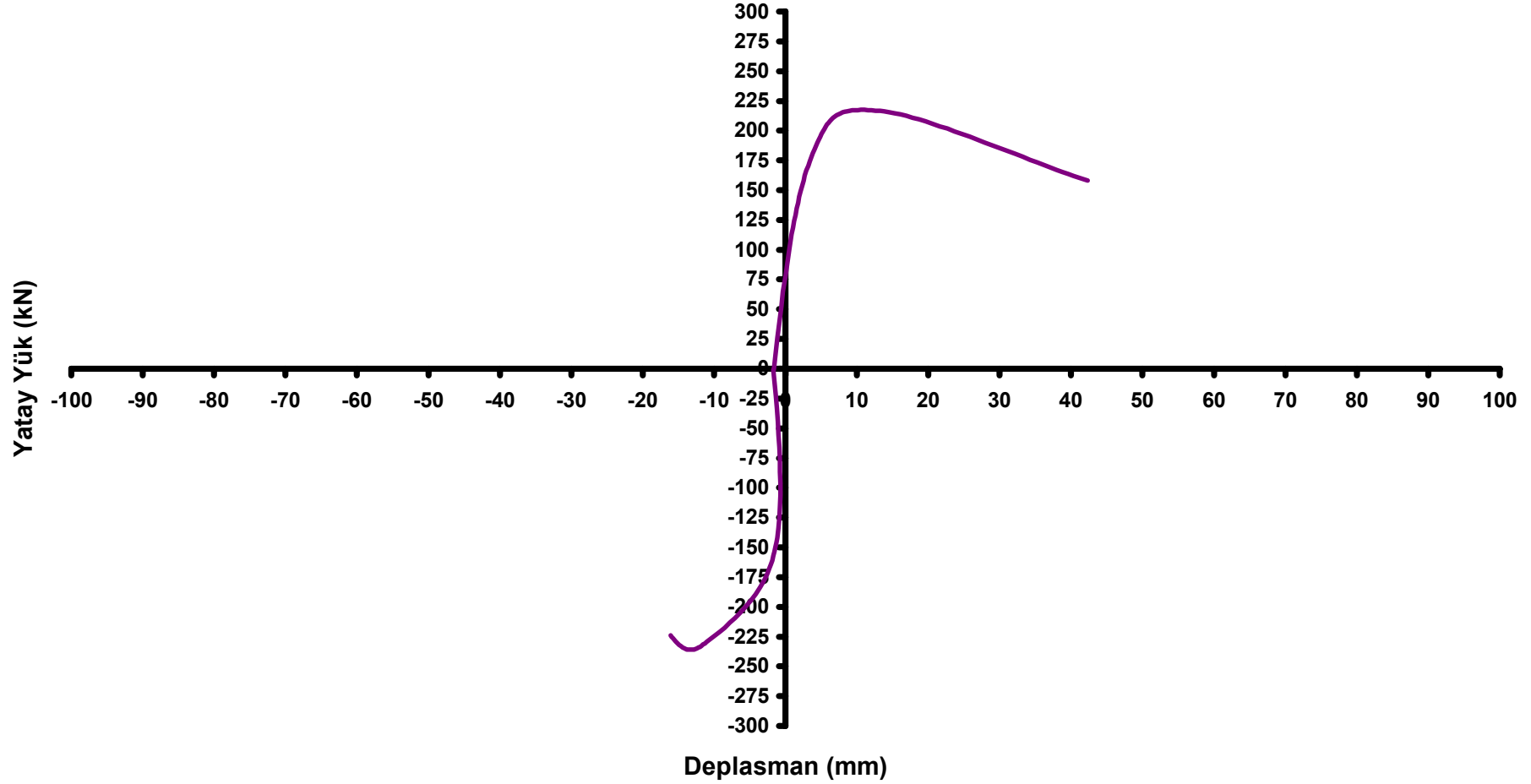
Şekil 5.9.14 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasman Grafiği**



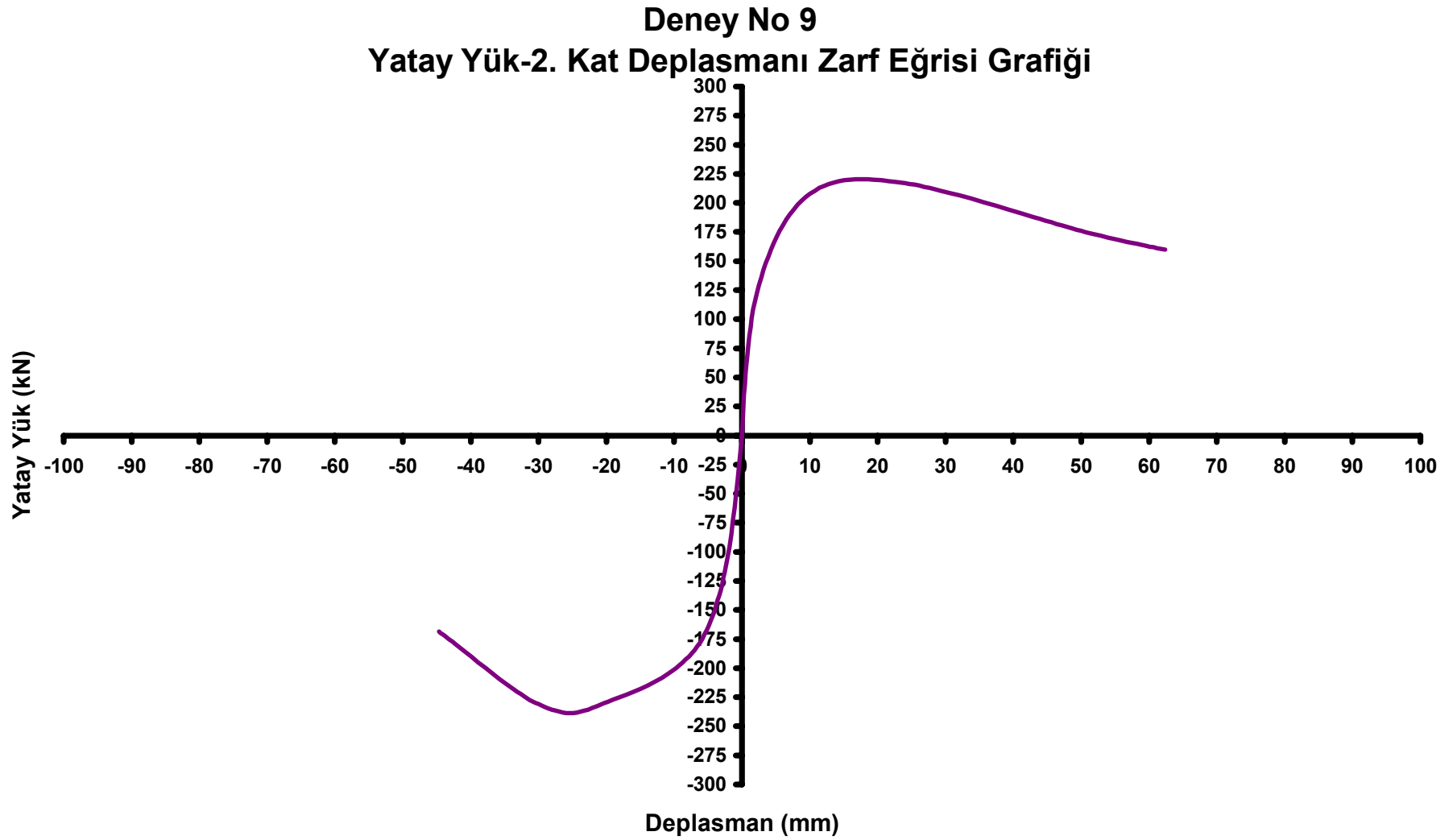
Şekil 5.9.15 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasman grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



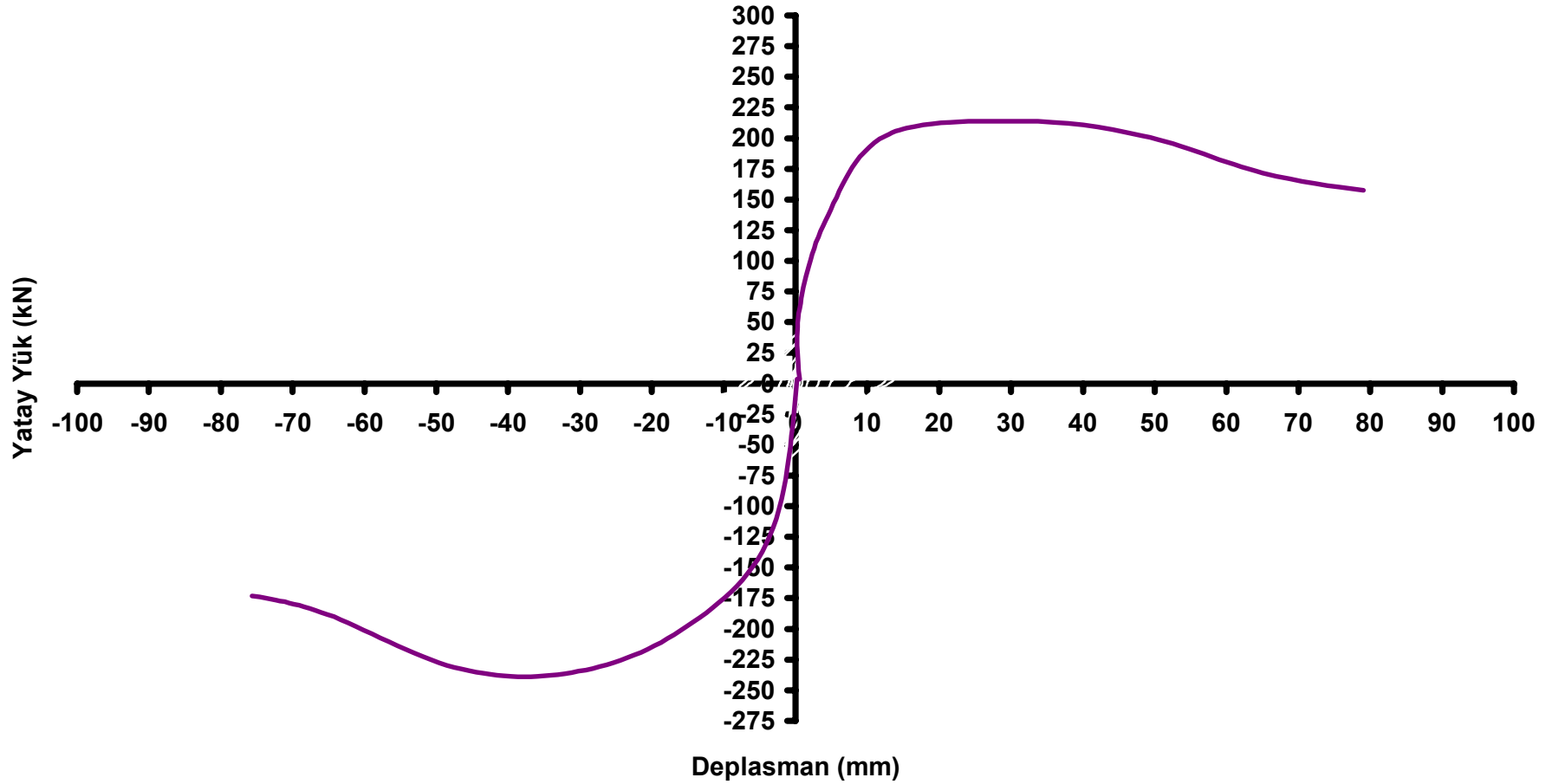
Şekil 5.9.16 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği





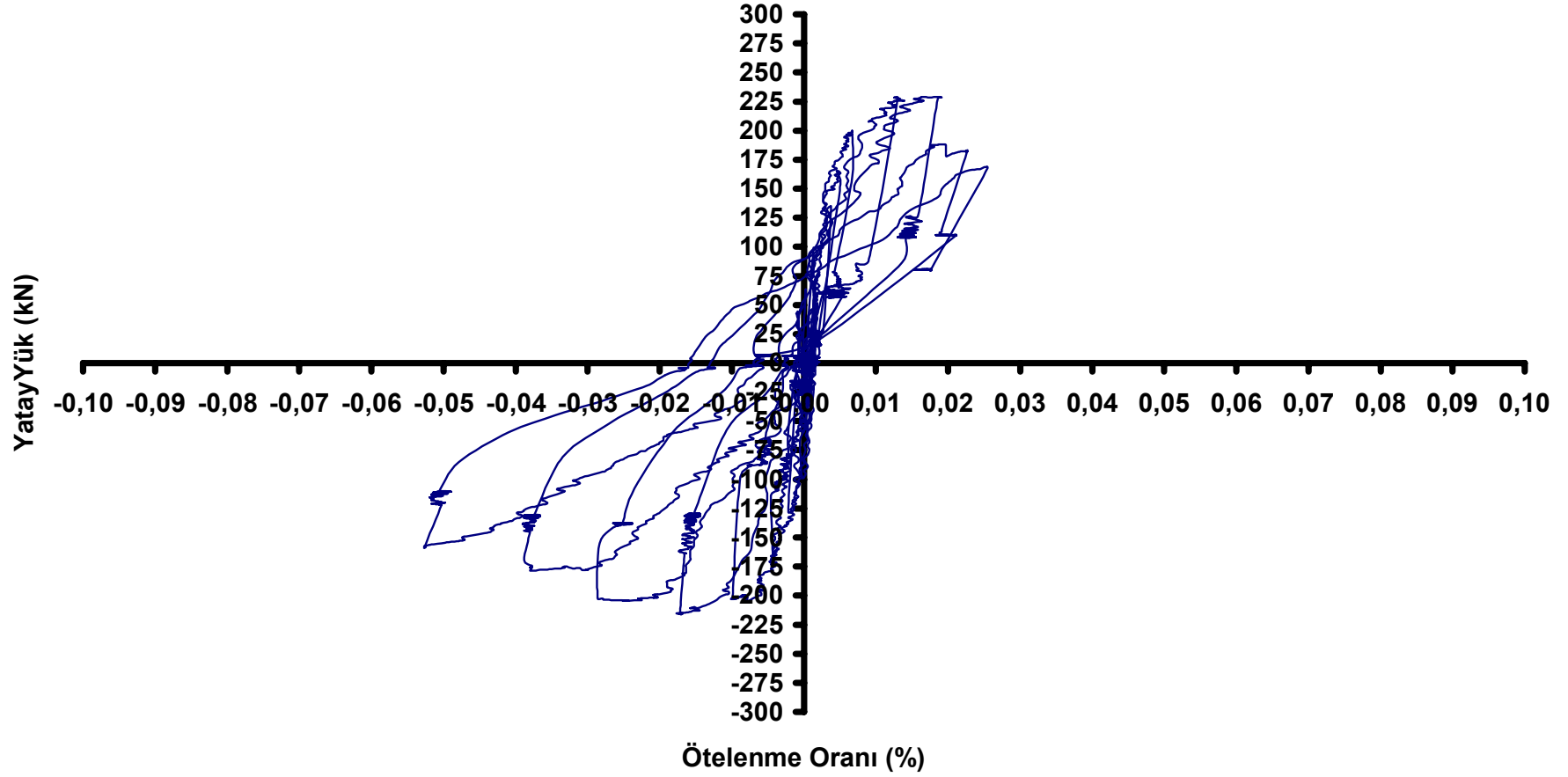
Şekil 5.9.17 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük- Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



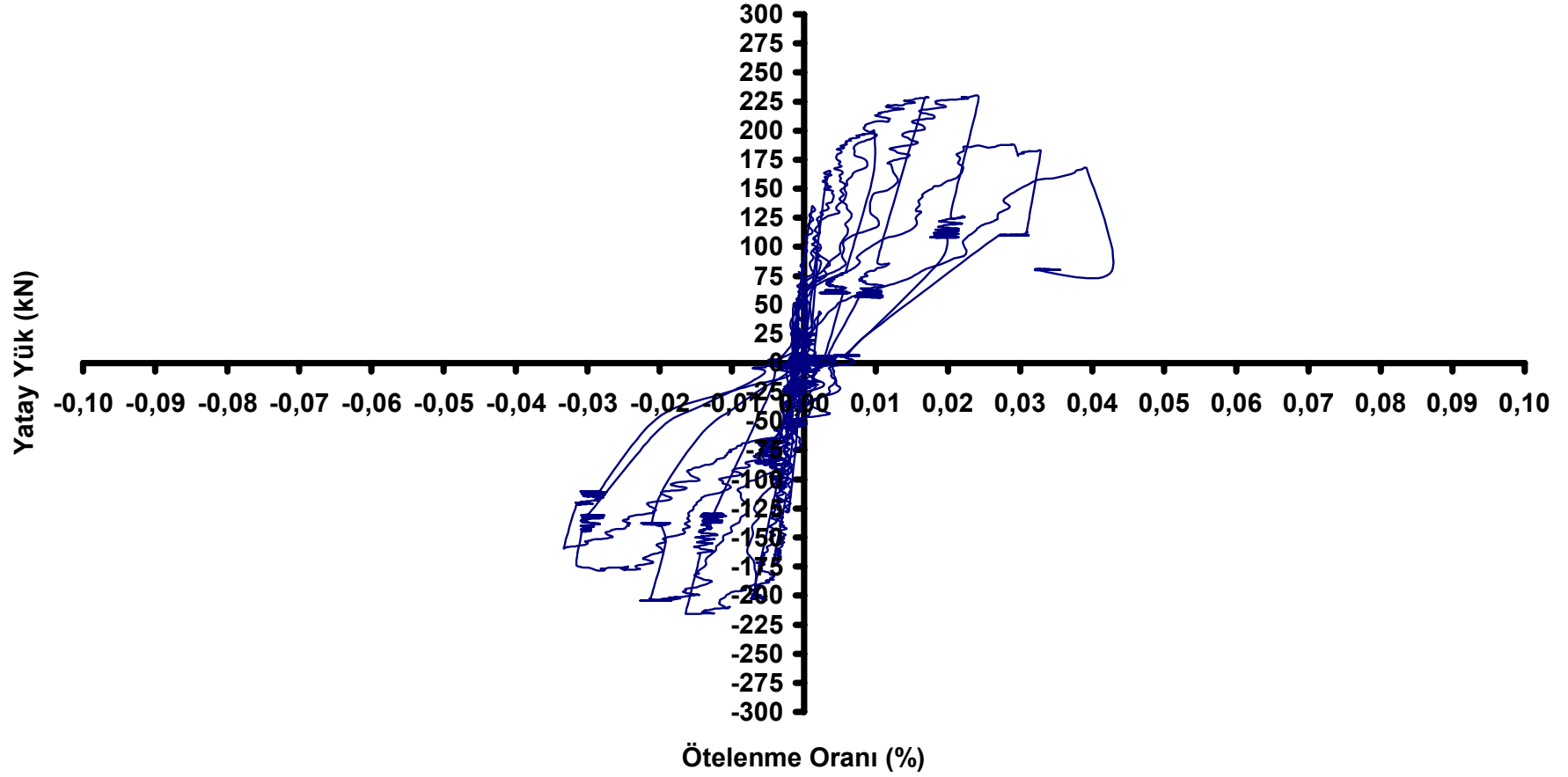
Şekil 5.9.18 9 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



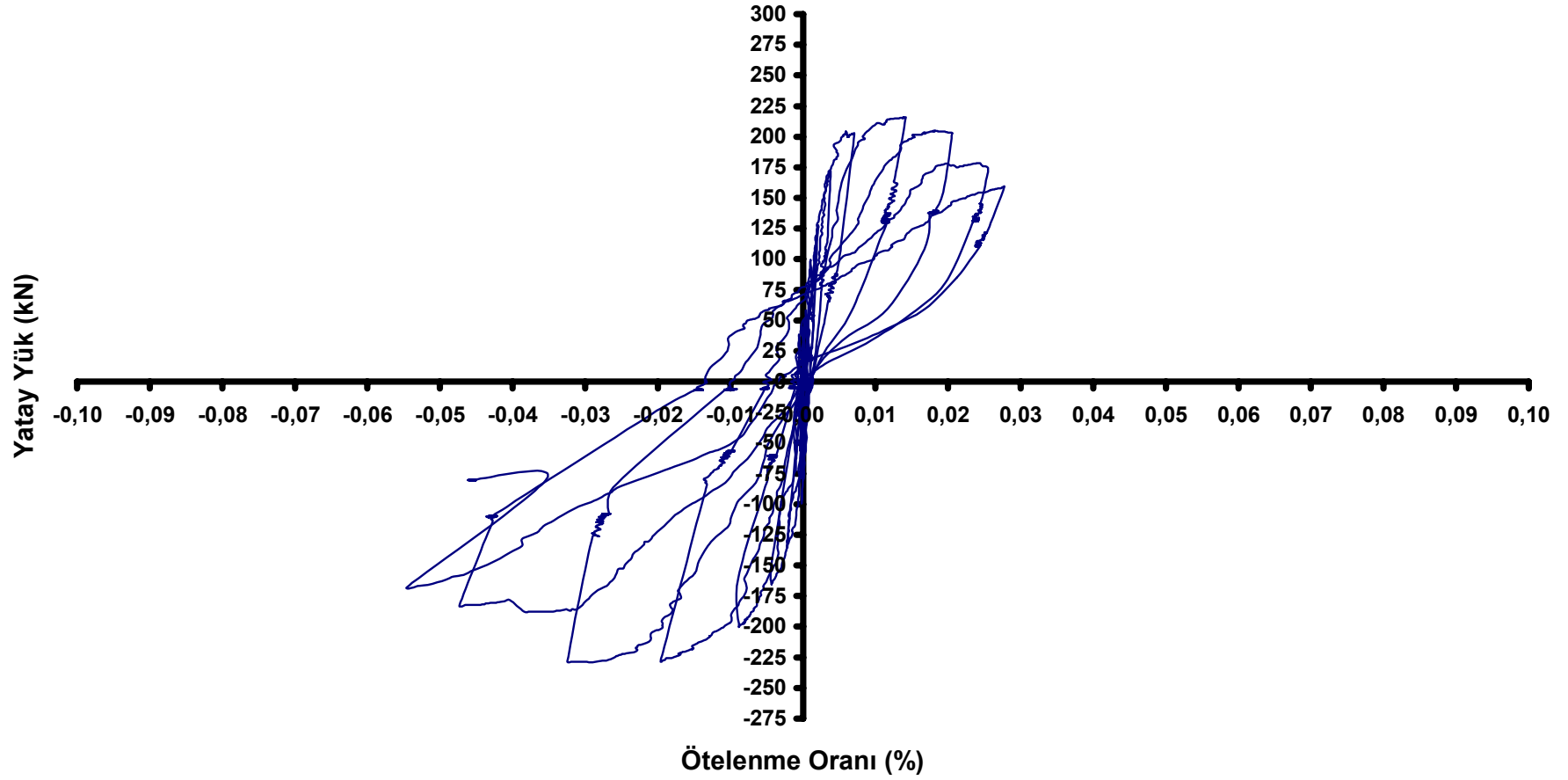
Şekil 5.9.19 9 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük-2.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



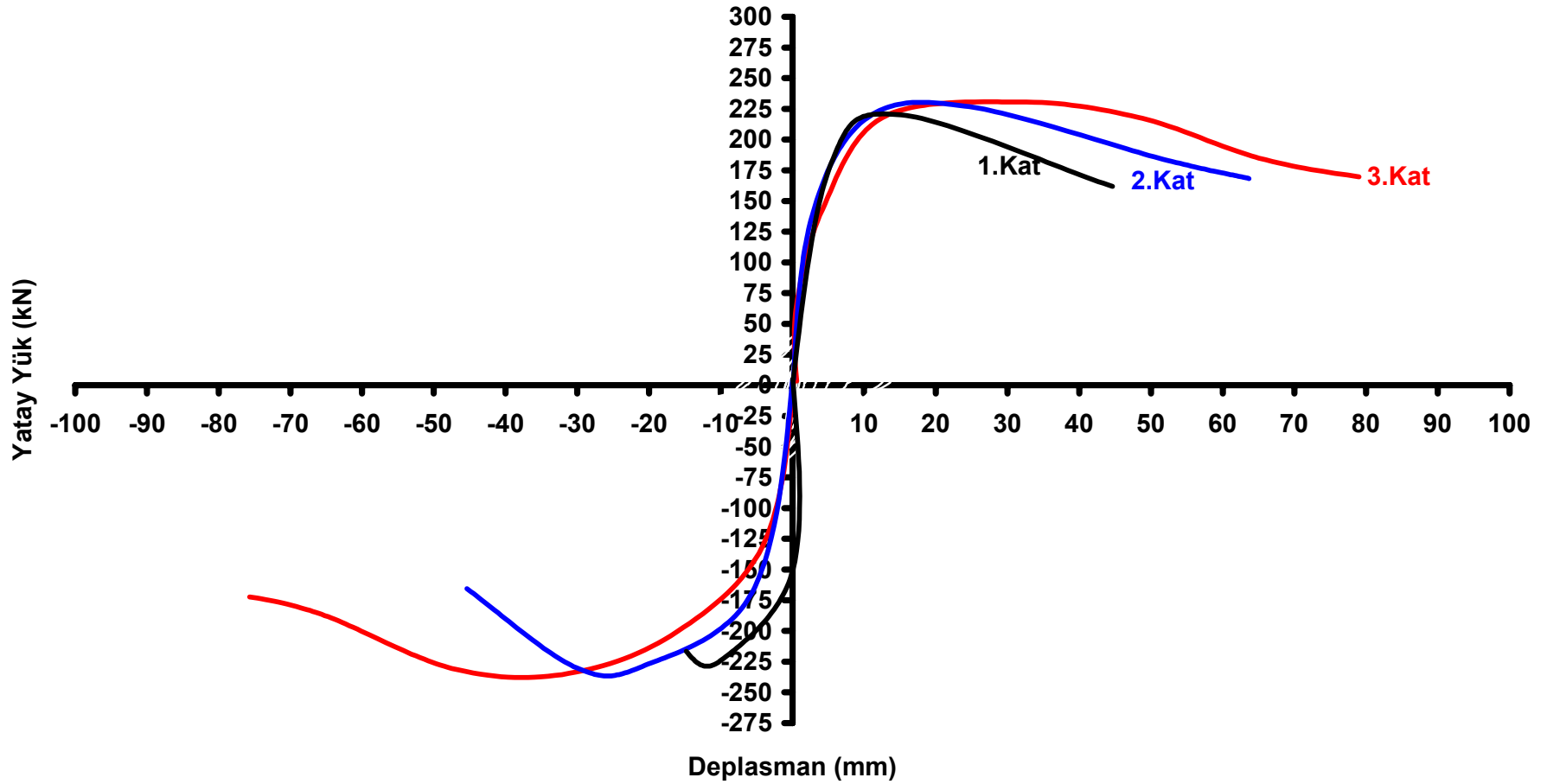
Şekil 5.9.20 9 nolu deney numunesinin yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.9.21 9 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 9**  
**Yatay Yük- 1., 2. ve 3.Kat Deplasmanları Zarf Eğrisi Grafikleri**



Şekil 5.9.22 9 nolu deney numunesi yatay yük-1.,2.,3. kat deplasmanları dayanım zarfı grafikleri

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 225 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 100 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 8.10 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 55700 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönelmiştir.

Elde edilen yatay yük tepe deplasman grafiğinde referans numuneye göre daha uzun süre elastik davranış gösteren numune 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşmıştır. Numunede beraberce kullanılan dolgu duvar ve kuşaklama enerji yutma kapasitesini, yatay yük kapasitesini ve sünekliği çok önemli oranda artırmıştır. Duvar ve kuşaklama orta bölgenin tamamen perde gibi rijit davranmasına sebep olmuştur. Göçme çok yüksek yatay yük seviyelerinde duvar alt uçlarının ezilmesi, ankrajların sıyrılması sonucu gerçekleşse de göçme yükü diğer güçlendirilmiş çerçevelerin maksimum yükünden fazladır. (150 kN) . Duvarlı açıklığa sapanan kirişlerde moment ve kesme kuvveti etkisiyle tüm katlarda büyük hasarlar oluşmuştur.

Kuşaklama ve dolgu duvarın beraber çalışması sonucu elde edilen bu sonuç ümit verici nitelikler taşımaktadır.

### 5.10. 10 nolu Deney (10DT2C12KKKD)

10 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Etriye aralıkları geniş ve etriye uçları 90°'dir. Beton kalitesi C12'dir. Numune yetersiz donatı ve beton kalitesine sahip numunelerde kenar açıklıkta dolgu duvar ve kuşaklamanın birlikte etkisinin araştırılması amacıyla üretilip test edilmiştir.

Deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.10.1'de verilmiş olup . Şekil 5.10.2 ise deney sırasında ilk oluşan çatlakları göstermektedir.



5.10.1 Şekil 10DT2C12KKKD numunesinin deney öncesi görünümü





Şekil 5.10.2 10 nolu deney sırasında oluşan çatlaklar



Şekil 5.10.3 Numunenin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 5.10.4 Deney sonunda ezilmiş duvar ve kolon



Şekil 5.10.5 Eğilme ve kesme hasarına uğrayan ara kat kirişi



Şekil 5.10.6 Dolgu duvarda X çatlakları ve kolonlarda çekme çatlakları



Şekil 5.10.7a Mesnetlerde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar

Yükleme programı, sistemin akmasını sağlayan yatay yük değeri olan 30 kN'a kadar 7.5 kN luk yük kontrollü adımlarla, bundan sonra +30 kN değerinde elde edilen deplasman değeri olan 0,50 mm değerinin katları şeklinde artırılarak yapılmıştır.

1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu ilk çatlaklar + 4 mm deplasman değerinde S11 ve S12 kolonlarının arasında zemin kat duvarında oluştu. Aynı şekilde S13 ve S14 kolonları arasında kalan zemin kat duvarında ise -4 mm deplasman değerinde 4 ve 5 nolu çatlaklar oluştu.

+8 mm deplasman değerinde S14 kolonunda yatay olarak 6 nolu çatlak meydana geldi. -8 mm deplasman değerinde S11 kolonunda yatay olarak 7, 8, 9, 10 nolu çatlaklar ve S13 kolonunda 11 nolu çatlaklar oluştu.  $\pm 16$  mm deplasman değerinde S14 kolonunda 12, 13, 14 ve 15 nolu çatlaklar, S24 kolonu üzerinde 17 nolu çatlak, sağ kenarda bulunan duvarda ise 16 nolu çatlak oluştu.

$\pm 32$ mm deplasman değerlerinde ise S11 ile S12 kolonları arasındaki duvarda kuşaklama donatılarının burkulması sonucu sıva dökülmesi başladı.  $\pm 64$  mm deplasman değerinde dolgu duvar tabanlarının ezilmesini takiben zemin kat kolonları alttan ezilmeye başladı.

$\pm 80$  mm deplasman değerinde zemin kat kolonları sıyrılmaya başladı. Yük değerindeki ani düşüşün ardında deneye son verildi.

Numune çerçeveden elde edilen Yük-Tepe deplasmanı , Yük-1.kat deplasmanı , Yük-2.kat deplasmanı , 1.,2., ve 3.kat ötelenme oranı grafikleri ile dayanım zarf eğrileri grafikleri Şekil 5.10.13 ile Şekil 5.10.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.10.7b Deney numunesinin kenar kolon altında belirgin hasar oluşumu



Şekil 5.10.8 Dolgu duvarda hasar oluşumu





Şekil 5.10.9 Deney numunesinde dolgu duvar hasarı



Şekil 5.10.10 10 nolu deney numunesinde orta kirişlerde hasar oluşumu

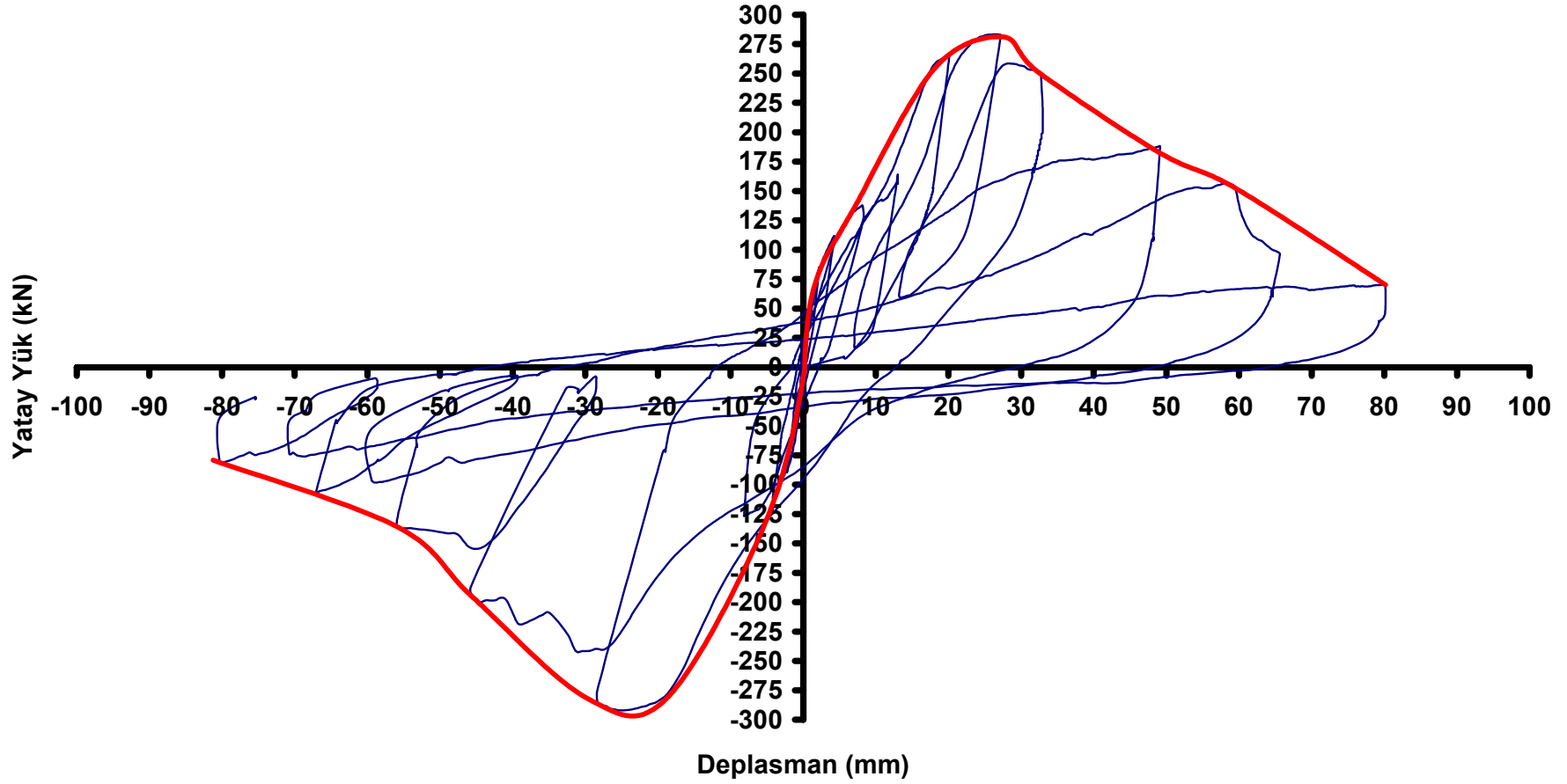


Şekil 5.10.11 10 nolu deney numunesinde dış kolon tabanında ezilme



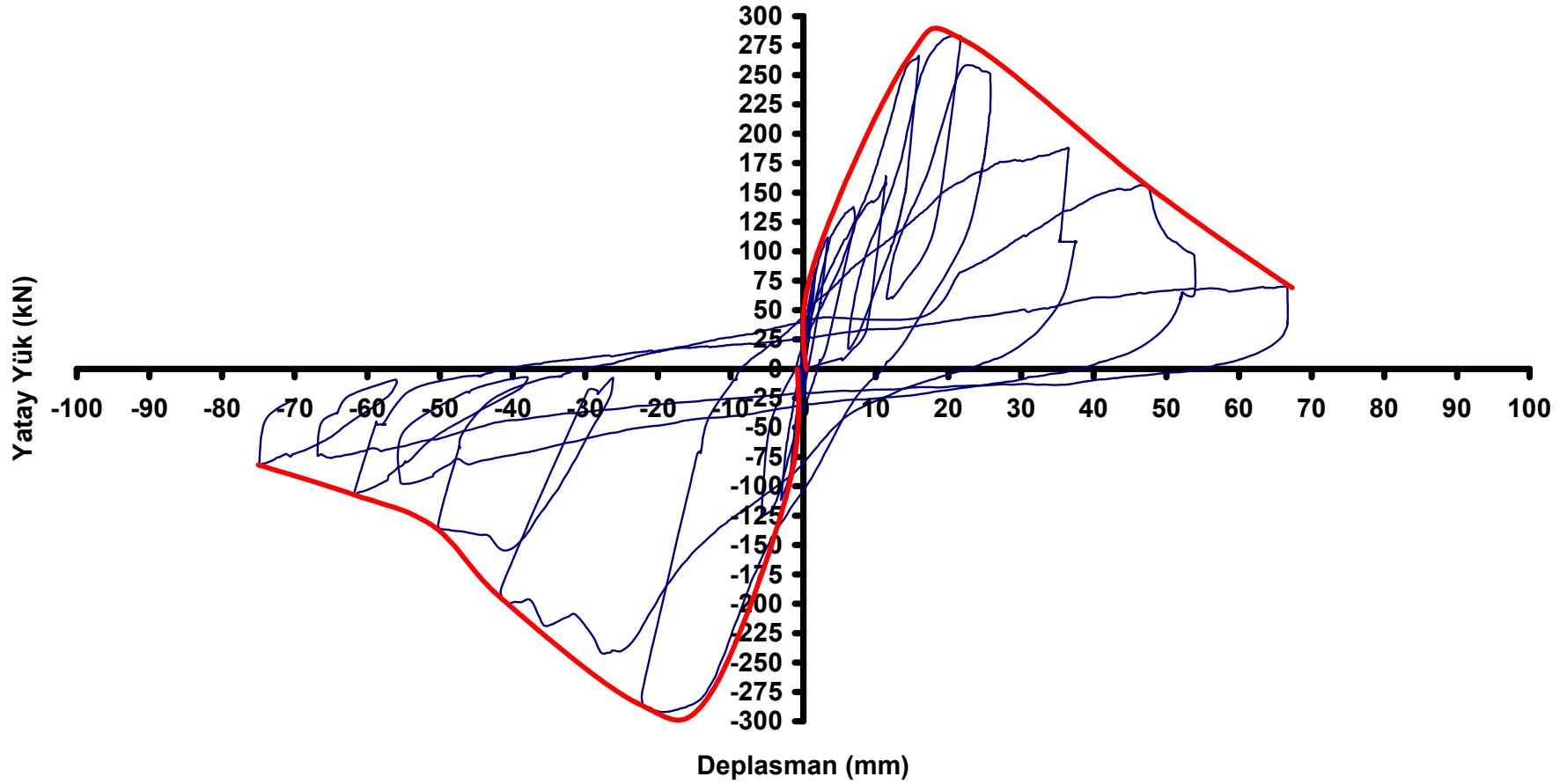
Şekil 5.10.12 Ayrılmış duvar ve kolon

**Deney No 10**  
**Yatay Yük- Tepe Deplasman Grafiği**



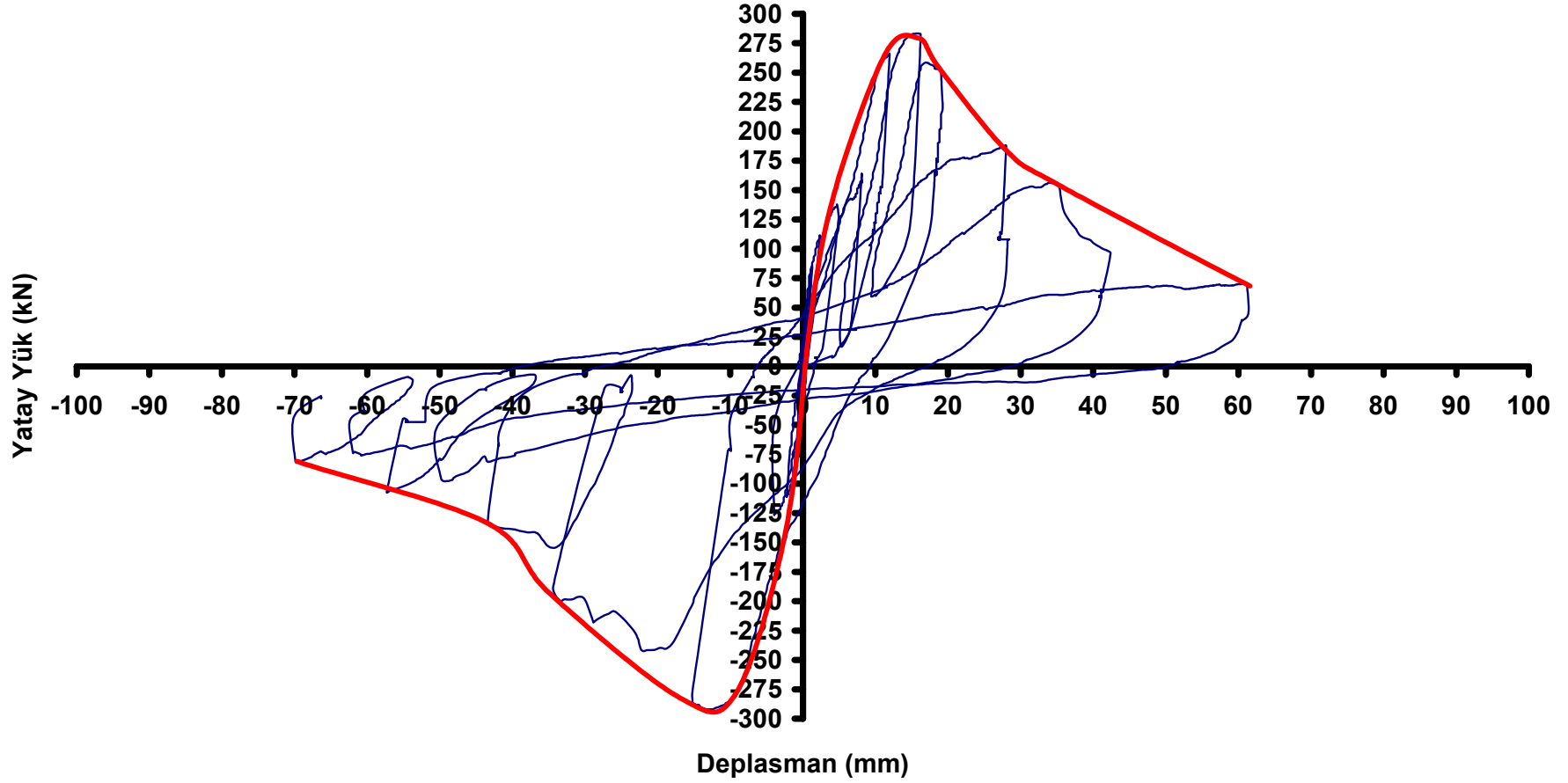
Şekil 5.10.13 10 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasman grafiği

**Deney No 10**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Grafiği**



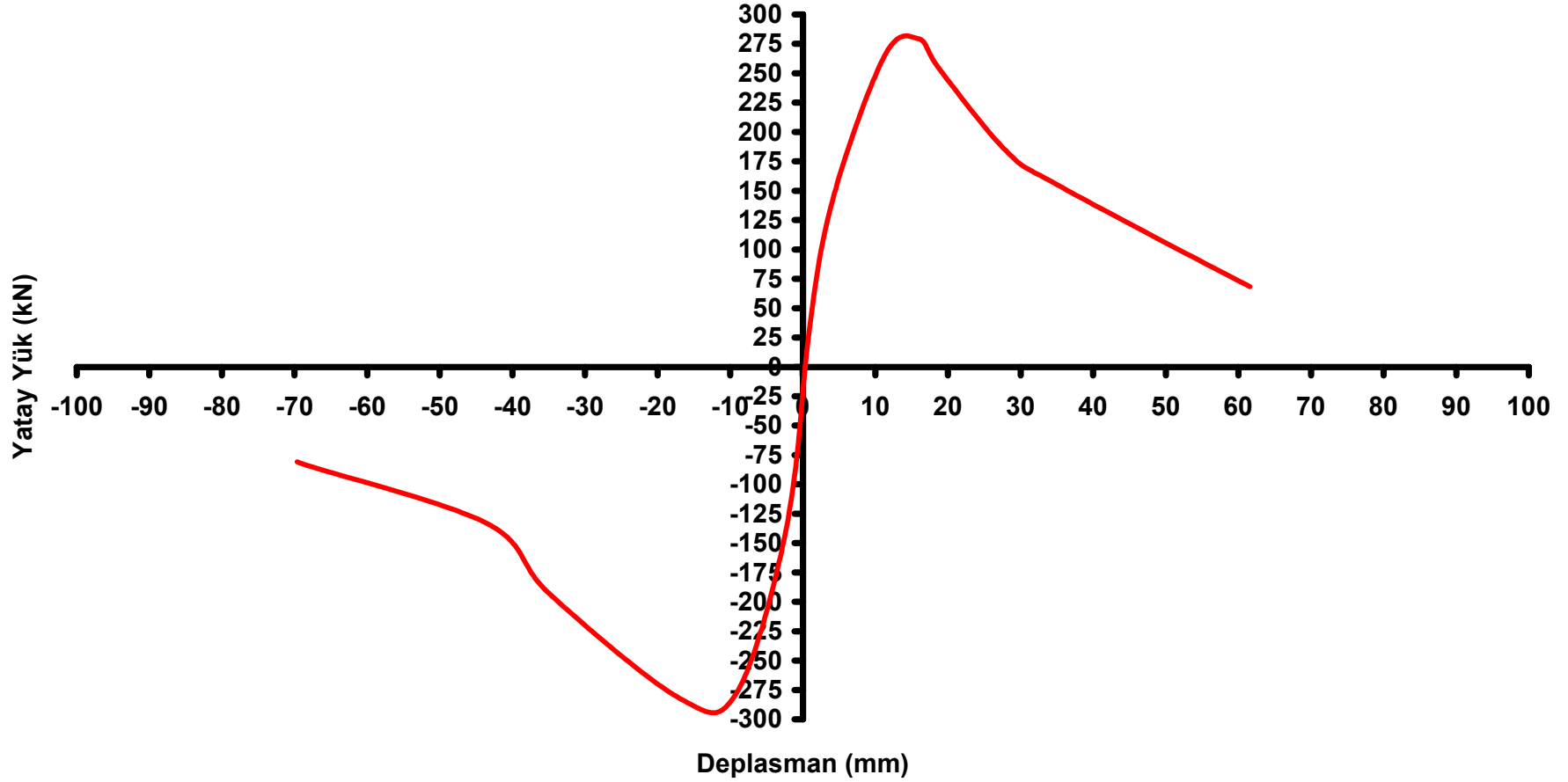
Şekil 5.10.14 10 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasman grafiği

**Deney No 10**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Grafiği**



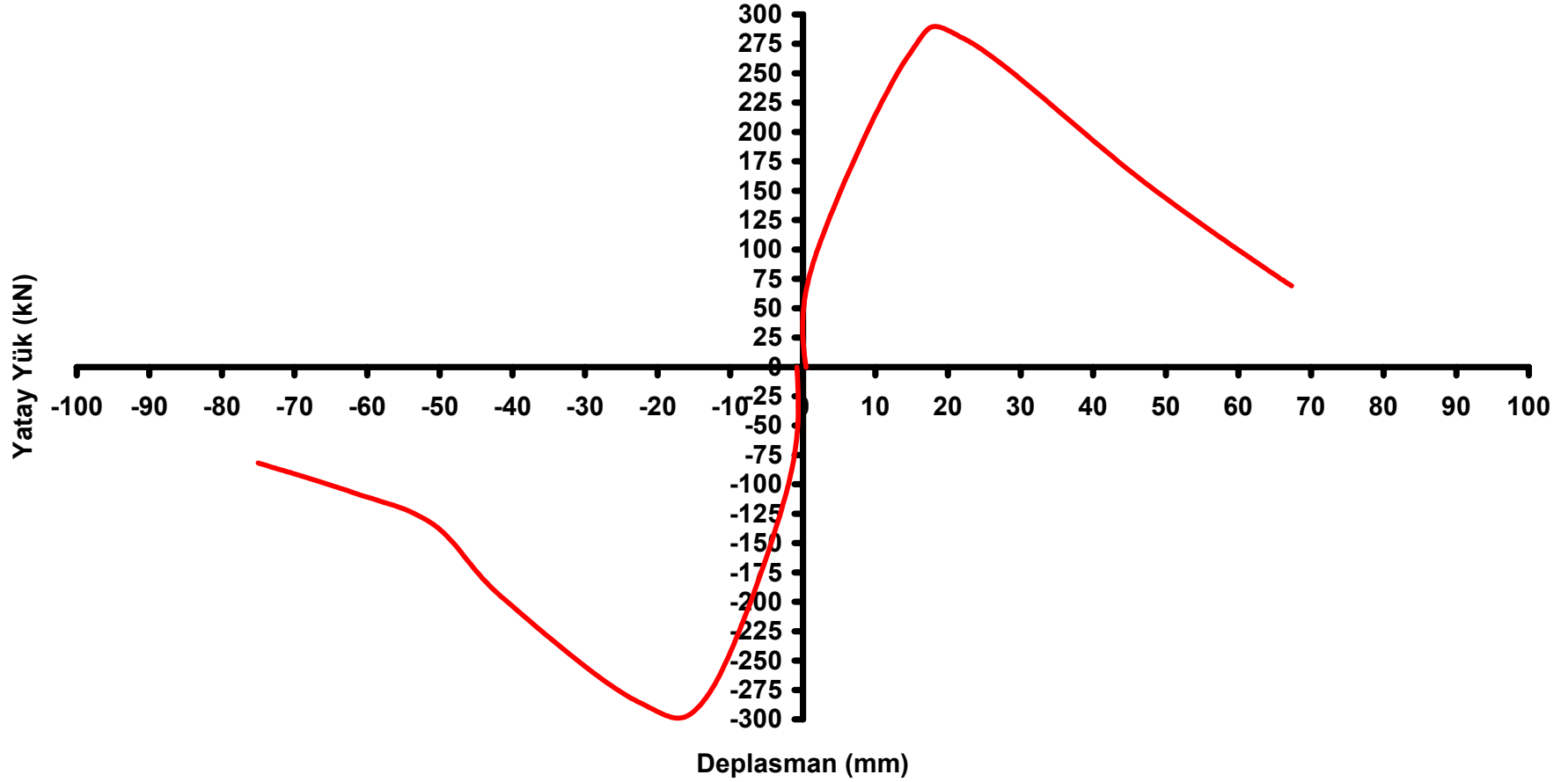
Şekil 5.10.15 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı grafiği

**Deney No 10**  
**Yatay Yük-1.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.10.16 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

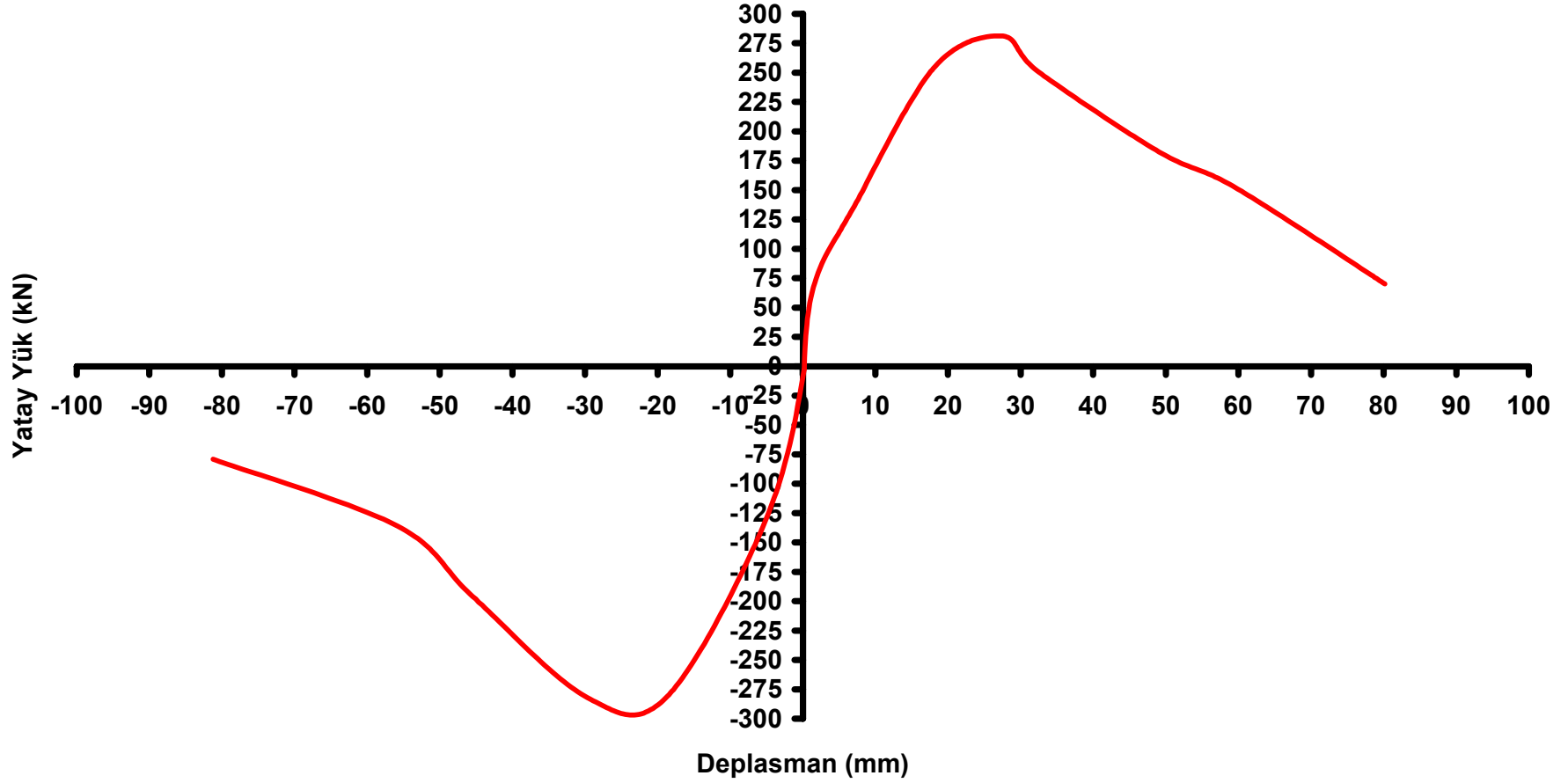
**Deney No 10**  
**Yatay Yük-2.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.10.17 10 nolu deney numunesinin yatay yük-2.kat deplasmanı zarf eğrisi grafiği

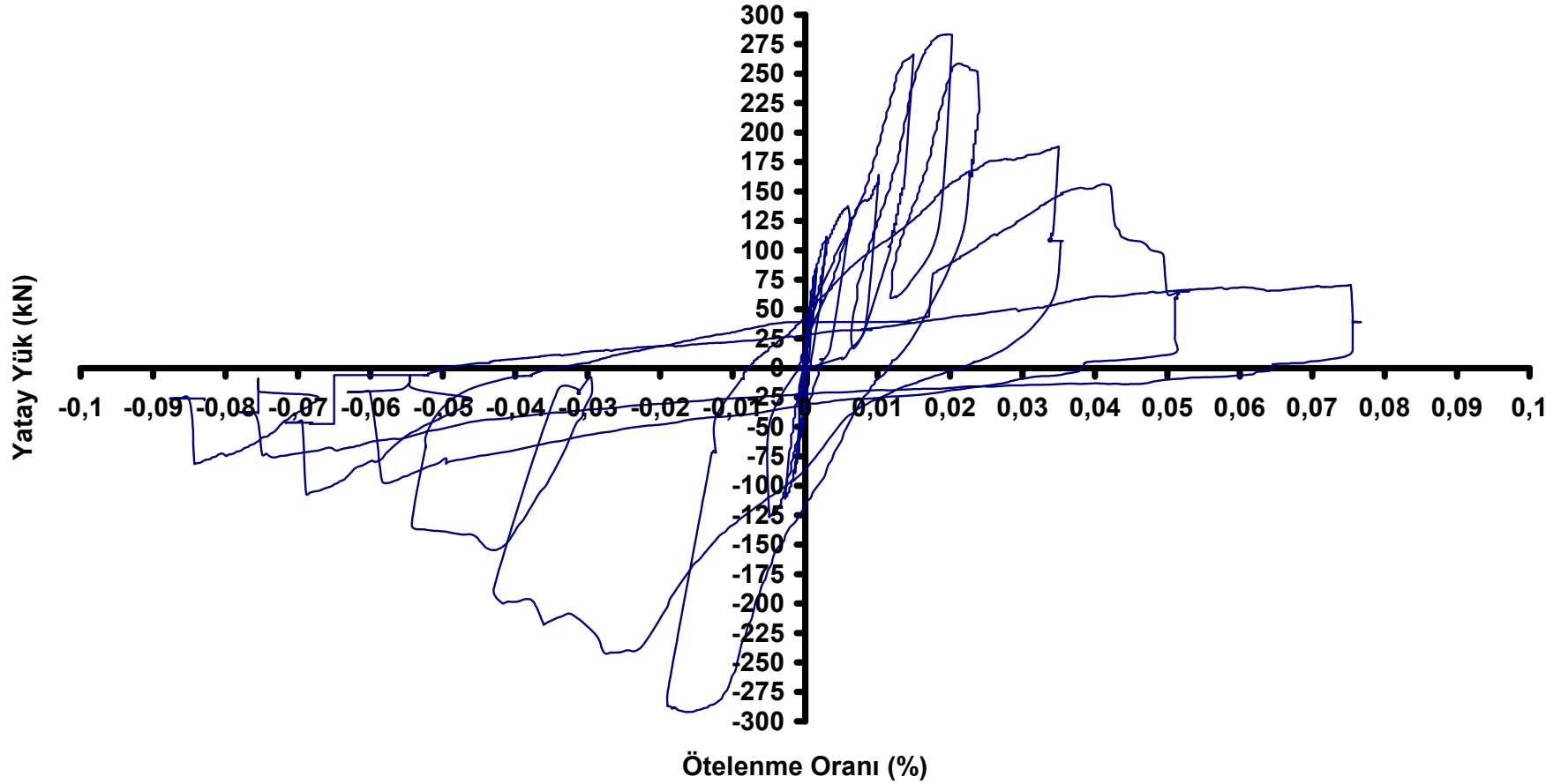


**Deney No 10**  
**Yatay Yük- Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.10.18 10 nolu deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği

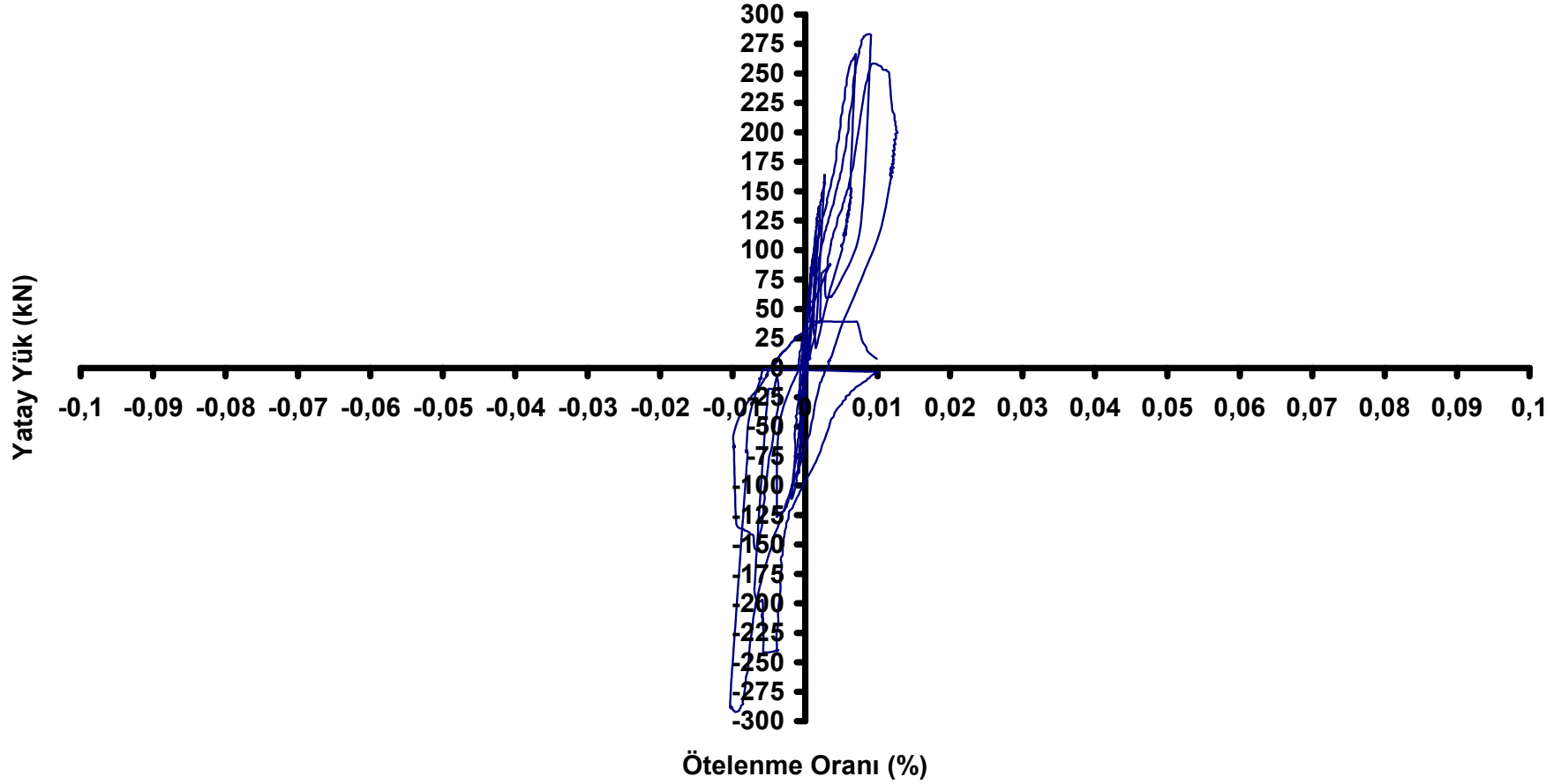
**Deney No 10**  
**Yatay Yük-1.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.10.19 10 nolu deney numunesinin yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği

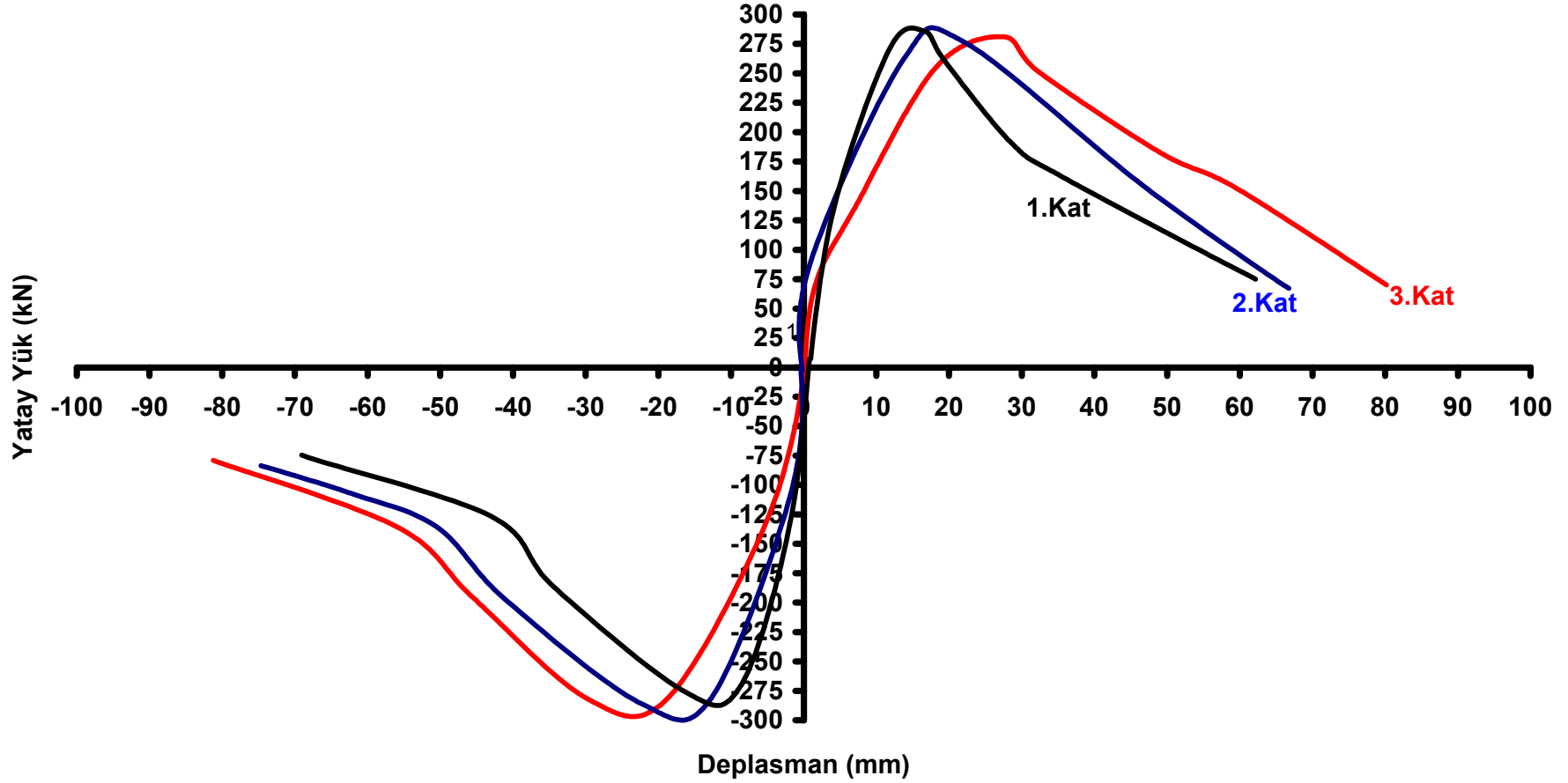


**Deney No 10**  
**Yatay Y¼k-3.Kat Ötelenme Oranı Grafiği**



Şekil 5.10.21 10 nolu deney numunesinin yatay yük-3. kat ötelenme oranı grafiği

**Deney No 10**  
**Yatay Yük- 1., 2. ve 3. Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafiği**



Şekil 5.10.22 10 nolu deney numunesine ait yatay yük-1., 2. ve 3.kat deplasmanları zarf eğrisi grafiği

Numune çerçevede en yüksek yatay yük 285 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen yatay yük-tepe deplasman grafiğinin irdelenmesi sonucu, çerçeve elemanının 100 kN yatay yük değerine kadar elastik davrandığı, bu değerden sonra plastik davranış göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesapla sistemin süneklik katsayısı 6,25 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Yük-Deplasman eğrilerinden yapılan hesaplama sonucunda sistemin yuttuğu enerji 61200 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Kirişlerin eğilme dayanımlarının kolonlara yakın olmasından ötürü küçük deplasman değerlerinde kirişlerin kolon yüzlerinde oluşan mafsallaşmalar, artan deplasman değerinde kenar ve ardından orta kolonlara doğru yönlendiği görülmüştür.

Sistemin kenar açıklıklarına uygulanan kuşaklama ve dolgu duvar sistemin bir bütün rijit eleman olarak davranmasına sebep olmuştur. Bu davranış sonucunda yatay yük kapasitesi artmış, hasarlar Tüm katlara yayılmıştır. Esas hasar basınca maruz duvarların ezilmesinin ardından kolonlarda ortaya çıkmıştır. Alt kat duvarının ezilmesi, kuşaklamalarının çözülmesi ve kolonun hasar görmesi sonucunda sistem ani olarak taşıma gücünü yitirmiş tir. .

Şekil 5.10.22'de verilen grafik irdelendiğinde yumuşak kat davranışına kadar perdeli bir yapı yada konsol bir kiriş gibi en alt katta minimum, en üst katta ise çok daha büyük bir deplasman oluşurken alt kat kuşaklamalarının çözülmesi ile durum tersine dönmüştür.

Sistem sünek, enerji yutan ve deplasman yapabilen bir şekilde göçmeye gitmiştir. Kullanılan kuşaklamalar etkili şekilde çalışmış ve 25-30 mm deplasman değerinde sıyrılarak alt katta devre dışı kalmıştır

Tuğla duvarlar yatay yük kapasitesini özdeş çerçevelerde %185 artırmışlardır. Hesaplamalara dahil edilmemelerine rağmen tuğla duvarların deprem dayanımına katkısı yadsınamaz bir gerçek olarak ortaya çıkmıştır.

## 6. Deneý Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneý modelinin Türkiye’de olası bir depremde hasar görmesi kuvvetle muhtemel yapıları temsil etmesi amaçlanmıştır. 1998 ABYYHY hükümleri çerçevesinde donatılandırılmış ve inřa edilen binaları temsil etmesi amacıyla etriyeleri 135 derece kancalı, kolon kiriş bölgesinde etriye sıklaştırılması yapılmış ve birleşim bölgesinde devam etmesi sağlanmış, bindirme boyları yeterli ve beton kalitesi şartname hükümlerinde üretilen numune referans olarak seçilmiştir.

Kötü binaları temsil etmesi için ise 2 örnek grup oluşturulmuştur. Birinci grup etriyeleri 90 derece gnyeli, birleşim bölgesinde etriyesi devam etmeyen ve C12 beton mukavemetine sahip numunelerdir.

İkinci grup ise donatısı ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılandırılmış yerel şartlar dikkate alınmadan şartname hükümleri doğrultusunda kr körüne yüksek dayanımlı beton mukavemetleri baz alınarak projelendirilmış olmasına rağmen yerinde beton dayanımı düşük yapıları temsil etmektedir.

Numune yapılarda kolonlar kirişlerden aksenal yük seviyesine göre %6 ve %18 mertebelerinde güçlü olarak tasarlanmış, yatay etki altında oluşacak momentlerin kolonlara hasar vermesi ve yumuşak kat davranışını ortaya çıkarması sağlanmıştır.

Kuşaklamalar 3 açıklıklı model çerçevenin orta açıklıkta, her iki kenar açıklıkta ve tüm açıklıklarda bina yüksekliği boyunca devam ettirilmiştir.

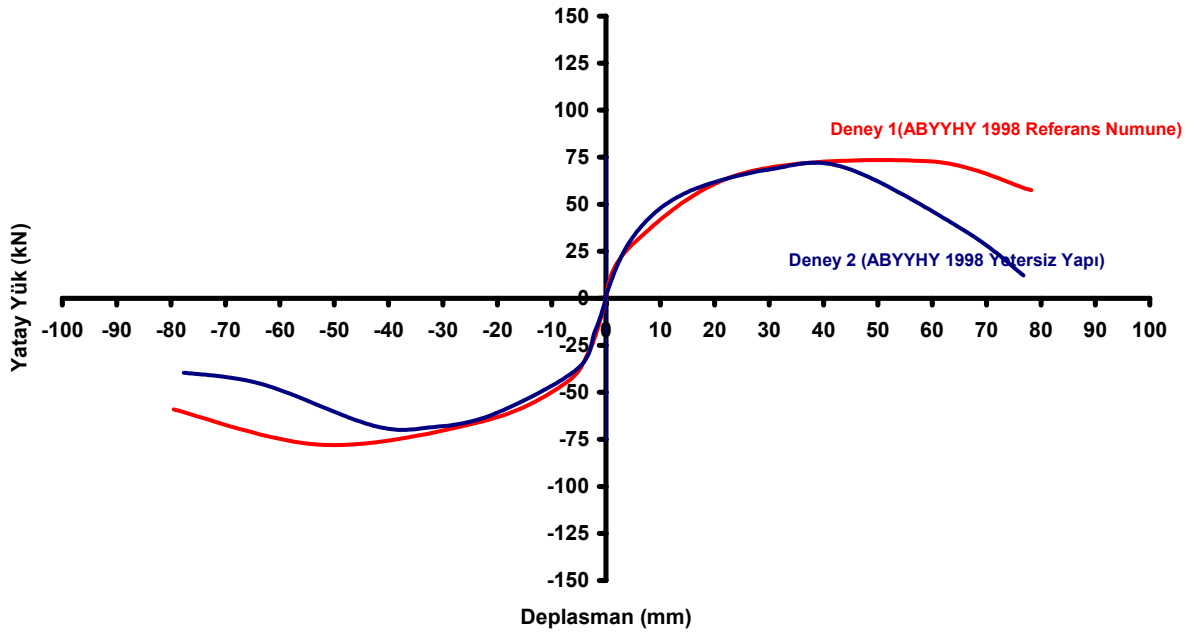
Sonuçlar 3 ayrı grupta incelenecektir;

1.grupta donatı düzeni ABYYHY1998 hükümlerine uygun olan ve olmayan yapıları temsil eden kuşaklamasız numuneler karşılaştırılacak, 2.grupta kuşaklamasının her iki donatı düzendeki çerçevelerde etkisi karşılaştırılacak, 3.grupta ise dolgu duvarların etkinliği ortaya koyularak irdelenecektir.

### 6.1. Kuşaklamasız Numunelerin Karşılaştırılması;

Bu bölümde ABYYHY hükümlerine göre donatılan Referans numune ile kötü inşa edilmiş yapıları temsil eden numuneden elde edilen sonuçlar irdelenecektir. 01DT1C20HKHD ve 02DT2C12HKHD numunelerine ait yatay yük – tepe deplasman grafiği Şekil 6.1.1’de verilmiştir.

#### 1ve 2 Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 6.1.1. Referans numunelerin karşılaştırılması

Akma yükü değeri olarak kabul edilen 30 kN yatay yük seviyesine kadar numunelerin özdeş davrandığı, sonrasında ise ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılmış yapının sünek davranış gösterdiği, yetersiz yapının ise gevrek bir davranış göstererek göçmeye gittiği görülmektedir.

Referans numunenin süneklik katsayısı 6,20 olarak hesaplanırken, yetersiz donatı detayına sahip numunede süneklik katsayısı 4,60 düzeyindedir. Referans numunede maksimum yatay yük 4,5 mm deplasman değerinde 80 kN iken, yetersiz donatı detayına sahip numune 5 mm deplasman değerinde 75 kN yatay yük kapasitesine sahip olmaktadır. Referans numune 25452 kNmm enerji yutarken, yetersiz numune 19800 kNmm enerji sönmülemiştir. Referans numunede, yetersiz



donatı detayına sahip numuneye göre, süneklikte %35 , yatay yük kapasitesinde % 6.67, enerji tüketme kapasitesinde ise %29 artış gerçekleşmiştir.

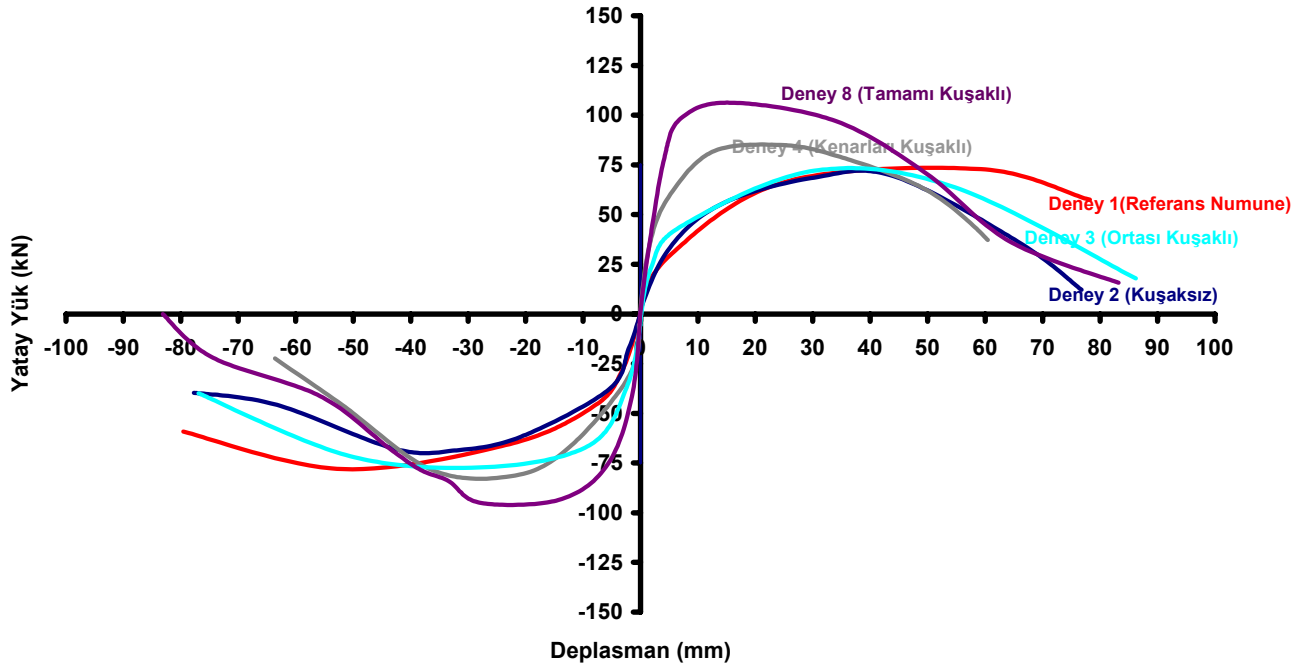
Etriye kullanımı ve yerleştirilmesinin önemi elde edilen sonuçlarda açıkça görülmektedir.

## 6.2. Kuşaklamanın Etkisinin Karşılaştırılması;

### 6.2.1. Kuşaklamanın Yetersiz Donatı Düzenine Sahip Numunelerde Etkisinin Karşılaştırılması;

Yetersiz donatı düzenine sahip kuşaklanmış numunelerden elde edilen dayanım zarfı grafiği Şekil 6.2’de verilmiş olup Tablo 6.1’de maksimum yatay yük kapasiteleri, Tablo 6.2’de süneklik düzeyleri, Tablo 6.3’te enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

#### 1-2-3-4-8 Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 6.2 Yetersiz donatı düzenine sahip numunelerde dayanım zarfı grafikleri

Tablo 6.1 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Maksimum Yük</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	80 kN
Deney 2	02DT2C12HKHD	75 kN
Deney 3	03DT2C12OKHD	82 kN
Deney 4	04DT2C12KKHD	85 kN
Deney 8	08DT2C12TKHD	100 kN

Tablo 6.2 Süneklik düzeyleri değişimi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Süneklik Düzeyi</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	6,20
Deney 2	02DT2C12HKHD	4,60
Deney 3	03DT2C12OKHD	6,25
Deney 4	04DT2C12KKHD	4,75
Deney 8	08DT2C12TKHD	7,00

Tablo 6.3 Enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Enerji Tüketme Kapasiteleri (kNmm)</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	25452
Deney 2	02DT2C12HKHD	19800
Deney 3	03DT2C12OKHD	22000
Deney 4	04DT2C12KKHD	24250
Deney 8	08DT2C12TKHD	28570

Tablolar ve elde edilen dayanım zarfı grafiklerinin irdelenmesinden elde edilen sonuçlara göre kuşaklama miktarı arttıkça yetersiz donatılı referans numuneye göre yatay yük kapasitesi, süneklik (kenarları kuşaklı numune hariç) ve enerji tüketme kapasitesi kademeli olarak artmaktadır.

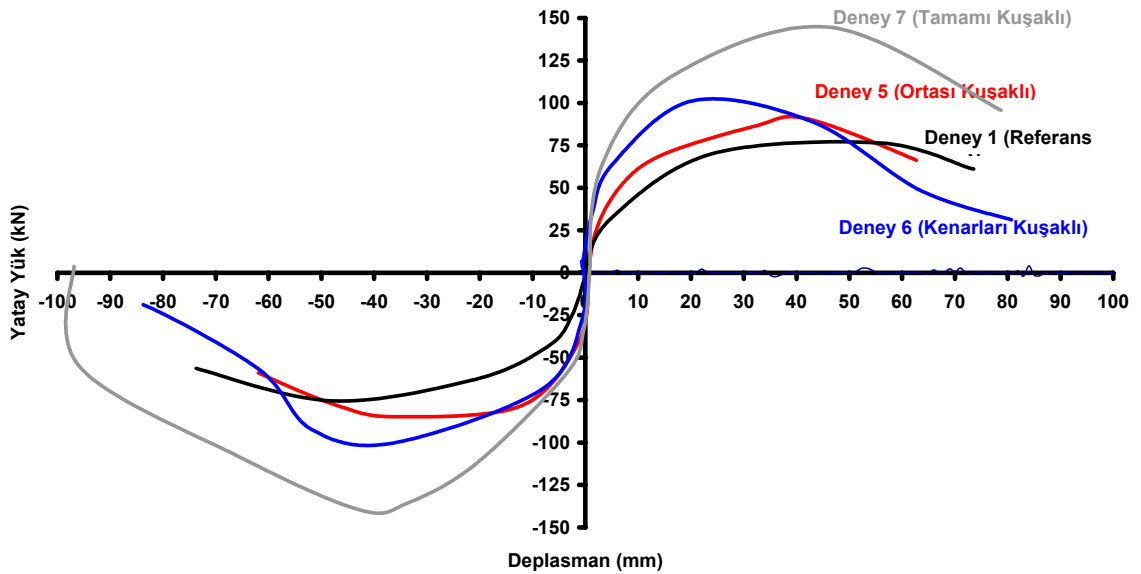
Kuşaklamanın etkinliği, yetersiz çerçevelerin, tek açıklıkta uygulamada enerji tüketme, yatay yük kapasitesi ve süneklik yönünden referans numuneye yaklaşmasını, iki ve daha fazla açıklıkta kuşaklamada ise enerji tüketme, yatay yük kapasitesi yönünden daha iyi sonuçlar vermesini sağlamıştır.

Kenarlarda kuşaklamalı numunelerdeki süneklik azalımı yapının perde ve çerçeveli sistemden, boşluklu perdeli sistem davranışına geçiş yapmasına bağlanabilir.

### 6.2.2. Kuşaklamanın ABYYHY 1998 Hükümlerine Göre Donatılmış Numunelerde Etkisinin Karşılaştırılması;

ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılmış numunelerde numunelerden elde edilen dayanım zarfı grafiği Şekil 6.3'te verilmiş olup Tablo 6.4'te maksimum yatay yük kapasiteleri, Tablo 6.5'te süneklik düzeyleri, Tablo 6.6'da enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

1-5-6-7 Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 6.3 ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılmış numunelerde dayanım zarfı grafikleri

Tablo 6.4 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Maksimum Yük</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	80 kN
Deney 5	05DT1C12OKHD	90 kN
Deney 6	06DT1C12KKHD	100 kN
Deney 7	07DT1C12TKHD	150 kN

Tablo 6.5 Süneklik düzeyleri değişimi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Süneklik Düzeyi</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	6,20
Deney 5	05DT1C12OKHD	6,75
Deney 6	06DT1C12KKHD	6,25
Deney 7	07DT1C12TKHD	7,75

Tablo 6.6 Enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Enerji Tüketme Kapasiteleri (kNmm)</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	25452
Deney 5	05DT1C12OKHD	28750
Deney 6	06DT1C12KKHD	31800
Deney 7	07DT1C12TKHD	39125

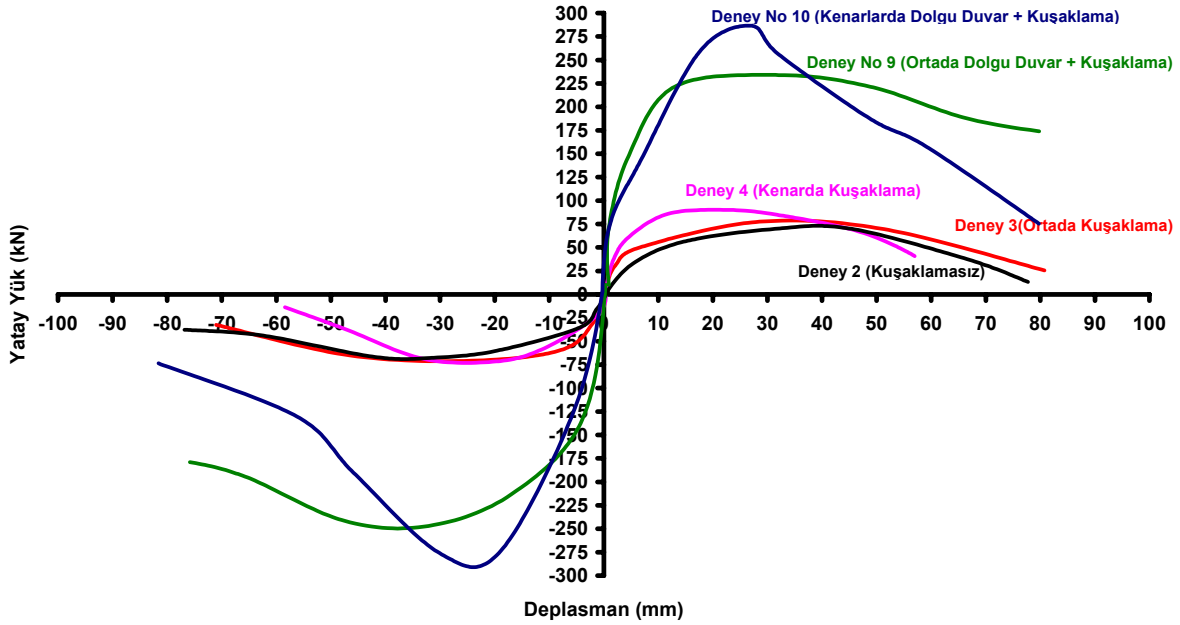
Tablolar ve elde edilen dayanım zarfı grafiklerinin irdelenmesinden elde edilen sonuçlara göre kuşaklama miktarı arttıkça, ABYYHY 1998 hükümlerine göre donatılan referans numuneye göre yatay yük kapasitesi, süneklik (iki kenarı kuşaklamalı numune hariç olmak üzere) ve enerji tüketme kapasitesi kademeli olarak artmaktadır.

Kenarlarda kuşaklamalı numunelerdeki süneklik azalımı yapının perde ve çerçevesi sistemden, boşluklu perdeli sistem davranışına geçiş yapmasına bağlanabilir.

### 6.2.3. Dolgu Duvar Etkisinin Karşılaştırılması;

ABYYHY 1998 hükümlerine göre eksik olarak donatılmış numunelerde orta açıklıkta ve kenar açıklıkta dolgu duvarların kuşaklama ile birlikte yatay yük taşıma kapasitesine etkilerinin irdelenmesi için karşılaştırmalı olarak elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı dayanım zarfı grafiği Şekil 6.4’de verilmiş olup Tablo 6.8’de maksimum yatay yük kapasiteleri, Tablo 6.9’te süneklik düzeyleri, Tablo 6.10’da enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

2-3-4-8-9 Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 6.4 ABYYHY 1998 hükümlerine göre eksik donatılmış kuşaklamalı numunelerde dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız dayanım zarfı grafikleri

Tablo 6.7 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

DENEY NO	KODLAMA	Maksimum Yük
Deneysel No 2 (Referans)	02DT2C12HKHD	75 kN
Deneysel No 3	03DT2C12OKHD	82 kN
Deneysel No 4	04DT2C12KKHD	85 kN
Deneysel No 9	09DT2C12OKOD	225 kN
Deneysel No 10	10DT2C12KKKD	285 kN

Tablo 6.8 Süneklik düzeyleri değişimi

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Süneklik Düzeyi</b>
Deney 2(Referans)	02DT2C12HKHD	4,60
Deney 3	03DT2C12OKHD	6,25
Deney 4	04DT2C12KKHD	4,75
Deney 9	09DT2C12OKOD	9,00
Deney 10	10DT2C12KKKD	3,80

Tablo 6.9 Enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>Enerji Tüketme Kapasiteleri (kNmm)</b>
Deney 2(Referans)	02DT2C12HKHD	19800
Deney 3	03DT2C12OKHD	22000
Deney 4	04DT2C12KKHD	24250
Deney 9	09DT2C12OKOD	55700
Deney 10	10DT2C12KKKD	60000

Tablolar ve elde edilen dayanım zarfı grafiklerinin irdelenmesinden elde edilen sonuçlara göre orta açıklıkta dolgu duvarlar özdeş numuneye göre yatay yük kapasitesini %240, süneklik katsayısını %44 , enerji tüketme kapasitesini ise %253 oranında artırmıştır.

Kenar açıklıkta dolgu duvarlar özdeş numuneye göre yatay yük kapasitesini %335, enerji tüketme kapasitesini %247 oranında artırırken, süneklik katsayısı %25 oranında azaltmıştır.

30 kN yatay yük değerinde oluşan 3.kat yatay deplasmanları Tablo 6.10'da verilmiş olup, kuşaklamaların sistemin elastik bölgede oluşan yatay ötelenmeleri azalttığı görülmektedir.

Tablo 6.10 30 kN Yatay yük değerinde oluşan deplasman değerleri;

<b>DENEY NO</b>	<b>KODLAMA</b>	<b>30 kN Yatay Yük Değerinde Deplasman</b>
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	4,50 mm
Deney 2	02DT2C12HKHD	5,00 mm
Deney 3	03DT2C12OKHD	2,50 mm
Deney 4	04DT2C12KKHD	2,00 mm
Deney 5	05DT1C12OKHD	2,00 mm
Deney 6	06DT1C12KKHD	2,00 mm
Deney 7	07DT1C12TKHD	2,00 mm
Deney 8	08DT2C12TKHD	2,00 mm
Deney 9	09DT2C12OKOD	0,50 mm
Deney 10	10DT2C12KKKD	0,50 mm

Tablo 6.11’de ise maksimum yatay yük değerinde tepe deplasmanları verilmiştir. Tablonun irdelenmesi ve deney ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ışığında zemin kat kuşaklama ankrajlarının çözülmesiyle birlikte deney çerçeveleri ani yük azalışının ardından hızla göçmeye gitmektedirler. Kuşaklama ankrajlarının bulunduğu birleşim bölgesinde etriye ihtiva etmeyen numunelerde sargı etkisi olmamasından ötürü sıyrılmaya etriyeli birleşim bölgesine sahip numunelere göre daha kolay gerçekleşmekte, bunun sonucu olarak yatay yük taşıma kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Tablo 6.11’de deney no 3, deney no 4 ve deney no 8’de maksimum yük değerindeki deplasman kapasiteleri etriyesiz birleşim bölgesindeki sargı etkisinin olmamasından ötürü düşmüştür

Tablo 6.11 Maksimum yatay yük değerlerinde tepe deplasmanı değerleri

DENEY NO	KODLAMA	Maksimum Yük (kN)	Deplasman (mm)
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	80 kN	50 mm
Deney 2	02DT2C12HKHD	75 kN	40 mm
Deney 3	03DT2C12OKHD	82 kN	40 mm
Deney 4	04DT2C12KKHD	85 kN	28 mm
Deney 5	05DT1C12OKHD	90 kN	40 mm
Deney 6	06DT1C12KKHD	100 kN	40 mm
Deney 7	07DT1C12TKHD	150 kN	45 mm
Deney 8	08DT2C12TKHD	100 kN	25 mm
Deney 9	09DT2C12OKOD	225 kN	25 mm
Deney 10	10DT2C12KKKD	285 kN	25 mm

Deney sonuçları, hasar ve göçme mekanizmalarının değerlendirilmesi sonucunda;

- Sistem sünekliği ortada kuşaklama olan sistemde çerçeve davranışına yakın özellik gösterirken, aynı bölgeye duvar eklenmesiyle perdeli çerçeve davranışına yönelmekte, bunun sonucu olarak gerek yatay yük gerekse enerji tüketme kapasitesi artmaktadır.
- Etriyelerin sistem sünekliği, enerji tüketme kapasitesini, yatay yük kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir.
- Etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriye aderans boyunu artırarak sargı etkisini artırmakta ve bunun sonucu olarak gerek düşey, gerekse yatay yük kapasitesine olumlu etkiler yapmaktadır.
- Etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmesi, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellemekte ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin de ödünsüz



uygulanması sonucu birleşim bölgelerindeki hasarlar kırılganlığa kayacak ve ani basınç kırılması göçmelerine sebep olmayacaktır.

- Kuşaklama sargı etkisinin oluşturduğu aderans artışı sebebiyle etriyeli birleşim bölgesine sahip sistemlerde epoksi ile ankraj daha etkin sonuçlar vermektedir.
- Kuşaklamanın etkinliği zemin kat hizasında ankraj boyunun artırılması ile artırılabilir.
- Kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanması sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olacaktır. Bu konu ileri bir çalışma konusu içinde irdelenmelidir.
- Beton kalitesi epoksi ile yapılan ankraj kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Düşük beton kalitesine sahip sistemlerde epoksi ankraj sıyrılmalarının önlenmesi için aderans boyu artırılmalıdır.
- Dolgu duvarların kuşaklama yanında kenar kolonlara ankastre edilerek sistemin monolitik çalışması sağlandığı takdirde sistem davranışı olumlu yönde ilerleyecektir.
- Taşıyıcı olmayan dolgu duvarların çelik ve betonarme çerçevelerin yatay yük kapasitelerine olumlu etkileri bilinen bir gerçektir. Dolgu duvarla beraber çalışan kuşaklama yeni bir çalışma olup, duvar ve kuşaklamanın ayrı ayrı etkinliğinin araştırılması için yalnızca dolgu duvarlı çerçeveler yatay yük etkisi altında ileri bir çalışma konusu içinde irdelenmelidir.
- Kenarlarda kuşaklama sonucu sistemin yatay yük kapasitesi artmış olsa bile, oluşan kuvvet çifti sebebiyle kenar kolonlarda artan Eksenel kuvvetler sebebiyle kolonlarda basınç kırılmalarına sebep olmakta ve sistemin sünek davranışını azaltmaktadır.

- Sünekliği kontrol altında tutmak için kuşaklamalar binanın orta bölgelerinde yapılmalı, kenar açıklıklarda yapılması halinde ortaya çıkan boşluklu perde davranışı sonucu oluşan süneklik azalmasından kaçınılmalıdır.
- Dolgu duvarlar yatay yük kapasitesini artırmakla beraber özellikle kenar açıklıklarda ciddi süneklik azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle dolgu duvarların bina statik hesaplarında yatay yüklere karşı dikkate alınmamasının uygun olduğu düşünülebilir. Kapasite artışları olumlu yönde olmasına rağmen süneklik bazı durumlarda azalmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

Altın, S., 1990. "Strengthening of R/C Frames with RC Infills", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, February 1990

Bartera F. Giacchetti R. ,2004,"Stell dissipating braces for upgrading existing building frames", Journal of Constructional Steel Research 60, 751-769

Dolsek M., Fajfar P. ,2002,"Mathematical modelling of an infilled RC frame structure based on the results of pseudo-dynamic tests", Earthquake Engineering and Structural Dynamics 31, 1215-1230

Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998. "Behavior of Reinforced Concrete Infilled Frames An Experimental Study", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 292-308, February 1998, İstanbul, Turkey

Fukuyama, H., Sugano, S., 2000. "Japanese Seismic Rehabilitation of Concrete Buildings After the Hyogoken-Nanbu Earthquake, Cement and Concrete Composites,Volume: 22, page: 59-79.

Ghobarah A., Elfath H.A.,2001, "Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing" Engineering Structures 23, 745-755

Hayashi, Y., Niwa, H., Fukuhara, M., 1980. "The Strengthening of Existing R/C Buildings",Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Volume 4, September, İstanbul, Türkiye.

Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1984. "Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Building Frames", 8th World Conference on Earthquake Engineering, July, San Francisco CA, volume 1, page 477-484.

Ignatiev, N., 1998. "Some Problems of Existing Buildings with New Structural Components", Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 11-42, February, İstanbul, Turkey.

Kargı, Y., 1999. "Perde Etkisi Oluşturan Bölme Duvarları", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95 sayfa.

Klingner, R.E., Bertero, V.V., 1978. "Earthquake Resistance of Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Volume: 104, page: 973-989.

Köken, A., 2003, "Tersinir Yükleme Altındaki Çok Katlı ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Lee H.S., Woo S.W., 2002, "Effect of masonry infills on seismic performance of a 3-storey R/C frame with non-seismic detailing" Earthquake Engineering and Structural Dynamics 31 353-378

Lynn, A.C., Moehle, J.P., Mahin, S.A., Holmes, W.T., 1996. "Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building Columns, Earthquake Spectra, Volume: 12, No: 4, pp: 715-739.

Maheri M.R. , Kousari R., Razazan M., 2003, "Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames" Engineering Structures, Vol.25, pp. 1697-1705

Maheri M.R. , Sahebi A., 1996, "Use of steel bracing in reinforced concrete frames" Engineering Structures, Vol.19, No.12, pp. 1018-1024

Maheri M.R., Akbari R. ,2003, "Seismic behaviour factor, R, for steel X-braced and knee-braced RC buildings" *Engineering Structures* 25 ,1505-1513

Maheri M.R., Hadjipour A. ,2003, "Experimental investigation and design of steel braced connection to RC frame" *Engineering Structures* 25 ,1797-1714

Miller, J.T., Reaveley, L.D., 1996. "Historical Hotel Utah Remodel and Seismic Upgrade", SP. 160-5.

Mosalam K.M., White R.N., Ayala G.,1998, "Response of infilled frames using pseudo-dynamic experimentation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 27,589-608

Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O., Mertol, H.C., 2003. "Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP", Research Project, YMAÜ-İÇTAG-1575, NATO Sfp977231, March.

Phocas M.C., Pocanschi A. , 2003, "Steel frames with bracing mechanism and hysteretic dampers" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 32, 811-825

Sonuvar, M.O., 2001. "Hysteretic Rspnse of Reinforced Concrete Frames repaired by Means of reinforced Concrete Infills", A Doctor of Philiosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, June

Sugano, S., 1980. "Aseismic Strengthening of Eisting Reinforced Concrete Buildings", Proceedings of the First Seminar on Repair and Retrofit of Structures, US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program, May

Sugano, S., Fujimura, M., 1980. "Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Volume 6, İstanbul, Türkiye

Taghdi M., Bruneau M., Saatcioglu M.,1998,"Seismic retrofit of non-ductile concrete and masonry walls by steel-strips bracing" 11th European Conference on Earthquake Engineering ,Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 982 3

Tezcan, S.S, İkizoğulları, S., 1998. "Stresses along the Periphery of the Infilled Shear Walls in Retrofitted Frames", Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 199-209, February, İstanbul, Turkey.

Türk, A.M., 1998. "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infill Walls", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University.

Valluvan, R., Kreger, M.E., Jirsa, J.O., 1993. "Strengthening of Column Splices for Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames", ACI Structural Journal, Volume 90, No 4, July.

Yanmaz Ö., Luş H. ,2001, "Yapı Güçlendirme Yöntemlerinin Fayda-Maliyet Analizi" Teknik Rapor

TS500-2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Ankara.