T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLONLARI BASINÇ KIRILMASI GÖSTEREN SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN DIŞ PERDE DUVAR UYGULAMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Ülkü Sultan YILMAZ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Konya, 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLONLARI BASINÇ KIRILMASI GÖSTEREN SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN DIŞ PERDE DUVAR UYGULAMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Ülkü Sultan YILMAZ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 12.01.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI – S.Ü. (Danışman)

Prof. Dr. Recep KANIT – G.Ü. (Üye)

Yrd. Doç. Dr. Hicran AÇIKEL - S.Ü. (T.İ.K. Üyesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI - S.Ü. (T.İ.K. Üyesi)

Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN - S.Ü. (Üye)

ÖZET

Doktora Tezi

KOLONLARI BASINÇ KIRILMASI GÖSTEREN SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN DIŞ PERDE DUVAR UYGULAMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Ülkü Sultan YILMAZ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
2007, 377 sayfa

Jüri: Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Prof. Dr. Recep KANIT
Yrd. Doç. Dr. Hicran AÇIKEL
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI
Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN

Ülkemizde son otuz yılda, özellikle de son on yılda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçları, deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmının çeşitli yetersizliklerden dolayı yeterli deprem dayanımına sahip olmadıklarını göstermiştir. Hasar görmemiş ve halen kullanımda olan yapıların büyük çoğunluğu da yeterli deprem dayanımına sahip değildir. Bu yüzden; daha önce yaşanan depremlerde görülen son derece acı ve olumsuz sonuçların, olası yeni depremlerde en aza indirilebilmesi için, özellikle önemli deprem bölgelerindeki kamu ve toplu konut binalarından başlayarak, mevcut yapıların deprem dayanımlarının belirlenmesi ve ekonomik görüldüğü takdirde, yeterli dayanıma sahip olmayan hasar görmemiş binaların güçlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Mevcut güçlendirme yöntemlerinin tamamında kullanıcının binayı terk etme zorunluluğu yüzünden, bu yöntemlerin hiç birisi halen kullanımda olan ve deprem davranışı yönünden zayıflıklar içeren çok sayıda binanın güçlendirilmesinde kullanılmasını imkansız veya çok zor kılmaktadır. Bu nedenle, kullanımda olan binaların güçlendirilebilmesi için, binanın boşaltılmasını gerektirmeyen, hızlı ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında bina kullanıcıları binayı terk etmeden binanın dışından sistemin iyileştirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, ülkemizdeki mevcut betonareme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, iki açıklıklı ve iki katlı 2 adet boş betonarme çerçeve ve 2 adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye tek yönlü olarak betonarme dış perde duvar ilave edilmesi ile güçlendirilmiş/iyileştirilmiş sistem, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiş; daha sonra, aynı özellikteki mevcut betonarme binaya, betonarme dış perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan analitik çalışmada ise; deney elemanlarının gerçek malzeme dayanımları kullanılarak, SAP2000 programında pushover analiz gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey elemanlar için de, moment-eğrilik ilişkisi bir bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİME: Betonarme çerçeve, betonarme dış perde duvar, tersinir-tekrarlanır yatay yük, güçlendirme, pushover analiz, deprem etkisi.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

STRENGTHENING NON-DUCTILE REINFORCED CONCRETE FRAMES BY COLUMNS FAILURE IN COMPRESSION BY APPENDING EXTERNAL SHEAR WALL

Ulku Sultan YILMAZ
Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. M. Yasar KALTAKCI
2007, 377 pages

Jury: Prof. Dr. M. Yasar KALTAKCI
Prof. Dr. Recep KANIT
Asist. Prof. Dr. Hicran ACIKEL
Asist. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Asist. Prof. Dr. Ali KOKEN

During the last thirty years in Turkey, big major earthquakes that caused significant casualties and extensive structural damage have shown that the structures in Turkey are far from possessing qualities that would ensure satisfactory seismic performance. Most of the undamaged and still-used structures do not have seismic performance. Therefore, in order to reduce the extremely bad and negative results already met in pre-experienced earthquakes, the determination of earthquake resistances and if economic the strengthening of public and housing estate buildings primarily which do not have sufficient seismic performance will be inevitable.

Due to absolute necessity of leaving the building for the application of all the present strengthening methods, the utilization of all these methods becomes impossible or so difficult for the strengthening of still-used buildings and the undamaged buildings having non-seismic-resistant. Therefore, the development of quick and economical methods for strengthening the buildings which do not require the leaving process from the building is needed.

In this study, differing from the today's strengthening methods; the improvement methods of the system from the exterior of the building without leaving the building are investigated. For this purpose, two bare reinforced concrete non-ductile two-spanned two-storeyed frames having similar faults frequently met at present reinforced concrete buildings of our country and produced with 1/3 scale with no seismic resistance, whose columns present compression cracks and the system consisted of two reinforced concrete frames improved/strengthened by adding external shear wall and having similar properties with the produced ones were investigated experimentally under reverse-cycling horizontal loading resembling the earthquake effect. At the end of the evaluation of the experimental data, the strength, rigidity, energy consumption capacity and behaviors of multi-spanned and multi-storeyed reinforced concrete non-ductile frames having insufficient seismic performance and whose columns present compression cracks were obtained, and then the results and the behaviors occurred due to a system improvement/strengthening performed on a reinforced concrete building having similar properties and reinforced concrete external shear wall addition were compared with each other.

In the analytical study, by using the real material properties of the test specimens, the pushover analysis was performed in SAP2000 computer program and the results were compared with the experimental data. In addition, the moment-curvature relationship of the vertical members was obtained with a computer program and the obtained results were compared with the experimental values.

In the last section, the obtained experimental and analytical results were evaluated by making comparisons and necessary suggestions were made.

Keywords: Reinforced Concrete Frame, reinforced concrete external shear wall, reversed-cycling horizontal load, strengthening, pushover analysis, seismic effect.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmamın bütün safhalarında beni yönlendiren ve destekleyen, teşvik eden, daima en iyi ve doğrunun olması için çalışan, bu yönde beni yetiştiren ve yardımcı olan, laboratuvar imkanlarını bize sağlayan danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya öncelikle teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmama verdiği destekten dolayı Sayın Prof. Dr. Ergin ATIMTAY'a, bu çalışmanın gerek laboratuar, gerekse diğer aşamalarında her zaman bana yardımcı olup desteklerini esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Sayın Yrd. Doç. Dr. Hicran AÇIKEL ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI ile Yrd. Doç. Dr. Nail KARA, Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN, Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN, Yrd. Doç. Dr. Günnur YAVUZ, Öğr. Gör. Dr. Abdulkerim İLGÜN, Arş. Gör. Nebi ÖZDÖNER, Arş. Gör. İ. Hakkı ERKAN ve İnşaat Mühendisliği Deprem Araştırma Laboratuarı Teknisyeni Yüksel ÇİFTÇİ ile Muharrem YOLCU ve Murat Yavuz TÜRK'e, bana yardımcı ve destek olan tüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın bütün safhalarında bana yardımcı olan, beni destekleyen ve teşvik eden, birlikte çalıştığım arkadaşım Arş. Gör. M. Hakan ARSLAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışmayı destekleyen S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne de teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca, benden sevgi ve desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım süresince yanımda olan sevgili kardeşime, annem ve babama destekleri için teşekkür ederim.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu doktora tezi çalışmasında, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü; 2004/076 nolu araştırma projesi kapsamında "Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi" ismiyle 39.000.000.000.-TL maddi destek sağlamıştır. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Bu çalışma ayrıca, YUUP-KP20760-08-11-DPT-2004 projesi kapsamında da desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **I**
ABSTRACT ..... **III**
TEŞEKKÜR ..... **V**
ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR ..... **VI**
İÇİNDEKİLER ..... **VII**
KULLANILAN SEMBOLLER ..... **XI**
ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **XIII**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **XVI**
1. GİRİŞ 1
1.1. Yapılarda Görülen Hasar Türleri 10
1.2. Sismik İyileştirme (Onarım ve/veya Güçlendirme) Stratejisi ve Teknikleri 12
1.3. Amaç ve Kapsam 17
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 23
3. MATERYAL VE METOT 48
3.1. Deney Numuneleri 49
3.1.1. Deney Numunelerinin Boyutları 50
3.1.2. Deney Numunelerinin Detayları 52
3.1.3. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri 62
3.1.3.1. Beton 62
3.1.3.2. Donatı 67
3.1.3.3. Ankraj çubukları 70
3.1.4. Güçlendirme Amaçlı Dış Perde Duvarın Özellikleri 73
3.1.5. Güçlendirme Dış Perde Duvarı Betonlarının Dökülmesi 78
3.1.6. Yatay Konumdaki Betonarme Çerçevelerin Düşey Konuma Getirilmesi 80
3.2. Deney Modellerinin Değerlendirilmesi 83
4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ 87
4.1. Giriş 87
4.2. Deney Düzeneği 87

4.3. Ölçme Tekniği 92
4.3.1. Yük Ölçümleri 92
4.3.2. Yer Değiştirmelerin Ölçülmesi 95
4.3.3. Yük ve Yer Değiştirme Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması 95
4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği 96
4.5. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı 101
4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi 106
4.6.1. Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Elde Edilmesi 106
4.6.2. Yatay Yük-Tepe Deplasmanı ve Moment-Eğrilik Grafiklerinin Elde Edilmesi 106
4.6.3. Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi 111
4.6.4. Rijitlik Azalımı Grafiklerinin Çizdirilmesi 112
4.6.5. Tüketilen Enerji Grafiklerinin Elde Edilmesi 114
4.6.6. Perde Duvarların Eğriliklerinin Bulunması 116
5. DENEY SONUÇLARI 119
5.1. 1-BK-ZK nolu Deney (1. Grup Boş Çerçeve) 125
5.2. 2- BK-KK nolu Deney (2. Grup Boş Çerçeve) 151
5.3. 3-BK-ZK PERDELİ nolu Deney (1. Grup Dış Perde Duvar İlaveli Çerçeve) 180
5.4. 4- BK-KK PERDELİ nolu Deney (2. Grup Dış Perde Duvar İlaveli Çerçeve) 212
6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRLMASI 242
6.1. Betonarme Boş Çerçeve Deney Numunelerinin Karşılaştırılması (1. ve 2. Deney Numunesi) 242
6.1.1. Dayanım Karşılaştırması 242
6.1.2. Rijitlik Karşılaştırması 246
6.1.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması 249
6.2. 1. Grup Betonarme Boş Çerçeve ile Betonarme Dış Perde Duvar İlave Edilmiş Güçlendirilmiş Çerçeve Numunelerinin Karşılaştırılması (1. ve 3. Deney Numunesi) 252

6.2.1. Dayanım Karşılaştırması 252
6.2.2. Rijitlik Karşılaştırması..... 255
6.2.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması..... 258
6.3. 2. Grup Betonarme Boş Çerçeve ile Betonarme Dış Perde Duvar İlave Edilmiş Güçlendirilmiş Çerçeve Numunelerinin Karşılaştırılması (2. ve 4. Deney Numunesi) 261
6.3.1. Dayanım Karşılaştırması 261
6.3.2. Rijitlik Karşılaştırması 264
6.3.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması..... 267
6.4. 1. ve 2. Grup Güçlendirilmiş Çerçeve Numunelerinin Karşılaştırılması (3. ve 4. Deney Numunesi) 270
6.4.1. Dayanım Karşılaştırması 270
6.4.2. Rijitlik Karşılaştırması 273
6.4.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması..... 276
6.5. Tüm Deney Numunelerinin Karşılaştırılması (1., 2., 3. ve 4. Deney Numunesi) 279
6.5.1. Dayanım Karşılaştırması 279
6.5.2. Rijitlik Karşılaştırması..... 282
6.5.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması..... 281
6.6. Bütün Numunelerin İleri Çevrim Rijitlik Değerlerinin Karşılaştırılması……289
6.7. Bütün Numunelerin İleri Çevrimlere Göre Enerji Tüketme Özelliklerinin Karşılaştırılması……..…….291

7. ANALİTİK ÇALIŞMALAR VE DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 294
7.1. Deneysel Davranışın Analitik Olarak İncelenmesi……294
7.2. Statik İtme Analizi (Pushover Analysis).....285
7.3. Deney Numunelerinin SAP 2000 ile Lineer Olmayan Analizi 302
7.4. Dayanım 320
7.4.1. İlk eğilme çatlağı yükü 320
7.4.2. Dış perde duvarda oluşan ilk eğilme çatlağı yükü……...321

7.4.3. Dış perde duvarda ilk eğik asal çekme çatlağı yükü 322
7.4.4. Perde duvarlarda maksimum kayma gerilmesi..... 325
7.5. Yatay Yük Taşıma Kapasitesi 327
7.5.1. Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı 327
7.5.2. Barda'nın Yaklaşımı..... 330
7.5.3. Benjamin ve Williams'ın Yaklaşımı 332
7.5.4. TS-500 ve TDY-98(2006) Yaklaşımı..... 334
7.5.5. Kat Öteleme Oranları 336
7.5.6. Süneklik Katsayısı 338
7.6. Kolon Tabanlarında Moment-Eğrilik İlişkisi 341
7.6.1. S101 Kolonu İçin Moment-Eğrilik İlişkisi..... 342
8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 348
8.1. Giriş..... 348
8.2. Sonuçlar ve Değerlendirmeler 350
8.2.1. Deneysel çalışmalardan ulaşılan sonuçlar……..……350
8.2.1.1. Dayanım özellikleri…….350
8.2.1.2. Rijitlik özellikleri……....351
8.2.1.3. Enerji tüketimi özellikleri……. 355
8.2.1.4. Süneklik özellikleri…… 358
8.2.1.5. Davranış özellikleri…….358
8.2.2. Analitik çalışmalardan ulaşılan sonuçlar…..……...360
8.3. Yorum ve Öneriler……..362
9. KAYNAKLAR ..... .364

KULLANILAN SEMBOLLER

A : Brüt beton kesit alanı

$A_{sgövde}$: Perde duvar gövde donatı alanı

A_{sh} : Perde duvarı yatay donatı oranı

A_{st} : Çekme donatısı alanı

b_b : Kiriş enkesit genişliği

b_c : Kolon enkesit genişliği

b_w : Kiriş veya perde duvar kesit genişliği

d_e : Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık

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_{uncr} : Çatlamamış beton basınç dayanımı

f_{yk} : Donatı akma dayanımı

h : Kat yüksekliği

H : Yatay yük ve temel seviyesi arasındaki mesafe

H_{cr} : Kritik perde yüksekliği

h_i :Binanın i'inci katının kat yüksekliği

H_w : Perde duvar uzunluğu

I, I_g : Brüt beton kesit atalet momenti

l_w : Perde duvarı genişliği

L_u : Perde uç bölgesi uzunluğu

L_w : Perde duvar yüksekliği

M : Moment

N : Kesite uygulanan toplam eksenel yük

R : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

s : Enine donatı aralığı

V_{etriye} : Etriye donatısının taşıdığı kesme kuvveti, N

V_{kolon} : Kolon kesme kuvveti taşıma kapasitesi, N

V_{fcr} : Eğilme çatlamasını meydana getiren yatay yük

V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

V_u : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

y : Merkez ve en dış çekme lifi arasındaki mesafe

Δ : Perde duvarlardaki birim boy değişimi

Δ_{imaks} : Maksimum kat ötelenme oranı

δ / h : Kat ötelenme oranı

$\Sigma \delta / h$: Kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı

ε : Birim deformasyon

ε_{cu} : Betonun ezilme birim uzaması

ε_{su} : Donatı kopma birim uzaması

ε_{sy} : Donatı akma birim uzaması

γ : Kesme şekil değiştirmesi

μ_Δ : Ötelenme sünekliği

μ_ϕ : Dönme sünekliği

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ_{min} : Minimum çekme donatısı oranı

ρ_v : Perde duvarı düşey donatı oranı

τ : Kayma gerilmesi

τ_c : Perde duvarı betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi

τ_b : Perde duvarı donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi

τ_u : Perde duvarı tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Türkiye deprem bölgelerinin, coğrafi bölgelerin yüzölçümlerine göre dağılımı (DİE, 2000)
Çizelge 3.1. Deney programında yer alan elemanlar
Çizelge 3.2. Perde duvar betonlarının malzeme karışım oranları (1 m^3 beton için)
Çizelge 3.3. Perde duvar betonlarının malzeme karışım oranları (1 m^3 beton için)
Çizelge 3.4. Boş çerçeve deney elemanlarının ortalama karakteristik beton basınç dayanımları
Çizelge 3.5. Dış perde duvar elemanlarının ortalama karakteristik beton basınç dayanımları
Çizelge 3.6. Deney elemanlarında kullanılan donatı çubuklarının özellikleri
Çizelge 3.7. Deney çerçevelerindeki elemanların kesit büyüklükleri ve donatıları
Çizelge 3.8. Dış perde duvar ilaveli deney çerçevelerindeki perdelerin kesit büyüklükleri ve donatıları
Çizelge 4.1. Deney numuneleri için SAP2000 pushover analizde belirlenen akma yükü ve deplasman değerleri
Çizelge 5.1. Kolonlarda başlangıç normal kuvvet seviyesi
Çizelge 5.2. 1. nolu deney numunesinin özellikleri
Çizelge 5.3. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış
Çizelge 5.4. 2. deney numunesinin özellikleri
Çizelge 5.5. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış
Çizelge 5.6. 3. deney numunesinin özellikleri
Çizelge 5.7. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış
Çizelge 5.8. 4. deney numunesinin özellikleri
Çizelge 5.9. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış
Çizelge 6.1. 1. ve 2. deney numunelerine ait dayanım özellikleri
Çizelge 6.2. 1. ve 2. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri
Çizelge 6.3. 1. ve 2. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri
Çizelge 6.4. 1. ve 3. deney numunelerine ait dayanım özellikleri
Çizelge 6.5. 1. ve 3. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

Çizelge 6.6. 1. ve 3. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri
Çizelge 6.7. 2. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri
Çizelge 6.8. 2. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri
Çizelge 6.9. 2. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri
Çizelge 6.10. 3. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri
Çizelge 6.11. 3. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri
Çizelge 6.12. 3. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri
Çizelge 6.13. Tüm deney numunelerine ait dayanım özellikleri
Çizelge 6.14. Tüm deney numunelerine ait rijitlik özellikleri
Çizelge 6.15. Tüm deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri
Çizelge 6.16. Deney numunelerinin ileri çevrim rijitlik değerleri
Çizelge 6.17. Deney numunelerinin kümülatif tüketilen enerji karşılaştırmaları (ileri çevrimlere göre)
Çizelge 6.18. Tüm deney numuneleri için ilk çatlak ve ilk mafsal oluşum değerleri
Çizelge 7.1. Betonarme kirişlerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)
Çizelge 7.2. Betonarme kolonlarda plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)
Çizelge 7.3. Betonarme perdelerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)
Çizelge 7.4. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları
Çizelge 7.5. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları
Çizelge 7.6. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları
Çizelge 7.7. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları
Çizelge 7.8. Deney elemanlarında ilk eğilme çatlağı yükü (kN)
Çizelge 7.9. Perdelerde ilk kesme çatlağı yükü (kN)
Çizelge 7.10. Perde duvarı tabanında oluşan maksimum kayma gerilmeleri
Çizelge 7.11. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı)
Çizelge 7.12. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı)
Çizelge 7.13. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Barda'nın Yaklaşımı)

Çizelge 7.14. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Benjamin ve Williams'ın Yaklaşımı)
Çizelge 7.15. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (TS-500 ve TDY-98 (yada 2006))
Çizelge 7.16. Kat öteleme oranları (akma yükü için) (TDY-98 (yada 2006))
Çizelge 7.17. Kat öteleme oranları (maksimum yük için) (TDY-98 (yada 2006))
Çizelge 7.18. Kat öteleme oranları (deney sonu için) (TDY-98 (yada 2006))
Çizelge 7.19. 1. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (ileri çevrim)
Çizelge 7.20. 1. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (geri çevrim)
Çizelge 7.21. 2. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (ileri çevrim)
Çizelge 7.22. 2. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (geri çevrim)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Zemin koşulları nedeniyle depremde hasar gören binalar
Şekil 1.2. Malzeme özellikleri yetersiz elemanlar
Şekil 1.3.Yapının planda düzensiz olması durumu
Şekil 1.4. Yapının düşeyde düzensiz olması durumu
Şekil 1.5. Yapılarda yumuşak kat oluşumu ve hasarı
Şekil 1.6. Yetersiz donatı detayı
Şekil 1.7. Yetersiz donatı detayı ve beton kalitesi
Şekil 1.8. Kolonlarda plastik mafsal oluşumu
Şekil 1.9. Yapıda kısa kolon oluşumu ve etkisi
Şekil 1.10. Prefabrike binalarda oluşan hasar
Şekil 1.11. Fay hattına yakın yapılaşma
Şekil 1.12. Sismik iyileştirme stratejisi
Şekil 1.13. Sismik güçlendirme, sismik izolasyon ve enerji tüketme
Şekil 1.14. Tipik güçlendirme yöntemleri
Şekil 1.15. Betonarme çerçeve güçlendirme türleri ile yapı davranışının değişimi
Şekil 3.1. Betonarme çerçeve deney elemanlarının boyutları
Şekil 3.2. 1. Grup (Zayıf kolon-kuvvetli kiriş) çerçeve numunelerine ait donatı detayı
Şekil 3.3. 2. Grup (Kuvvetli kolon-zayıf kiriş) çerçeve numunelerine ait donatı detayı
Şekil 3.4. 1. ve 2. Grup çerçeve numunelerine ait temel donatı detayı
Şekil 3.5. 1. Grup (Zayıf kolon-kuvvetli kiriş) çerçeve kalıp ve donatıları
Şekil 3.6. 2. Grup (Kuvvetli kolon-zayıf kiriş) çerçeve kalıp ve donatıları
Şekil 3.7. Bütün deney numunelerinin çerçeve kalıp ve donatıları
Şekil 3.8. Deney numunelerine ait boş çerçeve donatı şeması
Şekil 3.9. Deney numunelerine ait çerçeve kirişi donatı detayı
Şekil 3.10. 1. Grup (ρ= 0,013) deney numunelerine ait kenar ve orta kolonların donatı detayı
Şekil 3.11. 2. Grup (ρ= 0,023) deney numunelerine ait kenar ve orta kolonların donatı detayı
Şekil 3.12. Tüm deney numunelerine ait boş çerçeve temel donatı detayı

Şekil 3.13. Boş betonarme çerçevelerin betonunda kullanılan agrega granülometrisi
Şekil 3.14. Dış perde duvar betonunda kullanılan agrega granülometrisi
Şekil 3.15. Boş çerçeve numunelerinin beton döküm işlemi
Şekil 3.16. Tüm çerçevelerin betonu döküldükten durumu ve bakımı
Şekil 3.17. Boş çerçevelerin betonu dökümünde yapılan kıvam deneyi
Şekil 3.18. Boş çerçeve betonundan alınan standart silindir numuneler
Şekil 3.19. Beton basınç deneyi
Şekil 3.20. Donatı çubuklarının çekme deneyine tabi tutulduğu alet
Şekil 3.21. Donatı çubuklarının çekme deneyi
Şekil 3.22. Dış perde duvar ilaveli çerçevedeki ankraj çubuğu detayı
Şekil 3.23. Dış perde duvar ilaveli çerçevedeki ankraj çubukları
Şekil 3.24. Ankraj çubuğu deliklerinin açılması
Şekil 3.25. Ankraj çubuğu deliklerinin temizlenmesi
Şekil 3.26. Ankraj çubuklarını yerleştirilmesi
Şekil 3.27. Betonarme dış perde duvar donatısının çerçeveye bağlanmış durumu
Şekil 3.28. Güçlendirme için kullanılan betonarme dış perde duvar ve temelinin
Şekil 3.29. Güçlendirme için kullanılan betonarme dış perde duvarın donatılarının donatıları
Şekil 3.30. Güçlendirme için kullanılan betonarme dış perde duvarın donatı detayları çerçeveye eklenmiş durumu
Şekil 3.31. Betonarme dış perde duvar beton dökümü
Şekil 3.32. Betonarme dış perde duvarın kalıptan çıkmış durumu
Şekil 3.33. Çerçeveleri düşey konuma getirmek için kullanılan düzenek
Şekil 3.34. Çerçeveleri vinç yardımıyla düşey konuma getirilmesi
Şekil 3.35. Çerçevenin laboratuar içine alınması
Şekil 3.36. Betonarme çerçeve numunelerindeki elemanların numaralandırılması
Şekil 4.1. Deney elemanını yükleme çerçevesine sabitlemede kullanılan delikler
Şekil 4.2. Yatay yükün numuneye verilmesinde kullanılan transmisyon çelikleri ve numuneye bağlanma şekli
Şekil 4.3. Numunenin yanal stabilitesini sağlayan sistemin bir parçası
Şekil 4.4. Eksenel yükü aktarmada kullanılan makara sistemi
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan rijit yükleme çerçevesi

Şekil 4.6. Rijit yükleme çerçevesi içindeki rijit platform
Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği
Şekil 4.8. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği
Şekil 4.8. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği
Şekil 4.9. Deneylerde kullanılan düzenek ve yükleme sistemi
Şekil 4.10. Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği
Şekil 4.11. Boş çerçeve deney numunelerinde kullanılan LVDT yerleşim yerleri
Şekil 4.12. Dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçeve deney numunelerinde kullanılan LVDT yerleşim yerleri
Şekil 4.13. Boş çerçeve ve dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçeve deney numunelerinde ölçüm düzeneği
Şekil 4.14. 1 nolu deney elemanı için uygulanan yükleme programı
Şekil 4.15. 2 nolu deney elemanı için uygulanan yükleme programı
Şekil 4.16. 3 nolu deney elemanı için uygulanan yükleme programı
Şekil 4.17. 4 nolu deney elemanı için uygulanan yükleme programı
Şekil 4.18. Yatay deplasman ölçüm düzeneği
Şekil 4.19. Net yatay deplasmanların hesaplanması
Şekil 4.20. Kolon tabanındaki eğrilik değerinin belirlenmesi
Şekil 4.21. Çerçeve yüklerinden kolonların moment-eğrilik grafiğine geçiş
Şekil 4.22. Perde duvarlardaki birim boy değişiminin bulunması
Şekil 4.23. Yük uygulanmasından önce ve sonra perde üzerindeki LVDT noktalarının yeni konumu
Şekil 4.24. Başlangıç rijitlik değerinin belirlenmesi
Şekil 4.25. Maksimum yük rijitlik değerinin belirlenmesi
Şekil 4.26. Deney sonu rijitlik değerinin belirlenmesi
Şekil 4.27. İleri çevrim için rijitlik değerinin belirlenmesi
Şekil 4.28. Toplam tüketilen enerji grafiği değerlerinin hesaplanması
Şekil 4.29. Perde temel birleşim bölgesinde perde duvardaki birim deformasyon
Şekil 4.30. Perde duvar kesitinin “Moment-Eğrilik” ilişkisi
Şekil 5.1. Kolon tabanında eğrilik ölçümü
Şekil 5.2. Perde tabanında yerdeğiştirme ölçüm düzeneği
Şekil 5.3. Perde gövdesinde kesme deformasyonu ölçümü için LVDT yerleşimi

Şekil 5.4. Betonarme çerçeve deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi (numaralandırılması)
Şekil 5.5. 1. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü
Şekil 5.6. 1. deney numunesinin yükleme geçmişi
Şekil 5.7. 1. deney numunesinde K102 kirişi sol üst mesnetinde oluşan 1 nolu çatlak (elastik sınır)
Şekil 5.8. 1. deney numunesinde S102 kolonu sağ alt ucunda oluşan 12 nolu çatlak (yük; 25 kN, deplasman; -5,472 mm)
Şekil 5.9. 1. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.10. 1.deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.11. 1. deney numunesinin pilye kırım bölgesinde meydana gelen çatlamalar
Şekil 5.12. 1. deney numunesinin 1. kat kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasar
Şekil 5.13. 1. deney numunesinin maksimum yük anında görünüşü
Şekil 5.14. 1. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu
Şekil 5.15. 1. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)
Şekil 5.16. 1. deney numunesinin deney sonu görünüşü
Şekil 5.17. 1. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.18. 1. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.19. 1. deney numunesinin sağ kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.20. 1. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.21. 1. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.22. 1. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.23. 1. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.24. 1. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.25. 1. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.26. 1. deney numunesine ait yatay 1. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.27. 1. deney numunesine ait yatay S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği

Şekil 5.28. 1. deney numunesine ait yatay S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.29. 1. deney numunesine ait yatay S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.30. 1. deney numunesine ait üst kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.31. 1. deney numunesine ait alt kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.32. 1. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.33. 1. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.34. 1. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)
Şekil 5.35. 1. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.36. 2. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü
Şekil 5.37. 2. deney numunesinin yükleme geçmişi
Şekil 5.38. 2. deney numunesinde K101 kirişi sağ alt mesnetinde oluşan 1 nolu çatlak ve K102 sol üst mesnetinde oluşan 2 nolu çatlak(elastik sınır)
Şekil 5.39. 2. deney numunesinde S101 kolonu sağ alt ucunda oluşan 10 nolu çatlak (yük; 30 kN, deplasman; -8,34 mm)
Şekil 5.40. 2. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.41. 2. deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.42. 2. deney numunesinin düğüm noktalarında maksimum yük konumundaki hasar durumu
Şekil 5.43. 2. deney numunesinin maksimum yük anında görünüşü
Şekil 5.44. 2. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu
Şekil 5.45. 2. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)
Şekil 5.46. 2. deney numunesinin deney sonu görünüşü
Şekil 5.47. Deney sonuna doğru yerinden kayan eksenel yük düzeneği

Şekil 5.48. 2. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.49. 2. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.50. 2. deney numunesinin sağ kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.51. 2. deney numunesinin sağ kenar düğümünde meydana gelen hasar
Şekil 5.52. 2. deney numunesinin sağ kenar kolonunun hasar durumu
Şekil 5.53. 2. deney numunesinin kolon alt uçlarında meydana gelen hasar
Şekil 5.54. 2. deney numunesinin orta düğümde meydana gelen kesme çatlağı
Şekil 5.55. 2. deney numunesinin sol kenar düğümde meydana gelen kesme çatlağı
Şekil 5.56. 2. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.57. 2. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.58. 2. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.59. 2. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.60. 2. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.61. 2. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.62. 2. deney numunesine ait yatay 1. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.63. 2. deney numunesine ait yatay S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.64. 2. deney numunesine ait yatay S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.65. 2. deney numunesine ait yatay S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.66. 2. deney numunesine ait üst kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.67. 2. deney numunesine ait alt kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.68. 2. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.69. 2. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları

Şekil 5.70. 2. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)
Şekil 5.71. 2. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.72. 3. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü
Şekil 5.73. 3. deney numunesinin yükleme geçmişi
Şekil 5.74. 3. deney numunesinde K102 kirişi sağ alt mesnetinde oluşan 1 nolu çatlak(elastik sınır)
Şekil 5.75. 3. deney numunesinde perdede oluşan ilk çatlak(10 nolu çatlak) (yük; 120 kN, deplasman; 8 mm)
Şekil 5.76. 3. deney numunesinde S301 kolonu tabanında oluşan 15 nolu çatlak (yük; -140 kN, deplasman; -5.78 mm)
Şekil 5.77. 3. deney numunesinde K102 kirişi sağ alt ucunda oluşan 8 nolu çatlak (yönetmelik deplasman sınırı ve pilye kırım bölgesi)
Şekil 5.78. 3. deney numunesinin sol kenar düğümlerinin akma konumunda durumu
Şekil 5.79. 3. deney numunesinin orta düğümlerinin akma konumunda durumu
Şekil 5.80. 3. deney numunesinin sağ kenar düğümlerinin akma konumunda durumu
Şekil 5.81. 3. deney numunesinin perde tabanının akma konumunda durumu
Şekil 5.82. 3. deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.83. 3. deney numunesinin maksimum yük anında hasar durumu
Şekil 5.84. Ani kırılma sonucu üst düğüm noktalarında oluşan göçme
Şekil 5.85. 3. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu(şematik olarak)
Şekil 5.86. 3. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)
Şekil 5.87. 3. deney numunesinin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu
Şekil 5.88. 3. deney numunesinin deney sonu görünüşü
Şekil 5.89. 3. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.90. 3. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.91. 3. deney numunesinde perde duvarın deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.92. 3. deney numunesinde perde duvarın ve temelin hasarı
Şekil 5.93. 3. deney numunesinde perde duvarın sol kenarının durumu

Şekil 5.94. 3. deney numunesinde sol kenar düğümde oluşan kesme çatlakları
Şekil 5.95. 3. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.96. 3. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.97. 3. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.98. 3. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.99. 3. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.100. 3. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.101. 3. deney numunesine ait yatay 1. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.102. 3. deney numunesine ait yatay S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.103. 3. deney numunesine ait yatay S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.104. 3. deney numunesinde temel üstünden 100 mm uzaklıkta perde duvar kesitin birim deformasyon değişimi
Şekil 5.105. 3. deney numunesine ait üst kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.106. 3. deney numunesine ait alt kat rijitlik azalım grafiği

Şekil 5.107. 3. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.108. 3. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.109. 3. deney numunesine ait 2. kat kesme deplasmanı-yatay yük grafiği
Şekil 5.110. 3. deney numunesine ait 1. kat kesme deplasmanı-yatay yük grafiği
Şekil 5.111. 3. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)
Şekil 5.112. 3. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.113. 4. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü
Şekil 5.114. 4. deney numunesinin yükleme geçmişi

Şekil 5.115. 4. deney numunesinde K101 kirişi sol üst ucunda oluşan 1 nolu çatlak(elastik sınır)
Şekil 5.116. 4. deney numunesinde perdede oluşan ilk çatlak(13 nolu çatlak) (yük; 120 kN, deplasman; 10.275 mm)
Şekil 5.117. 4. deney numunesinde S202 kolonu üst ucunda oluşan 19 nolu çatlak (yük; -160 kN, deplasman; -5.138 mm)
Şekil 5.118. 4. deney numunesinde K102 kirişi sol üst mesnetinde oluşan 8 nolu çatlak (yönetmelik deplasman sınırı)
Şekil 5.119. 4. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu
Şekil 5.120. 4. deney numunesinin maksimum yük anında hasar durumu
Şekil 5.121. Maksimum yük seviyesinden sonra S203 kolonunun üst ucunda oluşan hasar
Şekil 5.122. Maksimum yük seviyesinden sonra S203 kolonunun alt ucunda oluşan çatlaklar
Şekil 5.123. 4. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu(şematik olarak)
Şekil 5.124. 4. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)
Şekil 5.125. 4. deney numunesinin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu
Şekil 5.126. 4. deney numunesinin deney sonu görünüşü
Şekil 5.127. 4. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.128. 4. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.129. 4. deney numunesinde perde duvarın deney sonundaki yatay deplasmanı
Şekil 5.130. 4. deney numunesinde perde donatılarının kopması
Şekil 5.131. 4. deney numunesinde perde sol kenarının hasarı
Şekil 5.132. 4. deney numunesinde S101 kolonunun üst düğüm noktasındaki hasar
Şekil 5.133. 4. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği
Şekil 5.134. 4. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği

Şekil 5.135. 4. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.136. 4. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.137. 4. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği
Şekil 5.138. 4. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.139. 4. deney numunesine ait yatay 1. kat dayanım zarfı grafiği
Şekil 5.140. 4. deney numunesine ait yatay S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.141. 4. deney numunesine ait yatay S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği
Şekil 5.142. 4. deney numunesinde temel üstünden 100 mm uzaklıkta perde duvar kesitin birim deformasyon değişimi
Şekil 5.143. 4. deney numunesine ait üst kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.144. 4. deney numunesine ait alt kat rijitlik azalım grafiği
Şekil 5.145. 4. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.146. 4. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları
Şekil 5.147. 4. deney numunesine ait 2. kat kesme deplasmanı-yatay yük grafiği
Şekil 5.148. 4. deney numunesine ait 1. kat kesme deplasmanı-yatay yük grafiği
Şekil 5.149. 4. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)
Şekil 5.150. 4. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği
Şekil 6.1. Boş çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.2. Boş çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.3. Boş çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.4. Boş çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.5. Boş çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri
Şekil 6.6. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri

Şekil 6.7. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.8. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.9. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.10. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri
Şekil 6.11. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.12. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.13. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.14. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.15. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri
Şekil 6.16. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.17. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.18. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.19. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.20. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri
Şekil 6.21. Tüm deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.22. Tüm deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri
Şekil 6.23. Tüm deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri
Şekil 6.24. Tüm deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Şekil 6.25. Tüm deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri
Şekil 7.1. İdealleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi (FEMA-273 / 356, 1997)
Şekil 7.2. Bir moment mafsalı için moment-dönme ilişkisi (SAP 2000 Klavuzu)
Şekil 7.3. 1 nolu deney numunesinin SAP2000'de modeli
Şekil 7.4. 1 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası
a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sonucu
Şekil 7.5. 1. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri
Şekil 7.6. 1. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması
Şekil 7.7. 2 nolu deney numunesinin SAP2000'de modeli
Şekil 7.8. 2 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası
a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sonucu
Şekil 7.9. 2. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri
Şekil 7.10. 2. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması
Şekil 7.11. 3 no'lu deney numunesinin SAP2000'de modeli
Şekil 7.12. 3 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası
a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sonucu
Şekil 7.13. 3. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri
Şekil 7.14. 3. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması
Şekil 7.15. 4 no'lu deney numunesinin SAP2000'de modeli
Şekil 7.16. 4 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası
Şekil 7.17. 4. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

Şekil 7.18. 4. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması
Şekil 7.19. Tüm deney elemanlarına ait SAP2000 statik itme analizi yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri
Şekil 7.20. Deney numunelerine ait şematik ilk eğik asal kesme çatlağı
Şekil 7.21. S101 kolonun 1.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.22. S101 kolonun 2.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.23. S101 kolonun 3.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.24. S101 kolonun 4.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.25. S102 kolonun 1.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.26. S102 kolonun 2.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.27. S102 kolonun 3.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.28. S102 kolonun 4.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.29. S103 kolonun 1.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması
Şekil 7.30. S103 kolonun 2.Deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

1. GİRİŞ

Topraklarının tamamına yakını önemli deprem riskleri taşıyan ülkemizin, nüfusunun %95'i deprem yönünden tehlikeli bölgelerde yaşamakta ve sanayi de başta olmak üzere yapısal yoğunluk olarak da %98'i yine deprem bölgelerinde bulunmaktadır (Çizelge 1). Özellikle son yıllarda meydana gelen depremlerin, büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları; deprem bölgelerinde yer alan betonarme binaların büyük bir kısmının, depreme dayanıklı yapıların sağlaması gereken yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip olmadıklarının bir ispatıdır.

Çizelge 1.1. Türkiye deprem bölgelerinin, coğrafi bölgelerin yüzölçümlerine göre dağılımı (DİE, 2000)

	Marmara Bölgesi (km^2)	Ege Bölgesi (km^2)	Akdeniz Bölgesi (km^2)	İç Anadolu Bölgesi (km^2)	Karadeniz Bölgesi (km^2)	Doğu Anadolu Bölgesi (km^2)	G. Anadolu Bölgesi Bölgesi (km^2)
I. Derece Deprem Bölgesi	19 486	45 658	21 223	-	26 529	36 969	-
II. Derece Deprem Bölgesi	25 968	32 909	14 327	29 736	12 820	75 413	-
III. Derece Deprem Bölgesi	20 568	11 875	17 253	34 345	37 891	25 857	28 684
IV. Derece Deprem Bölgesi	6 550	-	36 444	83 762	34 838	7 121	30 611
Tehlikesiz Bölgeler	-	-	-	38 257	-	-	16 063
Toplam	72 572	90 442	89 247	186 100	112 078	145 360	75 358

Günümüzdeki mevcut yapıların büyük bir kısmı; bugünkü standart ve yönetmeliklere göre yapılmadıkları, hatta inşa edildikleri tarihte yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerin şartlarını da sağlamadıkları için, ya da bunlara uygun yapılmış olanlarının da zamana ya da yaşanılan depremlere bağlı etkiler nedeni ile deprem yükü taşıma güçlerinde önemli azalmalar oluşabileceğinden deprem güvenliği açısından önemli riskler taşımaktadır. Bu nedenle, yapısal hasar riskini en aza indirebilmek için temel yaklaşım, riskli olabilecek mevcut yapıların ayrıntılı olarak incelenmesidir. Ülkemizde son otuz yılda, özellikle de son on yılda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçları, deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmının, aşağıda belirtilen tasarım ve yapım kusurlarından dolayı yeterli deprem dayanımına sahip olmadıklarını göstermiştir (İlki, 2002):

1) Binanın projesiz yapılmış olması durumu,

Düşey ve yatay yükler, malzeme özellikleri, zemin karakteristikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının maruz kaldığı gerilmeler, v.b. tüm yapı karakteristikleri belirsizdir.

2) Binaya projede öngörülmeyen eklemeler yapılmış olması durumu,

Binaya ilave kat eklenmesi, binada projede öngörülmüş olandan daha fazla hareketli yük bulunması, binanın kullanım amacının değiştirilmesi, v.b.

3) Binada projede öngörülmeyen eksiltmelerin yapılmış olması durumu,

Bazı kolonların yıkılması, kiriş ve perdelerde delikler açılması, kiriş ve kolonların boyutlarının değiştirilmesi, donatıların kesilmesi, v.b.

4) Binanın daha önce ciddi deprem hasarı görmüş olması durumu,

Daha önceki depremlerde ciddi hasar gören binaların, bundan sonra gerekli ve yeterli önlem alınmadığı için, bir sonraki depremde ağır hasar gördüğü, hatta göçtüğü bilinmektedir.

5) Zemin özelliklerinin proje aşamasında doğru olarak gözönüne alınmamış olması durumu(Şekil 1.1),





Şekil 1.1. Zemin koşulları nedeniyle depremde hasar gören binalar

6) Yetersiz malzeme özellikleri,

Kalitesiz ve yetersiz çimento, uygun olmayan kum, çakıl, yetersiz ve/veya kalitesiz boyuna ve enine donatı, kalitesiz işçilik, v.b.(Şekil 1.2).

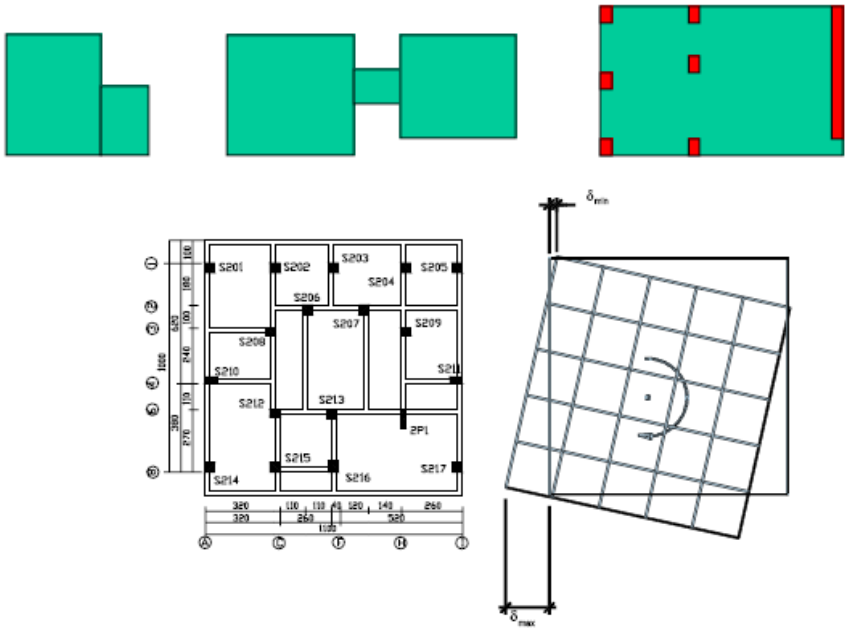




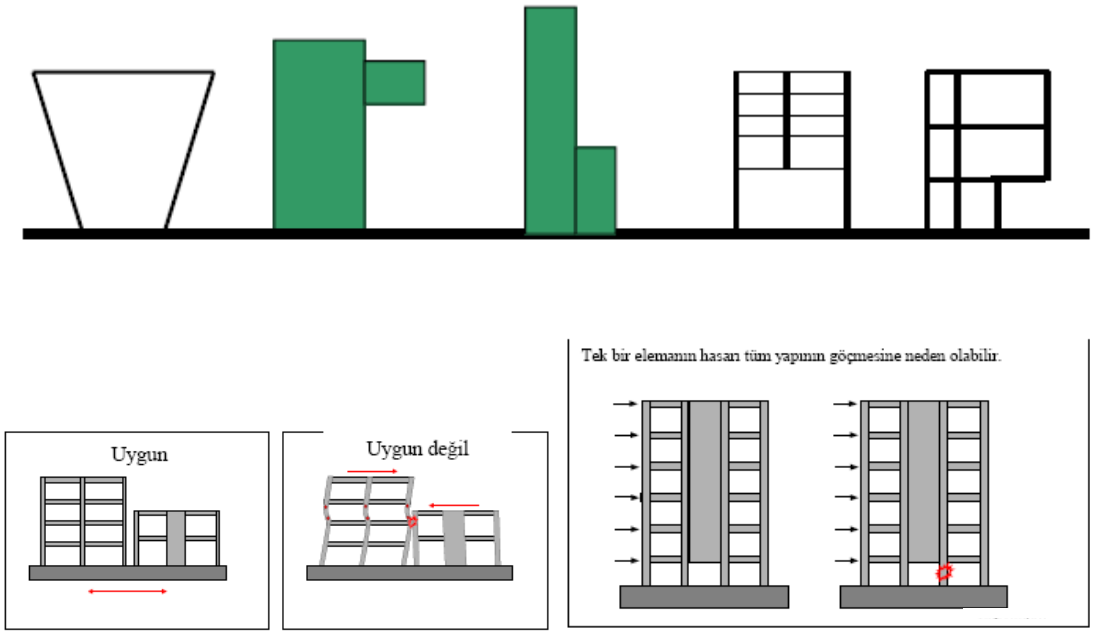
Şekil 1.2. Malzeme özellikleri yetersiz elemanlar

7) Yapının planda ve düşeyde düzensiz olması durumu,

Bir binanın deprem dayanımı, mimari tasarım aşamasında başlar. Örneğin, planda simetrisi olmayan, kat alanları yükseklik boyunca değişen binalar, deprem dayanımı açısından olumsuzluklar içermektedir. Taşıyıcı sistemde ise, mimari nedenlerle çerçevelerin süreksiz olması, yapının depremin oluşturduğu eylemsizlik kuvvetlerini güvenle taşımasını çok olumsuz olarak etkiler. Yapıda simetri olmaması, burulma momentlerinin oluşmasına neden olur. Burulma momentleri, özellikle çerçeve kolonlarına ek kesme kuvvetleri getirir(Şekil 1.3-1.4).

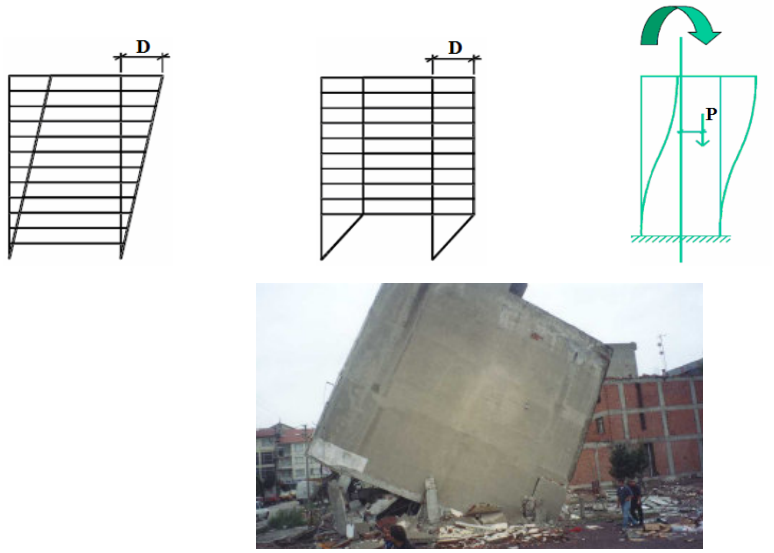


Şekil 1.3.Yapının planda düzensiz olması durumu



Şekil 1.4. Yapının düşeyde düzensiz olması durumu

Ayrıca, ülkemizde rastlanan yaygın hasarların zemin katta garaj veya dükkan yapımı nedeniyle oluşan ve yatay ötelenme rijitliği diğer katlara göre daha az olan yumuşak veya benzeri zayıf kattan kaynaklandıkları da bilinmektedir. Böylece, yapı yanal rijitliğinde oluşan süreksizlik sonucu, ilave momentler ortaya çıkar(Şekil 1.5)



Şekil 1.5. Yapılarda yumuşak kat oluşumu ve hasarı

8) Donatı detaylarının ve beton kalitesinin uygun olmaması durumu,

Donatı detayları ile ilgili kusurlar; dayanımı ve sünekliği doğrudan etkileyen, donatı kenetlenme boyunun yetersiz olması, kiriş ve kolon uçlarında etriye sıklaştırması yapılmaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kolon etriyesinin devam etmemesi ve etriye kancalarının dik yapılması olarak özetlenebilir.

Beton kalitesinin kötü olması nedeniyle de, dayanım çok düşük olmakta; ayrıca, aderans ve kenetlenme sorunları ortaya çıkmaktadır(Şekil 1.6 ve Şekil 1.7).



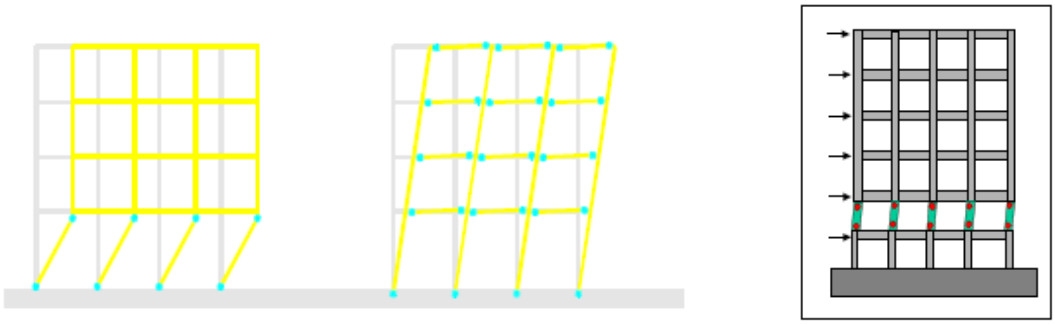
Şekil 1.6. Yetersiz donatı detayı



Şekil 1.7. Yetersiz donatı detayı ve beton kalitesi

9) Hasarın yerinin ve türünün kontrol edilememesi durumu,

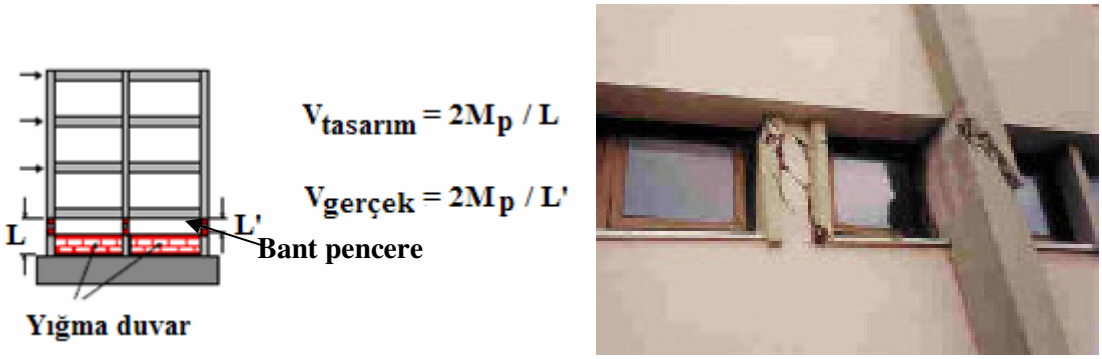
Plastik mafsalların kolonlarda oluşması, kat mekanizması, kesme ve aderans kaybı kaynaklı dayanım yitirme durumları şeklinde belirtilebilir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Kolonlarda plastik mafsal oluşumu

10) Binada kısa kolonların bulunması durumu,

Yaygın olarak rastlanan hasar durumlarından biri de yapıda kısa kolonların oluşturulmasıdır. Özellikle bodrum katlarda dışta yapılan bant pencereli yığma duvarlar, yapıda kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle oluşan kesme kuvvetindeki artış, yapıda önemli hasarlara yol açmaktadır(Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Yapıda kısa kolon oluşumu ve etkisi

11) Prefabrike yapılarda birleşimlere gerekli özenin gösterilmemiş olması durumu(Şekil 1.10)**,**



Şekil 1.10. Prefabrike binalarda oluşan hasar

12) Bilinen fay hatlarına yakın bölgelerde yapılaşma (Şekil 1.11)**,**



Şekil 1.11. Fay hattına yakın yapılaşma

Daha önce yaşanan depremlerde görülen son derece acı ve olumsuz sonuçların, olası yeni depremlerde en aza indirilebilmesi için, özellikle önemli deprem bölgelerindeki kamu ve toplu konut binalarından başlayarak, mevcut yapıların deprem dayanımlarının belirlenmesi ve ekonomik görüldüğü takdirde, yeterli dayanıma sahip olmayan binaların güçlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan çok sayıda yapının, depremlere karşı etkili ve ekonomik bir biçimde güçlendirilmesi, ülkemizde ve dünyada çözülmeye çalışılan önemli bir sorundur. Ülkemizdeki hasar görmemiş ve halen kullanılmakta olan çok sayıdaki yapının, öngörülen depremlere karşı yeterli güvenliğinin olmadığı ve taşıyıcı sisteminin orta şiddetteki bir depremde bile, göçebilecek durumda olduğu acı bir gerçektir. Bunun için halen, yapıların deprem davranışını iyileştirmek amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (1998)'de belirtildiği şekilde, depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binaların yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise, can kaybının önlenmesi amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir (ABYYHY, 1998).

Yukarıda belirtilen ilkeye uymayan, deprem dayanımı zayıf yapılarda veya deprem sonrası yönetmelikte belirlenen hasarların oluştuğu yapılarda, yetersizlikleri ve hasarları gidermek, yapıları güvenli olarak kullanılabilir duruma getirmek gerekmektedir. Böyle bir durumda, söz konusu yapının veya bazı yapı elemanlarının onarımı ve/veya güçlendirilmesi gerekli olmaktadır. Deprem mühendisliğinde "iyileştirme (rahabilition)" terimi, onarım (repair), eski dayanıma getirme (upgrading, retrofitting) ve güçlendirme (strengthening) kavramlarını içine almaktadır (Fukuyama ve Sugano, 2001).

Onarım ve güçlendirme kavramları ise şu şekilde açıklanmaktadır (Aydoğan 2001):

Onarım: Görünüş veya kullanım açısından hasar görmüş bir yapıda veya yapının bir ya da birkaç elemanında önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliklerdir. Ya da hasar görmüş bir yapı veya yapı elemanını, öngörülen

bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Burada anahtar sözcük "Hasarlı" dır. Hasar görmüş yapılarda onarımın yanı sıra güçlendirme de yapılabilir. Yapının eski durumuna getirilmesi, yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik ve dayanım gibi kullanım özellikleriyle, görünüşü açısından olabilmektedir.

Güçlendirme/Takviye: Bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını, hasar öncesi veya hasar görmeden mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliklerdir. Başka bir deyişle, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Burada anahtar sözcük, "Hasarsız" dır.

Onarım yapılmasındaki amaç, elemanı eski durumuna geri getirmektir. Bu, kullanım açısından olabileceği gibi, dayanım gibi mekanik karakteristikler bakımından da olabilmektedir. Güçlendirmede ise amaç, dayanım ve benzeri karakteristikleri hasardan önceki veya mevcut durumun üzerine çıkarmaktır.

Onarımın hasar görmüş bir yapıda yapılmasına karşılık, güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Bu durum, genellikle yapının fonksiyonlarının değişmesi nedeniyle yüklerin artması veya yatay yükler dikkate alınarak tasarlanmış bir yapının bu etki dikkate alındığında gereken mekanik özelliklere getirilmesi gibi nedenlerle gündeme gelebilmektedir. Bunun dışında, zaman içinde oluşan depremler ve araştırmalardan elde edilen yeni bulgular sonucunda yeniden düzenlenen deprem yönetmeliklerinde yapının bulunduğu bölgenin deprem riskinin artması, yani deprem hesabına esas olan kuvvetlerin büyümesi de güçlendirme nedeni olabilmektedir.

Yapılarda yalnız eleman düzeyinde bir onarım ya da güçlendirme için; onarılacak/güçlendirilecek eleman sayısının sınırlı olması, elemanların yeterli sünekliğe sahip olmaları, katlar arası göreceli deplasmanların sınırlanmış olması şartlarının sağlanması gerekir.

Onarım ile güçlendirme kavramlarının arasına bir de iyileştirme seçeneği eklenebilmektedir (Aydogan, 2001).

İyileştirme: Yapıda herhangi bir hasar olmadığı, fakat orijinal olarak projesinde veya imalatta bir hatanın bulunması veya daha önce düşünülmemiş fakat değişen deprem yönetmeliklerine göre yapılmasına kesinlikle izin verilmeyen hususların giderilmesi olarak tanımlanabilmektedir.

Betonarme yapılardaki hasarlar, yapıda zaten var olan, ancak "depremin ortaya çıkardığı hasarlar" ile "depremden oluşan hasarlar" olarak da sınıflandırılabilmektedir.

Depremlerin ortaya çıkardığı olumsuzlukların en yaygın bir başka örneği de, binaların özellikle bodrum katları ve iyi korunmamış cephelerinde rastlanılan donatı paslanmalarıdır. Deprem nedeniyle binalarda oluşan salınımlar, öncelikle paslı ve kesiti ufalanmış donatıları örten paspaylarını atmaktadırlar. Donatı paslanması genelde temel üst kotundan bodrum kat tavanı hizalarına kadar devam etmektedir. Zaman içinde nem üst katlara dogru çıkmaktadır. Bunun en belirgin nedenleri, betonun düşük kaliteli olması ve kötü işçilik ile bodrum katlarda yeteri kadar hava sirkülasyonun olmaması ve çoğu binalarda oldugu gibi, bodrum kat betonunun brüt bırakılarak sıvanmamış olmasıdır (Aydoğan, 2001).

Herhangi bir yapıda yapılabilecek onarım ve/veya güçlendirme ile iyileştirme işlemlerinin bütünü ise, "sismik iyileştirme" olarak değerlendirilebilir. Yani, bu işlemlerin her biri veya bütünü, sismik iyileştirme içerisinde düşünülebilir.

1.1. Yapılarda Görülen Hasar Türleri

Deprem nedeniye oluşan hasarlar, taşıyıcı sistemde oluşan hasarlar ve elemanda oluşan hasarlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

Taşıyıcı sistemde oluşan hasarlar; rijitliklerin yetersiz olması nedeniyle aşırı yanal yer değiştirmelerden oluşan hasarlar, aynı katta diğer kolonlara göre kısa ve rijit kolonlar olması nedeniyle özellikle kesilme şeklinde ortaya çıkan kısa kolon hasarları, planda veya taşıyıcı sistemdeki değişiklikler sonucu rijitlikteki ani değişimler nedeniyle oluşan hasarlar, komşu katlara göre daha

fleksibil (rijitligi az) olan katlardaki yumuşak kat hasarları, rijitliklerin uygun olmayan dağılışı nedeniyle binada aşırı burulma sonucu oluşan hasarlar, yatay yüklerinin büyük kısmı perdelerce alınmayan kirişsiz veya asmolen döşemeli sistemlerde kolon-döşeme, kolon-yastık kiriş birleşim yerlerindeki hasarlar, betonarme çerçevelerde yeterince donatılmamış düğüm bölgelerindeki hasarlar, zemin gerilmelerinin aşılmış olmasından dolayı temelde farklı oturmalar ve dolayısıyla üst yapıda dönmeler ve bunun sonucu olarak meydana gelen ikinci mertebe etkilerinin (P- A etkisi) oluşturduğu hasarlar olarak sınıflandırılabilir.

Elemanlarda oluşan hasarlar ise, kirişlerde özellikle mesnetlerde ve kirişlerin kirişlere bindiği bölgelerde (dolaylı mesnet) oluşan kesme ve eğilme çatlakları, kolonlarda oluşan kesme çatlakları, kolon uçlarındaki mafsallaşmalar, perdelerde oluşan kesme çatlakları (eğik ve X şeklindeki çatlaklar), dolgu duvar çatlakları (eğimli ve X şeklindeki çatlaklar) şeklinde sınıflandırılabilir.

Kirişin eğilme etkisinden dolayı ağır hasarlı sayılabilmesi için, mesnet dolaylarındaki çatlakların çok genişlemiş olması gerekir. Çatlak genişliğinin 1-2 mm'yi aşmış olması donatının akmış olduğunun kanıtıdır. Donatı akma konumuna ulaştıktan sonra, kolon yüzüne yakın betonda ezilme ve daha ileri aşamalarda boyuna donatıda burkulma görülür. Aynı şekilde kirişte geniş kesme çatlakları varsa, bu durum tehlikeye işarettir.

Kolonlarda görülen eğilme çatlakları genişlemişse, o bölgedeki boyuna donatı akmış demektir. Daha ileriki aşamalarda beton ezilir ve boyuna donatı burkulur. Kolonlarda görülen eğik kesme çatlakları, o bölgede yeterli etriye yoksa ani ve gevrek kırılmaya neden olur.

Perde duvarlarda görülen eğilme çatlakları genişlemişse, donatı akma konumuna erişmiş demektir. Perde duvarlarda görülen eğik kesme çatlakları kılcal düzeyde kalırsa, kritik değildir. Bu çatlakların genişlemesi ağır hasar işaretidir.

1.2. Sismik İyileştirme (Onarım ve/veya Güçlendirme) Stratejisi ve Teknikleri

Deprem bölgelerindeki mevcut yapıların önemli bir kısmı, yeterli deprem güvenliğine sahip olmayışları, yönetmelik değişiklikleri veya deprem hasar gibi değişik sebeplerden dolayı sismik iyileştirmeye ihtiyaç göstermektedir. Yapılarda deprem öncesi hasarsız durumdayken güçlendirme, deprem sonrasında hasar görmüş yapıda ise onarım ve/veya güçlendirme (sismik rehabilitasyon / iyileştirme) yapılabilmektedir. Deprem öncesinde ve sonrasında uygulanacak iyileştirme teknikleri ve bu tekniklerin etkinliğiyle ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır ve halen yapılmaktadır. Bu teknikler; mevcut çerçevelerdeki boşlukların dolgulu hale getirilmesi, çapraz kuşaklama ile perde davranışının elde edilmesi, destekleme ve mantolama gibi, yapının yatay dayanımını ve sünekliğini arttırabilmek için kullanılan tekniklerdir. Bu "sismik dayanım teknikleri"ne ilave olarak, mevcut yapların iyileştirilmesinde, "tepki azaltma teknikleri" olarak isimlendirilen sismik izolatörler ve ilave sönümleyiciler de yeni binalar için geliştirilmektedir. (Fukuyama ve Sugano, 2001).

Gerekli deprem dayanımını elde etmek için;
Sismik iyileştirmenin amacı;

1. Yapının hasar görmeden önceki performansına ulaştırılması (recover),
2. Yapının taşıma gücünün orijinal performansının üstüne çıkarılması,
3. Binanın depremden hasar görmesinin ve sismik tepkinin azaltılması.

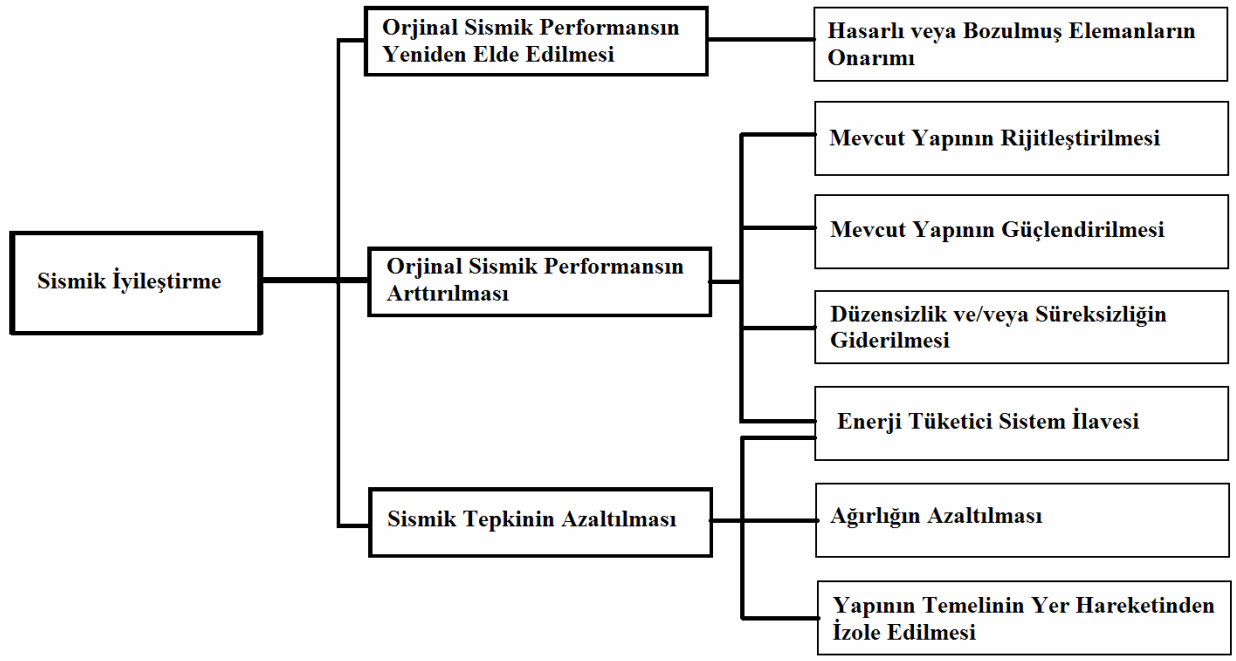
Sismik güçlendirmenin amacı ise:

1. Mevcut dayanımın arttırılması,
2. Mevcut sünekliğin arttırılması,
3. Hem mevcut dayanımın hem de sünekliğin arttırılması,

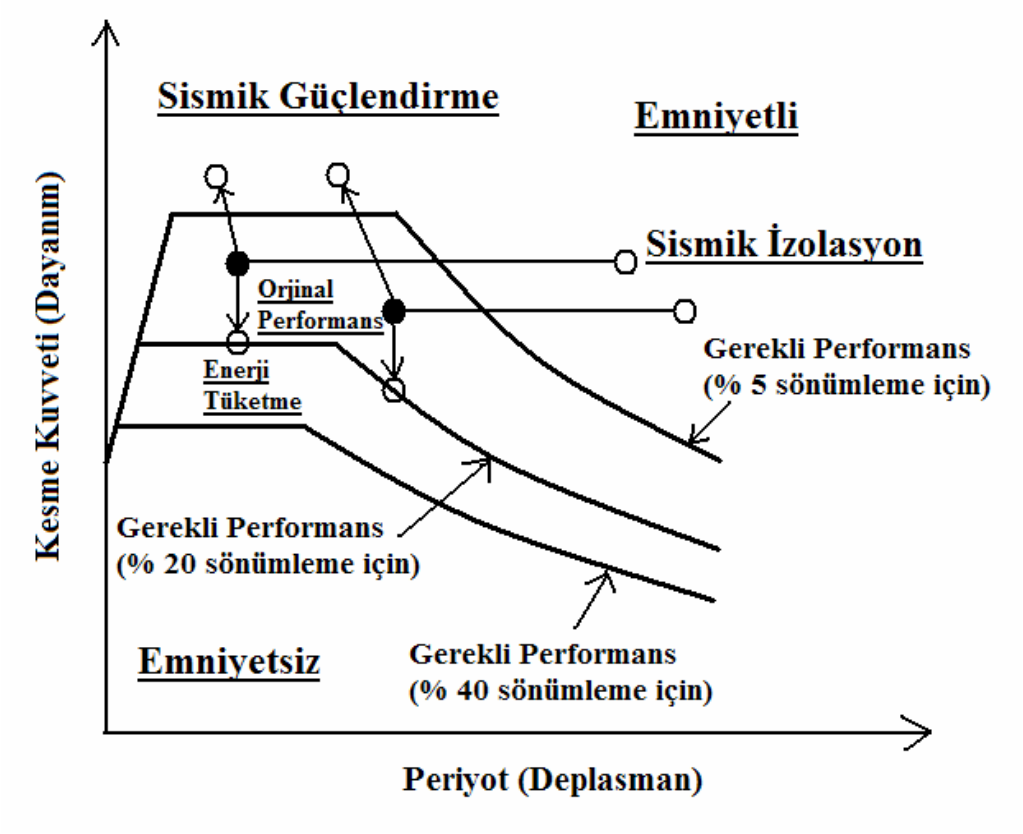
olarak sıralanabilir.

Gerekli dayanımın elde edilmesiyle aşırı elastik ötesi deformasyonlar da önlenmektedir. Yapının hasar görmeden önceki performansına veya daha yüksek kapasiteye yükseltilmesi için kullanılan genel yaklaşım şu şekildedir: Büyük tepki yer değiştirmelerini azaltmak için yapı daha rijit hale getirilebilir. Binanın farklı

bölümlerinde, büyük miktarda burulma ve kırılma ile sonuçlanabilecek olan rijitlik ve dayanım dağılımındaki düzensizlik veya süreksizlik, yapısal konfigürasyonun değiştirilmesiyle giderilmelidir. Binaya gelen deprem etkisini sönümleyip sismik tepkiyi azaltacak ilave enerji tüketme araçları kullanılabilmektedir. Sismik iyileştirme stratejisi Şekil 1.12'de; sismik güçlendirme, sismik izolasyon ve enerji tüketme kavramı ise şematik olarak Şekil 1.13'de görülmektedir.



Şekil 1.12. Sismik iyileştirme stratejisi

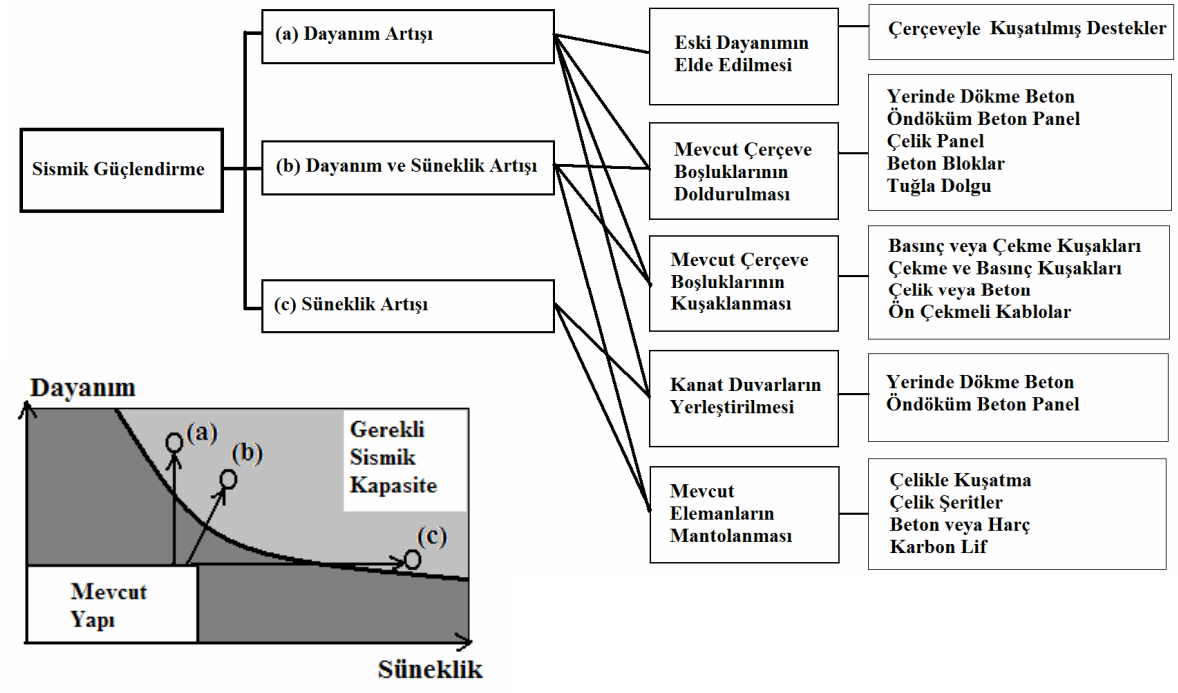


Şekil 1.13. Sismik güçlendirme, sismik izolasyon ve enerji tüketme

Dünyada sismik iyileştirme amacıyla mevcut betonarme çerçeveleri güçlendirmek için kullanılan yöntemler;

- Bazı çerçevelerin betonarme duvarlarla doldurulması, (yerinde ya da öndökümlü olarak)
- Bazı çerçevelerin çelik çapraz elemanlarla rijitleştirilmesi,
- Binada mevcut, taşıyıcı olmayan dolgu duvarların kaplanarak güçlendirilmesi, (Kaplama olarak donatılı püskürtme beton, öndöküm elemanlar ve karbon veya cam elyafı gibi yeni malzemeler kullanılabilir)

olarak sınıflandırılabilir (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Tipik güçlendirme yöntemleri

Betonarme çerçevelerin taşıma gücünün arttırılması için, uygulanan yöntemlerin bazıları, kısaca şu şekilde belirtilebilir:

Donatısız dolgu duvarlarla perde uygulaması; güvenilir bir yöntem değildir. Belli küçük ölçüde bir taşıma gücü artışı sağlamasına karşın, çerçevede düktilite artışı olmaz.

Donatılı yığma duvarla perde yapılması; çerçeve boşluklarına örülen tuğla, beton, briket ve gaz beton v.b. malzemeden üretilmiş duvarın her iki yüzüne hem yatay hem de düşey yönde donatıların yerleştirilmesi ile yapılır. Yatay donatıların kolonlarda, düşey donatıların da kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek, yapı yüksekliği boyunca sürekliliğin sağlanması gerekmektedir.

Yapıya perde duvarlar eklenmesi; yapının belirli akslarına perde duvarlar inşa edilmektedir. Çok katlı olmayan yapılarda etkin bir yöntem olmasına rağmen, maliyetinin yüksek olması, temellerde ve perdeye bağlanan kirişlerde ek takviyelere yol açması, ek imalatlara (demir, kalıp, beton işçiliği dışında sıva, boya v.b.) ihtiyaç doğurması, kullanımını kısıtlamaktadır. Diğer taraftan, çok katlı yapılarda perde duvarların konsol davranışından dolayı üst katlarda kolonlara ek kesme kuvveti yüklemesi uygulama alanını kısıtlamaktadır.

Prefabrike panolarla dolgu duvarı yapılması; eğer bir yapıda standart açıklıklar varsa, bu tür elemanlarla güçlendirme kullanışlı olabilir. Bu elemanların yapı içinde insan gücü ile taşınabilir olmasına dikkat edilmelidir. Bu tür panolar, yerinde dökme betonarme perdelere oranla daha az yanal yük taşırlar.

Çelik diyagonal çubuklarla bağlantı yapılması; yapıya perde duvarların konulması yapının ağırlığını ve dolaylı olarak da yapıya gelen yanal deprem yüklerini arttırabilir. Bu olumsuzluktan kaçınmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler veya diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir. Ancak, bu tür çelik çerçeveler perdelere oranla daha az dayanıklı olur. Aynı zamanda da maliyetleri daha yüksektir.

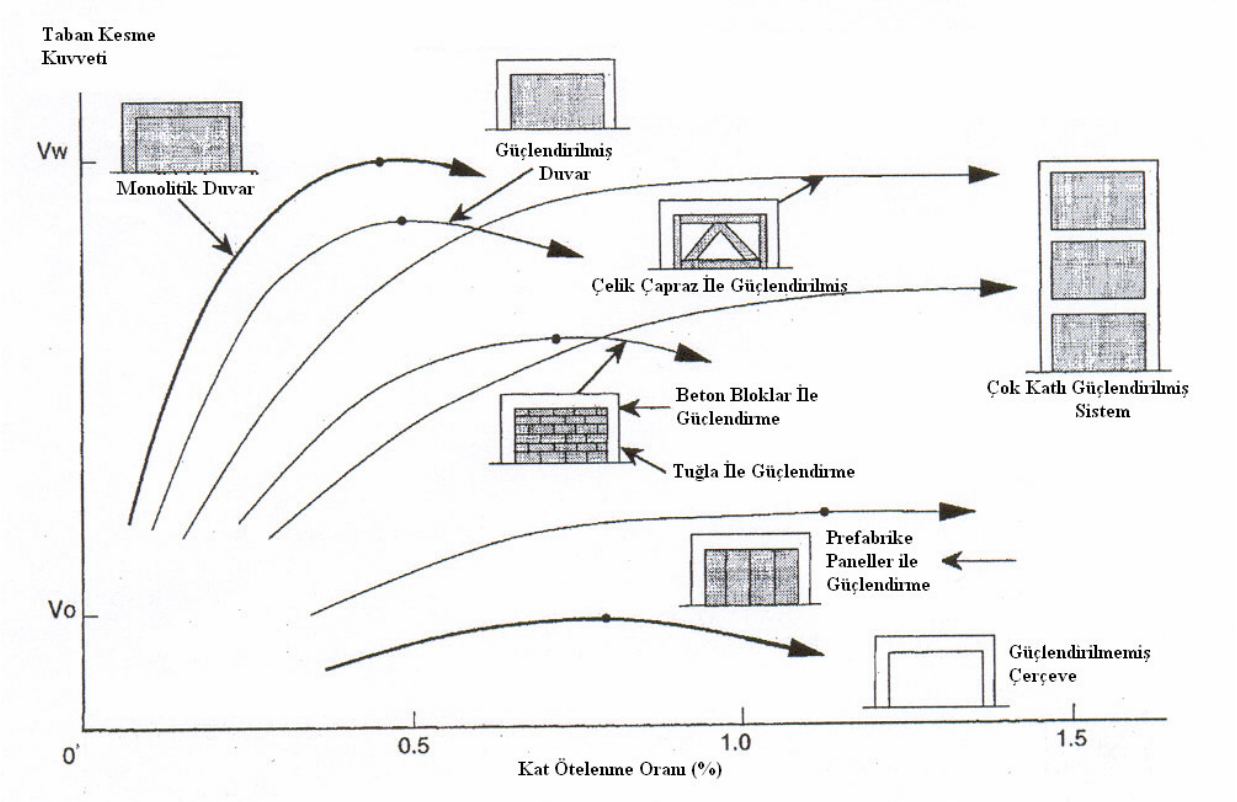
Kesitlerin büyütülmesi; bu yöntem hasar gören elemanların ferdi takviyesi için oldukça idealdir. Fakat sözkonusu bir binada bulunan tüm kolonlar veya kirişler olduğunda ekonomik ve uygulanabilir olmaktan uzaklaşmaktadır. Bu metodun daha çok prefabrike betonarme endüstri yapılarında kullanılması tavsiye edilmektedir.

Örümcek metodu ile yapılan güçlendirme (Spider Solution); özellikle maksimum 12 katlı binalar ve doğal periyodu 0.6 sn'den küçük olan binalar için uygun olacağı deneylerle ispatlanan bu iyileştirme yöntemi olup, ilk kez 2000 yılında denenmiş ve uygun sonuçlar vermiştir. (Çamlıbel, 2000).

Fiberler ile yapılan takviyeler; son yıllarda oldukça popüler bir güçlendirme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Kesitlerin eğilme ve kesme kapasitelerinin artırılmasının yanı sıra, basınç elemanlarında da sargılama etkisini artırarak basınç dayanımını artırmaktadır. Pahalı bir sistem olmasına rağmen, kullanımı oldukça kolaydır. Malzemenin ağırlığının çok az olması ise diğer bir avantajıdır. Diğer taraftan uzun dönem davranışının bilinememesi, dış etkilere karşı (yangın, darbe vb.) dayanıksızlığı ise, ayrı bir handikap olarak ortaya çıkmaktadır.

Betonarme çerçeve güçlendirme türleri ile yapı davranışının değişimi Şekil 1.15'de verilmiştir.

Yukarda açıklanan bütün yöntemler hasar görmüş ve/veya boşaltılmış binalar için uygun seçenek olmasına karşın; mevcut binalara uygulanmasında ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunların en önemlisi ise binanın uygulama sırasında kullanılamamasıdır.



Şekil 1.15. Betonarme çerçeve güçlendirme türleri ile yapı davranışının değişimi

1.3. Amaç ve Kapsam

Ülkemizde halen kullanılmakta olan çok sayıda binanın depreme karşı güvenliğinin arttırılması için uygulanan yöntemler; yukarıda da bahsedildiği gibi yapı elemanlarının bireysel olarak güçlendirilmesi, yapı elemanlanlarının değiştirilmesi, ilave elemanların kullanılması, sistem davranışının dolgulu çerçeveler oluşturularak iyileştirilmesi, dış öngerilmenin, epoksinin ve diğer mekanik aletlerin kullanılması (elastomerik yastıklar gibi) dır.

Onarım ve güçlendirme için yapılan işlemlerin eleman rijitliklerine ve binanın rijitlik merkezine etkisinin saptanması, yapı güvenliğinin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Onarım ve güçlendirmeyle kompozit hale gelmiş elemanların rijitliklerinin tahmini, sağlam bir davranış bilgisi olmadan yapılamaz.

Onarım ve güçlendirme; kolon, kiriş ve perde gibi yapı elemanlarına

uygulanabilir. Ancak, bazı durumlarda eleman onarımı veya güçlendirilmesi yerine, "sistem iyileştirilmesine" gidilmesi gerekebilir. Sistem iyileştirilmesi mevcut çerçevelerin arasına ya da dışına yerleştirilecek perde duvarlarla veya çelik çaprazlarla yapılır.

Sistem iyileştirilmesini gerektiren durumlar şöyle özetlenebilir:

- Onarılacak ve güçlendirilecek çok sayıda yapı elemanı vardır. Örneğin; binada hiçbir kolon ya da kirişte sargı donatısı yeterli düzeyde değildir. Tüm elemanların onarılması ve güçlendirilmesi çok külfetli ve zaman alıcıdır.
- Yapı, yeterli yanal rijitliğe sahip değildir.
- Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon gibi önemli sistem zayıflıkları vardır.

Sistem iyileştirmede temel ilke; bazı çerçevelerin kuvvetlendirilip, rijitleştirilmesidir. Bu işlem belirli çerçevelere konacak çelik çaprazlar ya da perdeler ile olabilir. Çelik çaprazlarla güçlendirme genelde ülkemizdeki yapılar için henüz tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, genelde binaların yanal rijitliklerinin çok düşük olması çelik çaprazlarla yeterli rijitlik sağlanamamasıdır. Ayrıca çelik bağlantı noktalarının yine eski sistemin düğüm noktalarında olmasi sebebiyle, mevcut sisteme noktasal yük etkisinin zarar verme ihtimali çok fazladır. Çerçeve içine yerleştirilen ve çerçeve elemanlarına bağlanan betonarme dolgu duvarlarla oluşturulan perdeli sistemler, ülkemizde en yaygın kullanılan deprem onarım/güçlendirme yöntemidir. Sistem iyileştirmede temel amaç, her iki doğrultuda da rijit ve dayanımı yüksek elemanlardan oluşan bir yanal yük taşıyıcı sistemin oluşturulmasıdır.

Perde duvarlar, yapı sisteminin davranışını olumlu etkilemekte, yapının düşey ve yatay yükler altındaki dayanım ve rijitliğini artırmakta, sistemin statik ve dinamik özelliklerini değiştirmektedir. Rijitliğe gerek duyulmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi, deprem etkileri altında oluşacak ikinci mertebe momentlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olmasını sağlamak, ikincisi ise katlar arası göreli ötelenmenin azaltılması ile yapısal olmayan elemanlarda deprem hasarlarını azaltmaktır.

Kolon uçlarında yeterli etriye sıklaştırması olmaması, donatı bindirme

boylarının yetersiz olması, boyuna donatıların bindirmeli eklerinin tümünün kritik kesit olan kat seviyesinde yapılması ve bu bölgede sargı donatısı kullanılmamış olması, kolonların kesme kırılmasi ile göçmesine neden olmaktadır. Plastik mafsal oluşma bölgeleri olan kolon ve kiriş uçlarında, etriye sıklaştırmasının yapılmaması sonucunda yeterli süneklik elde edilemediği için, gevrek kırılma meydana gelmektedir. Depremlerde yapı sistemlerinin yıkılmadan ayakta durabilmesi, yeterli enerji tüketme kapasitesine sahip olmalarıyla mümkündür. Enerji tüketme kapasitesi sünekliğe, süneklik ise büyük ölçüde sargı donatısma bağlıdır. Kolonlarda eksenel yükün de sünekliğe büyük etkisi vardır. Düşük eksenel yük taşıyan eğilme elemanlarmda (perde) sargı etkisi çok önemlidir. Süneklik eksikliği olan bir sistemi yeterli deprem güvenliğine kavuşturmanın en ekonomik yolu, yapısal sisteme yeterli miktarda yeni perde duvar ilave edilmesidir.

Yeterli rijitlik ve dayanımı sağlayacak olan perde ilavesi ile mevcut taşıyıcı sistemdeki zayıflıkların güç tükenmesi durumundaki hakimiyeti azalmaktadır. Sisteme perde duvar ilave edilmesi ile artan yatay yükler altında oluşacak plastik mafsalların ilk olarak kirişlerde, daha sonra perde duvarlarda, en son kolonlarda meydana gelmesi istenmektedir.

Daha önce bahsedilen çeşitli güçlendirme yöntemlerinin tamamında kullanıcının binayı terk etme zorunluluğu yüzünden, bu yöntemlerin hiç birisi halen kullanımda olan ve deprem davranışı yönünden zayıflıklar içeren çok sayıda binanın güçlendirilmesinde kullanılmasını imkansız ya da çok zor kılmaktadır. Bu nedenle, kullanımda olan binaların güçlendirilebilmesi için binanın boşaltılmasını gerektirmeyen, hızlı ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de nüfusun ve ekonomik değerlerin büyük kısmının deprem etkilerine maruz bölgelerde bulunması, bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri ufak hasarlarla ya da hasar görmeden atlatan binaların, yeni bir depremde hasar görme ihtimallerini artırmaktadır. Deprem etkisine karşı güçlendirilmesi gereken bu binalarda kullanılacak yöntemin ekonomi, güvenlik ve imalat hızı açısından optimum bir noktaya çekilmesi ve güçlendirme işlemlerine acil olarak başlanılması gerekmektedir.

Halen kullanılmakta olan güçlendirme yöntemlerinde genellikle kullanıcının belli bir süre yapıyı terk etmesi gerekmekte, ayrıca güçlendirme işlemleri sonunda bina içinde sıva, boya, kaplama gibi ilave işler ve maliyet ortaya çıkmaktadır. Konut ve işyeri binaları bir yana, örneğin, okul ve hastane binalarında eğitim ve tedavi programının aksamaması çok daha önemlidir. Bu nedenle; bu çalışmada daha önce yapılan birçok güçlendirme yönteminden farklı olarak, güçlendirilmesi gereken binaların çokluğu, halen kullanılıyor olması ve güçlendirme işleminin bireyler ve ülke ekonomisine etkisi göz önüne alınarak, *mevcut binanın kullanımını aksatmayacak şekilde*, binanın dışından yapılacak dış perde duvar uygulaması ile özellikle ayrık düzendeki binalar için etkili, pratik ve ekonomik bir sistem iyileştirme yöntemi çözüm olarak önerilip, araştırılmıştır. Bu modelde, diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak bina kullanıcılarının imalat sırasında binayı terk etmesine gerek kalmadan binanın dışından sistem iyileştirme yöntemi araştırılacaktır. Yapılan bilgisayar modellemelerinin sonucunun deneylerle de elde edilmesi durumunda, yoğun olarak kullanılan binalar için çok elverişli bir iyileştirme yöntemi önerilmiş olacaktır.

Bu çalışmada, öncelikle ülkemizdeki mevcut binalarda, yapım aşamasında sık olarak görülen hatalara sahip olarak üretilmiş, kolonları basınç kırılması gösteren, sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışı incelenmiş; daha sonra aynı özellikteki mevcut yapıya betonarme dış perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirme sonucu ortaya çıkan davranış incelenmiştir.

Buna göre yapılan bu araştırmanın amacı:

1) Betonarme dış perde duvar ilavesinin mevcut betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki dayanımına katkısının araştırılması,
2) Betonarme dış perde duvar ilavesinin mevcut betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki rijitliğine katkısının araştırılması,
3) Deprem yükleri altındaki bir yapıda enerji tüketme kapasitesinin oldukça önemli bir özellik olduğu dikkate alınarak, betonarme dış perde duvar ilaveli betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki enerji tüketme kapasitelerinin araştırılması,
4) Betonarme dış perde duvar ilaveli çerçevelerin göçme şekillerinin ve buna

bağlı olarak düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar durumunun ve derecesinin belirlenmesi,

5) Deney sonuçlarıyla analitik çözüm yöntemlerinden bulunan sonuçların karşılaştırılması,
6) Deney sonuçlarının ve davranışların birbirleri ile karşılaştırılması olarak sıralanabilir.

Bu amaçları elde edebilmek için, ülkemizdeki mevcut betonarme çerçeveli yapıların birçoğunda görülen tasarım ve yapım kusurlarını dikkate alacak biçimde detaylandırılmış, 1/3 ölçekli, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, iki açıklıklı ve iki katlı 2 adet boş betonarme çerçeve ve 2 adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye tek yönlü olarak betonarme dış perde duvar ilave edilmesi ile güçlendirilmiş/iyileştirilmiş sistem, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Düşey konumda gerçekleştirilen deneylerde, yükleme olarak tersinir- tekrarlanır yatay yükleme türü seçilerek, yapıda önemli hasara neden olan depremin dinamik yükleme etkisi karakterize edilmiş, betonarme dış perde duvarın sisteme sağlamış olduğu olumlu katkılar ve sistem davranışındaki değişiklik araştırılmıştır. Tüm deney elemanlarının kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyesi kolonların basınç kırılması gösterebileceği yük seviyesi olan $N = 0.5 \sim 0.6 \times A_c \times f_c$ 'dir.

Deney numunelerinde dikkate alınan özellikler ve kusurlar şunlardır:

a) Düşük beton dayanımı (12~13 MPa),
b) Mevcut binalarda sıklıkla görülen düz yüzeyli donatı bulunması,
c) Kolon- kiriş birleşim bölgelerinde kiriş yüksekliğince kolon etriyesinin devam etmemesi,
d) Etriyelerin dik kancalı yapılması,
e) Kiriş donatısı kenetlenme boylarının yetersiz olması,
f) Güçlü kiriş - zayıf kolon özelliği,

g) Kolon boyuna donatılarında kat ve temel düzeylerinde bindirmeli ek bulunması ve bindirme boylarının yetersiz olması'dır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar, analitik kısımda, SAP2000 programında yapılan pushover analizden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

SAP2000 programında bütün deney elemanları için çerçevenin kendi ağırlığı ve düşey yüklerin yanında, sağ ve sol tepe noktalarından yatay yükleme yapılarak her eleman için yatay yük-tepe deplasmanı eğrisi elde edilmiş ve deneysel eğrilerle karşılaştırılmıştır.

Analitik çalışma sonucunda kolonlara ait moment-eğrilik ilişkisi belirlenmiş ve deneylerde kolonlarda ölçülen değerlere göre belirlenen moment-eğrilik ilişkisiyle karşılaştırılmıştır.

Böylece; çalışma kapsamında, deprem dayanımı zayıf betonarme binaların dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilmesi yöntemi, deneysel ve analitik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar uygulanabilir açısından irdelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Betonarme çerçevelerin ve betonarme yapı elemanlarının yatay yük etkisi altındaki davranışıyla ilgili çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar iki gruba ayrılabilir. İlk grupta, çerçeveler tek yönlü artan yatay yükler altında denenmiş; ikinci grupta ise, çerçeveler depremi benzeştiren tersinir- tekrarlanır yatay yükler altında denenmiştir. Bu çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Benjamin ve Williams(1957), yaptıkları çalışmalarda tek katlı, tek açıklıklı betonarme dolgulu 45 adet çerçeve deney elemanını artan yükler altında denemişlerdir. Deney elemanlarının geometrik ölçeği 1/8 - 3/8 arasında değişim göstermektedir. Çalışmalarında dolgu duvarın geometrisi, dolgunun donatı oranı ve yönü, kolonların eğilme donatısındaki değişim gibi değişkenlerin davranışa olan etkilerini incelemişlerdir. Tüm elemanların maksimum yük değerinde duvar tabanında ortalama kesme gerilmesi yaklaşık olarak aynı elde edilmiştir. Farklı donatı detaylarına sahip olan duvarlar farklı yük-deplasman ilişkileri sergilemişlerdir. En iyi davranışı ortogonal donatı yerleşimi göstermiştir. Duvar donatı oranı yüksek olan deney elemanları az olanlara göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Ayrıca, donatı oranındaki artış deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesini de artırmıştır. Kolon boyuna donatısındaki değişim, dolgunun yük taşıma kapasitesini çok etkilemiş; ancak, kesit değişimi çok fazla etkili olmamıştır.

Smith(1962), çerçeve ve dolgu arasındaki yük taşınma mekanizmasının yükün geliş yönüne göre diagonal bir basınç çubuğu ile modellenebileceğini ortaya koymuştur. Dolgunun türüne ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayına bağlı olarak bu diagonal çubuğun kesit özelliklerinin ve çerçeve ile dolgu arasındaki ayrılma bölgesinin değişimi hakkında sonuçlar elde etmiştir. Çerçevenin köşelerinde dolgu ile ayrılmayan bölgelerin çok önemli olduğunu ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini çok büyük oranda etkilediğini bulmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda çerçeve ve dolgudan oluşan bir sistemin optimum yük taşıma kapasitesinin, yaklaşık olarak maksimum yük kapasitesinin yarısı olduğunu tespit etmiştir.

Ersoy ve Uzsoy(1971), yaptıkları çalışmada, tek katlı tek açıklıklı 9 adet betonarme dolgulu çerçeveyi artan yükler altında denemiştir. Deneylerde değişken olarak dolgu kalınlığı, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, yatay yükteki değişim, kiriş ve kolon rijitliklerinin oranındaki değişim kullanılmıştır. Bunun sonucunda, dolgular yatay yük taşıma kapasitesini % 70 artırmıştır. Ayrıca, dolgunun boş çerçevenin elastik yanal rijitliğini % 500 artırdığını göçme durumundaki sehimi ise % 65 azalttığını tespit etmişlerdir. Analitik çalışmada ise, Smith'in yaklaşımından yararlanarak betonarme dolgular dolgunun kalınlığına eşit genişlikte strut (basınç) çubukları kullanılarak modellenmiştir. Bu deneylerden elde ettikleri sonuçları 1971 yılında yayınladıkları bir rapor ile ortaya koymuşlardır.

Higashi ve Kokusho(1975), bu çalışmada, 1/3 geometrik ölçekli, 3 tip güçlendirme tekniğini araştırmışlardır. Bunlar;

- Dolgu duvarların eklenmesi,
- Kanat duvarların eklenmesi,
- Kolonların mantolanmasıdır.

Araştırmada 2 adet dolgu duvarlı çerçeve denenmiştir. Birincisi çerçeveye monolitik olarak dökülmüştür. İkincisi de, perde duvar kesme elemanları ile çerçeveye birleştirilmiştir. Sonuç olarak; birinci elemanla ikinci elemanın dayanımının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Liauw ve Lee(1977), boşluklu ve boşluksuz betonarme dolgulu ve aynı zamanda çerçeve ve dolgu arasında bağlantılı ve bağlantısız 4 katlı çelik çerçeveden oluşan çok katlı dolgulu çerçeveleri deneysel olarak araştırmış, dayanım ve rijitlikleri açısından analitik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, 2 analitik metot sunulmaktadır. Bunlardan biri, baglantsız dolgulu çerçeveler için; diğeri ise, bağlantılı dolgulu çerçeveler içindir. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmakta ve baglantıların dolgulu çerçevelerin dayanım, rijitlik ve

güvenilirliğini artırmadaki önemli rolü gösterilmektedir.

MacLeod ve Hosny(1977), bu çalışmada binada çekirdek analizi için bir çerçeve yöntemi tanıtmışlardır. Bu yöntem, dikdörtgen veya çok hücreli dikdörtgen çekirdek şekli için uygulanabilmektedir. Bu analiz yöntemi membran etkisini dikkate almakla birlikte, düzlem dışı eğilmeyi ihmal etmektedir. Literatürdeki üç örneğin sonuçlarının karşılaştırılmasıyla yöntem için iyi bir yaklaşım elde edilmiştir.

Klingner ve Bertero(1978), özel olarak dizayn edilmiş dolgulu çerçevelerin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altındaki davranışını araştırmak için, deneysel ve analitik çalışmalar amaçlamışlardır. Çalışma, sadece yarı statik yükler etkisindeki çerçeve modellerinin ilk deney serilerinin sonuçlarını içine almaktadır. İlk olarak boş çerçeve denenmiş, diğer tüm deneyler dolgulu çerçeve şeklinde yapılmıştır. Boş ve dolgulu çerçevelerin deneysel yatay yük-deplasman davranışını tanımlamak için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Burada gerçekte 11 katlı bir yapının ilk 3,5 katını ve 1,5 açıklığını temsil edecek bir sistem seçilmiştir. İmal edilen dolgu çerçeveler şu amaçlarla üretilmiştir: Paneldeki çatlamanın yerleştirilen yatay ve düşey donatılar boyunca dağılmasını sağlamak ve çerçeve elemanlarında kesme kırılması oluşumunu önlemek veya geciktirmek. Elemanların betonu düzlemde dökülmüş ve yatay düzlemde denenmiştir.

Yüzügüllü(1979), betonarme boş çerçeveleri güçlendirmek amacıyla ön üretimli paneller kullanmıştır. Panelleri birbirleri ile bağlamak için çeşitli bağlantı detayı tiplerini araştırmıştır.

Kahn ve Hanson(1979), mevcut betonarme çerçevenin içine inşa edilen betonarme dolgu duvarlar için kullanılan üç çeşit güçlendirme yöntemini incelemişlerdir. Deneyler betonarme dolgu duvarların mevcut betonarme çerçeveyle nasıl etkileşim gösterdiğini belirlemek için yapılmıştır. Bu deneylerde güçlendirme tekniği olarak; mevcut çerçevenin içine yerinde dökme betonarme perde duvar eklenmesi, öndökümlü panel ilavesi ve birbirine mekanik olarak kenetlenmiş 6 adet öndökümlü çoklu panel eklenmesi yöntemleri uygulanmıştır. Deney elemanları tek

katlı ve tek açıklıklı olup, boyutları 1/2 ölçeklidir ve düşey düzlemde yatay yük etkisi altında denenmiştir. Perde ile monolitik üretilmiş çerçeve ve betonarme dolgu duvarsız boş çerçeve referans olarak alınmıştır. Boş çerçeve sismik güçlendirmeye ihtiyaç gösteren ve mevcut yapıyı temsil eden bir çerçeve olduğundan, sünek olmayan bir moment dengeleme çerçevesidir. Deney elemanları; sürekli temel, 2 adet kolon, T biçiminde üst kiriş ve bu kirişlerden yukarı seviyedeki kısa kolonlardan oluşmaktadır. Yerinde dökme duvarlı çerçevede duvarla çerçeve arasında yeterli kenetlenmeyi sağlayabilmek için No.3(9,5 mm) ankraj çubukları 100 mm uzunluğundaki boşluklara epoksiyle yapıştırılmıştır. Kolon ve duvarlardaki düşey donatılara yer değiştirme ölçerler(strain gauge) yapıştırılmıştır. Yük değerleri hidrolik krikoya bağlı yük ölçerden ölçülmüş ve yatay deplasmanları ölçmek için değişik uzunluklarda yer değiştirme ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Kolonlara düşey yük uygulanmadan elemanlar üstteki kiriş seviyesinden yatay olarak yüklenmiştir. Sonuçta yerinde dökme perde duvarlarda kolon donatısının aktığı noktadaki başlangıç deplasmanının 1-1,5 katı deplasmanda perde duvarla üstteki kiriş arasında ayrışma ve dağılma gözlenmiştir. Öndökümlü tek panelden oluşan çerçeve negatif yönde yüklendiğinde ankraj bulonları açılmış ve 20 mm yatay deplasmanda üstteki kirişte kesme kırılması meydana gelmiş, pozitif yönde yükleme yapıldığında az sayıda bulonda açılma meydana gelmiştir. 6 adet öndökümlü panelden oluşan dolgulu çerçevede ise, paneller ankastre mesnetli yüksek kirişler gibi davranış göstermişlerdir. İç panellerdeki düşey donatılar 10 mm deplasmanda akmaya başlamışlardır. Aynı zamanda iki kolonun üstünde ve bir kolonun tabanında kesme kırılması meydana gelmiştir. Sonuçta; yapılan deneyler, bu 3 dolgu tekniğinin deprem güçlendirmesi açısından yeterli olduğunu göstermiştir.

Liauw(1979), çalışmasında depremi benzeştiren dinamik bir yükleme ile, bir seri deney elemanı üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneylerde tek açıklı dört katlı çelik çerçeve ve betonarme dolgulu deney elemanları kullanmıştır. Deney elemanlarında değişken olarak; boşluk alanı etkisi, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı detayı ve çerçevenin yükseklik/genişlik oranın etkileri incelenmiştir. Deneyler sonunda boşluk olan bağlantısız dolgularda, dolgunun üstündeki hatıl kirişinde oluşan eğilme kırılması ile göçme olurken, bağlantılı olan dolgularda ise yine hatıl kirişinde

oluşan kesme kırılması ile göçme meydana gelmiştir. Çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı elemanlarının, boşluklu ve boşluksuz deney elemanlarında rijitlik ve dayanımı arttırdığı gözlenmiştir.

Yoichi ve Toneo(1980), yaptıkları deneylerde 13 adet 1/3 geometrik ölçekli, tek katlı tek açıklıklı, çeşitli dolgular ile güçlendirilen betonarme çerçeveyi tersinir tekrarlanır yükleme altında denemişlerdir. Güçlendirme için kullanılan dolgu türleri; yerinde üretim tam dolu dolgu, ön üretimli panellerin bir boşluk kalacak şekilde çerçeveye yerleştirilmesi, tam dolu ön üretimli dolgu duvar, çelik gergi çubuklarının çerçeveye eklenmesi, betonarme çerçeveye çelik çerçeve yerleştirme ve betonarme çerçeve içerisine çelik kafes kiriş yerleştirilmesidir. Güçlendirilen deney elemanları çerçeve sistem ve bir döküm perde duvar arasında bir davranış sergilemiştir. Tüm deney elemanlarının rijitlik ve dayanımı elastik olmayan analitik çerçeve modellemesi ile hesaplanmış ve sonuçlar, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Sugano ve Fujimara(1980), yaptıkları deneysel çalışmada, 1/3 ölçekli 10 adet tek katlı çerçeveyi değişik dolgulu ve çapraz kuşaklama teknikleri kullanılarak güçlendirmiş ve sismik davranışı belirlemeye çalışmıştır. Çerçevelerin, 5 adedi farklı dolgu teknikleri kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu çerçeveler, 1 adet boş çerçeve, 2 adet kuşaklama tekniği ile güçlendirilmiş çerçeve, 2 adet çerçeveyle monolitik olarak üretilmiş dolgu duvarla güçlendirilmiş çerçevedir. Sonuçta, çalışmada kullanılan güçlendirme tekniklerinin tamamı mevcut yapıların deprem dayanımını artırmıştır. Betonarme dolgulu çerçeveler perde duvar davranışı göstermiştir. Elemanın nihai dayanım ve rijitlik değerleri artmıştır. Çelik elemanlarla yapılan güçlendirme, betonarme dolgularla yapılan güçlendirmeden daha az dayanım artışı sağlamıştır. Kuşaklı çerçeveler, büyük enerji tüketme ve/veya deplasman yapabilme avantajına sahip olmasına karşılık; birleşimlerin kırılmasından dolayı, önemli ölçüde kapasite düşüşü meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş olan bütün çerçeveler kolonlarının kırılması sonucu göçmüştür. Taşıma gücü kapasitesi artışı daha az, yer değiştirme kapasitesi artışı daha yüksek olmuştur.

Hayashi ve ark.(1980), 6 adet tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve deneyi yapmıştır. Dayanım, rijitlik ve sünekliği artırmak için kullanılan güçlendirme teknikleri üzerinde çalışmıştır. Dolgu duvarlarla güçlendirme ve kolonların mantolanması konuları incelenmiştir. Bunun için biri boş çerçeveden ve diğeri çerçeve ile çevrili monolitik bir duvardan oluşan iki numune referans olarak seçilmiştir. Diğer 4 numuneden, birincisinde küçük beton kesme kamaları kullanılmıştır. İkincisine, kullanılan çelik parçaların ankrajı kiriş yüzeyinin pürüzlendirilmesi ile yapılmıştır. Üçüncü elemanda, kolon ve kirişlerin iç yüzlerine pürüzlendirilmeden ankrajlanmıştır. Dördüncü elemanda ise, çelik elemanların iç yüzeylere ankrajı pürüzlendirilerek yapılmıştır. Sonuçta; dolgu duvarlar dayanım ve rijitliği artırırken, kolon mantolaması kesme dayanımını ve süneklik kapasitesini artırmaktadır.

Sugano(1980), araştırmasında, kama bağlantılı dolgu duvarların dayanım artışıyla ilgili şu değerleri sunmuştur: Gerekli kesme dayanımının monolitik bir duvarınkinden % 60 daha fazla olması veya nominal kesme gerilmesi cinsinden $0.63\sqrt{f_{ck}}$ (MPa) değerinden büyük olması durumunda (f_{ck}: dolgu duvarın karakteristik beton basınç dayanımı), kamalar 1.0 MPa değerinden daha büyük dayanıma sahip olacak biçimde hesap edilmelidir. Duvar, dolgu ve çerçeve arasında herhangi bir bağlantı olmasa bile, $0.32\sqrt{f_{ck}}$ (MPa) değerinden daha büyük bir nominal kesme gerilmesi kapasitesine sahip olmalıdır. Kolonlar boyunca çerçeveyle bağlantısı olmayan bir dolgu duvar, $0.63\sqrt{f_{ck}}$ (MPa) değerine sahip olabilir.

Dolgulu çerçevelerle ilgili yapılan tekrarlı deneylerden elde edilen sonuçlar, farklı araştırmacılar tarafından şu şekilde yorumlanmıştır: Çerçeve boşluklarında dolgu elemanı olarak çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Betonarme dolgulu betonarme çerçevelerde, boş çerçeve durumunda elde edilen yanal dayanımın 5 katı değer elde edilmiştir. Dolguların varlığı, yanal rijitIikte önemli bir artış meydana getirmiştir. Yapılan deneylere göre betonarme dolgulu çerçevelerin rijitliği, tuğla veya beton bloklarla dolgulu hale getirilmiş çerçevelerin rijitliğinin birkaç katı olmuştur.

Broken ve Bertero(1981), 18 adet deney elemanını tersinir-tekrarlanır yükler altında deneye tabi tutmuşlardır. Deney elemanları gerçek 11 katlı ve 3 açıklıklı bir yapı çerçevesinin bir bölümü göz önüne alınarak, 1/3 geometrik ölçekli betonarme çerçeve ve dolgu sistemlerin dinamik davranışını incelemek amacıyla özdeş olarak seçilmişlerdir. Deney elemanlarında değişken olarak birbirinden farklı dört tip dolgu malzemesi seçilmiştir. Bunlar sırası ile kil ve beton tuğlalar, dışına hasır donatı yerleştirilmiş tuğlalar ve hafif beton paneller olarak sıralanabilir. Deneyler sonucunda; dolgunun, boş çerçeve sistemlerin yanal rijitlik ve dayanımını önemli ölçüde artırdığını, yanal rijitlik ve dayanımın yük geçmişi ile yakından ilgili olduğunu, artan yüklemeler altında panel donatısının detaylandırılması ve yerleşim düzeninin davranışı fazla etkilemediğini, tekrarlanır yüklemede donatı detaylandırması, yerleşimi ve panel ile çerçeve arasındaki bağlantı şeklinin davranış üzerinde büyük etkiler yaptığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, tüm deney elemanlarında hasar birinci katta yoğunlaşmış, yanal rijitlik bir döküm perde duvarlı numunelerde boş çerçeveye göre 4.8-5.8 kat artmıştır.

Higashi ve ark.(1982), yaptıkları çalışmada, tek katlı ve üç katlı çerçeveleri, dolgu perde duvarlar ve kanat duvarlarla güçlendirilmiştir. Toplam 8 adet deney numunesi denenmiştir. Bunların dördü tek açıklıklı ve 3 katlı, diğer dördü ise 2 açıklıklı ve 3 katlıdır. Her model için referans olarak, bir boş çerçeve ve bir çerçeveyle monolitik duvarlı çerçeve denenmiştir. Aynı zamanda kısmi güçlendirmenin çok katlı yapılar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, ön döküm ve ard döküm dolgu duvarlar ve kanat duvarlar kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme yöntemi deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; dolgu duvarlarla güçlendirilmiş çerçeveler, monolitik çerçeveye benzer bir davranış göstermiştir. Tek açıklıklı numuneler eğilme etkisi ile akmalarına rağmen, 2 açıklıklı numuneler kesme etkisi ile kırılmışlar; kanat duvarlarla güçlendirilmiş numunelerde, büyük yer değiştirme değerlerinde harç ezilmesi gözlenmiştir.

Kaldjian ve Yüzügüllü (1984), araştırmalarını 1/2 geometrik ölçekli 10 adet deney elemanı üzerinde yapmışlardır. Bu deney elemanlarını birbirlerine bir kirişle bağlı, simetri ekseninde bir kolona sabitlenmiş, iki adet kanat şeklinde panel duvarlı

olarak üretmişlerdir. Sonuçta; bir döküm duvara göre panel duvarların daha fazla deplasman yaptığını ve enerji tükettiğini ve çelik bağlantı parçalarının bu konuda önemli rol oynadığını tespit etmişlerdir.

Aoyama ve ark.(1984), yaptıkları araştırmada tek katlı tek açıklıklı, çok rijit bir üst kirişle çevrili duvarlardan oluşan, 1/3 ölçekli 12 adet numuneyi denemişlerdir. Deneylerde; perde duvarı çevreleyen sınır kolonların genişliği, kolon donatısı miktarı, yerinde dökme duvarlardaki boşlukların boyutu ve yerleşimi ve ankrajlama tipi değişken olarak seçilmiş; ve komşu duvar panellerinin sargı etkisi, eğilme dayanımının kesme dayanımı üzerine etkisi, boşlukların etkisi ve yerinde dökme imalat yöntemi araştırılmıştır. Deneylerde şu gözlemler yapılmıştır:

Bütün numunelerde, kolon tabanında eğilme çatlakları ve duvar panellerinde kesme çatlakları, kenetlenme çubukları boyunca çatlaklar gözlenmiştir. Boşluklu duvarlarda, boşluğun her iki kenarında geniş kesme çatlakları oluşmuştur. Maksimum yükte, bütün numunelerde duvarda geniş kesme çatlakları oluşmuş; kolonları zayıf olan numunelerde, kolon tabanında geniş eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır.

Sonuçta, kesme dayanımının, hem yerinde dökme hem de monolitik perde duvarlar için sargı etkisiyle arttığını, eğilme dayanımını artıracak şekilde yapılan sargı etkisinin, kenar kolonların rijitliğini artıran sargı şeklinden daha etkili olduğunu, yerinde dökme perde duvarların kesme dayanımının monolitik perde duvarların kesme dayanımından daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Higashi ve ark.(1984), tek katlı tek açıklıklı farklı tekniklerle güçlendirilmiş 13 adet çerçeveyi yanal tekrarlı yükleme altında denemiştir. Kötü detaylandırılmış kolon donatısı olan her tek açıklıklı 3 katlı çerçeve; ön döküm beton paneller, çelik kuşak, çelik çerçeve ve yerinde dökme duvarlarla dolgulu şekle getirilmiştir.

Sonuç olarak; 3 katlı tam dolgu duvarlı çerçeveler eğilme etkisiyle kırılırken, tek katlı tam dolgu duvarlı çerçeveler kesme etkisiyle kırılmıştır. Yerinde dökme duvarın başlangıç rijitliği, ön döküm duvarlı, çelik kuşaklı ve çelik çerçeveli sistemlere göre çok büyük artış göstermiştir. Ön döküm kanat duvarla güçlendirilmiş numune için dayanımda büyük bir artış gözlenmemiş; ancak, deplasman kapasitesinde önemli miktarda artış olmuştur. Çelik çerçeveli, çelik kuşaklı ve 4 ön döküm beton

panelli numunelerde sadece dayanım değil, aynı zamanda süneklik de artmıştır.

Liauw ve Kwan(1985), bu çalışmada boş, yarı dolgulu ve tamamen dolgulu betonarme çerçevelerin plastik analizi için bir analitik model geliştirmişlerdir. Çalışmanın ilk bölümünde, statik yükler altında yük-sehim davranışı, gerilme dağılımı ve göçme şekilleri incelenmiştir. İkinci bölümde ise, tekrarlı yükler altında tersinir tekrarlanır karakteristikler, enerji tüketme kapasiteleri ve diğer özellikleri değerlendirilmiştir. Geliştirilen yöntem deney sonuçları ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Krawinkler ve Wallace(1985), yaptıkları çalışmada, farklı deneysel teknikleri denemek ve verileri, dizaynda ve analitik modellemede kullanarak betonarme yapıların sismik davranışı üzerine detaylı bilgi elde etmek için, küçük ölçekli model deneyleri serisini ve elde edilen sonuçları tartışmaya koymuşlardır. Bu araştırma programında, 7 katlı perde duvarlı çerçeveli yapı, çalışma için prototip olarak seçilmiştir. Tüm elemanlar yarı statik tekrarlanır yükleme etkisinde(deplasman kontrollü) denenmiştir. Araştırma sonucunda, denenen yapı, sismik yer hareketlerini temsil eden tekrarlanır yükleme etkisi altında iyi bir davranış göstermiştir.

Morgan ve ark.(1985), çalışmada, 1/1 ve daha küçük ölçekli betonarme çerçeveler ve bireysel perde elemanları üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. 1/1 ölçekli yapı 7 katlı olup, yükün etki yönünde 3 açıklıklı, genişlik yönünde ise 2 açıklıklıdır. Yük yönündeki orta açıklıkta perde bulunmaktadır. 1/3.5 ölçekli perde duvarlı çerçeve elemanında duvar yüksekliği yaklaşık 6.2 metre, kolondan kolona genişlik 4.9 metredir. Tekil duvar elemanı olan deney elemanında perdeli çerçeveli elemandaki perde kesit boyutları kullanılmış, fakat daha küçük duvar yüksekliği alınmıştır. 3 boyutlu deneyler sonucunda perde duvarlarının yüksek kesme gerilmelerini karşılamak için gerekli olduğu gözlenmiştir. Duvar üzerinde düzlem çerçeve analizinden belirlenen düşey kuvvetler elemanın dayanım ve dönme kapasitesini artırmaktadır. Perde duvarlı çerçeve numunesinin deneysel maksimum yük taşıma kapasitesi, analitik olarak belirlenen değerin 1.1 katı olmuştur. Tekil perde duvar için, bulunan maksimum deneysel yük değeri analiz değerinin 1.04 katı olmuştur.

May ve Ma(1985), çalışmayı kare akma kriterli bir malzeme için elde edilmiş olan kesme ve dönme hareketini yapabilen bir akma bölgesi için gerçekleştirmişlerdir. Hem dönme hem de kesmenin olduğu akma bölgeleri sadece özel durumlarda görülmektedir. Bu akma bölgeleri, bundan dolayı, çerçeveli yapılarda boşluklu tuğla dolgular için göçme yükleri üzerindeki üst sınırları belirlemede kullanılmaktadır. Göçme yükü üzerindeki alt sınırlar küçüktür. Analizden elde edilen sonuçlar kullanılarak, boşluklu dolgulu paneller için bir tasarım yöntemi önerisi yapılmıştır.

Achyutha ve ark.(1986), bu çalışma, tuğla dolgulu çerçeveler ve bir adet kapı veya pencere boşluğu olan veya tam dolu çerçevelerin analizini kapsayan sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılan bir araştırmayı içermektedir. Dolguda yer alan bir adet boşluğun büyüklük olarak değişimi ve boşluk etrafına yerleştirilen rijit çubukların yerleşim şeklindeki değişimin, sistemin yanal rijitlik ve dolgu içindeki gerilme dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Aristizabal-Ochoa(1987), ince, boşluklu betonarme duvar sistemlerinin ve bağlantı elemanlarının sismik davranışı üzerine bir bilgilendirme yapmaktadırlar. Perde duvarlar ve bağlantı elemanlarının rijitlik, dayanım ve mevcut dönme sünekliği arasında mükemmel bir dengeden söz edilmesinin gerektiği belirtilmektedir. Bağlantı elemanları, tersinir-tekrarlanır yükleri sönümlemeli; duvarlar ise, yanal rijitlik ve dayanımı karşılamalıdır. Çalışmada, eğilme ve sargı donatısının uygun akrajının önemi vurgulanmaktadır. Betonarme duvarlar ve bağlantı elemanlarının taşıma gücü dizaynı üzerine tavsiyeler sunulmuştur.

Altın(1990), bu araştırmada, 14 adet tek açıklıklı, 2 katlı deney elemanını tersinir-tekrarlanır yükleme altında denemiştir. Çalışmada betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan davranış ve dayanım değişikliği incelenmiştir. Bu amaçla temel değişkenler, dolgu panelinin donatı tipi ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı tipinin etkinliği, kolon eğilme kapasitesi, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı olarak seçilmiştir. Yatay düzlemde yapılan deneylerden şu sonuçlar elde

edilmiştir: Kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yükün artması, davranışın iyi yönde gelişmesini ve deney elemanının dayanımını artırmıştır. Çerçeve ve betonarme dolgu duvar arasındaki yük aktaran donatı detayının, dayanım ve süneklik düzeyi üzerindeki etkisi önemli olmuştur. Karşılaşılan en önemli problem, dolgunun mevcut çerçeveye birleşimi olmuştur.

Saatçioğlu(1990), yaptığı çalışmada, betonarme kısa perdelerin tersinir tekrarlanır yük altında davranışını deneysel olarak araştırmıştır. Sonuçta; asal çekme kırılmalarının duvar donatısı ile önlendiği elemanlarda, perde tabanı boyunca kesme kayması gözlemlenmiştir. Araştırmada kaymayı önleyici özel donatı türü geliştirilmiştir. Bu donatı kritik kesite, dik kısa çubuklardan oluşmaktadır. Çubuklar kritik kesit boyunca oluşan eğilme çatlağını bağlayıcı nitelikte olup, bu bölgedeki çatlak konumunu değiştirerek kritik yüzeyde beton kesme dişleri oluşturmaktadır.

Valluvan ve ark.(1993), bu çalışmada, kolon bindirme bölgelerinin güçlendirilmesi için birkaç yeni yöntemin araştırılmasıyla ilgili bir araştırmayı sunmuşlardır. Çalışmada, 12 adet deney numunesi denenmiştir. Bunlardan biri güçlendirilmemiş, diğer 11 numune ya bindirmenin sürekliliğini sağlayarak ya da sargıyı artırarak güçlendirilmiştir. Deney tekniği, elemana önce çekme kuvveti uygulanması, daha sonra eşit şiddette basınç kuvveti uygulanması şeklinde olmuştur. Sonuçta, kolonun kuşatılması esas etken olarak görülmüştür.

İlki (1994), malzeme açısından lineer olmayan sistemlerin, tekrarlı yükler altındaki davranışı incelemiş ve bir bilgisayar programı yazmıştır. Program ile düzlem çerçevelerin, tekrarlı yükler altındaki lineer olmayan davranışları belirlenmiş ve bir örnek düzlem çerçeve için hesap yapılmıştır.

Kwan ve Xia(1995), farklı duvar tiplerinin sismik performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için 3 adet 1/3 ölçekli 4 katlı duvar yapı modellerini 5m x 5m sarsma tablası üzerinde artan büyüklükte depremi benzeştiren yükler etkisinde nihai kırılma için dinamik olarak denemişlerdir. Sırasıyla şu üç model denenmiştir: bir betonarme perde duvar yapı, bir tuğla dolgulu betonarme

çerçeve yapı ve beton dolgulu çelik çerçeve yapı. Bunların hepsinin tüm boyutları aynıdır ve duvarları temsil etmek için tasarlanmıştır. İncelenen yapısal formlarla 2 problem tanımlanmış ve bununla ilgili daha ileri araştırmalar önerilmiştir.

Nakano(1995), Japonya'daki mevcut betonarme yapılarda günümüzde kullanılan sismik güçlendirme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Japonya'da bilinen ve uygulanan güçlendirme teknikleri; sisteme yeni perde duvar ilavesi, mevcut binaların çelik çapraz çerçevelerle güçlendirilmesi, mevcut kolonların çelik profillerle mantolanmasıdır. Yeni teknikler ise, temelde kullanılan sismik izolatörler, ilave enerji tüketici diyagonaller, aktif kontrol elemanları, yüksek performanslı malzemeler (karbon lif takviyeli polimerler gibi) olarak geliştirilmektedir.

Kato ve ark.(1995), çalışmada genel olarak bir adet boşluk içeren ön üretimli dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü yönteminin uygulanması ve boşluk etrafındaki donatı detaylandırmasının davranışa olan etkisi analitik bir yaklaşımla incelenmiştir. Araştırmada sadece taşıma gücü yaklaşımı kullanılmış ve çok sınırlı sayıda bu konuda yapılmış deney sonuçları ile yöntem kontrol edilmiştir.

Sittipunt ve Wood(1995), bu araştırma, gövde donatısının, betonarme tam dolu ve bir adet pencere boşluklu perdelerin tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışına etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile inceleyen analitik bir çalışmadır. Bu analitik çalışmada; 1970 yılında Portland Çimento Birliği tarafından, betonarme perdelerin tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışının incelenmesi ve perdelerin önemli yapısal parametrelerinin kontrol edilmesi için yapılan 13 adet perde duvar deney sonuçları kullanılmıştır. Analiz sonuçları, bir adet boşluk içeren ve tam dolu perdeler için yapılan deneysel araştırma sonuçları ile karşılaştırılarak, model kontrol edilmiştir.

Miller ve Reaveley(1996), yaptıkları çalışmada**;** sismik iyileştirme yöntemlerinden, mevcut çelik çerçevenin içine yerleştirilen yeni çelik kuşaklı çerçevelerin ilavesi, temel izolasyonu, betonarme dolgu duvar ilavesi yöntemlerini

araştırarak karşılaştırmışlardır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; çelik kuşaklama yöntemi oldukça pahalıdır, temel izolasyonu ise diğer iki yöntemden çok daha fazla maliyet gerektirmektedir. Betonarme perde duvarların ilavesi en makul çözümdür.

Mehrabi ve ark.(1996), mevcut şartnamelere uygun olarak tasarlanmış betonarme çerçevelerin sismik performansı üzerine tuğla dolgu panellerin etkisini araştırmışlardır. Bunun için iki tip çerçeve gözönüne alınmıştır. İlki rüzgar, ikincisi ise kuvvetli deprem kuvvetleri etkisi altındadır. Bu amaçla, 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı çerçeve numuneleri denenmiştir. Araştırmada kullanılan parametreler; dolgu panellerin çevresindeki çerçeveye göre dayanımı, panelin cepheye oranı, düşey yüklerin dağılımı ve yanal yük geçmişidir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki; dolgu panelleri, betonarme çerçevelerin performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bununla birlikte güçlü çerçeve ve güçlü paneli olan numuneler, yüke karşı koyma ve enerji yutma kapasitesi açısından zayıf çerçeve ve zayıf panelli olanlardan daha iyi bir performans göstermiştir. Dolgulu çerçeve numuneleri tarafından taşınan yatay yükler, boş çerçevenin taşıdığından her zaman daha yüksek olmuştur.

Ersoy ve ark. (1998), bu çalışma kapsamında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi'ndeki dolgulu çerçevelerle ilgili araştırmaların bir kısmı anlatılmıştır. 8 adet tek açıklıklı, 2 katlı betonarme çerçeve orta derecede hasar meydana gelinceye kadar tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiş ve daha sonra hasarlı çerçeveler onarılmış ve yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmiştir. Çerçevede kullanılan zayıflıklar; yetersiz sargı donatısı, yetersiz kenetlenme boyları ve düşük beton kalitesidir. Güçlendirilmiş çerçeveler de tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denenmiştir. Bu çalışmada amaç, çerçevedeki hasarın, güçlendirilerek elde edilen dolgulu çerçevenin davranışı üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışmanın sonunda, hasarlı çerçevelere ilave edilen betonarme dolguların yatay yük dayanımını ve yatay rijitliği önemli ölçüde artırdığı, dolgulu çerçevelerin göçme mekanizması eğilme etkisiyle başladığı için kolon boyuna donatı miktarının dayanım üzerinde önemli bir etkiye

sahip olduğu, çerçevenin beton dayanımının tamamen dolgulu çerçevelerin dayanımına fazla etki etmediği, ancak beton kalitesinin bağlayıcı ankraj çubuklarının yerleşimi için önemli olduğu gibi sonuçlara varılmıştır.

Ignatiev(1998), araştırmasında, mevcut yapıların betonarme mantolaması, çelik profillerle mantolama, mevcut elemanların dışına ön çekmeli elemanlar sarma, çelik plaka yapıştırılması, yerinde dökme veya püskürtmeli betonla, prefabrike betonarme şerit panellerle, donatısız veya donatılı tuğla dolgularla ve donatılı veya donatısız bloklarla boşlukları doldurma tekniği, çelik kuşaklama, çelik çerçeveler ve kafes kirişlerin ilave edilmesi, betonarme perde duvar ilavesi, istinat duvarı ilavesi, yeni temel eklenmesi gibi güçlendirme tekniklerini ve uygulamadaki problemlerini incelemiştir. Yapıdaki uzaysal boyuttaki düzensizlikler, yatay düzensizlikler, düşey düzensizlikler, çerçeveli yapılardaki düşey düzensizliklerin meydana getirebileceği hasarlar ile mevcut yapıyla yeni ilave edilen malzemeler, bileşenler ve/veya alt sistemler arasındaki uyumun yapının sismik davranışına etkilerini incelemiştir.

Özden(1998), araştırmasında, onarım ve güçlendirme için kullanılan bağlayıcılarla aktarılan iç kuvvetleri; basınç, çekme ve kesme kuvvetleri; eğilme momenti veya buna eşdeğer bir kuvvet çifti ve bu etkilerin bir arada olduğu etkilerin birleşimi olarak vermiş ve bu etkileri karşılayan bağlayıcı elemanları tanıtmıştır.

Tezcan ve İkizoğulları(1998), güçlendirme için kullanılan betonarme perde duvarın çevresi boyunca oluşacak kesme gerilmesi dağılımını sonlu eleman analizinden faydalanarak incelemiştir. Burada kullanılan parametreler; açıklık ve kat sayısı, dolgu duvarların tüm yapı içindeki oranları, mevcut yapı ve yeni duvarın beton kalitesindeki farklar olarak belirlenmiştir. Her parametrik durumdaki, kesme gerilmesi dağılımı, pratik dizaynda kullanılması için grafik olarak gösterilmektedir. Kesme bağlantı elemanları yatay yükün mevcut yapıdan yeni perde duvarlara tam olarak aktarılması bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, genellikle düzlem içinde ve düzlem dışında yerleştirilerek oluşturulan perde

duvar tipleri kullanılmıştır. Sonuçta; düzlem içi perdeler büyük boyutlu bir temel gerektirmezken, düzlem dışı duvarlarda büyük boyutlu ağır temeller gerekmektedir.

Türk(1998), tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 geometrik ölçekli 9 adet betonarme çerçeve hazırlamış ve depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında yatay durumda denemiştir. Bu çalışmada, hasarlı ve hasarsız, sünek ve sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla onarılmasıyla oluşan betonarme dolgulu çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Hasar görmüş olan çerçeveler dolgu duvarlar ile doldurularak onarılmıştır. Betonarme dolgular eklenerek onarılan elemanlar, tekrar aynı şekilde depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında denenmişlerdir. Deney sonuçları, dayanım, rijitlik, tepki eğrileri, enerji tüketimi ve kat ötelenmeleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçları, daha önceki benzer deneylerin sonuçları ve uygulanan analitik metotların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Deneyler sonucunda:

- Dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının özellikle çerçeve ve dolgu arasındaki etkileşime bağlı olduğu, uygulanan eksenel yükün davranışı önemli ölçüde etkilediği, dolgulu çerçeve davranışının donatı özellikleriyle etkilendiği,
- Ankraj çubuklarının yerleştirilmesinde kaliteli işçiliğin önemli olduğu, kolon boyuna donatılarının kat seviyesinde bindirmeli ek yapılması durumunda dolgulu çerçevenin dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde azalttığı,
- Dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının boş çerçevelerinkinden yaklaşık 8-13 kat büyük olduğu, dolgulu çerçevelerin başlangıç rijitliğinin boş çerçeveninkinin yaklaşık 19-24 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Taylor ve ark.(1998), çalışmalarında, alt kısmında bir adet boşluğu olan, yüksekliği genişliğine göre çok büyük betonarme perdelerle ilgili deneysel ve analitik bir araştırma yapmışlardır. Deneysel kısımda, 1/4 geometrik ölçekli iki adet deney elemanı sabit eksenel yük altında tersinir-tekrarlanır yüklemeye tabi tutulmuştur. Bu

çalışmada, düşey sınır donatılarının deplasmana bağlı bir yöntemle seçiminin incelenmesi ve yatay donatıların kafes kiriş analojisi yöntemi ile seçimi araştırılmıştır.

Ergin (1998), onarım ve güçlendirme tanımlarını yaparak aralarındaki temel farkları belirtmiş ve daha sonra hasar etkenlerinden bahsetmiştir. Mevcut bir bina ele alınarak yönetmelik çözümü yapılmış ve temelden itibaren güçlendirme aşamalarından bahsedilmiştir.

Mourtaja ve ark.(1998), betonarme çerçeve boşluğuna kesmeye karşı koyması için yerleştirilen çok hafif özel bir diyafram yerleştirmiş ve bağlantıları dolgu paneline yerinde harç püskürtülmesiyle elde edilen eleman ile boş ve tuğla dolgulu çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yükleme altında denenmesiyle elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

Singh ve ark.(1998), bu çalışmada, statik ve depremi benzeştiren yükleme etkisi altındaki tuğla panel dolgulu betonarme çerçevelerin davranışını belirlemek için elastik olmayan bir sonlu eleman modeli önermektedir. Bu yükler altında, harç kesmenin etkisiyle çatlayabilmekte ve çerçeve ile dolgu duvar arasındaki yüzeyde ayrılma meydana gelmektedir. Bunun ileri aşamalarında dolgu yapı davranışını değiştirecek biçimde çatlayıp ezilebilmekte ve dolgu etkisiz olabilmektedir. Bunun sonucunda, boş çerçeve bütün yüklere karşı koyduğundan bu durum sistemi göçmeye götürebilmektedir. Bu çalışmada, davranışı belirleyebilmek için matematik bir model sunulmaktadır.

Yüksel ve Karadoğan(1998), perde duvarlarla güçlendirilmiş çerçevelerin deprem davranışı ile ilgili bir araştırmayı sunmuşlardır. İlave perde duvarların eklenmesiyle ortaya çıkan bazı problemler ortaya konmuş ve bunlara teorik olarak çözüm getirebilecek bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Yılmaz(1998), deprem sonucunda betonarme yapıda meydana gelen hasarlar, yapı hasarının derecelendirilmesi, onarımda kullanılan malzemeler ve onarım

yöntemlerini incelemiş, hasarın belirlenmesinde görsel incelemeler ve test yöntemleri üzerinde durulmuş ve hasar tespit çalışmaları ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

Budak ve Uzman(1999), bu çalışmada, boşluklu dolgu duvarlı çerçeve modeli boşlukların yerleri ve boyutları değiştirilerek analiz edilmiştir. Analizde, dolgu duvarlı çerçevelerin genel yükler altında malzeme bakımından doğrusal olmayan analizine yönelik bir model kullanılmıştır. Böylece yüklerin artışına paralel dolgu duvarlı çerçevede boşluklar nedeniyle meydana gelen yerdeğiştirme, rijitlik ve dolgu duvarın burkulmasındaki değişimler ile çatlakların gelişimi incelenmiştir.

Chaker ve Cherifati(1999), tuğla dolgu panelli 2 bitişik 3 katlı betonarme çerçeveli yapının titreşim ölçümlerini gerçekleştirmiştir. İlk yapı boş çerçeveli, ikincisi ise tuğla panel dolgulu benzer bir çerçevedir. Titreşim dataları kullanılarak bu iki binanın gerçek yanal rijitliği tanımlanmıştır. Çerçeve ve döşemeler deneysel olarak doğruluğu ispatlanmış bir model kullanılarak; dolgu panelleri ise, eşdeğer diyagonal kafes kiriş modelleri veya düzlem gerilme sonlu elemanlarıyla gösterilmiştir.

Kargı(1999), çalışmada, hasar görmemiş az katlı yapılar için kullanılan iki farklı tipte imal edilmiş bölme duvar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Birinci tip bölme duvarlar iki farklı tip tuğla ile oluşturulmuştur. İkinci tip bölme duvarlarda ise, fabrikada üretilmiş birbirine özel biçimde bağlanmış ince hasır donatı üzerine atılan püskürtme betonla oluşturulmuştur. Bölme duvarların bütünleşik çalışması için gerekli olan şartları bulmak amacıyla teorik bir çalışma yapılmış, panel bölme duvarlar için teorik kayma rijitliği ifadesi çıkarılmış, deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki grup bölme duvarın katılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin %195 ile %346 artmakta olduğu gözlenmiştir.

Kato ve ark.(1999), toplam 6 adet deney elemanı, 4 adedinde perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğünün değişimi, diğer 2 elemanda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde araştırma yapılmıştır. Araştırmada, bir döküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin, perde yatay deplasman kapasitesi ve dayanımı üzerindeki

etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonuçlarında boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan kanat kısmı tarafından taşınmasına karşın, eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdelere göre çok fazla değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Buonopane ve White(1999), yaptıkları çalışmada 1/2 geometrik ölçekli, 2 katlı 2 açıklıklı tuğla dolgulu betonarme çerçeve deney elemanı üzerinde, dinamik yükleme altında deney yapılarak bu sistemin deprem davranışı üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada deney sonuçları kullanılarak sistemin yanal rijitlik ve deplasman kapasitesini tahmin etmek için farklı diagonal çubuk biçimleri analitik olarak incelenmiştir.

Fukuyama ve Sugano(2000), Hyogoken-Nambu depreminden sonra Japonya'da uygulanan, mevcut betonarme binaların sismik iyileştirme teknikleriyle ilgili genel bir bilgi vermektedirler. İyileştirme strateji ve teknikleri, değişik tekniklerle iyileştirilmiş yapıların ve bileşenlerinin gelişen davranışı, mevcut binaların deprem öncesi ve deprem sonrası iyileştirme örnekleri sunulmaktadır. Kobe depreminden sonra sürekli lifli kaplama uygulaması önemli ölçüde arttığı için, bu tekniğin karakteristikleri ve detayları tanımlanmaktadır. Son olarak, gelecekte araştırılması düşünülen konular özetlenmektedir.

Ghobarah(2000), bu çalışmada yapıların depreme karşı performansının değerlendirilmesinde kullanılan analiz metotlarını ve sınırlandırmaları sunmuştur. Burada, sünek olmayan detaylandırma; yetersiz kesme donatısı, yetersiz sargı ve kiriş boyuna donatılarının yetersiz ankraj uzunluğu olması şeklinde tanımlanmıştır. Depremler sonucunda gözlenen detaylarla ilgili bilgi verilmiştir.

Chan ve ark.(2000), servis yükleri altındaki yüksek betonarme binaların yanal ötelenme ve rijitlik karakteristikleri üzerine çatlamanın etkisini nicelik olarak belirlemek için bir analitik yöntem önermektedir. Hiperstatik betonarme yapıların servis yükleri altındaki davranış ve rijitlik karakteristiklerini belirlemek için 2 tip(rijit çerçeve ve perde duvar-çerçeve yapı) 1/1 ölçekli numuneyle deney gerçekleştirilmiştir.

Sonuçta, yüksek betonarme binalarda kirişlerde çatlama meydana gelmesinin yanal rijitlik azalmasındaki temel faktör olduğu belirlenmiştir.

Sonuvar (2001), çalışmasında onarım görmüş boş çerçeveye betonarme dolgu duvarların etkisinin incelenmesi amacıyla 5 adet iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli betonarme çerçeve hazırlamış ve tersinir-tekrarlanır yükleme altında denemiştir. Boş çerçevelerde gerçek yapılarda var olan yetersiz sargı donatısı, kötü beton dayanımı, güçlü kiriş-zayıf kolon bağlantısı, yetersiz boyuna donatı bindirme boyu gibi istenmeyen özelliklerin olmasına çalışılmıştır. Analitik kısımda ise, betonarme dolgu duvarların eşdeğer çubuk elemanlar ile modellenmesi üzerine çalışılmış, elde edilen sonuçlar deneysel verilerle ve sıkça kullanılan bir analitik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, betonarme dolguların performansının özellikle kamalara ve işçiliğe bağlı olduğu görülmüş, yük-deplasman grafiklerine bakıldığında, betonarme dolgu ilavesinin yanında uygulanan bölgesel güçlendirme tekniklerinin oldukça etkili olduğu gözlenmiştir. Dolgu çerçevelerde boş çerçevelere göre 10-23 kat arası yatay yük taşıma kapasitesi artışı gözlenmiştir. Analitik çalışmalardan elde edilen dolgulu çerçevelerin başlangıç rijitliği, eşdeğer basınç çubuğu modeli yardımıyla bulunan değerlere yakındır.

Canbay(2001), çalışmasında betonarme dolgu duvarlar ile doldurulmuş iki katlı, üç açıklıklı, yaklaşık 1/3 ölçekli betonarme çerçevenin davranış ve dayanımlarını incelemektedir. Bu çerçevede, ülkemizdeki binalarda sık rastlanan kusurların olmasına özen gösterilmiştir. İmal edilen boş çerçeve, düşey durumda, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında önemli hasar gözleyinceye kadar yüklenmiştir. Daha sonra boş çerçevenin orta gözü, betonarme bir duvarla doldurulmuş ve elde edilen deney elemanı aynı tür yükler altında denenmiştir. Yükleme programı akma yüküne kadar yük kontrollü akmadan sonra deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Araştırmanın temel amacı, uygulanan yatay yükün çeşitli aşamalarında duvar ve çerçeve kolonları arasındaki yük dağılımlarını incelemek olduğu için; dolgu duvarının eklenmediği açıklıkların kolonları altına yatay deprem yükü uygulanması sonucunda gelen kesit tesiri değerlerinin izlenebilmesi amacıyla özel bir ölçüm aracı geliştirilmiş ve çeşitli

deneyler ile kalibre edilmiştir. Analitik kısımda ise, yapı limit analiz kullanılarak çözülmüş ve paket programlarla(drain2dx) modellenmiştir. Hesaplanan değerler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesapla bulunan ve deneyden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, betonarme dolgu duvarın kat seviyelerinde rijit kollu bir kolon olarak modellenebileceği, betonarme dolgunun göçmeden önceki aşamada yatay yükün % 90 ını taşıdığı, duvarın kapasitesinin dolgunun sınırlarında yer alan kolonların boyuna donatılarının yetersiz ankraj boyundan dolayı azaldığı, dolgulu deney numunesinin başlangıç rijitliğinin boş çerçeveninkinden yaklaşık 15 kat fazla olduğu, hasarlı çerçeveye dolgu duvar ilave edilmesiyle yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 4 kat arttığı, dolgu duvar ilavesinin sonucu olarak enerji tüketme kapasitesinin de önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır.

Akyüz ve ark.(2001), çalışmanın amacını, depreme dayanıklı olmayan ve halen kullanılmakta olan binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayacak yöntemler geliştirmek ve bunların gerekli dayanım ve rijitliği sağladığını deneysel olarak kanıtlamak olarak açıklamaktadır.

Aras (2001), varolan bir betonarme binanin yeni bir tasarım ve güçlendirme yöntemi olan “performance based design” kullanılarak performansını sınamıştır. FEMA-356'da yer alan kriterler kullanılmış ve analiz sonucunda bina güçsüz bulunarak, çelik ve perde ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çalışmada lineer olmayan davranışı görmek için, güçlendirilmiş yapıların deprem yükü azaltma katsayıları hesaplanmıştır.

Chai ve Hutchinson(2001), çalışmada tek katlı, tek ve iki açıklıklı, çeşitli büyüklüklerde kapı ve pencere boşluğuna sahip ön üretimli paneller tersinir-tekrarlanır yüklemeler altında test edilmiştir. Çalışmada panellerde yer alan boşluk alanı büyüklüğünün davranışa olan etkileri araştırılmıştır.

Dörttepe(2001), betonarme yapılarda oluşan hasar tipleri ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme teknikleri anlatılmıştır. Betonarme bir yapıda

hasarın belirlenip değerlendirilmesinde mühendislik deneyiminin çok önemli olduğu, onarım ve güçlendirme işinde kullanılan kaliteli malzeme ve işçiliğin etkinlik düzeyini arttırdığı, onarım ve güçlendirme işinden sonra artan kesitler ve yapı elemanlarından dolayı, taşıyıcı sistemin yatay ve düşey yüklere göre yeniden analiz yapılması gerekliliği, kirişlerin güçlendirilmesi işleminden sonra kuvvetli kolon-zayıf kiriş kotrollerinin yapılması gerekliliği, onarım ve güçlendirme işi yapılırken, yapı elemanlarının yükünün, başka geçici elemanlar tarafından taşıttırılıp, bu işlemin onarım ve güçlendirme işinin etkinliğini arttırmada önemli bir etken olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Anıl (2002), boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışlarının deprem yükleri altında incelenmesi amacı güden çalışmasında, 9 adet tek katlı tek açıklıklı, betonarme dolgulu çerçeve deprem etkilerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Betonarme dolgulu çerçevelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yeri ana değişkenlerdir. Deney sonuçları, boşluk alanının büyüklüğü ve yerindeki değişimin betonarme dolugulu çerçevelerin rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Analitik çalışmada, deney elemanlarının dayanımları yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdiği ampirik denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, güçlendirme amacıyla kullanılan boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin tasarımı ve detaylandırılması için öneriler oluşturulmuştur.

Beyli (2002), 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş 10 katlı betonarme binanın 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre çözümünü yaparak deprem güvenliğini incelemiştir. Deprem yönetmeliğine göre taşıyıcı sistemi yeterli dayanıma sahip olmayan binanın, çerçeve boşluklarına betonarme perde ilavesi ile güçlendirilmesi yoluna gitmiştir. Ayrıca, ilave perde yüksekliğine bağlı olarak periyotların, perde üzerinde bulunan kolonların kesit tesirlerinin ve perde tabanında oluşan kuvvetlerin değişimleri gösterilmiştir.

Aydoğan ve Öztürk(2002), çalışmada deprem sonrası bina tipi konut yapıları ile prefabrike sanayi yapılarında yapılan güçlendirme ve iyileştirmelerden tipik örnekler sunulmuştur. Bunlar, Bursa Mudanya'da bulunan depremde hasar görmüş 6 katlı betonarme bir konut yapısının güçlendirilmesi, İstanbul Kavacık'ta bulunan 7 katlı betonarme bir binanın iyileştirilmesi, İstanbul Vefa Anadolu Lisesi'nin yığma olan orta bina sınırı ve Yalova'da bulunan ve depremde kısmen hasar görmüş olan tek katlı prefabrike bir sanayi yapısının güçlendirilmesidir. Son olarak, Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan tek katlı prefabrike bir fabrika binasının iyileştirilmesinden bahsedilmiştir.

Ghobarah ve Said(2002), yaptıkları çalışmada, betonarme kolon kiriş birleşimlerinin gelişmiş kompozit malzemeler kullanılarak etkili şekilde kesme dayanımının artırılması için etkili ve ekonomik güçlendirme teknikleriyle ilgili bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bunun için çok sayıda kolon kiriş birleşimi imal edilmiştir. Bu düğümler, eski deprem yönetmeliğinin sünek olmayan detaylandırma karakteristiklerini yansıtacak şekilde dizayn edilmiştir. Kontrol numuneleri, kiriş ucundan tekrarlı yükleme yapıldığında düğümde kesme kırılması göstermiştir. Denenen teknikler, düğümün kesme dayanımını artırmakda ve oluşacak kesme kırılmasını önlemekte başarılı olmuştur.

Özbalaban(2002), yaptığı çalışmada, betonarme yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre güvenliğinin ve perde ilavesi ile güçlendirilmesinin etkinliğini incelemiştir. Mevcut betonarme yapıların güvenliği değerlendirilmiş, değerlendirme yapılırken deprem yükü azaltma katsayısının önemi üzerinde durulmuş, onarım ve güçlendirme öncesi çalışmalar açıklanmıştır. Güçlendirme yöntemlerinin seçimini etkileyen faktörler ve karşılaşılan problemler açıklanmıştır. Mevcut 6 katlı betonarme bir yapının 1998 deprem yönetmeliği yükleri altında çözümü yapılarak depreme karşı güvenliği incelenmiş ve perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiştir. Binanın güçlendirilmesi için eklenen 4 adet perde ile yatay yükün taşınmasında çerçevelerin hakimiyeti azalmış ve çerçeve elemanlarındaki kesit tesirlerinin azaldığı görülmüştür. Perdeleri mümkün olduğunca bina içinde olacak biçimde yerleştirmek, kolon eksenel yüklerinden faydalanılmasını sağlasa da perde

temelinin sınırlı rijitliği perdenin tabanında meydana gelecek dönmeye engel olamamıştır. Binaya göreceli olarak çok rijit az sayıda perde eklemek yerine, daha fazla sayıda narin perdelerin eklenmesi tercih edildiğinde, hem etkilerin zemine iletilmesinin kolaylaşacağı hem de daha homojen bir kuvvet dağılımının ortaya çıkacağı belirtilmiştir.

Bing ve Hui(2003), bu çalışmada düzensiz boşlukları olan ve sürekli temel üzerine mesnetli bir perde duvarda yatay yük etkisi altındaki davranışın nasıl olacağını belirlemek için yaptıkları deneysel çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Deneylerde kullanılan numuneler, bir adedi boşluksuz, 3 adedi düzensiz boşluklu, 2 adedi düzenli boşluklu olarak toplam 6 adet üretilmiştir. Düzensiz boşluklu perde duvarda kullanılan yatay ve düşey donatılar strut-and-tie modelinden bulunan gerilme yörüngeleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda, çatlak oluşumunun deneyden önce seçilen strut-and-tie modeliyle uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlardan, perde duvarlardaki boşlukların boyut ve yerleşiminin düzensiz boşluklu bir perde üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Türker(2003), çalışmada, çok katlı perde-çerçeve sistemler ve boşluklu perdelerin, statik yatay yükler etkisi altında elastik analizlerini yapabilmek amacıyla uygulanabilecek modelleme teknikleri sunulmuştur. Perde-çerçeve sistemlerin davranışları paralelinde yapılabilecek kabullere dayanarak serbestlik derecelerinin azaltılması yöntemlerine değinilmiş ve verilen modelleme teknikleri bilgisayar yardımıyla çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlgün(2003), yaptığı çalışmada tünel kalıp tekniği ile inşa edilen çok katlı yapıların deprem yükleri altındaki dayanım ve davranışını araştırmıştır. Bu amaçla, tünel kalıp teknolojisi uygulanmış yapıların yatay elemanları olan döşemeler ile düşey elemanları olan perde duvarların birleşim bölgelerinden oluşan bir kesit modellenmiştir. Model betonarme elemanlar, 4 katlı ve 1/5 geometrik ölçekli olarak imal edilmiş ve tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deney modelleri üzerine uygulanan tersinir-tekrarlanır yatay yük, perde ve döşeme boyutları sabit olmak üzere,

perde duvarlardaki donatı miktarlarına ait parametreler değiştirilerek 4., 3. ve 2. katlardan uygulanmıştır. Perde duvar kesitinin, yerleştirilen donatıların kopma anındaki moment kapasiteleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden, momente maruz perde kesitinde beton çatlar çatlamaz, betonun çekme ile taşıdığı iç kuvvetlerin boşaldığı ve bu kuvvetin donatıya aktarıldığı gözlenmiştir.

Özcebe(2004), başkanlığında yürütülmüş olan bu araştırma projesinin amacı, mevcut betonarme binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi için literatürdeki FEMA 310, FEMA 273, Japon İndeks Yöntemi gibi mevcut yöntemlerin ülkemizdeki yapı stokuna uygun hale getirilebilmesi için kalibrasyon çalışmaları yaparak tüm dünya tarafından geçerlilikleri kabul edilmiş olan bu yöntemleri ülkemize kazandırmak ve bunun yanında tümüyle ülkemize özel alternatif yöntemleri geliştirmek olarak açıklanmıştır.

Yavuz(2005), yaptığı çalışmada, öncelikle yapım aşamasında sık olarak görülen hatalara sahip olarak üretilmiş, deprem davranışı zayıf, sünek olmayan çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışı incelenmiş; daha sonra kullanım amacına göre bırakılan boşlukları dikkate alacak biçimde hasarsız çerçeveye kısmi betonarme perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirme sonucu ortaya çıkan davranış incelenmiştir. Bu amaçla, 1/3 ölçekli, 2 adet boş, 4 adet de orta kolona çerçevede kullanım amacına göre bırakılması gereken boşlukları dikkate alacak uzunlukta kısmi betonarme perde duvar ilaveli (perde yüksekliği/perde uzunluğu oranı değiştirilerek) betonarme çerçeve sisteminin düşey konumda, tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, deprem davranışı zayıf olan ve kısmi betonarme perde duvarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin taşıma gücü, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiştir. Yapılan analitik çalışmada ise, deney elemanlarının gerçek malzeme dayanımları kullanılarak SAP2000 programında pushover analiz gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Akın(2006), çalışmasında, çekmeye çalışan çapraz çubukların basitçe kolo-kiriş birleşim bölgesine ankrajlanması ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında deneysel ve analitik olarak incelenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla; deneysel bölümde, değişik yapısal özellikteki 10 adet 1/5 geometrik 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 elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, depreme dayanıklı betonarme yapı tasarım ve yapım kurallarına uymayan ve ülkemizde sıkça karşılaşılan tasarım ve yapım kusurlarını içerecek şekilde imal edilmiş ve bir bölümü daha sonra tek yönlü olarak dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilerek depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiş, kolonları basınç kırılması gösteren, sünek olmayan 4 adet betonarme çerçevenin malzeme ve kesit özellikleri sunulmaktadır.

Betonarme çerçeve deney elemanlarının tasarımında ve yapımında, ülkemizdeki binalarda sıkça rastlanan ve aşağıda kısaca özetlenen kusurların olmasına özen gösterilmiştir(ABYYHY 1998).

a) Düşük beton dayanımı (12~13 MPa),
b) Mevcut binalarda sıklıkla görülen düz yüzeyli donatı bulunması,
c) Kolon- kiriş birleşim bölgelerinde kiriş yüksekliğince kolon etriyesinin devam etmemesi,
d) Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmaması,
e) Etriyelerin dik kancalı yapılması,
f) Kiriş donatısı kenetlenme boylarının yetersiz olması,
g) Kolon boyuna donatılarında kat ve temel düzeylerinde bindirmeli ek bulunması ve bu bindirme boylarının yetersiz olması,
h) Kolon boyuna donatılarında kanca kullanılması,

Tamamına yakını önemli deprem riskleri taşıyan ülkemizde, betonarme binaların büyük bir kısmının yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle, çeşitli güçlendirme yöntemleriyle bir yandan yapının dayanım ve davranış özellikleri iyileştirilirken, öte yandan yapıdaki yanal ötelenmeler azaltılmaya çalışılmaktadır. Ancak, genellikle bu yöntemlerin uygulanması sırasında mevcut yapının kullanımı önemli ölçüde engellenmekte ve bina içinde ilave ince işlerin yapımı gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, mevcut binanın kullanımını aksatmayacak ve ilave işler

gerektirmeyecek şekilde, binanın dışından yapılacak dış perde duvar uygulaması ile etkili, pratik ve ekonomik bir sistem iyileştirme yöntemi çözüm olarak araştırılmıştır.

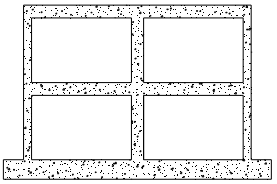
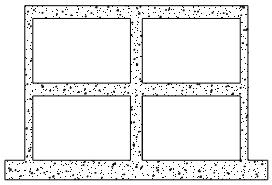
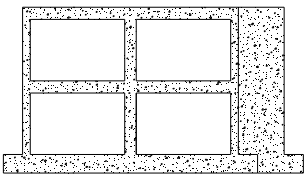
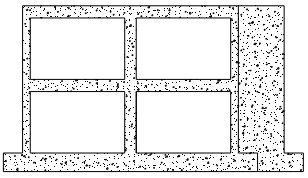
Yapılan bu çalışmada temel amaç; ülkemizdeki mevcut betonarme çerçeveli yapılarda görülen tasarım ve yapım kusurlarını dikkate alacak biçimde detaylandırılmış, 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışının ve mevcut betonarme çerçeveye tek yönlü olarak dış perde duvar ilave edilmesiyle güçlendirilecek yeni çerçeve sisteminde ortaya çıkacak davranışın incelenmesidir. Bu amaçla, 2 katlı 2 açıklıklı betonarme çerçeve elemanları üretilmiştir. Bu çalışmanın önemli özelliklerinden bir tanesi de numunelerin düşey konumda denenmiş olması ve sünek olmayan betonarme çerçevelerin hasara uğratılmadan güçlendirilmiş olmasıdır.

3.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada, 4 adet deney numunesi, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Tüm deney numunelerinde betonarme çerçevelerin geometrik ve donatı özellikleri aynıdır. Öncelikle 4 adet betonarme boş çerçeve (perde duvar ilavesiz) aynı anda yatay konumda üretilmiştir. Aynı beton kalitesine sahip olan bu 4 adet betonarme boş çerçevede ana değişken kolonlarının boyuna donatı oranlarıdır. Bu 4 adet betonarme boş çerçevenin 2 adedinin (1. grup) kolonlarının donatı oranı $\rho = 0.013$ olup, zayıf kolon - kuvvetli kiriş özelliği taşımakta; diğer ikisinin (2. grup) kolonlarının donatı oranı ise $\rho=0.023$ olup kuvvetli kolon – zayıf kiriş özelliği taşımaktadır(Çizelge 3.1). Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, üretilen betonarme boş çerçevelerden her bir gruptan birer adedi tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Daha sonra yükleme platformu betonarme perdeli çerçeveler için düzenlenmiştir. İkinci aşamada, farklı donatı oranlarına sahip olan diğer iki adet boş betonarme çerçeve yükleme platformuna yerleştirildikten sonra uzun kenarı 600 mm olan dış perde duvar ile güçlendirilmiş ve tersinir- tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir.

Tüm deney numunelerinin kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyesi, kolonların basınç kırılması gösterebileceği yük seviyesi olan $N = 0.5 \sim 0.6 \times A_c \times f_c$ 'dir.

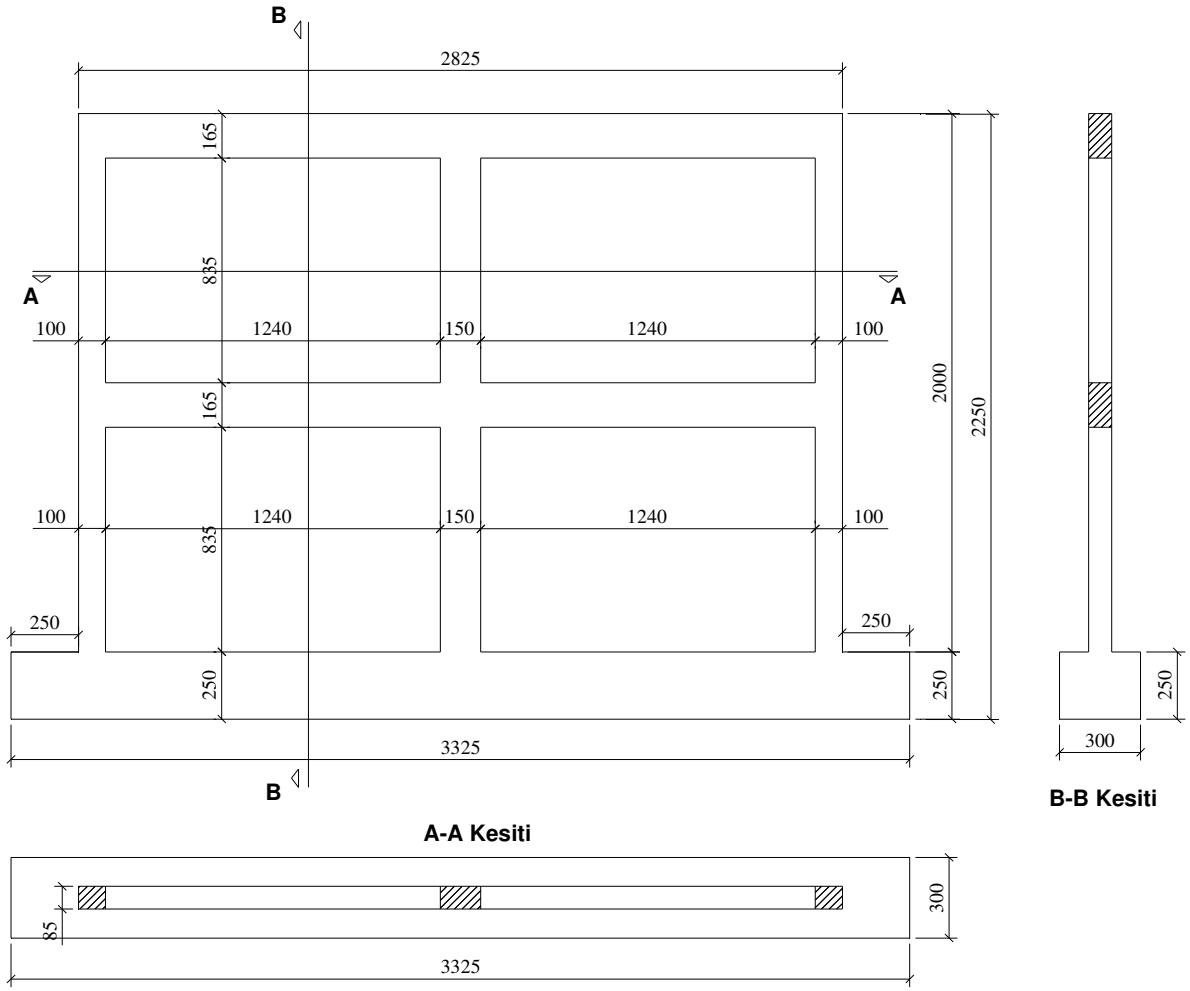
Çizelge 3.1 Deney programında yer alan numuneler

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	İşlem Türü / Grup Türü
Deney No: 1-BK-ZK		Boş Çerçeve, Zayıf Kolon-Kuvvetli Kiriş (ρ=0.013) / 1. Grup
Deney No: 2-BK-KK		Boş Çerçeve, Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş (ρ=0.023) / 2. Grup
Deney No: 3-BK-ZK PERDELİ		Perdeli Çerçeve, Zayıf Kolon-Kuvvetli Kiriş (ρ=0.013) / 1. Grup
Deney No: 4-BK-KK PERDELİ		Perdeli Çerçeve, Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş (ρ=0.023) / 2. Grup

3.1.1. Deney Numunelerinin Boyutları

Deney elemanlarının boyutları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu boyutlar ülkemizdeki mevcut binalardaki kolon ve kiriş boyutları dikkate alınarak belirlenmiş ve laboratuvar şartları göz önünde bulundurularak, gerçek çerçeve elemanlarının boyutları 1/3 geometrik ölçekli olarak küçültülmüştür. Kolonların eksenden eksene açıklığı 1365 mm'dir (gerçek açıklık: 4095 mm). Kat yükseklikleri, 1. kat kiriş üst

seviyesine 1000 mm (gerçek yükseklik: 3000 mm), 1. kat kiriş üst seviyesinden 2. kat kiriş üst seviyesine kadar 1000 mm'dir (gerçek yükseklik: 3000 mm). Betonarme boş çerçeve elemanlarında kenar kolonlar 85 x 100 mm (gerçek boyut: yaklaşık 250 x 300 mm), ortadaki kolonlar 85 x 150 mm (gerçek boyut: yaklaşık 250 x 450 mm) boyutlarında; tüm kirişler ise 85 x 165 mm (gerçek boyut: yaklaşık 250 x 500 mm) boyutlarında seçilmiştir.



Şekil 3.1. Betonarme çerçeve deney elemanlarının boyutları

Yatay yük taşıma kapasitesi düşük, sünek olmayan betonarme boş çerçeveyi deprem etkisine karşı güçlendirmek için sağ kenar kolonun dışına ilave edilen dış perde duvarın boyutu ise, 85 mm kalınlığında ve 600 mm uzunluğunda seçilmiştir.

3.1.2. Deney Numunelerinin Detayları

Deneylerde kullanılan numunelerinin üretiminde kullanılan donatı detayları daha önce de belirtildiği gibi ülkemizde tasarım ve uygulamada sıklıkla rastlanan kusurları içerecek şekilde belirlenmiştir.

Bu üretilen deney numunelerinin kirişlerinde, açıklıkta altta 3ϕ8 (ρ=0,0117) boyuna çekme donatısı ve üstte 2ϕ6 montaj donatısı kullanılmıştır. Mesnet bölgelerinde, TS 500-1984'e uygun olarak ve genellikle uygulamada yapıldığı gibi kenar açıklıklarda hesap açıklığının 1/7 si (l_x / 7) ve orta açıklıkta hesap açıklığının 1/5 i (l_x / 5) uzunluğundaki bölgede pilye kırım noktaları belirlenmiştir.

Deney numunelerinde 2 farklı tipte kolon seçilmiştir.

Güçlü kiriş – zayıf kolon özelliğine sahip çerçevelerde; 85 x 100 mm kesitli kenar kolonlarda 4ϕ6 (ρ=0.013) boyuna donatı, orta kolonda ise 6ϕ6 (ρ=0.013) boyuna donatı kullanılmıştır.

Güçlü kolon – zayıf kiriş özelliğine sahip olan çerçevelerde ise; 85 x 100 mm kesitli kenar kolonlarda 4ϕ8 (ρ=0,023) boyuna donatı, orta kolonda ise 6ϕ8 (ρ=0.023) boyuna donatı kullanılmıştır.

Deney elemanı çerçevelerinde, kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Ayrıca, kolon kiriş birleşim bölgelerinde (düğümlerde) kolon etriyesi de devam ettirilmemiştir.

Kirişlerin pilye ve montaj donatısı dış kolonlarda 90^0 ve kancalı olarak bükülmüştür. Kiriş çekme donatıları ise, dış kolonlara kadar uzatılmış ve uygulamada yapıldığı gibi ucuna kanca yapılarak kenetlenmiştir. Kolon boyuna donatılarının tamamı kat seviyesinde 40ϕ uzunluğunda kenetlenme boyu kullanılarak bindirmeli ek şeklinde eklenmiştir. Tüm kolon ve kirişlerde ϕ4/ 70 mm aralıkla enine donatı (etriye) kullanılmıştır.

Bütün kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları yine uygulamadaki durum dikkate alınarak 90^0 yapılmıştır. Deney elemanları için paspayı, donatı yüzünden itibaren 10 mm olarak alınmıştır.

Temel kirişi rijit ve deney numunesi için ankastre mesnet şartlarını olabildiğince sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tüm boş çerçeve deney numunelerinde kolon, kiriş ve temelde ülkemizdeki mevcut yapı stoğu göz önüne alınarak düz yüzeyli S220 kalitesinde donatı kullanılmıştır.

Tüm boş çerçeve deney numunelerine ait donatı ve kalıp detayları Şekil 3.2-Şekil 3.12 aralığında verilmiştir.



Şekil 3.2. 1. Grup (Zayıf kolon-kuvvetli kiriş) çerçeve numunelerine ait donatı detayı

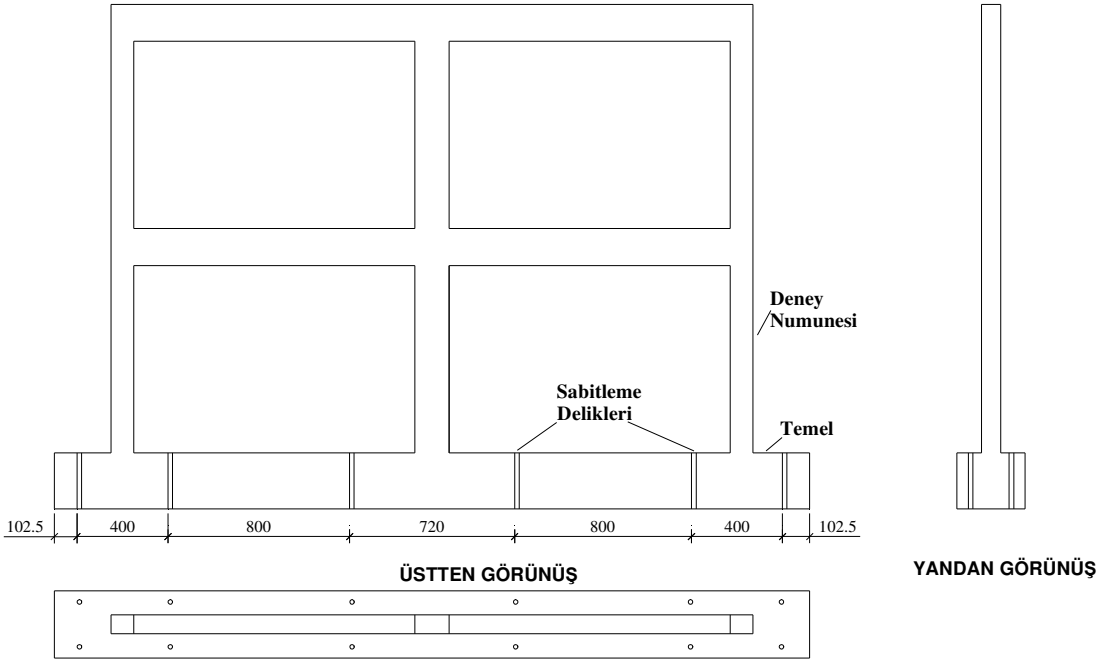
4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

4.1. Giriş

Bu doktora tez çalışması kapsamında, çok katlı, çok açıklıklı, kolonları basınç kırılması gösteren, sünek olmayan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş olan 4 adet betonarme çerçeve numunesi, 250 kN kapasiteli rijit çelik yükleme çerçevesi sistemi kullanılarak, depremi benzeştiren, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deneyler sırasında bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.

4.2. Deney Düzeneği

Boş ve güçlendirilmiş 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. Yükleme platformu, denenen numunelerin ankastre mesnetlenmesine imkan veren rijit bir taban plakasına sahiptir. Bu plaka 30 mm kalınlığında platinadan 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 deney elemanının herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir(Şekil 4.1). Deney elemanlarına yatay yük, rijit yükleme çerçevesinin düşey kolonlarına mesnetlenmiş 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.



Şekil 4.1. Deney numunesinin yükleme çerçevesine sabitlenmesi

Deney numunesine basınç kuvveti verilirken, hidrolik kriko sistemi bulon ve platina yardımıyla bağlı olduğu numuneyi itmekte; çekme durumunda ise, bu uçtan diğer uca kadar uzanan ve diğer uçtaki platinaya uçlarından bulonla birleştirilen 4 adet 30 mm çapındaki transmisyon çeliği yardımıyla numuneyi çekmektedir(Şekil 4.2). Bu sistem sayesinde deney elemanının uç bölgelerinde ezilme olmadan numuneye tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulanabilmiştir.



Şekil 4.2. Yatay yükün numuneye uygulanmasında kullanılan transmisyon çelikleri ve numuneye bağlanma şekli

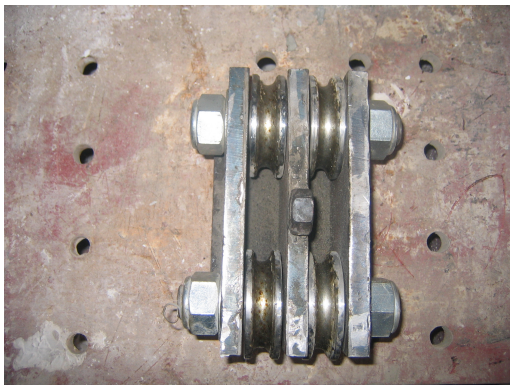
Deneye tabi tutulan betonarme çerçevelerin düzlem dışına çıkıp yanlara yatmasını engellemek için, rijit yükleme çerçevesinin çelik platinadan imal edilmiş olan rijit taban plakasına sabitlenmiş kutu kesitli 6 adet çelik kolon ve bunların arasındaki çapraz bağlantıdan oluşan ve numunenin düzlem hareketini engellemeyecek biçimde üst kat kirişinin çelik makaraların arasında hareket etmesine imkan veren bir düzenek kullanılmıştır. Stabilite için kullanılan bu elemanlar, rulmanlardan oluşturulan bu kayma düzeneği sayesinde numunenin yük doğrultusundaki hareketine engel olmamakta ve yük almayarak sadece numunenin yanal stabilitesini sağlamaktadır(Şekil 4.3). Yatay yük okumalarını yapabilmek için yükleme plakası üzerindeki hidrolik kriko ile numune arasındaki bölgeye 500 kN itme ve çekme kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Oluşturulan bu sistemde, yük hücresi ile hidrolik kriko, birbirleri ile temasta olup; hidrolik kriko hem çekme hem de basınç durumunda yük hücresine basınç kuvveti uygulamakta, bu sayede yük hücresi numuneye uygulanan yükü okuyabilmektedir. Deney elemanına uygulanan yükün her zaman yatay konumda olabilmesi için, çerçeve üzerindeki platina ile transmisyon çeliklerinin ankrajının yapıldığı platina arasına mafsal oluşturabilmek için çelik bir küre konulmuştur.

Deney numunelerinin, düşey elemanlarına uygulanan eksenel kuvvet,16 mm çapında olan 80 kN taşıma kapasiteli çelik asansör halatı kullanılarak uygulanmıştır. Çerçeve elemanlar kolonları basınç kırılması gösteren elemanlar oldukları için; uygulanan eksenel yükün büyüklüğü nedeniyle, makara sistemiyle oluşturulmuş eksenel yük düzeneğine, halat kenar kolonlarda ikili ve orta kolonda ise, üçlü sarılarak ani bir kopmaya karşı önlem olarak ve sürtünme sorununu aza indirgemek için bir halata düşen yük azaltılmıştır(Şekil 4.4). Uygulanan düşey yükün büyüklüğünü okuyabilmek için, 200 kN kapasiteli yük ölçer kullanılmıştır.

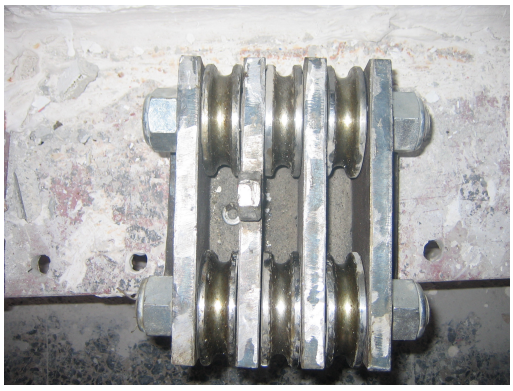
Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi, pompa ve yük hücrelerinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey hareketi ile, dönmesini sıfıra yakın değerlerde tutacak ve deneydeki ölçümlere etki etmeyecek büyüklükte olması için, mümkün olduğunca rijit tasarlanmıştır(Şekil 4.5 ve 4.6).



Şekil 4.3. Numunenin yanal stabilitesini sağlayan sistemin bir parçası

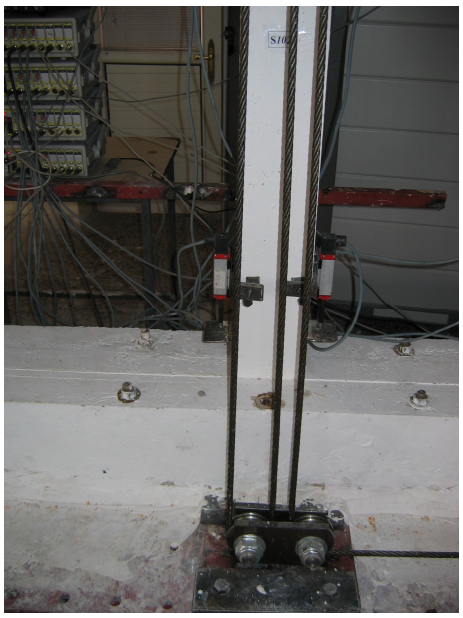


a) Kenar kolonlarda kullanılan makara



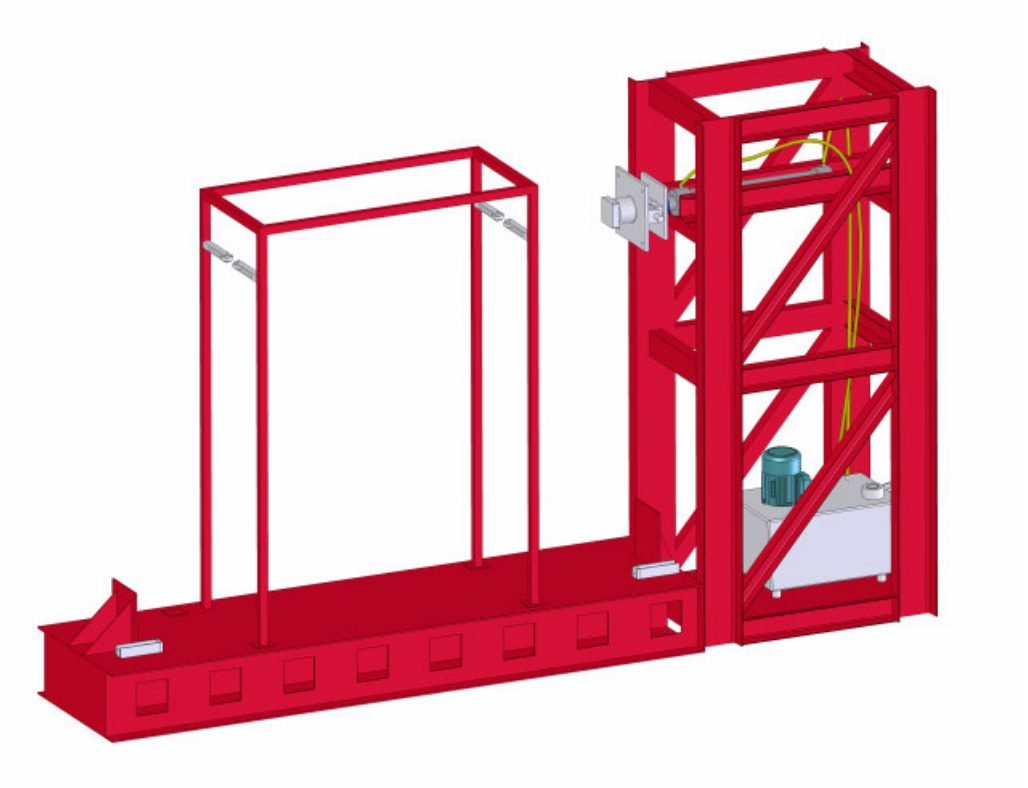
b) Orta kolonda kullanılan makara





c) Halatla sarılmış durumdaki makara

Şekil 4.4. Eksenel yükü aktarmada kullanılan makara sistemi



Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan rijit yükleme çerçevesinin şematik görünüşü



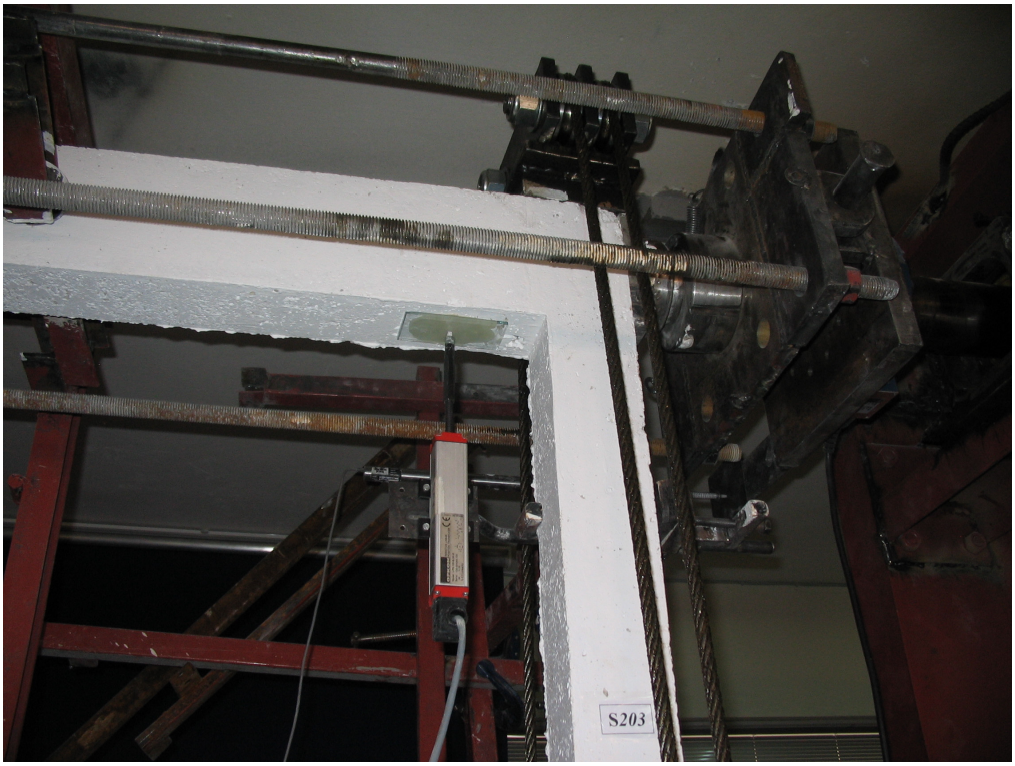
Şekil 4.6. Rijit yükleme çerçevesi ve rijit platformu

4.3. Ölçme Tekniği

Tüm deneylerde yatay ve düşey yük ölçümleri yük ölçerler ile, yer değiştirmeler ise, LVDT deplasman ölçerler, potansiyometrik cetveller ve dijital komparametreler kullanılarak yapılmıştır. Bu aletlerin okuduğu değerler, anında bilgisayara CoDA isimli veri toplama(data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

4.3.1. Yük Ölçümleri

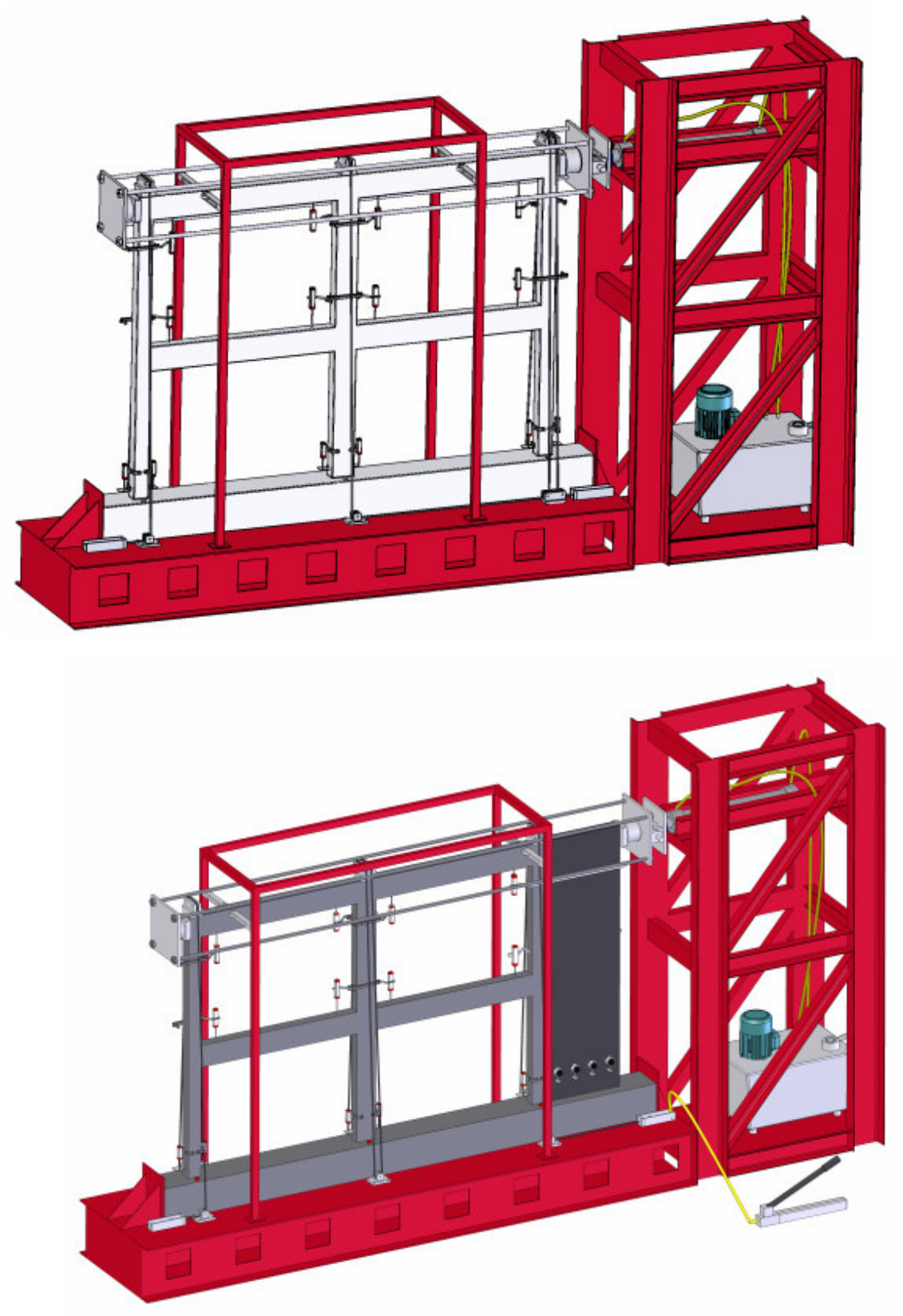
Deney elemanlarına hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük ve manuel hidrolik kriko yardımıyla uygulanan sabit düşey yük değerleri, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. 500 kN kapasiteli yatay yük ölçme hücresi, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve bu nedenle çıkış 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 değeri 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 4.7, 4.8 ve 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan yatay yük ölçüm düzeneği



Şekil 4.8. Deneylerde kullanılan eksenel yük ölçüm düzeneği



Şekil 4.9. Deneylerde kullanılan düzenek ile yükleme ve ölçüm sistemi

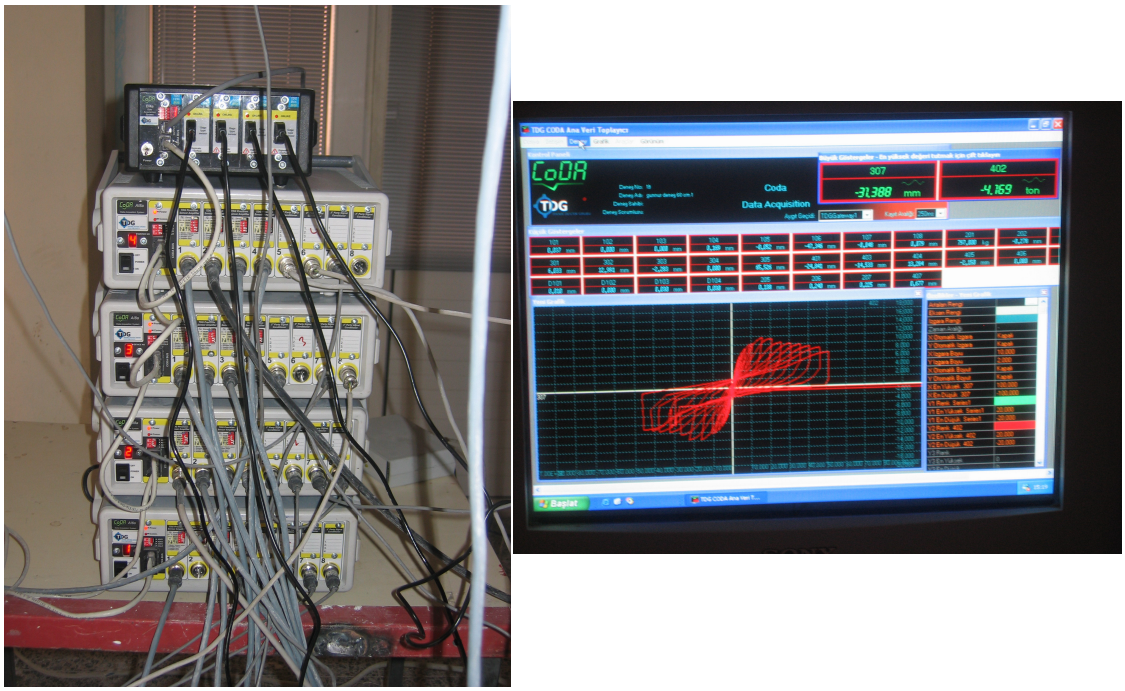
4.3.2. Yer Değiştirmelerin Ölçülmesi

Deneyler sırasında, çerçevelerin tüm kolon, kiriş ve ilave güçlendirme perdelerinde meydana gelen yer değiştirmeler, boy kısalma ve uzamaları ile yatay kat deplasmanı ölçümleri; dijital LVDT, komparametre ve potansiyometrik cetveller kullanılarak yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyuijo Co. Ltd. markalı LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin, komparametrelerin ve potansiyometrik cetvellerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 100, 150, 200 mm'lik potansiyometrik cetveller ile 15 mm kapasiteli dijital komparametreler kullanılmıştır.

4.3.3. Yük ve Yer Değiştirme Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Deney sırasında; yük hücreleri, LVDT, dijital komparametre ve potansiyometrik cetvellerden alınan gerilmeler, ara bağlantı kutuları yardımıyla data loggera iletilmektedir. Elde edilen veriler, üzerinde yük hücreleri, LVDT komparametre ve potansiyometrik cetvellerin çıkış uçlarının bağlandığı 32 kanaldan ve 4 Mitutoyo marka dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 5 adet veri toplama kutusundan oluşan sistemle ve bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir communicator yardımıyla bilgisayara aktarılmaktadır. CoDA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınabilmektedir. Bu kanallar yardımıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Özel yazılım CoDA programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm, komparametreler için 0.001 mm hassasiyetle, potansiyometrik cetveller için ±0.5, ±%1 linearite hassasiyetle ve yük hücreleri için de 0.2 kN hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da görülebilmektedir.

Kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayara kayıt edilmekte ve ayrıca deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Alınan tüm okumaların çıktısı, "EXCEL" programı tarafından okunabilecek şekildedir. Yük hücresi, LVDT, dijital komparametre ve potansiyometrik cetvellerden alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan veri toplama sistemi ve bilgisayar düzeneği Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

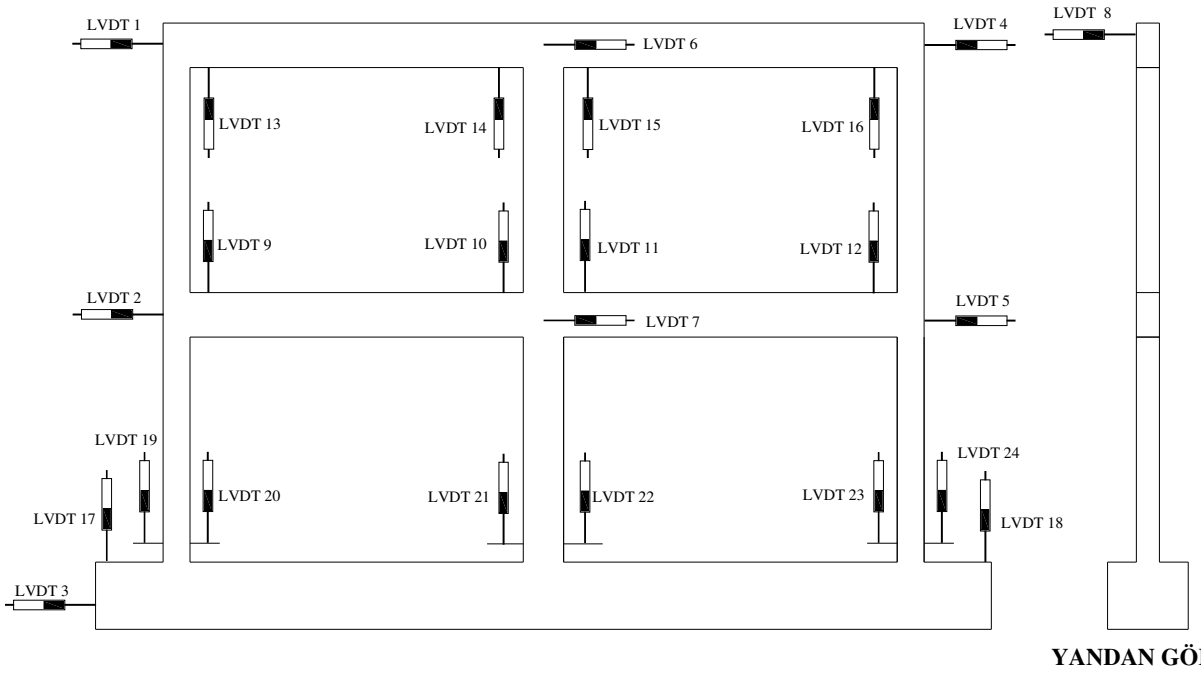
4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

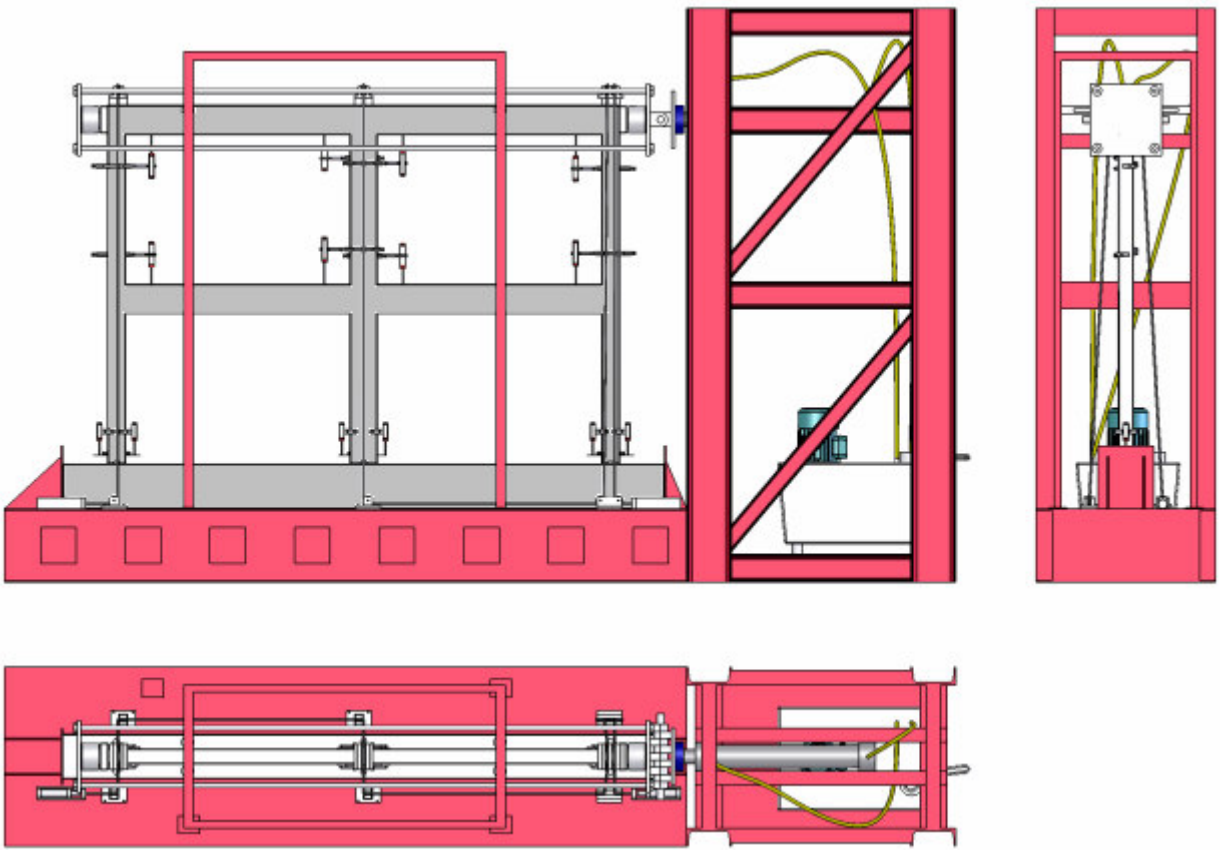
Yapılan deneyler sırasında alınacak yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçümleri için, LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) ve DG(dial gauge: komparemetre) ölçüm aletleri kullanılmıştır. Deney numunelerinden deneysel verilen alındığı ölçüm yerleri Şekil 4.11'de görülmektedir. Her katın temele göre yatay yer değiştirmesinin ölçülmesi için 100 ve 200 mm uzunluğunda LVDT'ler kullanılmıştır. Bu ölçüm değerleri kullanılarak, 1. ve 2. kat için yük deplasman eğrileri çizilmiştir.

Ortalama kesme deformasyonlarını belirlemek için perde duvarın köşelerinden 20 mm içeriye DG'ler yerleştirilmiştir.

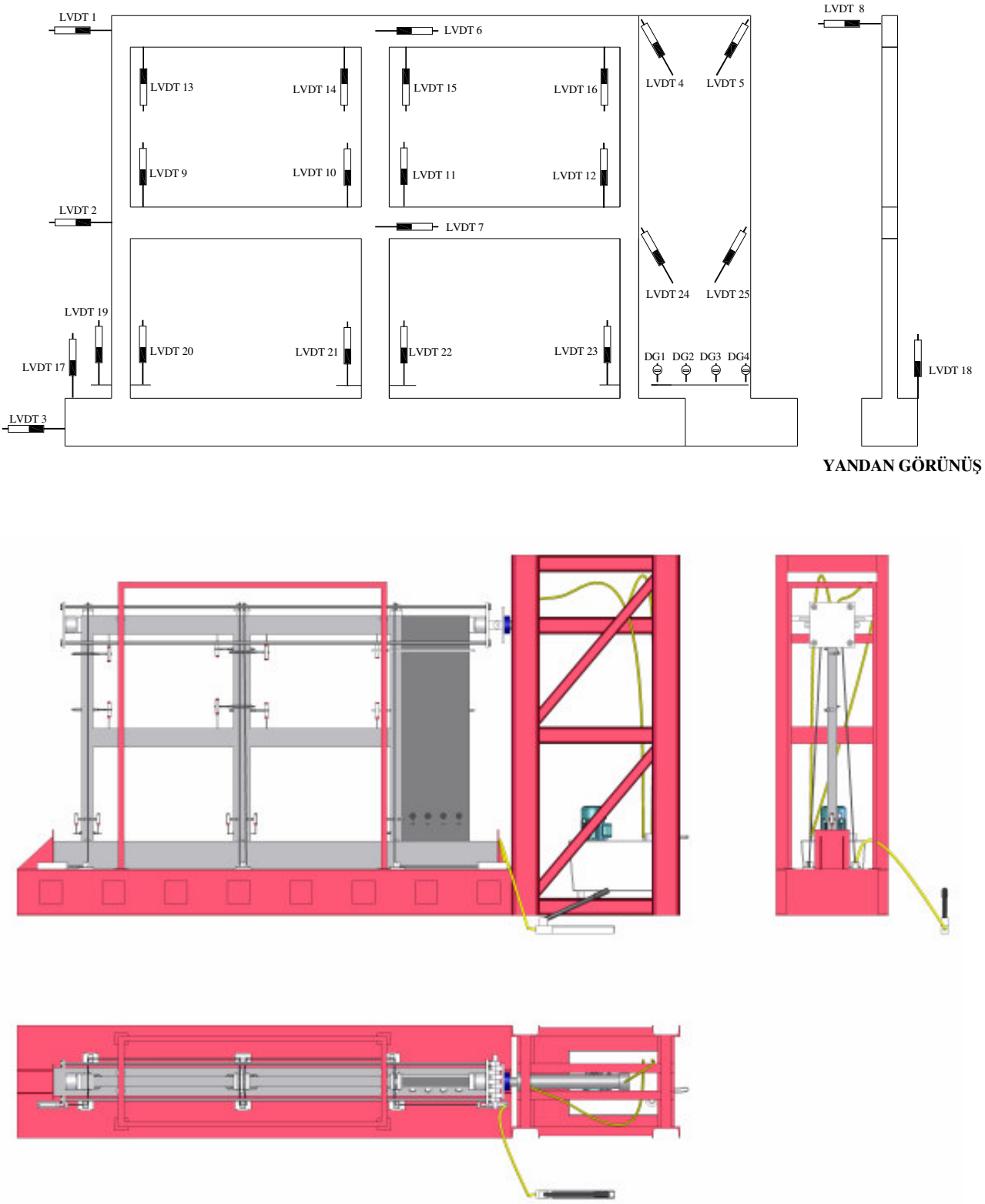
Kolon ve perde tabanındaki eğrilikleri ölçmek için kullanılan LVDT ve DG'ler, bu elemanların alt ucundaki mafsallaşmanın kolonların ve perdenin temelle birleştiği bölümde olacağından hareketle deneyin ilerleyen aşamalarında ölçüm alabilmek için temel üstünden 100 mm yukarıya yerleştirilmiştir. 1. ve 2. kat kirişleri üzerine yerleştirilen LVDT'ler de artan deplasman ve hasardan etkilenmemeleri için, kolon yüzünden 100 mm uzaklıkta yerleştirilmiştir. Kolonlardaki eğrilik ölçümü için kullanılan LVDT'ler ise, kolon yüzüne yerleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan boş betonarme çerçeve ve betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeveler için hazırlanmış olan ölçüm düzeneği Şekil 4.11-4.12-4.13'de görülmektedir.





Şekil 4.11. Boş çerçeve deney numunelerinde kullanılan LVDT yerleşim yerleri



Şekil 4.12. Dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçeve deney numunelerinde kullanılan LVDT yerleşim yerleri



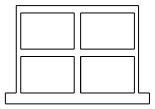
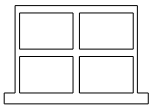
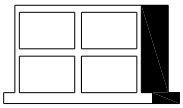
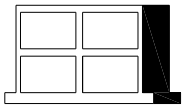


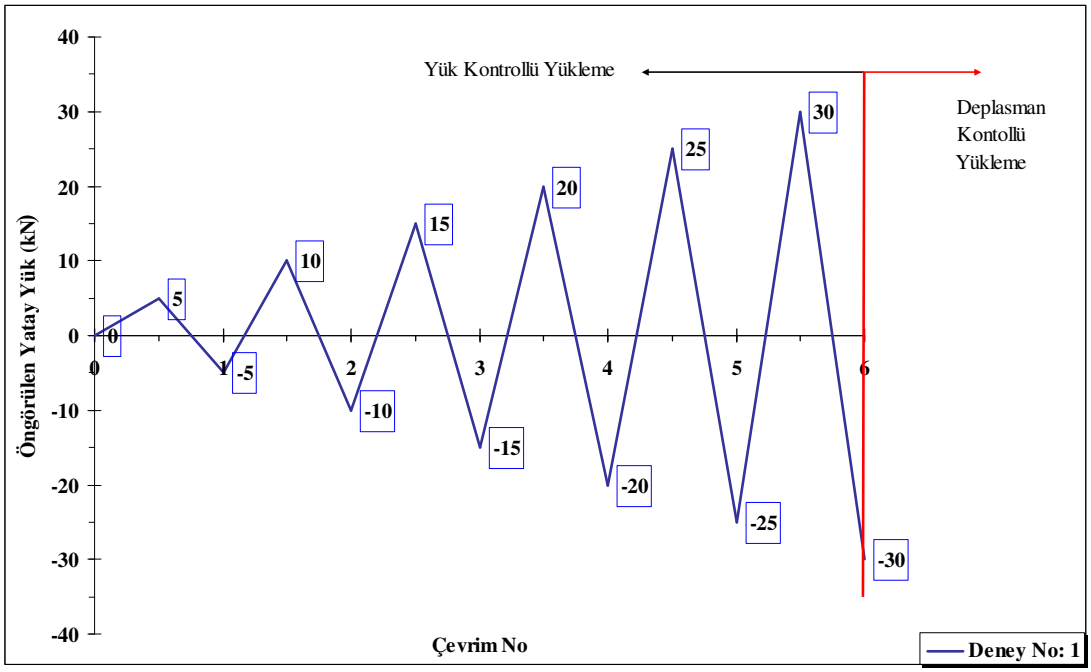
Şekil 4.13. Boş çerçeve ve dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçeve deney numunelerinde ölçüm düzeneği

4.5. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı

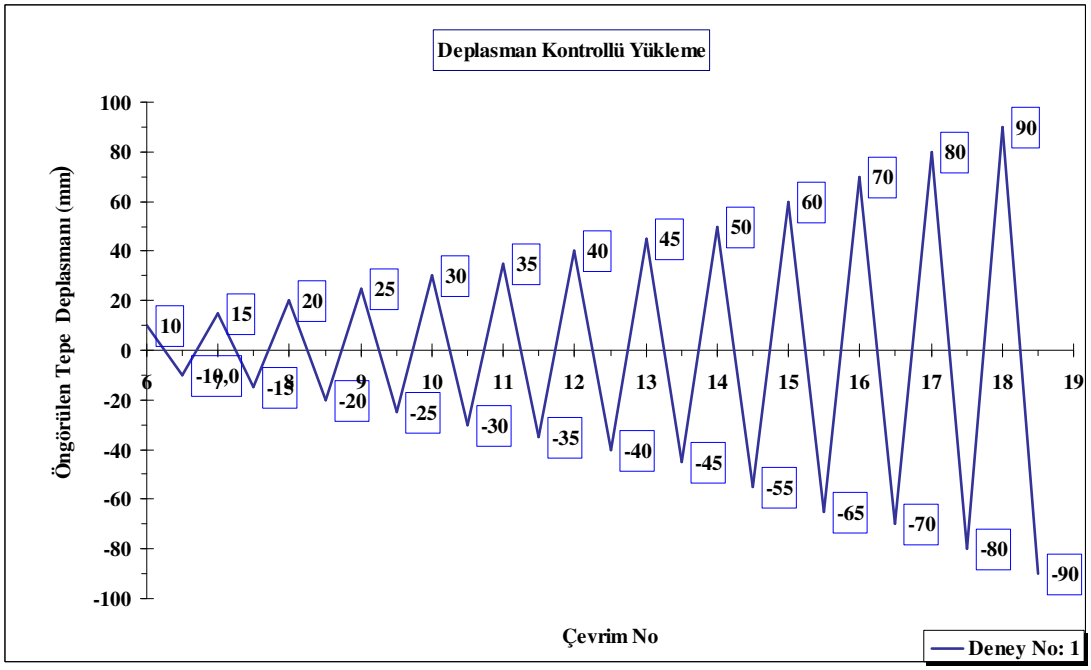
Deneylerde uygulanan yükleme programı, sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü olarak; akma sınırından sonra ise, deplasman kontrollü olarak planlanmıştır. Yük artımları; boş çerçevede 5 kN, betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçevelerde ise, 20 kN'luk adımlarla; deplasman artımları ise, boş çerçeve numuneleri için 5 mm, betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçevelerde ise, 10 mm'lik adımlarla yapılmıştır. Çerçevelerde her katın yüksekliği 1000 mm'dir. Şekil 4.14'de 1. deney numunesi [1. grup (zayıf kolon -kuvvetli kiriş) kolonlarda ρ_t= 0.013] için, Şekil 4.15'de 2. deney numunesi [2. grup (kuvvetli kolon -zayıf kiriş) kolonlarda ρ_t= 0.023] için, Şekil 4.16'da 3. deney numunesi [1. grup (zayıf kolon -kuvvetli kiriş) kolonlarda ρ_t= 0.013, perdeli] için, Şekil 4.17'de 4. deney numunesi [2. grup (kuvvetli kolon -zayıf kiriş) kolonlarda ρ_t= 0.023, perdeli] için uygulanan yükleme programı gösterilmiştir. Deneylerde uygulanacak yükleme programı, SAP2000'de gerçek malzeme dayanım değerleri kullanılarak gerçekleştirilen pushover analiz sonucu elde edilen akma yükü ve bu yük değerindeki tepe deplasmanı dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre pushover analizde bulunan akma yükleri ve deplasman değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numuneleri için SAP2000 pushover analizde belirlenen akma yükü ve deplasman değerleri

Deney Numunesi	 1-BK-ZK	 2-BK-KK	 3-BK-ZK PERDELİ	 4-BK-KK PERDELİ
Akma Yükü (kN)	35.7	41.8	96.1	100.5
Tepe Deplasmanı (mm)	17.8	20.6	5.8	6.2

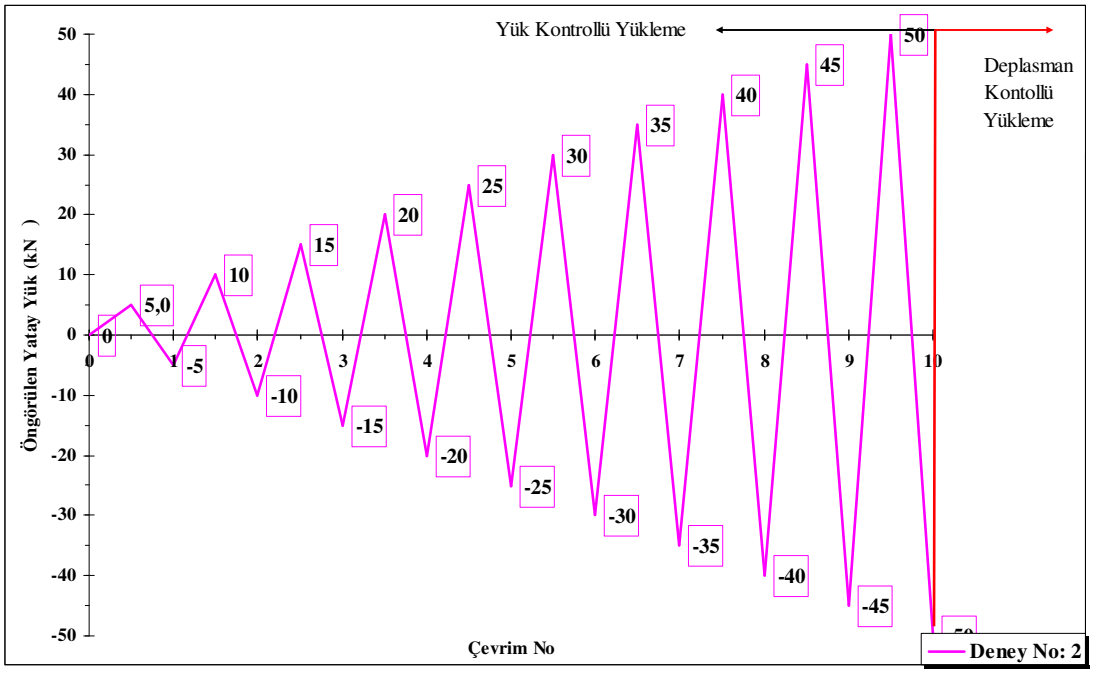


a) Çevrimlerde öngörülen yük

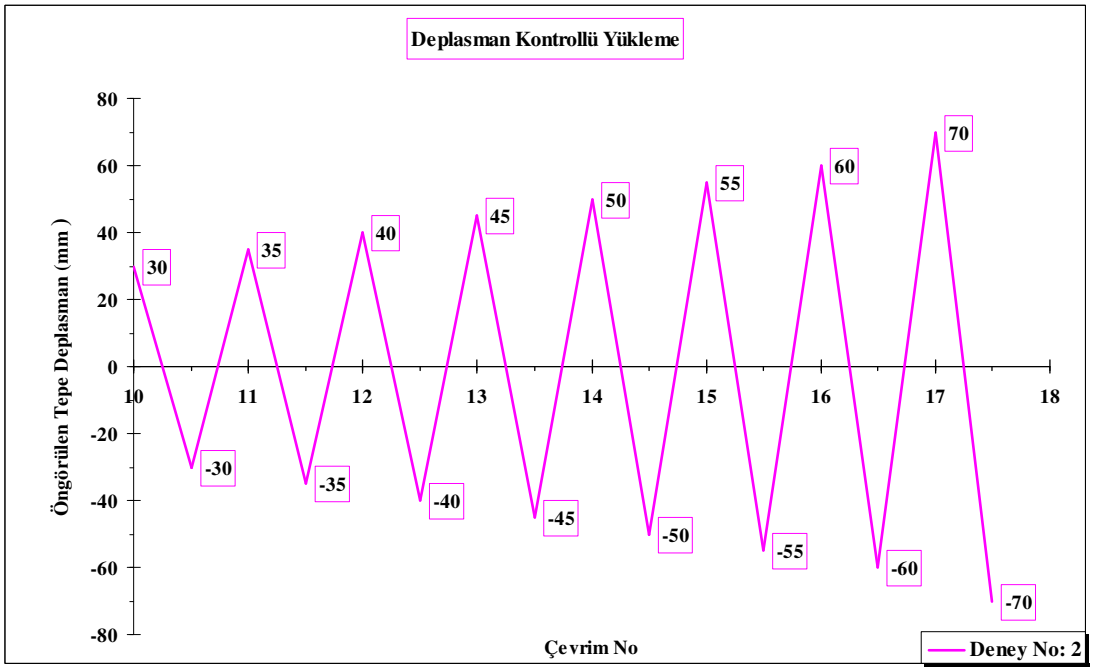


b) Çevrimlerde öngörülen deplasman

Şekil 4.14. 1 nolu deney numunesi için uygulanan yükleme programı

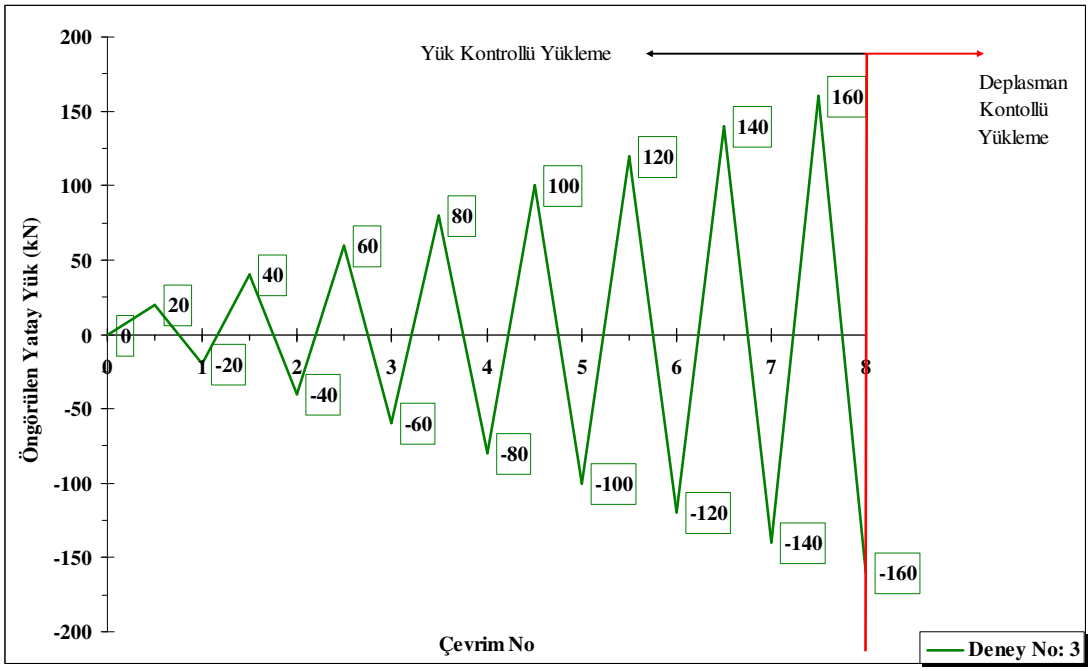


a) Çevrimlerde öngörülen yük

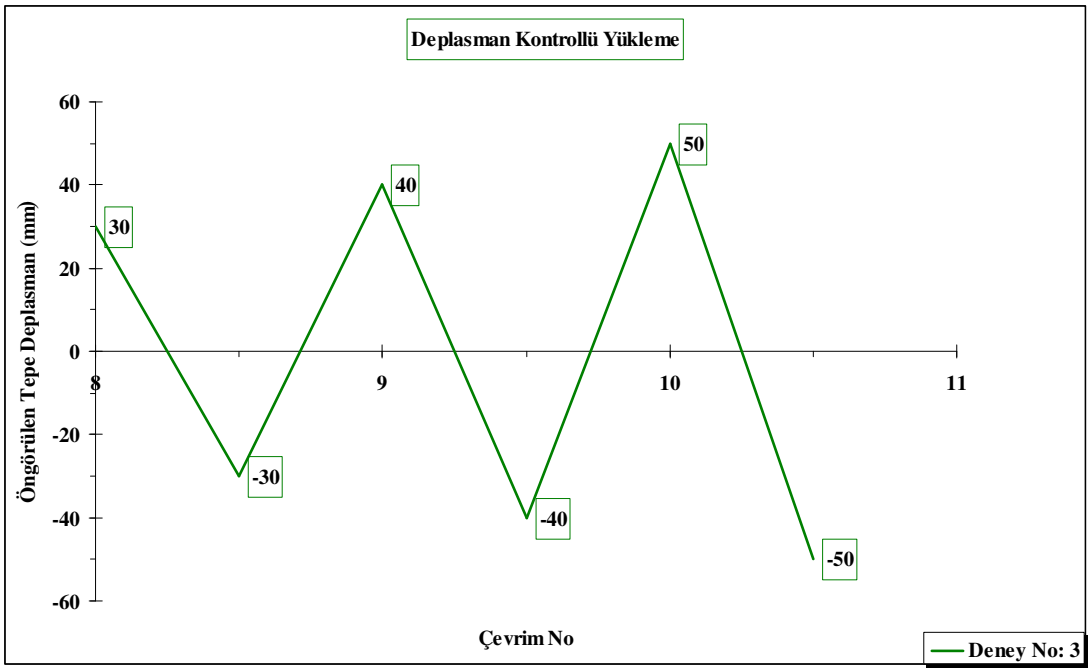


b) Çevrimlerde öngörülen deplasman

Şekil 4.15. 2 nolu deney numunesi için uygulanan yükleme programı

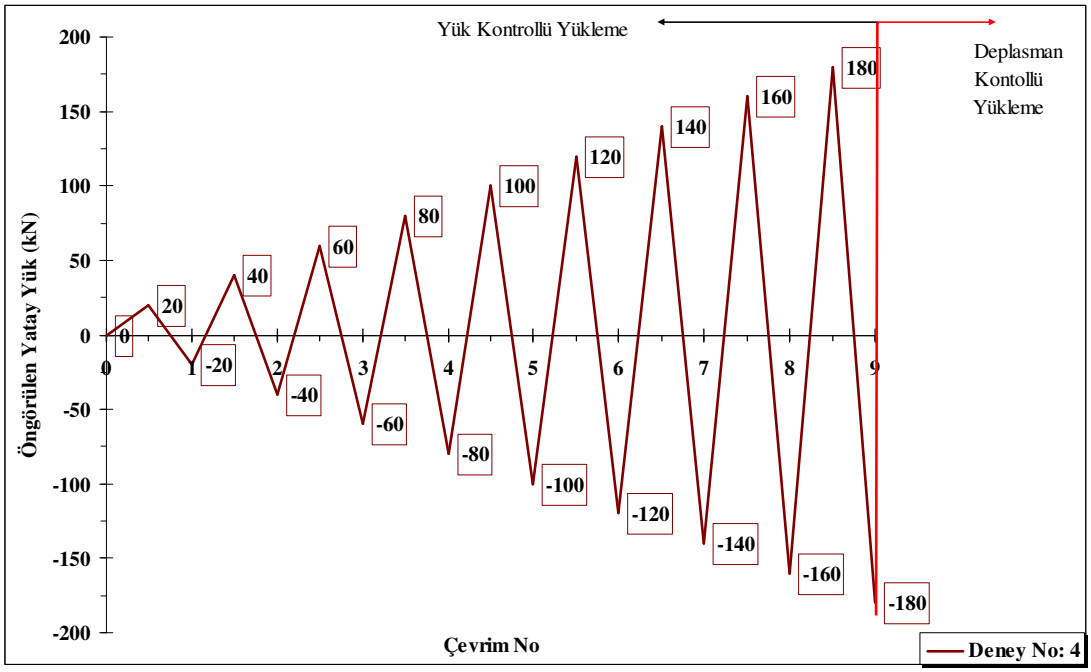


a) Çevrimlerde öngörülen yük

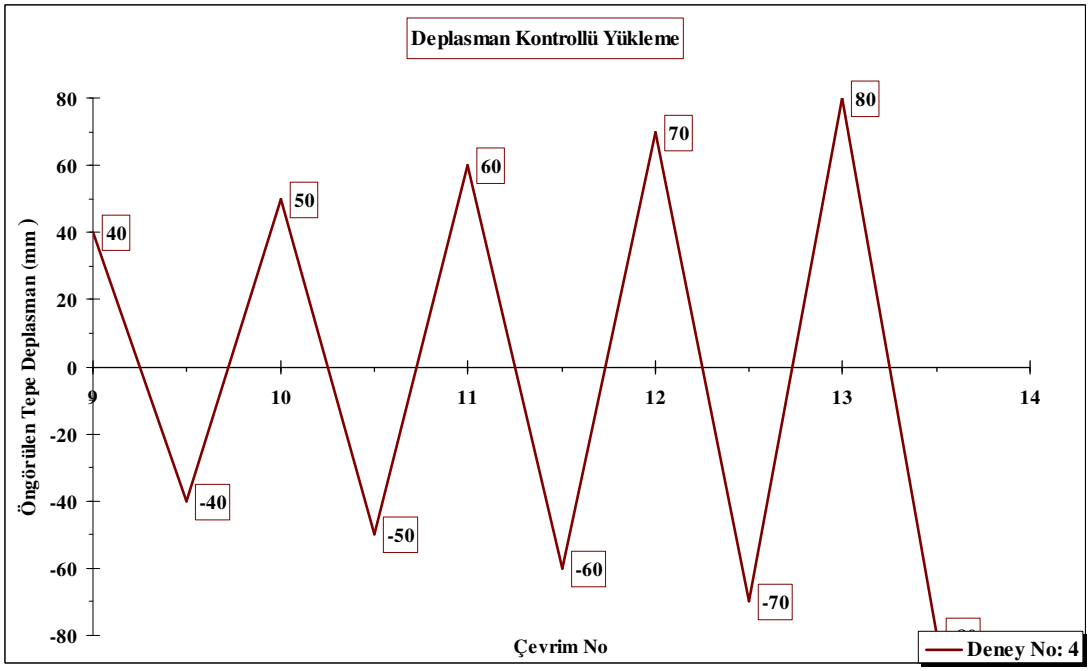


b) Çevrimlerde öngörülen deplasman

Şekil 4.16. 3 nolu deney numunesi için uygulanan yükleme programı



a) Çevrimlerde öngörülen yük



b) Çevrimlerde öngörülen deplasman

Şekil 4.17. 4 nolu deney numunesi için uygulanan yükleme programı

4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

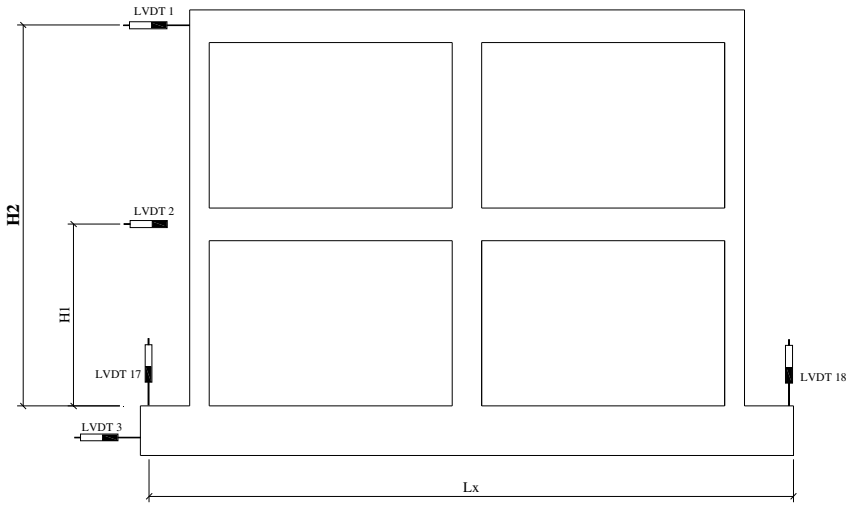
Deneyler sırasında LVDT, DG(komparemetre), potansiyometrik cetvel ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden faydalanılarak, deney numunelerinin davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, 4 deney numunesi için de, yük geçmişi, yatay yük-tepe deplasmanı ilişkisi, dayanım zarfı, rijitlik azalımı ve tüketilen enerji grafikleri çizilmiştir.

4.6.1. Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Elde Edilmesi

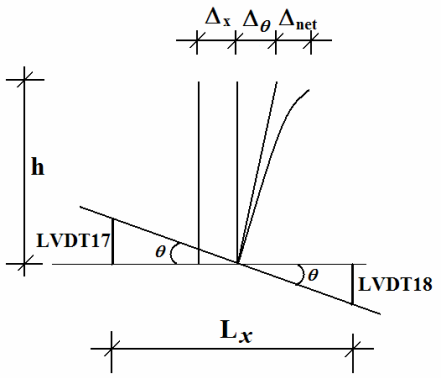
Her bir deney numunesinin yük geçmişi grafiklerini elde etmek için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri belirlenmiştir. Deplasman geçmişi için yine aynı şekilde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu değerler belirlendikten sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek, her numune için yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği çizilmiştir.

4.6.2. Yatay Yük-Tepe Deplasmanı ve Moment-Eğrilik Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerinin çizilebilmesi için, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleriyle, üst kat çerçeve kirişi ağırlık merkezi seviyesindeki net yatay deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla yerleştirilmiş ölçüm düzeneği Şekil 4.18'de görülmektedir. Net yatay deplasman değerini elde edebilmek için aşağıdaki yöntem izlenmiştir.



Şekil 4.18. Yatay deplasman ölçüm düzeneği



Şekil 4.19. Net yatay deplasmanların hesaplanması

$$\Delta_{net} = \Delta_{TOPLAM} - \Delta_x - \Delta_\theta \tag{4.1}$$

Yük uygulanan tepe noktasının ölçülen yatay deplasmanı,

$$\Delta_{TOPLAM} = (\left|LVDT1\right|) \tag{4.2}$$

1. kat seviyesindeki ölçülen yatay deplasman,

$$\Delta_{TOPLAM} = (\left|LVDT2\right|) \tag{4.3}$$

Temelde ölçülen yatay deplasman(tabanda)

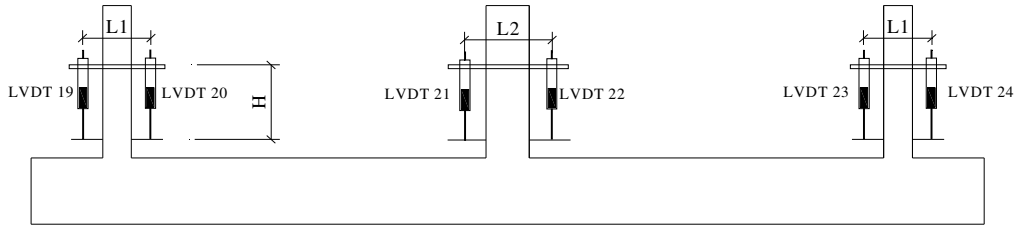
$$\Delta_x = (\left|LVDT3\right|) \tag{4.4}$$

Temeldeki dönmeden oluşan yatay deplasman

$$\Delta_\theta = \theta.h \tag{4.5}$$

$$\theta = \frac{\left|(LVDT17)\right| - \left|(LVDT18)\right|}{L_X} \tag{4.6}$$

Temel seviyesinde, kolonlardaki moment-eğrilik değerlerinin ölçülmesi için kullanılan LVDT'ler, okunan değerlerin çatlak ve ezilmelerden etkilenmemesi için temel üst kotundan 100 mm yukarıda kolonun iki yanına yerleştirilmiştir. Bu LVDT'ler, alta yerleştirilen çelik plaka ve üstten kolona tespit bulonu ile sınırlandırılmıştır. Kolonlara yerleştirilen bu iki LVDT'den elde edilen ölçümlerin H değerine bölünmesiyle elde edilen birim deformasyonların mutlak değerlerinin toplamının iki LVDT'nin arasındaki uzaklığa bölünmesiyle kolon tabanındaki eğrilik değeri tespit edilmiştir(Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kolonların tabanındaki eğrilik değerlerinin belirlenmesi

Kolonlarda oluşan moment değerlerini bulmak için, SAP2000 bilgisayar programında bütün deney çerçevelerinin deneyle bulunan beton ve donatı dayanım değerleri ile kesit boyutları ve donatıları girilerek; çerçevenin kendi ağırlığı, kolonlara uygulanan düşey yükler ve yatay yük, sağ ve sol tepe noktalarından ayrı ayrı yüklenmiş ve 2 ayrı yük kombinasyonu için çözüm yapılmıştır.

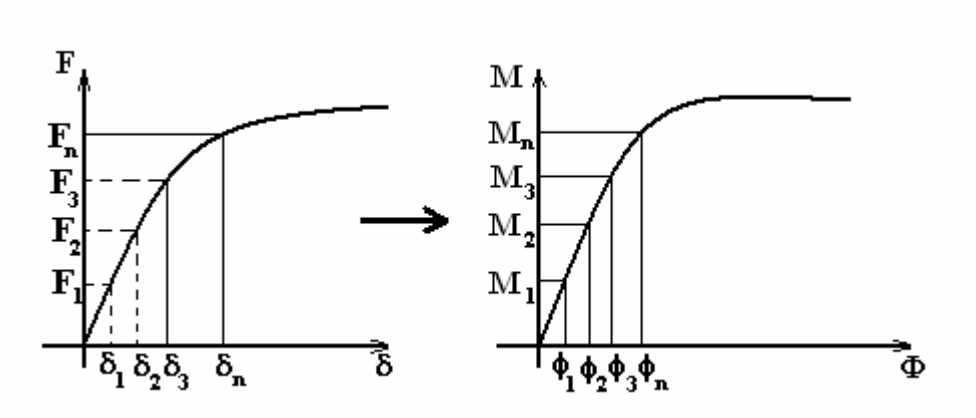
Kombinasyon 1: Kendi ağırlığı+Uygulanan düşey yük+Sağdan uygulanan yatay yük
Kombinasyon 2: Kendi ağırlığı+Uygulanan düşey yük+Soldan uygulanan yatay yük

Deney numunesine uygulanan ve statik itme analizi ile sisteme adım adım artırılarak etkitilen yatay yük, kolonlarda sürekli değişen moment değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sürekli artan moment etkisinde kolon kesitinde oluşan dönmeler elde edilmiş ve kolonların moment-eğrilik grafikleri çizilmiştir. Sisteme uygulanan her adımdaki yatay yükün, kolonlarda oluşturduğu değişken moment değerleri ile bir oran kurularak, deneyden elde edilen LVDT okumaları bu oran ile

çarpılmış ve kolonlar için moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir(Çizelge 4.2 ve Şekil 4.21).

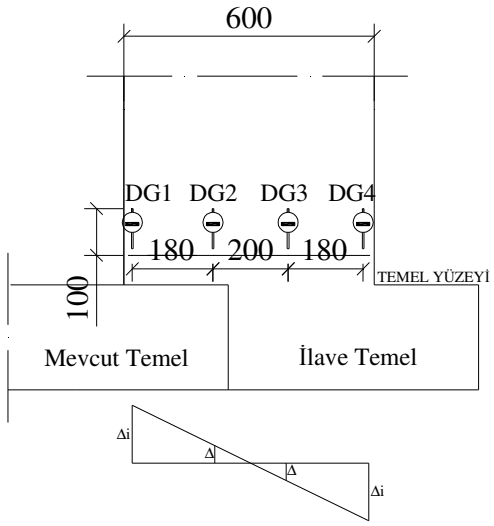
Çizelge 4.2. Yatay kuvvet ile moment arasında katsayının bulunması

Adım	Yatay Yük	İlgili Kolonda Oluşan Değişken Moment	Katsayı
1.Adım	P_1	M_1	P_1/M_1
2. Adım	P_2	M_2	P_2/M_2
3. Adım	P_3	M_3	P_3/M_3
…..	….	….	…
n. Adım	P_n	M_n	P_n/M_n



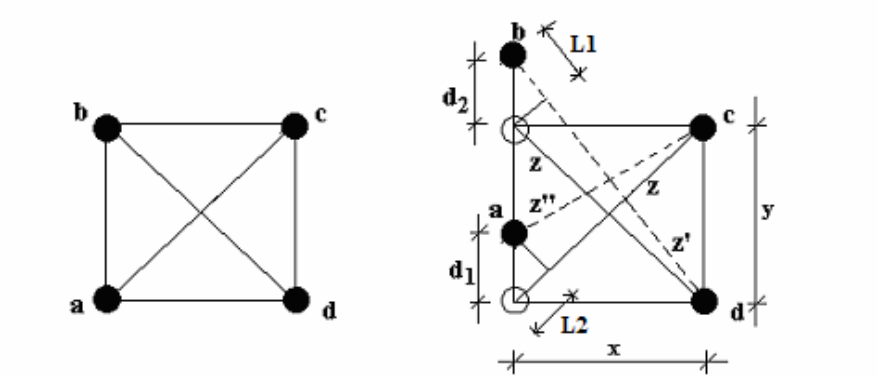
Şekil 4.21. Çerçeve yüklerinden kolonların moment-eğrilik grafiğine geçiş

Betonarme dış perde duvara, tabandaki mafsallaşmadan etkilenmemesi için temel üst kotundan 100 mm yukarıda yerleştirilen 4 adet komparametre ile komparametrelerin yerleştirildiği bölgelerde, perde duvar kesiti boy değişimi elde edilmiştir(Şekil 4.22). Daha sonra bulunan bu değerler, ölçüm alınan bölge 100 mm sınır değeri olan uzaklığa bölünmüş ve birim boy değişimleri bulunmuştur. Birim boy değişimleri de DG'ler arasındaki uzaklığa bölünerek perde duvar için eğrilik değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.22. Perde duvarlardaki birim boy değişiminin bulunması (Ölçüler mm'dir.)

Perdelerde kesme deformasyonlarını ölçmek için ikişer adet LVDT kullanılmıştır. Şekil 4.23'de yük uygulamasından önce ve sonra perde üzerindeki LVDT noktalarının konumu görülmektedir.



Şekil 4.23. Yük uygulanmasından önce ve sonra perde üzerindeki LVDT noktalarının konumu

Kesme deformasyonlarını belirlemek için kullanılan formülasyon Şekil 4.23'ye göre aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$\Delta_{kesme} = \left(\frac{d_1 + d_2}{2x} \right).h_{perde} \quad (4.7.a)$$

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4.7.b)$$

$$z' = (z + L1) \quad (4.7.c)$$

$$z'' = (z - L2) \quad (4.7.d)$$

$$d_1 = y - \sqrt{(z'')^2 - x^2} \quad (4.8.a)$$

$$d_2 = \sqrt{(z')^2 - x^2} - y \quad (4.8.b)$$

Kesme şekil değiştirmesi ise, aşağıdaki formüllerden bulunmuştur.

$$\gamma = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}, \quad \gamma_1 = \frac{d_1}{x}, \quad \gamma_2 = \frac{d_2}{x} \quad (4.9)$$

Perde duvarların karşıladığı kesme kuvveti, 1. ve 2. kat için SAP2000'de gerçek malzeme değerleri girilerek oluşturulan ve 10 kN yatay yük verilerek elde edilen kesme kuvveti değeri bulunarak, etki eden yatay yükün %'si olarak belirlenmiştir.

4.6.3. Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi

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

4.6.4. Rijitlik Azalımı Grafiklerinin Çizdirilmesi

Deney numunelerinde yatay yükleme altında plastik mafsal oluşumu ile beraber rijitliklerinde azalma olmaktadır. Betonarme çerçeve numunelerinin rijitlik değerleri iki şekilde tespit edilmiştir.

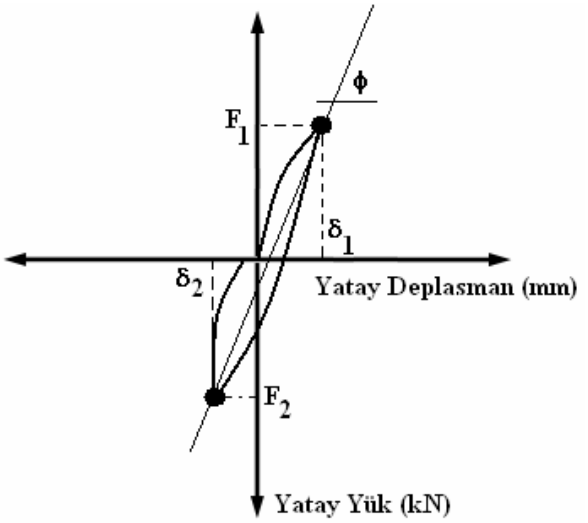
a) Her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmiştir. Her çevrimde, yük - deplasman eğrisinde okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 ve yatay deplasman değerleri de δ_1 ve δ_2 olarak gösterilirse, o çevrim için rijitlik değeri, ϕ aşağıdaki Denklem 4.10'da gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$Rijitlik(\phi) = (|F_1| + |F_2|) / (|\delta_1| + |\delta_2|) \tag{4.10}$$

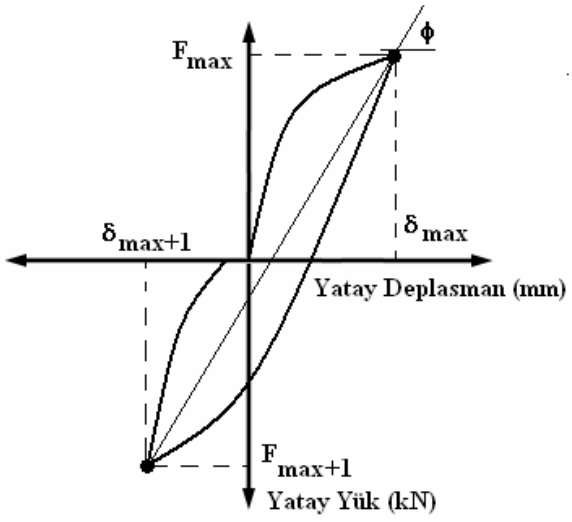
Deney numuneleri arasında karşılaştırma yapabilmek için, 1-1 çevrimi yatay yük-deplasman eğrisinin eğimi hesaplanarak "birinci çevrim rijitliği" (Şekil 4.24), maksimum yüke denk gelen çevrimde yatay yük - deplasman eğrisinin eğimi hesaplanarak "maksimum yük çevrim rijitliği" (Şekil 4.25) ve deney sonu çevrimde yatay yük – deplasman eğrisinin eğimi hesaplanarak da "deney sonu çevrim rijitliği" (Şekil 4.26) bulunmuştur.

Deney numuneleri için elde edilen rijitlik azalımı grafiklerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, bulunan rijitlik değerlerinin, kat deplasmanı / kat yükseklik oranı (δ / H) ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle rijitlik azalımı grafikleri elde edilmiştir.

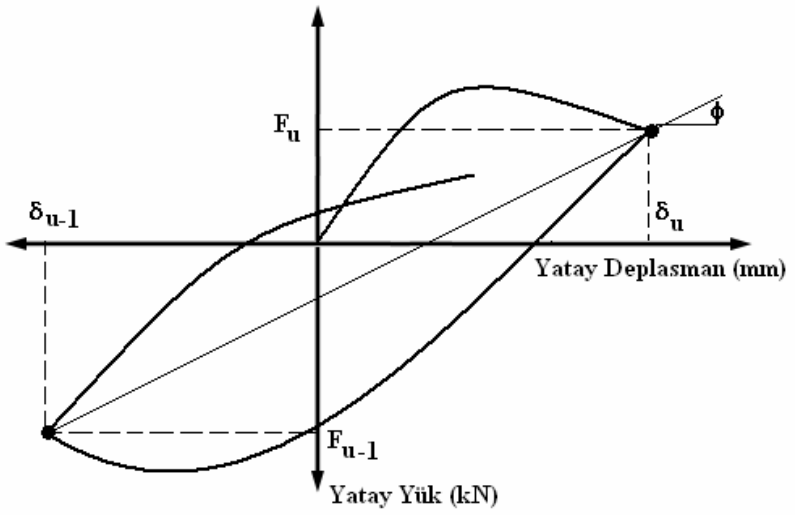
Rijitlik azalım grafikleri, deney sonuçlarının ile daha iyi karşılaştırılabilmesi amacıyla, çevrim sayısına bağlı olarak değil, (δ / H) oranına bağlı olarak, 1. ve 2. kat için ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 4.24. Başlangıç rijitlik değerinin belirlenmesi



Şekil 4.25. Maksimum yük rijitlik değerinin belirlenmesi



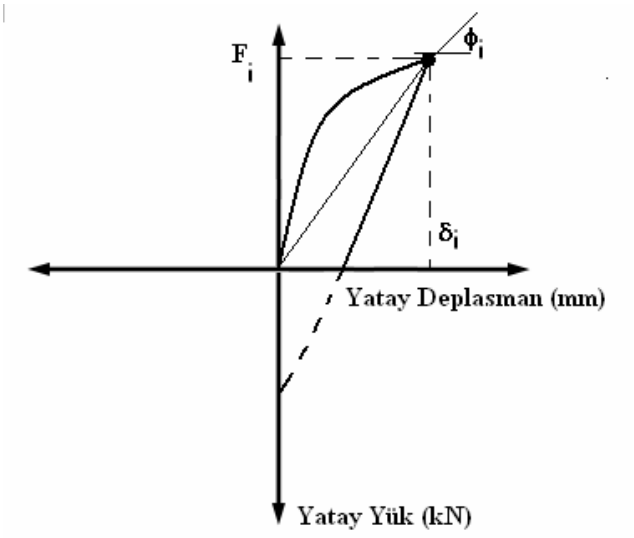
Şekil 4.26. Deney sonu rijitlik değerinin belirlenmesi

b) Literatürde yapılan bazı çalışmalar dikkate alınarak, sadece ileri çevrim yük-deplasman grafiğinin kullanılması ile ileri çevrim rijitlikleri bulunmuştur (Şekil 4.27). Bu hesaplamalarda; 1. ileri çevrim, maksimum yük anındaki ileri çevrim ve göçme yüküne denk gelen maksimum yükten sonra %15 kapasite kaybı anındaki ileri çevrim dikkate alınmış ve sonuçlar 6. Bölümde karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Yukarıda bahsedilen kritik anlara denk gelen çevrimlerde, yük - deplasman eğrisinde okunan ileri çevrim yatay yük değerleri F_1 ve ileri çevrim yatay deplasman

değerleri de δ_1 olarak gösterilirse, o çevrim için rijitlik değeri, ϕ aşağıdaki Denklem 4.11'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Rijitlik}(\phi) = (|F_1|)/(|\delta_1|) \tag{4.11}$$

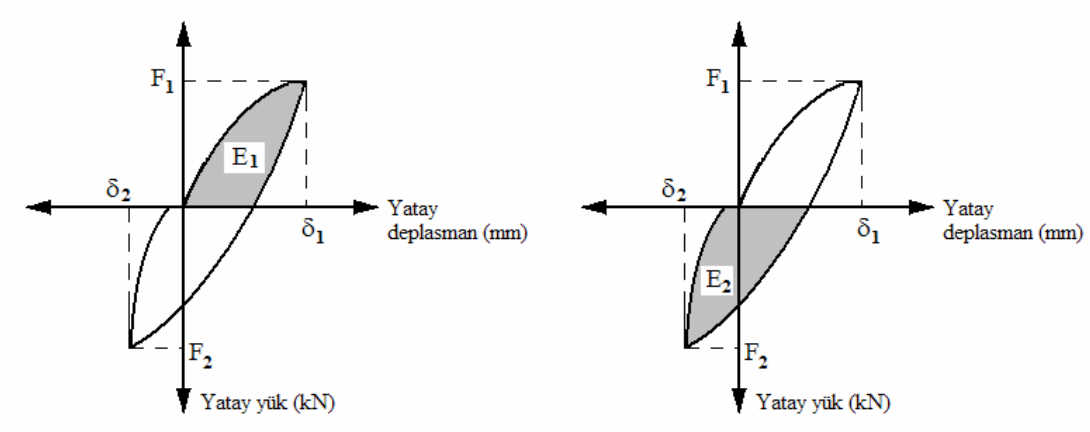


Şekil 4.27. İleri çevrim için rijitlik değerinin belirlenmesi

4.6.5. Tüketilen Enerji Grafiklerinin 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 katedilen yolun çarpımına eşittir. Bundan dolayı, deney numunelerin tükettikleri enerji, her çevrimde yük-deplasman eğrisinin altındaki alana eşittir. Ancak, her çevrimde hesaplanan tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam enerji grafiğinin çizilmesinin daha gerçekçi olacağı düşünüldüğünden, her deney numunesi için buna göre toplam tüketilen enerji grafiği çizdirilmiştir. Betonarme çerçeve numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri rijitliğe benzer şekilde iki farklı yöntemle tespit edilmiştir

a) Tam çevrimler göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda, her çevrimde hesaplanan tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam enerji grafiğinin çizilmesinin daha gerçekçi olacağı düşünüldüğünden, her bir deney numunesi için buna göre toplam tüketilen enerji grafiği çizdirilmiştir. 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 4.28). Deney numuneleri için elde edilen enerji tüketme grafiklerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için kümülatif toplam tüketilen enerji değerinin ardışık olarak toplanan "kümülatif toplam kat deplasmanı/kat yüksekliğine $\sum(\delta/H)$" oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle, tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir. Tüketilen enerji grafikleri, deney sonuçları arasında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla; çevrim sayısına bağlı olarak değil, kümülatif toplam $\sum(\delta/H)$ oranına bağlı olarak çizilmiştir.



Şekil 4.28. Toplam tüketilen enerji grafiği değerlerinin hesaplanması

b) 1. çevrim için, maksimum yük anına kadar ve göçme yüküne denk gelen maksimum yükten sonra %15 kapasite kaybı anına kadar sistemin tükettiği enerji değeri ileri çevrimler dikkate alınarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar 6. Bölümde karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

4.6.6. Perde Duvarların Eğriliklerinin Bulunması

Betonarme yapıların depreme göre tasarlanmasında üç önemli şartın sağlanması gerekmektedir. Bunlar yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli sünekliktir. Betonarme taşıyıcı sistemi oluşturan her bir elemanın dayanımı ve rijitliği kadar sünekliği de önemlidir (Kaltakcı, 2003).

Süneklik çok genel tanım ile, herhangi bir kesitin ya da sistemin dayanımında çok önemli bir kayıp olmaksızın yapacağı elastik ötesi deformasyondur. Perde duvarlarda sünek davranış ayrı bir öneme sahiptir. Her türlü deprem etkisi altında, perde duvar sünek eğilme kırılması göstermelidir.

Betonarme sistemlerde iki farklı süneklik kavramı mevcuttur. Bunlar,

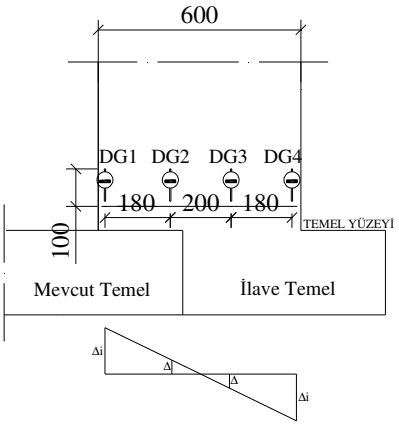
1) Eğrilik sünekliği

2) Deplasman sünekliği

Eğrilik sünekliği, taşıyıcı elemanların kesit özelliklerine bağlıdır.

Deplasman (Öteleme) sünekliği ise, sisteme ait bir parametre olup, yapının eleman kesitleri kadar, plan özellikleri, boykesit özellikleri, açıklıkları, yükseklikleri ve mesnet şartlarının oluşturduğu öteleme rijitliğiyle ilgilidir.

Perde duvarlarda oluşan eğriliğin bulunması amacıyla ve perde tabanındaki çatlama ve ezilmeden etkilenmemesi için perde duvarın temelle birleşim düzeyinin üstüne 100 mm mesafede tam 100 mm aralıklı paralel iki çizgi çizilmiştir. Bu çizgilerin üzerine aralıkları Şekil 4.29'da 600 mm genişliğindeki perdedeki görünen şekliyle verilmiş olan 4 adet dial gage (komparametre) yerleştirilmiştir.



Şekil 4.29.Perde temel birleşim bölgesinde perde duvardaki birim deformasyon (Ölçüler mm'dir.)

Sol taraftaki çelik düğmeler arasındaki 100 mm'lik açıklık küçülürken (-), sağ taraftaki açıklık artmış (+) olarak ölçümler alınmıştır (Δ_s). Ölçülen bu değerler, çelik düğmeler arasındaki şekil değiştirmeden önceki mesafeye "s" bölünmek suretiyle birim deformasyon "ε" hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta_s}{s} \right| \tag{4.12}$$

Her bir çelik düğme çifti arasında oluşan boy değişikliği ölçülerek, perdenin sol ucundan sağ ucuna birim deformasyon dağılımı çizilebilmektedir. Komparametreler perdelerin sarılma bölgelerinde en dış boyuna donatıya oldukça yakın yerleştirildiği için cihazlardan okunan ölçüm değerleri aynı zamanda donatıda meydana gelen uzama ya da kısalmaları da göstermektedir. Şekil değiştirmelerin olmadığı nokta (Δ_s=0) tarafsız eksenidir. Birim deformasyon dağılımının oluşturduğu açı, perde duvar kesitinde oluşan eğrilik olarak tanımlanmaktadır.

$$\phi = \frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{M}{EI} \tag{4.13}$$

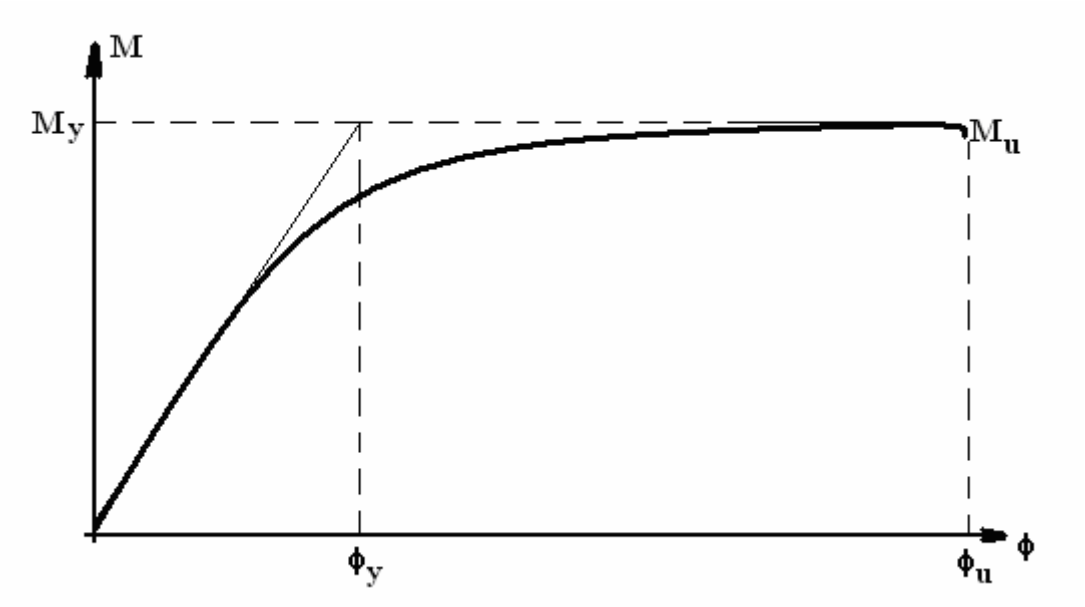
Temel ile perdenin birleşim bölgesinde meydana gelen eğrilik,

$$\phi = \frac{\left| \Delta_{S1} - \Delta_{S2} \right|}{x} \tag{4.14}$$

formülüyle hesaplanmıştır. Burada x = d, Δ_{s1} ve Δ_{s2} deney elemanlarının çekme ve basınç bölgesindeki uzamalarıdır. Ölçülen ve hesaplanan değerlerden moment-eğrilik grafikleri çizilmiştir. Ancak, 2 ve 3 nolu komparametrelerin ölçümleri çok sağlıklı olamadığı için, 1 ve 4 nolu komparametreler baz alınarak grafikler oluşturulmuştur.

Perde duvarlarda, perde duvar kesitinin uygulanan düşey yük altındaki moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.30'da verilmiştir. Buna göre donatının akmasına karşı gelen eğrilik ϕ_y (Burada donatı aktığı anda $\varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$ ve $\varepsilon_s = \varepsilon_{sy}$) betonun ezilmesine karşılık gelen eğrilik ise ϕ_u ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ ve $\varepsilon_s >> \varepsilon_{sy}$)'dur. Moment-eğrilik ilişkisinin

şekline en fazla etki eden parametre, kesit üzerindeki normal kuvvet seviyesidir. Yapılan güçlendirmenin çerçeve dışından olmasından dolayı perde üzerinde kendi ağırlığı haricinde hiçbir normal kuvvet etkisi yoktur.



Şekil 4.30. Perde duvar kesitinin “Moment-Eğrilik” ilişkisi

5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, her bir numunenin deneysel özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda; deneylerden elde edilen sonuçlar, deney numunelerinin davranışı ve meydana gelen hasarlar detaylı bir biçimde sunulmuştur. Her deney için deneyin yapılış yöntemi ve gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir.

Deney numunelerinin farklı özelliklerde ve dayanımlarda olması, özdeş bir yükleme programının uygulanmasına imkan vermemiştir. Fakat, bütün deney elemanları aynı ilke doğrultusunda yüklenmişlerdir.

Bu ilkeler;

a) İlk çevrimler, elemanların elastik sınır içinde kaldığı yük adımlarıdır,

b) Yükleme ilk olarak kuvvet kontrollü, daha sonra ise deplasman kontrollü yapılmıştır,

c) Yük-deplasman eğrisi yataylaşmaya başladığı anda (sistemin nominal akma yüküne ulaşıldığı andan sonra) kuvvet kontrollü yükleme sona erdirilmiş, deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir,

d) Nominal akma düzeyinden sonra yapılan deplasman kontrollü yüklemede ise, deplasman artımları genelde 10 mm olarak verilmiş ve LVDT kapasitesi olan 90 ~ 100 mm'ye kadar gidilmiştir.

Bu bölümde; deneyler sonucu elde edilen verilerden, her bir numune için aşağıdaki grafikler çizilmiştir;

- Her deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi ve elde edilen yük-tepe deplasmanı grafiği,
- Yatay yük- 1. kat deplasmanı grafiği,
- Yatay yük-2. kat deplasmanı grafiği,
- 1. kat, 2. kat ve toplam yatay yük-ötelenme oranı grafikleri
- 1. ve 2. kat dayanım zarfları
- Kolon tabanında oluşan moment-eğrilik grafikleri,
- 1. ve 2. kat rijitlik azalımı grafikleri,

- Kolonlara uygulanan düşey yükün zaman bağlı olarak değişimi,
- Kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafikleri,
- Kesmeden dolayı 1. ve 2. kat perdelerinde oluşan yatay yük-kesme deplasmanı grafikleri,
- Perdelerin moment-eğrilik ilişkileri.

Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesiyle ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'te verilmiş olmakla birlikte burada kısaca özet bilgi de verilecektir.

Bütün deney elemanları için, her çevrimde meydana gelen çatlak ve hasarların yatay yük-deplasman ile beraber belirtildiği detaylı çatlak analiz tablosu, maksimum yükte ve son çevrimde oluşan çatlakların şematik olarak gösterildiği eleman resimleri, ilk yüklemeden göçmeye kadar önemli görülen yük adımları için deney fotoğrafları da sunulmuştur.

Yük geçmişi grafikleri, deney numunelerinin yükleme şeklini göstermektedir. Deneylerde yükleme programı, çerçeve sisteminin en önemli elemanları olan kolonlarda akma meydana gelinceye kadar yük kontrolü, akmadan sonra ise deplasman kontrollü olarak gerçekleşmiştir. Bu grafiklerden, her bir çevrimde elde edilen maksimum yük ve deplasman değerleri gözlenebilmektedir.

Yatay yükten dolayı çerçevenin 1. ve 2. katında oluşan yatay deplasmanların değişimi de verilmiştir. Deneyler sırasında yatay yük, sadece 2. kat seviyesinden uygulanmıştır. Uygulanan yatay yük taban kesme kuvvetine eşit olmaktadır. Yatay yük-yatay deplasman grafiklerine ek olarak, 1. ve 2. katlar için katlar arası ötelenme oranlarının değişimi belirlenmiştir. Bir katın ötelenme oranı, katlar arası rölatif (göreli) deplasmanın kat yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Rölatif deplasman değeri ise, 2. kat ve 1. kat arasındaki yatay deplasman farkıdır.

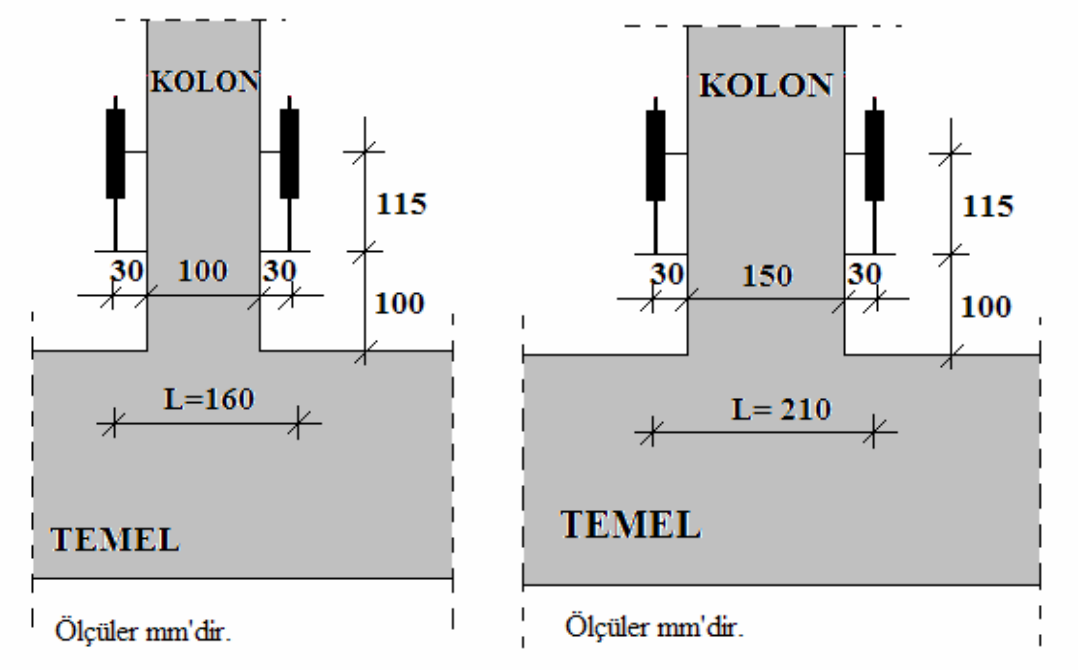
1. kat ve 2. kat dayanım zarfı grafiklerinin çizdirilmesi amacıyla, ileri ve geri her çevrim için akmaya kadar en büyük yatay yük değerleri ve bu yüke karşılık gelen yatay deplasman değerleri, akmadan sonra ise okunan en büyük yatay deplasman değerleri ve buna karşılık gelen yatay yük değerleri belirlenmiş ve grafiksel olarak çizdirilmiştir.

Bu bölümde ayrıca, yukarıda bahsedildiği gibi, kolon tabanlarında elde edilen moment-eğrilik ilişkisi grafikleri de sunulmaktadır. Deney numunelerinin perde duvarına bitişik olmayan kolonlarının alt ucundaki eğrilik ölçümleri de alınmıştır.

Kolon alt uçlarında meydana gelecek hasardan dolayı ölçümün etkilenmemesi için, temel üstünden 100 mm yükseklikte yerleştirilmiş olan iki adet 30 mm ölçüm kapasiteli potansiyometrik cetvel kullanılarak deformasyonlar ölçülmüştür.

Kolon tabanlarındaki eğrilik hesaplamaları için ölçümde kullanılan potansiyometrik cetvel yerleşimleri ve eğrilik hesaplamaları için gerekli mesafeler Şekil 5.1'de verilmiştir.

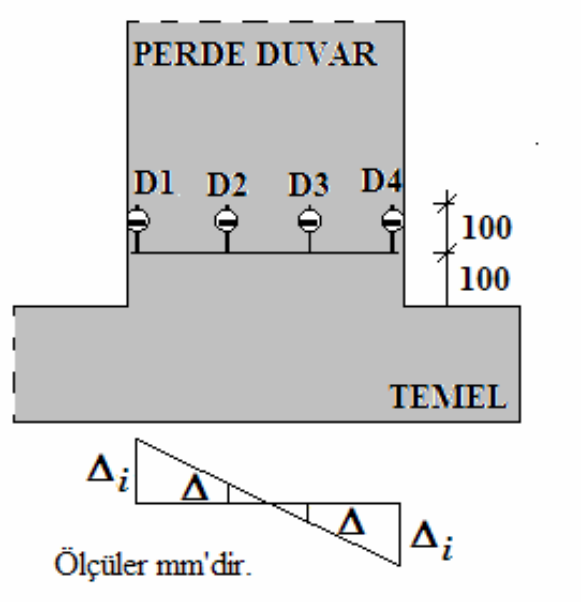
a) b)



Şekil 5.1. Kolon tabanında eğrilik ölçümü

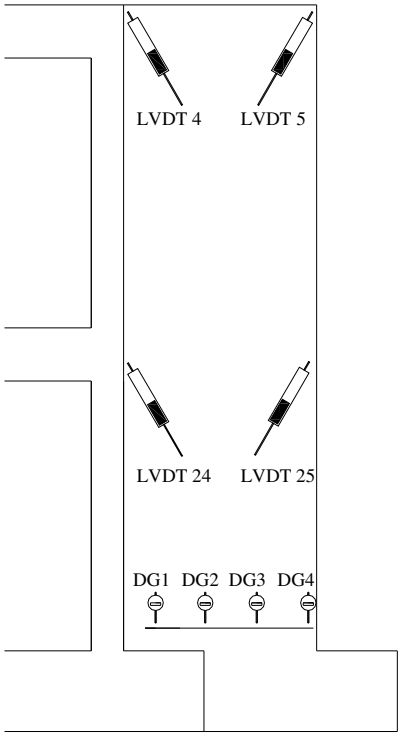
a) Kenar kolon, b) Orta kolon

Dış betonarme perde duvar ilaveli deney numunelerinde perde tabanında meydana gelen birim deformasyon değerlerini elde etmek için de 4 adet komparametre (dial-gage) kolonlardaki gibi aynı düşünceyle temel üstünden 100 mm yükseklikte yerleştirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Perde tabanında yerdeğiştirme ölçüm düzeneği

Her katta perde duvar üzerine diyagonal yönde yerleştirilen 2 adet LVDT ile de, yatay yük-kesme deformasyonu grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Perde gövdesinde kesme deformasyonu ölçümü için LVDT yerleşimi

Deney numunelerinde 1. ve 2. kat için rijitlik değerleri, her bir çevrim için yatay yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmiş, bulunan rijitlik değerlerinin, kat deplasmanı/kat yüksekliği oranı $\left(\delta/H\right)$ ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle rijitlik azalımı grafikleri elde edilmiştir.

Kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiklerinde ise, toplam enerji değerleri, yük-tepe deplasmanı eğrisinin altındaki alan hesaplanarak belirlenmiştir.

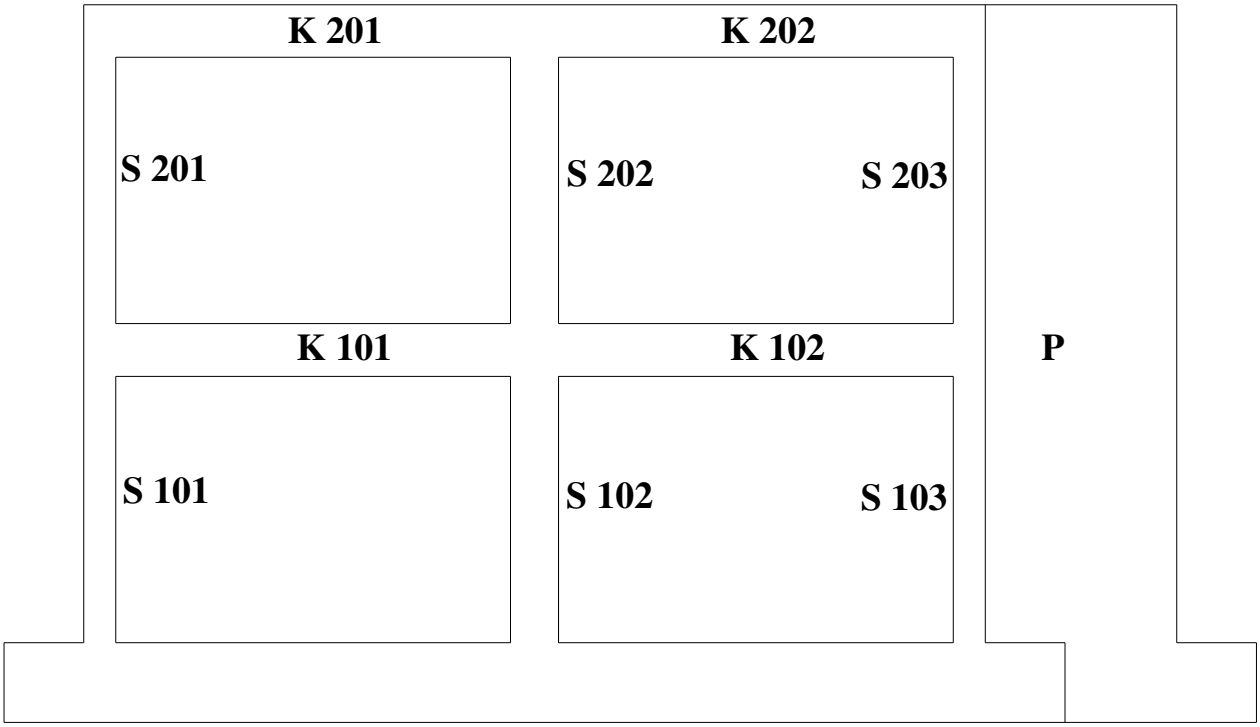
Deney numunelerinde çelik halatlar ve makara sistemi ile kolonlara uygulanan düşey yük, deney süresince sabit tutulmaya çalışılmıştır. Deney numunesinin yatay uygulanan çevrimsel yükten dolayı yapmış olduğu deplasman sonucunda halatın başlangıçta olan düşeyliği bir miktar değişmektedir. Kolonlara uygulanan düşey yükün zamana bağlı olarak değişimini gösteren grafikler de yine her bir deney için verilmiştir. Burada önemli olan, kolon uygulanan yük seviyesinin istenen aralıkta kalmasıdır. Çalışma kapsamındaki betonarme çerçeveler; kolonları basınç kırılması yapan elemanlar oldukları için, deney numunelerinin tamamında, deney başlangıcında kolonlara halatlar vasıtasıyla uygulan eksenel yük, yaklaşık $N = 0.50 \times b \times h \times f_c$'dir. Uygulanan basınç kuvvetinin büyük olması sebebiyle, eksenel yükü aktarmada kullanılan halatın çok fazla zorlanıp kopma ihtimaline karşı, eksenel yük değeri olarak $N = 0.50 \times b \times h \times f_c$ sınırında kalınmıştır. Çizelge 5.1'de kolonlara uygulanan normal kuvvetler gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kolonlarda başlangıç normal kuvvet seviyesi

Kolon	Boyut (mm x mm)	Halat Sayısı	Halat Çekme Kuvveti (kN)	Toplam Normal Kuvvet (kN)
Kenar Kolon	85 x 100	4	12.5	50
Orta Kolon	85 x 150	6	12.5	75

Deney esnasında yatay yükün etkisiyle oluşan yatay deplasmandan dolayı halatlar daha da gerilmiş ve kolonlara uygulanan düşey yük seviyesi yatay yüke bağlı olarak bir miktar değişmiştir. Bu değişimin zamana bağlı olarak grafiği de her deney ve her kolon için ayrı ayrı verilmiştir.

Deney esnasında gözlenen davranış, her deney için bir çizelge şeklinde hazırlanmıştır. Bu çizelgede, gözlenen çatlak bölgelerini belirtebilmek için kiriş ve kolon elemanlarına verilen numaralandırma sistemi Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

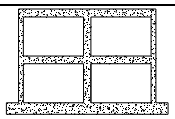


Şekil 5.4. Betonarme deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi (numaralandırılması)

5.1. 1 Nolu (1-BK-ZK) Deney (1. Grup Boş Çerçeve)

1 nolu deney numunesi (1-BK-ZK), betonarme dış perde duvar ile güçlendirme yapılmamış olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan boş çerçeve elemanıdır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Bu deneyin amacı; deprem davranışı zayıf olan, mevcut betonarme bina stoğunun çoğunluğunu temsil eden ve daha önce ayrıntılarıyla belirtilen tasarım ve yapım kusurlarına sahip betonarme çerçevenin, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin ve deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip betonarme çerçevenin dış perde duvar ile güçlendirmesi sonucunda değişen davranış özelliklerinin belirlenmesine temel teşkil etmesidir.

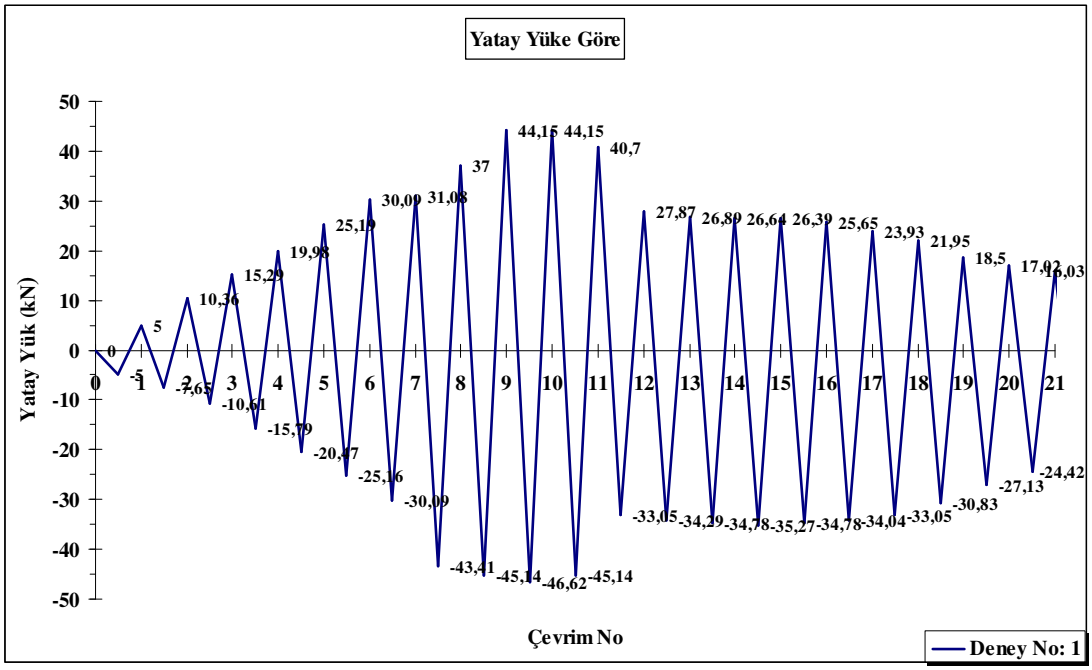
Çizelge 5.2. 1. nolu deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesi	Çerçeve Tipi	Kolonların Eksenel Yük Seviyesi (N_d/N_r)	Kolonların Boyuna Donatı Oranları (ρ_t)	Betonun Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)		
					ϕ4	ϕ6	ϕ8
Deney : 1-BK-ZK		0.5~0.6.N_r	0.013	13.255	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{550}$	$\frac{375}{490}$

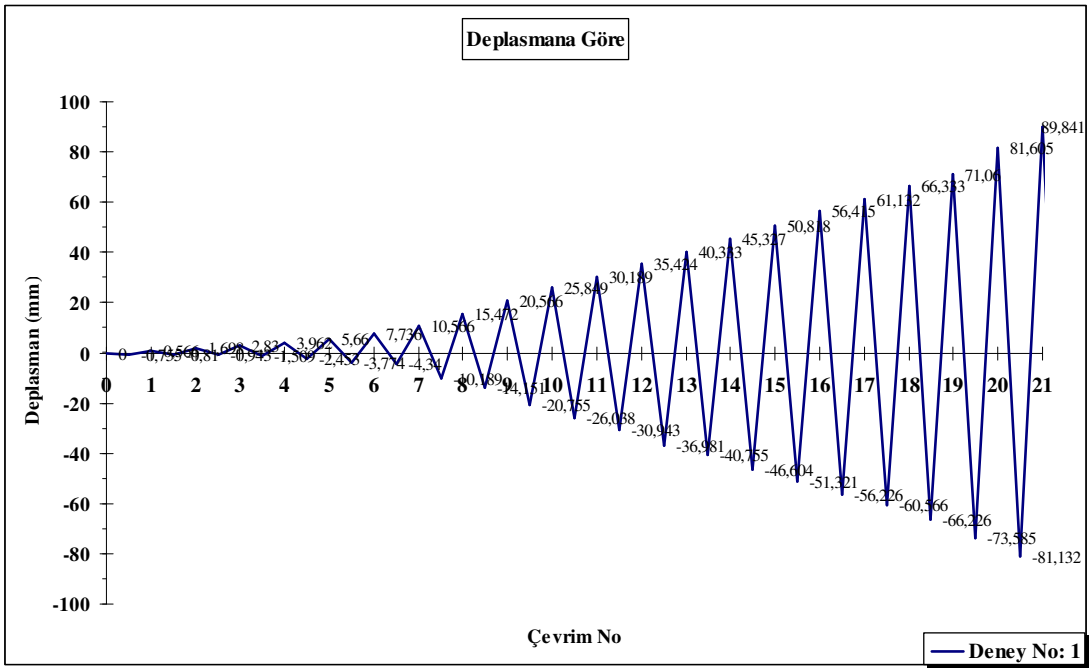
1 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.5'de, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. 1. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü



a) 1. deney numunesinin yük geçmişi (yatay yüke göre)



b) 1. deney numunesinin yük geçmişi (tepe deplasmana göre)

Şekil 5.6. 1. deney numunesinin yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, çerçeveye üst kat kirişi hizasından uygulanan yatay yük ve üst kattan ölçülen deplasmana göre ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programından da izlenebileceği gibi, sistemin akması ile birlikte (sistemin akması, çerçeve için çizilen yük-deplasman eğrisinin yataylaşmaya başladığı an olarak kabul edilmiştir) yükleme, yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçmiştir. Yükleme programına göre, 5 kN'luk artışlarla 30 kN'a kadar gidilmiş, bu noktadan sonra sistem aktığı için deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek 5 mm'lik artışlarla, göçmeye kadar deplasman kontrollü yükleme devam etmiştir. İleri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.

Çerçeve sisteminde ilk çatlak, 3. ileri çevrimde K102 kirişinin sol mesnetinde üstte, 15 kN'luk yatay yükte ve 2.642 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (İlk çatlağın oluştuğu bu yük seviyesi sistemin elastik sınırıdır) (Şekil 5.7). 6. çevrimden sonra TDY-98'in vermiş olduğu deplasman üst sınır değeri (0.0035 x h =0,0035 x 2000 = 7.00 mm) aşılmıştır. Bu durumda, sistemde farklı bölgelerde toplam 20 adet çatlak sayılmış ve alt kolonlarının hepsi çatlamıştır. Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasınca alınan önemli notlar Çizelge 5.3'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



Şekil 5.7. 1. deney numunesinde K102 kirişinin sol mesnetinde üstte oluşan 1 nolu çatlak (elastik sınır)

Çizelge 5.3. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
1.1	5	0,755	-
1.2	-5	-0,566	-
2.1	10	1,651	-
2.2	-10	-0,943	-
3.1	15	2,642	**K102 kirişinin sol mesnetinde üstte 1 nolu çatlak oluştu.**
3.2	-15	-1,509	-
4.1	20	3,962	*K102* kirişinin sağ mesnetinden 3,5 cm içeride altta **2** nolu çatlak, *K101* kirişinin sağ mesnetinden 10 cm içeride altta **3** nolu çatlak, *K102* kirişinin sol mesnetinden 20 cm içeride **4** nolu çatlak oluştu.
4.2	-20	-2,453	*K102* kirişinin sağ mesnetinden 3,5 cm içeride üstte **5** nolu çatlak, *K101* kirişinin sol mesnetinde altta **6** nolu çatlak, *K102* kirişinin sol mesnetinde altta **7** nolu çatlak, *K101* kirişinin sağ mesnetinden 10 cm içeride üstte **8** nolu çatlak oluştu.
5.1	25	5,472	*K101* kirişinin sol mesnetinden 17 cm içeride **9** nolu çatlak, *K101* kirişinin sol mesnetinde üstte **10** nolu çatlak, *K101* kirişinin sağ mesnetinde altta **11** nolu çatlak, **S102 kolonunun alt ucunda sağda 12 nolu çatlak oluştu.** Ayrıca 2 ve 5 nolu çatlaklar birleşti.
5.2	-25	-3,585	*S102* kolonunun alt mesnetinde solda **13** nolu çatlak oluştu. *K101* kirişinin sağ ucunda üstte **14** nolu çatlak oluştu.

Çizelge 5.3.devamı. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			6 ve 10, 3 ve 8 nolu çatlaklar birleşti.
6.1	30	7,736	*S103* kolonunun alt mesnetinde sağda **15** nolu çatlak oluştu. *K102* kirişinin sağ mesnetinden **18** cm içeride **16** nolu çatlak oluştu. *S101* kolonunun alt mesnetinden 3 cm yukarıda sağda **17** nolu çatlak oluştu. 4 ve 9 nolu çatlaklar ilerledi.
6.2	-30	3,774	*K102* kirişinin sol mesnetinden 13 cm içeride solda **18** nolu çatlak oluştu. *K101* kirişinin sağ mesnetinden **19** cm içeride üstte 19 nolu çatlak oluştu. *K102* kirişinin sağ mesnetinden 17 cm içeride üstte **20** nolu çatlak oluştu.
7.1	31,3	10	K102 kirişinde oluşan 2 nolu çatlak kiriş alt ucuna doğru uzadı. *K102* kirişinin sol mesnetinden 35 cm içeride üstte **21** nolu çatlak oluştu. *K102* kirişinin sol mesnetinde kolon-kiriş birleşim noktasında *22* nolu çatlak oluştu. 1 nolu çatlak ilerledi.
7.2	-43,4	-10	*K102* kirişinin sağ mesnetinde 33 cm içeride üstte **23** nolu çatlak oluştu. *K101* kirişinin sağ mesnetinden 42 cm içeride altta **24** nolu çatlak oluştu. *K101* kirişinin sol mesnetinde altta 9 nolu çatlağın hizasında **25** nolu çatlak oluştu. *S101* kolonunun üst ucundan yukarıdan aşağıya doğru çapraz **26** nolu çatlak oluştu. *S103* kolonunun alt ucunda solda **27** nolu çatlak oluştu. *S101* kolonunun alt ucunda solda **28** nolu çatlak oluştu.

Çizelge 5.3.devamı. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			7 nolu çatlak ilerledi.
8.1	37	15	*K101* kirişinin sağ ucunda altta 19 nolu çatlağın altında **29** nolu çatlak oluştu. *S101* kolonunun tam tabanında **30** nolu çatlak oluştu. *S102* kolonunun alt ucunda sağda tabandan 6.5 cm yukarıda **31** nolu çatlak oluştu.
8.2	-45	-15	26 nolu çatlak kolon içine doğru aşağı yönde ilerledi. 14 nolu çatlak ilerledi. *S201* kolonunun üst ucunda sağda **32** nolu çatlak ilerledi. *S202* kolonunun üst ucunda sağda **33** ve **34** nolu çatlaklar oluştu.
9.1	44	20	*S103* kolonunun üst uç sol köşesinden içeriye doğru çapraz **35** nolu çatlak oluştu. *S102* kolonunun üst uç sol köşesinde **36** nolu çatlak oluştu. *K102* kirişinin sol mesnetinden 41 cm içeride 60^0 eğik (pilyeye dik) **37** nolu çatlak oluştu. *S203* kolonunun üst ucunda solda çapraz **38** nolu çatlak oluştu. *S201* kolonunun alt ucunda 26 nolu çatlağın tam tersi yukarı doğru **39** nolu çatlak oluştu. *S202* kolonunun üst ucunda sol köşesinde **40** nolu çatlak oluştu. 15 ve 30 nolu çatlaklar ilerledi.
9.2	-45.88	-20	*S102* kolonunun üst ucunda sağda **41** nolu çatlak oluştu. *K102* kirişinin sağ mesnetinde *S103* kolonunun üst düğümünde düşey **42**, **43,44** nolu çatlaklar oluştu. *S101* kolonunun alt mesnetinden 15 cm yukarıda solda **45** nolu

Çizelge 5.3.devamı. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			çatlak oluştu. *S102* kolonunun alt mesnetinden 6 cm yukarıda solda **46** nolu çatlak oluştu. *K102* sol ucunda 21 nolu çatlağın altında **47** nolu çatlak oluştu.
10.1	44,15	25	*S203* kolonunun üst ucunda solda **48** nolu çatlak oluştu. 39 nolu çatlak çapraz olarak ilerledi. 9 ve 25 nolu çatlaklar birleşti. *K102* kirişinin sağ ucunda altta **49** nolu çatlak oluştu ve 42 nolu çatlakla birleşti. *S201* kolonunun üst ucunda solda **50** nolu çatlak oluştu. *S102* kolonunun üst düğümünde çapraz olarak **51** nolu çatlak oluştu. *S202* kolonunun üst ucundan 8 cm aşağıda **52** nolu çatlak oluştu ve tam karşısında ezilme görüldü. S102 kolonunun alt ucunda solda ve S202 kolonunun üst ucunda sağda ezilmeler başladı.
10.2	-45	-25	35 nolu çatlak çatallaştı. *S103* kolonunun alt ucunda solda tabandan 3-4 cm yukarıda **53** nolu çatlak oluştu. 22 nolu çatlak aşağıya kadar ilerledi. Tüm 1. kat kolonlarının sağ alt mesnetlerinde ezilmeler başladı. S202 kolonunun sol üst ucu ezilmeye başladı.
11.1	39,47	30	S203 kolonunun sağ üst ucu ezilmeye başladı. *S101* kolonunda 45 nolu çatlakla aynı hizada **54** nolu çatlak oluştu.

Çizelge 5.3.devamı. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

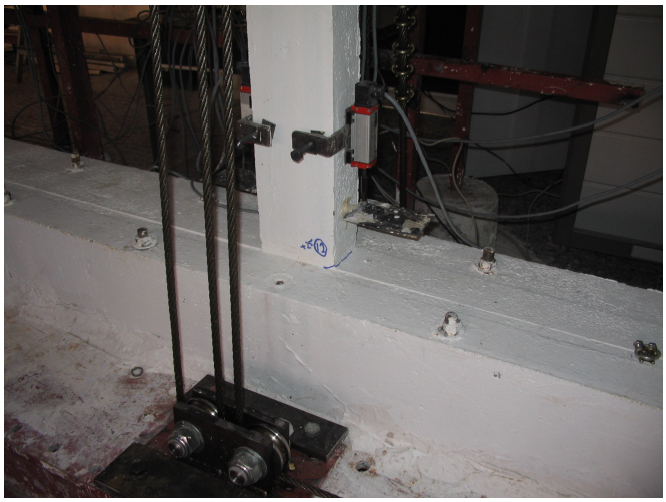
Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
11.2	-32	-30	*K201* kirişinin sağ mesnetinden 50 cm içeride **55** nolu çatlak oluştu. *S103* kolonunun tabanından 29 cm yukarıda **56** nolu çatlak oluştu. *S203* kolonunun ortasında **57** nolu çatlak oluştu. *K201* kirişinin sağ mesnetinden 35 cm içeride **58** nolu çatlak,27 cm içeride **59** nolu çatlak, 12 cm içeride **60** nolu çatlak, 5cm içeride **61** nolu çatlak oluştu. *S201* kolonunun üst ucundan 11 cm aşağıda sağda **62** nolu çatlak oluştu. **(2 tonda sağ düğüm ani bir şekilde patladı.)**
12.1	27	35	*K202* kirişinin sol mesnetinden 45 cm içeride **63** nolu çatlak oluştu. *K202* kirişinin sol mesnetinden 32 cm içeride çapraz **64** nolu çatlak oluştu. 14 ve 11 nolu çatlaklar birleşti. *K202* kirişinin sol mesnetinden 17 cm içeride çapraz **65** nolu çatlak, 10cm içeride çapraz **66** nolu çatlak, 3 cm içeride çapraz **67** nolu çatlak oluştu. S202 sol üst ucunda ezilmeler belirginleşti.
12.2	-33,5	-35	Çerçevenin ortasındaki düğümde çapraz **68** nolu çatlak oluştu. *S101* alt ucunda solda tabandan 8 cm yukarıda **69** nolu çatlak oluştu. 51 nolu çatlak köşe noktasına birleşti. 30 ve 28 nolu çatlaklar birleşti.
13.1	26,39	40	-
13.2	-34,04	-40	-
14.1	26,39	45	-

Çizelge 5.3.devamı. 1. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
14.2	-35,03	-45	-
15.1	25,56	50	37 nolu çatlağın genişliği 5 mm olarak ölçüldü.
15.2	-33,55	-50	24 nolu çatlak 3 mm açıldı.
16.1	24,67	55	-
16.2	-32,56	-55	-
17.1	22,94	60	-
17.2	-32,07	-60	-
18.1	21,95	65	-
18.2	-29,6	-65	-
19.1	18,25	70	-
19.2	-25,90	-70	-
20.1	-	80	-
20.2	-	-80	-
21.1	-	90	-
21.2	-	-90	-

Not: Bu çizelgedeki yük ve deplasman değerleri, deney sırasında bilgisayar monitöründen görülüp anlık olarak yazıldığı için, grafiklerdeki değerlerle buradaki değerler arasında küçük farklılıklar olabilmektedir.

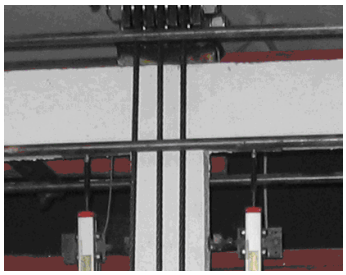
Çerçeve sisteminde kolonlarda oluşan ilk çatlak, 5. ileri çevrimde S102 kolonunun sağ alt ucunda (mesnette) 25 kN yatay yükte ve -5,472 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (Şekil 5.8). Deney numunesi 6. geri çevrimden sonra akmaya başlamış ve yük- deplasman eğrisi ile çevrimlerin eğimi azalmaya başlamıştır (akma yükü, 30 kN). Akma konumunda çerçeve düğüm noktalarının durumu ise aşağıda Şekil 5.9-5.10'da verilmiştir.



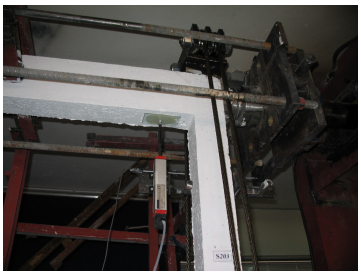
Şekil 5.8. 1. deney numunesinde S102 kolonunun sağ alt ucunda oluşan 12 nolu çatlak (yük; 25 kN, deplasman; -5,472 mm)



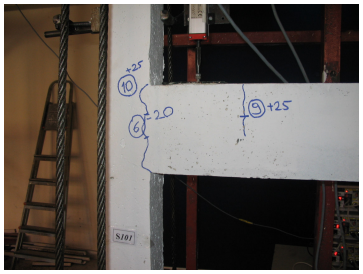
a) S201-K201



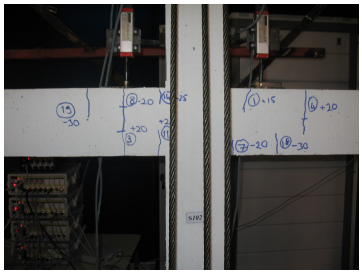
b) K201- S202-K202



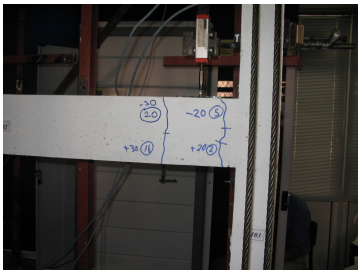
c) K202-S203



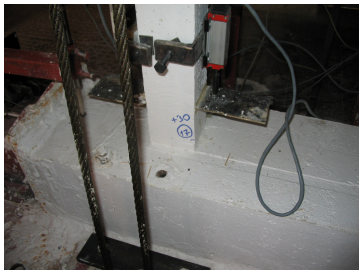
d) S201-K101



e) K101- S202-K102



f) K102-S203



g) S101-Temel

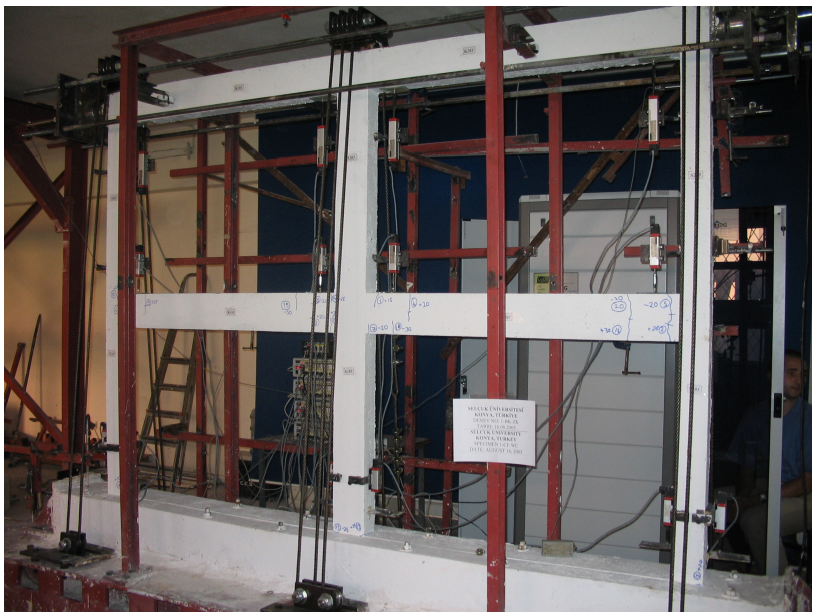


h) S102-Temel



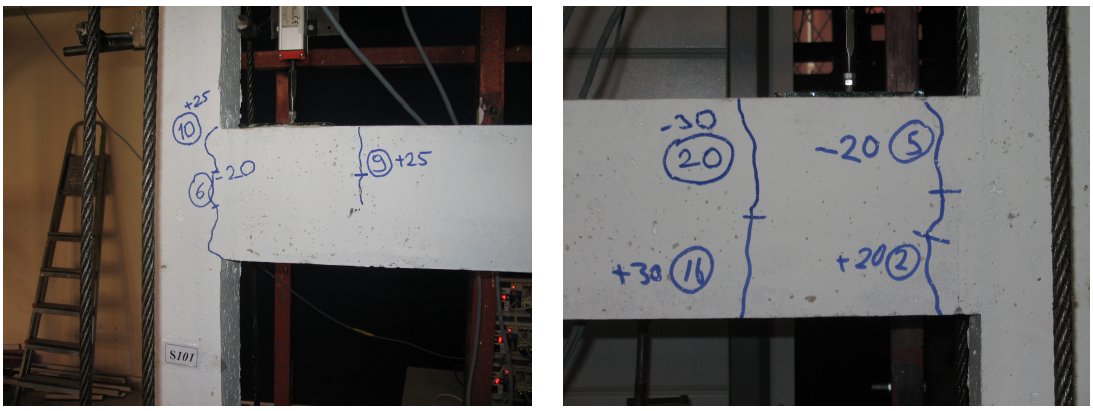
i) S103-Temel

Şekil 5.9. 1. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu



Şekil 5.10. 1.deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu

Mevcut yapılarda çok yaygın olarak kullanılmış olan pilye donatısının büküm noktasında oluşan çatlaklar, Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Çatlaklar K101 kirişinin sol üst mesnetinden (9 no'lu çatlak) ve K102 kirişinin sağ üst mesnetinden (20 no'lu çatlak) yaklaşık olarak 170 mm içeride, yani pilye büküm noktalarında oluşmuştur. Çerçeve maksimum yüke eriştikten sonra, 1. kat kolon-kiriş birleşim bölgesi çok ani bir şekilde patlamış, o bölgede betonun döküldüğü ve ağır hasarın oluştuğu gözlenmiştir(Şekil 5.12). Şekil 5.13'de deney numunesinin maksimum yük altındaki durumu verilmiştir.



a) K101 kirişi b) K102 kirişi

Şekil 5.11. 1. deney numunesinin pilye büküm bölgesinde meydana gelen çatlaklar



a)



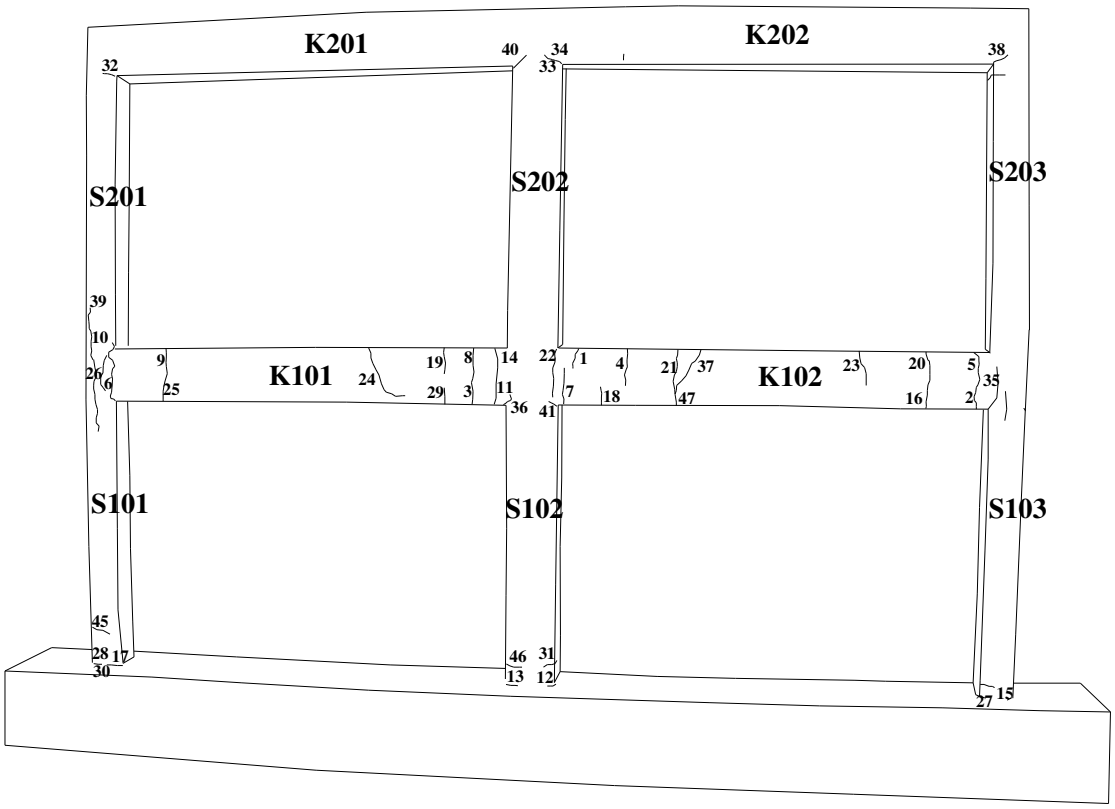
b)

Şekil 5.12. 1. deney numunesinin 1. kat kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasar



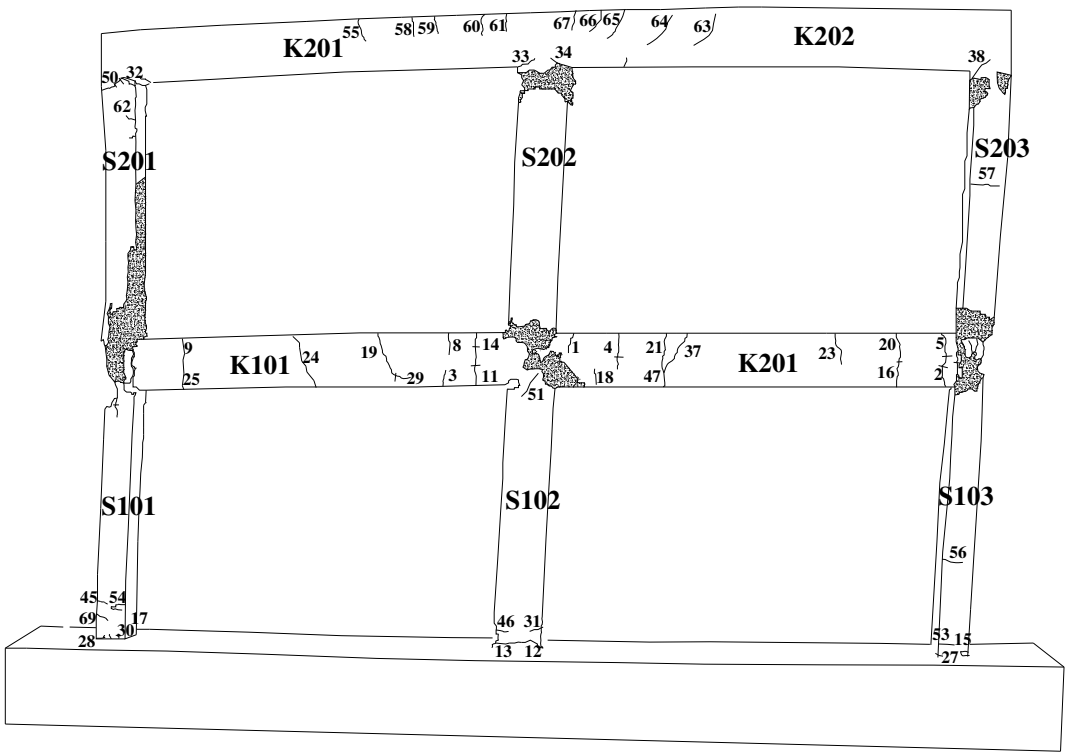
Şekil 5.13. 1. deney numunesinin maksimum yük anında görünüşü

10. çevrimden sonra oluşan plastik mafsallarla birlikte çerçevenin hiperstatiklik derecesi azalmış ve yatay yük taşıma kapasitesi düşmeye başlamıştır. Deney sonunda ulaşılan toplam tepe deplasmanı (üst kat kirişi yatay ötelenmesi) 90 mm olmuştur. Maksimum yük altında çerçeve sisteminde oluşan çatlaklar, deney sırasında alınan notlara, çekilen fotoğraflara ve video kayıtlarına göre tek tek numune üzerinde işaretlenmiş ve Şekil 5.14'de 1. deney numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 5.14. 1. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu (şematik olarak)

Deney sonucunda çerçeve elemanının genel durumu ve oluşan çatlakların şematik görünümü Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da görülmektedir. Deney sonunda özellikle ara kat kolon-kiriş düğüm noktalarının tamamen dağıldığı ve taşıma kapasitelerini yitirdiği görülmektedir. Deney numunesinin kolonlarının, deney sonunda meydana gelen yatay deplasmanları Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.15. 1. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)



Şekil 5.16. 1. deney numunesinin deney sonu görünüşü



Şekil 5.17. 1. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı

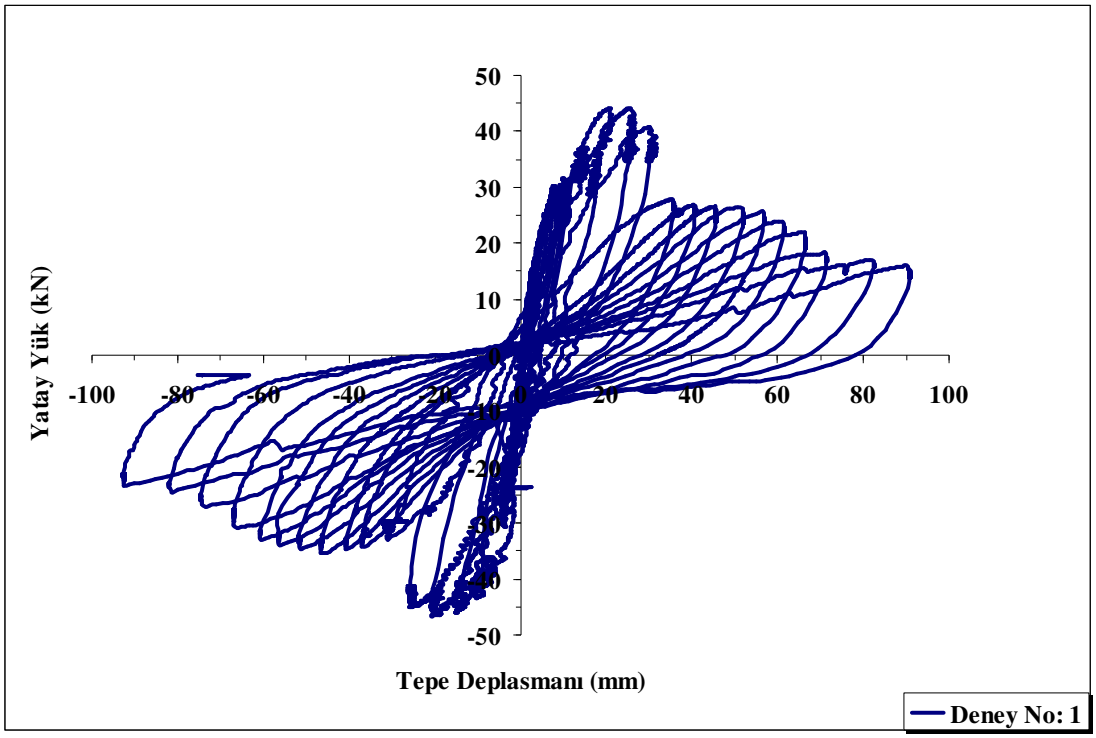


Şekil 5.18. 1. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı

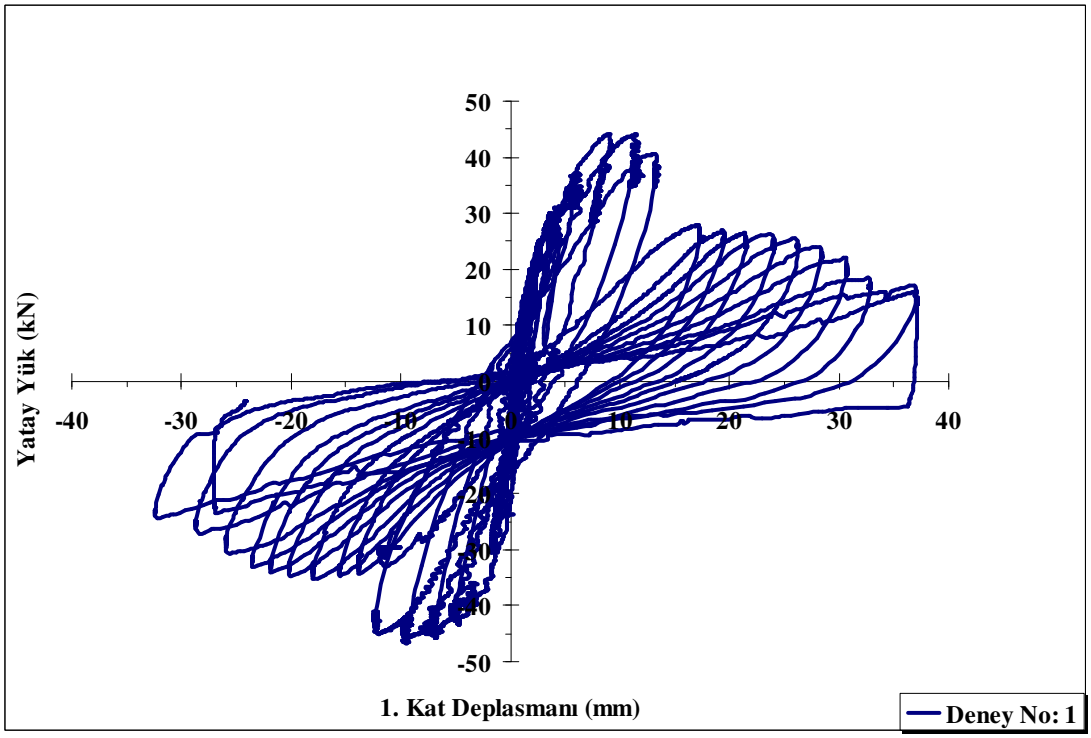


Şekil 5.19. 1. deney numunesinin sağ kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı

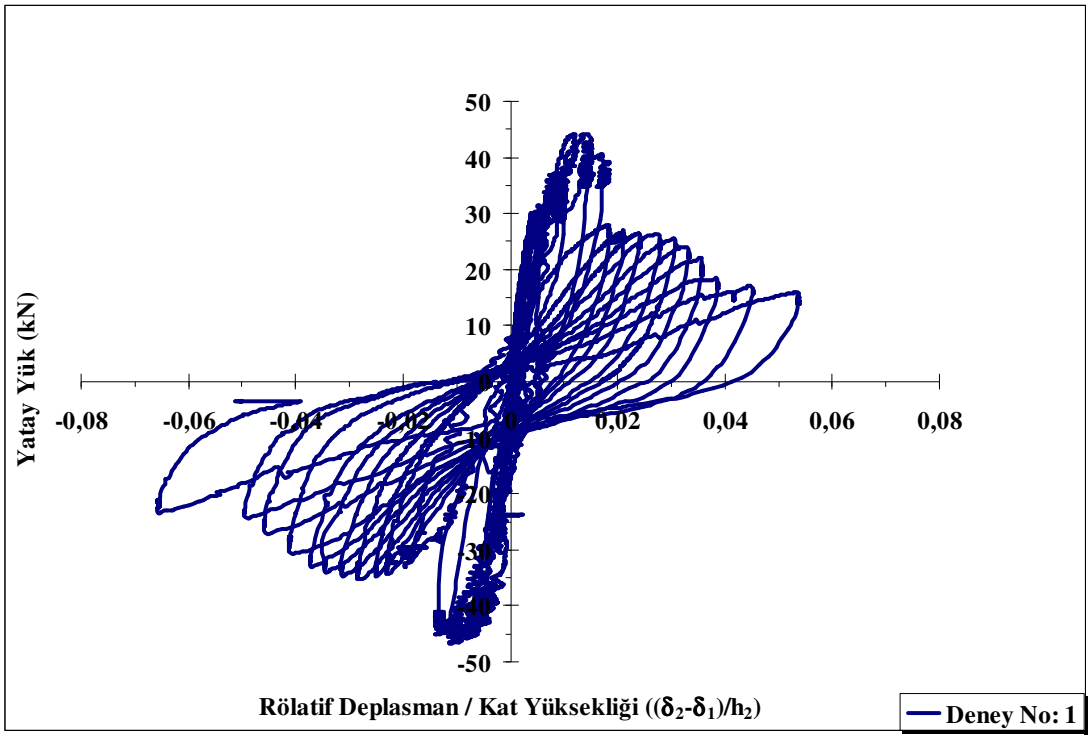
Bu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – tepe deplasmanı grafiği Şekil 5.20'de, yatay yük -1. kat deplasmanı grafiği Şekil 5.21'de, yatay yük – 2. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.22'de, yatay yük – 1. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.23'de, yatay yük - 2. kat ötelenme grafiği Şekil 5.24'de, yatay yük 2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.25'de, yatay yük- 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.26'da, S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.27'de, S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.28'de, S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.29'da rijitlik azalım grafikleri ve Şekil 5.30-Şekil 5.31'de, kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de, her bir deplasman aralığı için hesaplanan enerji tüketimi – ötelenme oranı grafiği Şekil 5.34'de, kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat öteleme oranı grafiği de Şekil 5.35'de verilmiştir.



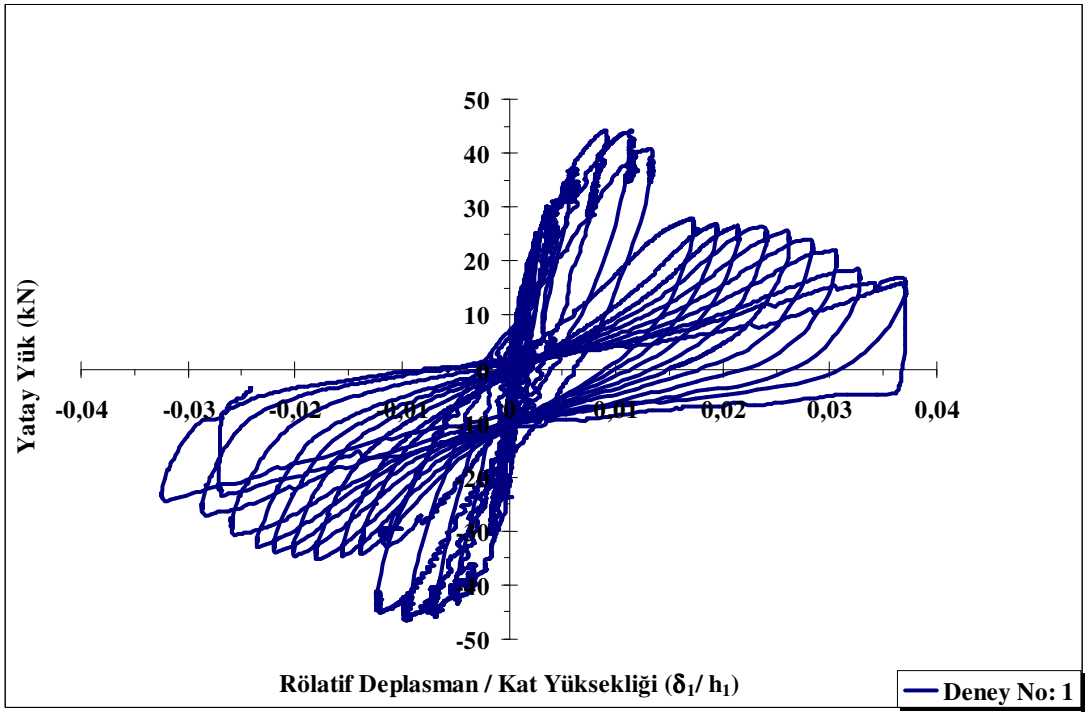
Şekil 5.20. 1. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği



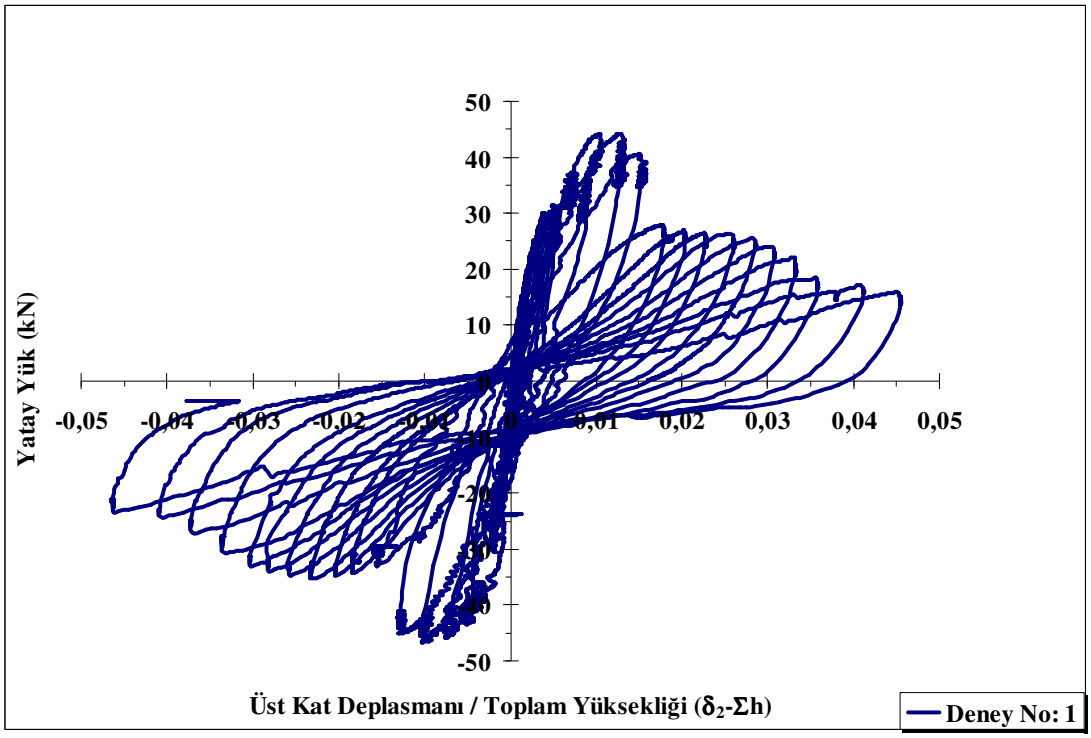
Şekil 5.21. 1. deney numunesine ait yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği



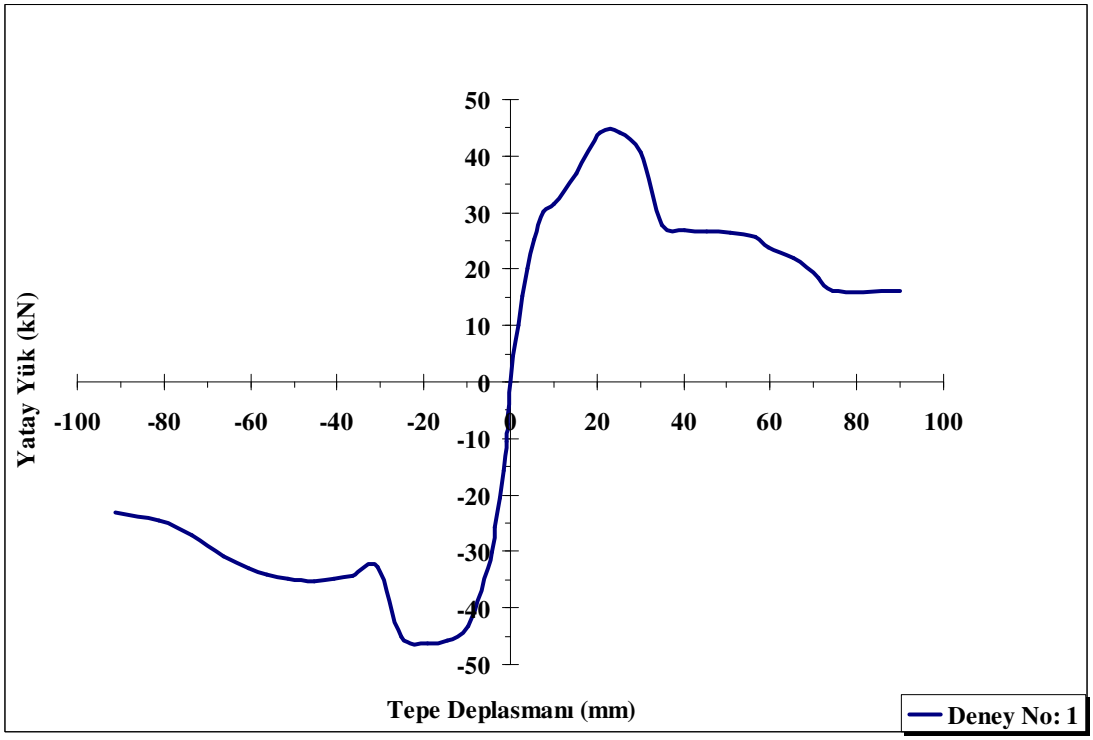
Şekil 5.22. 1. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği



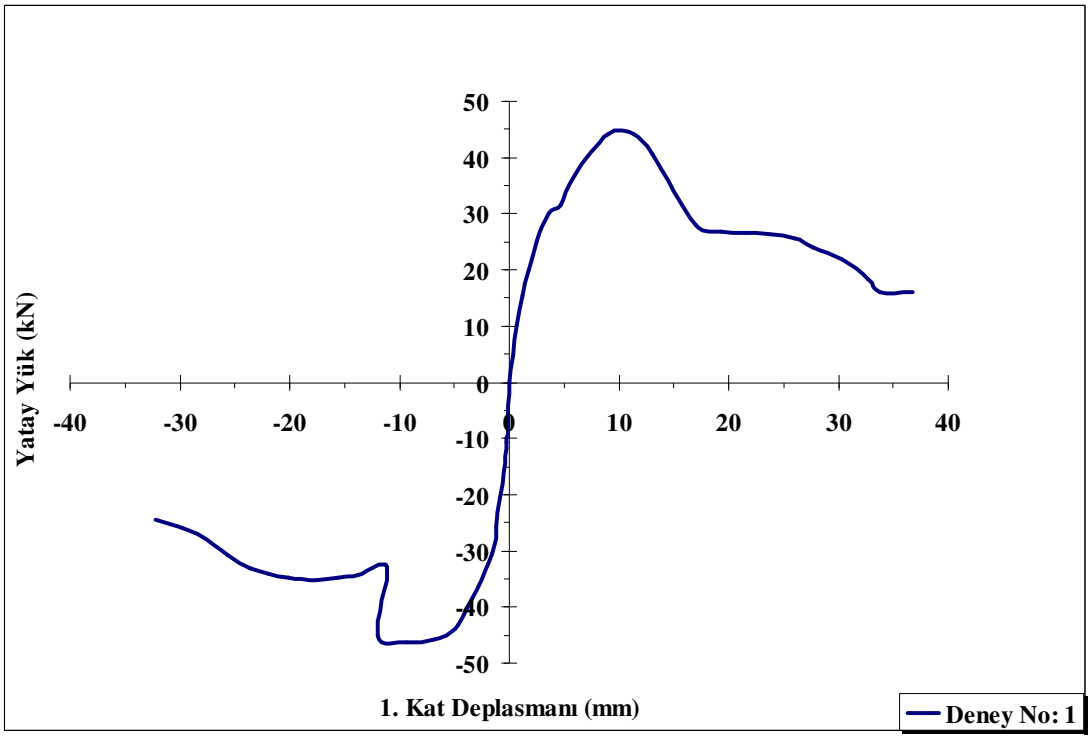
Şekil 5.23. 1. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği



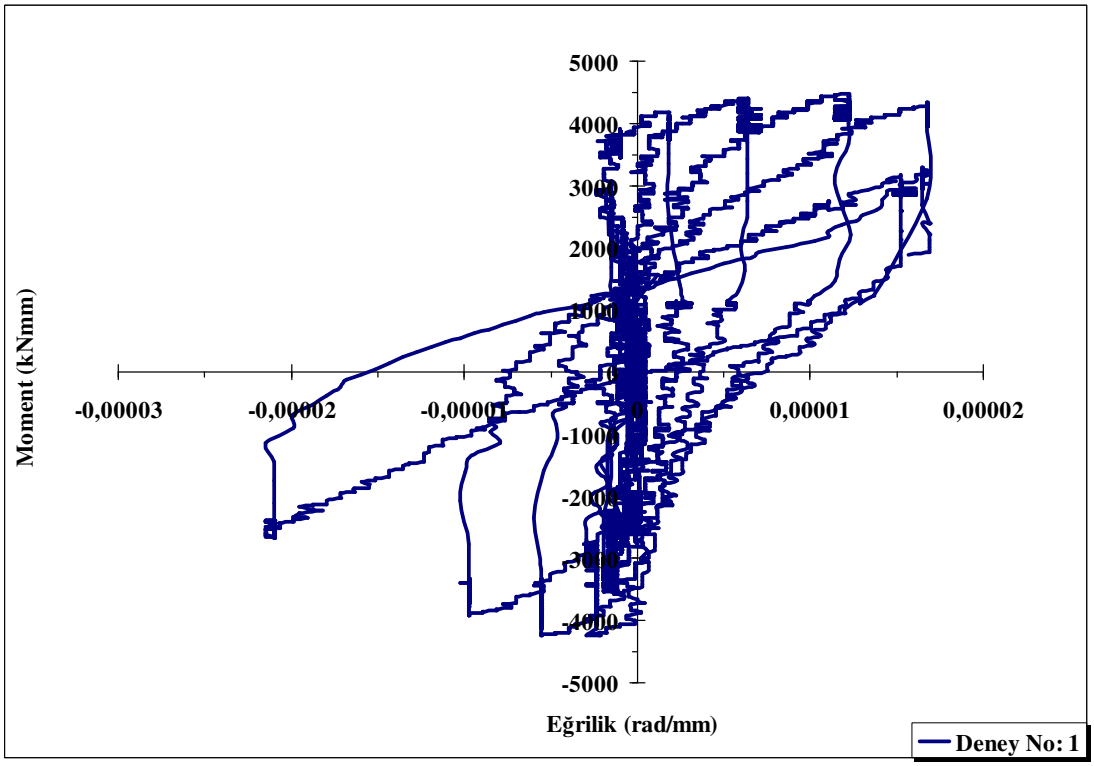
Şekil 5.24. 1. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği



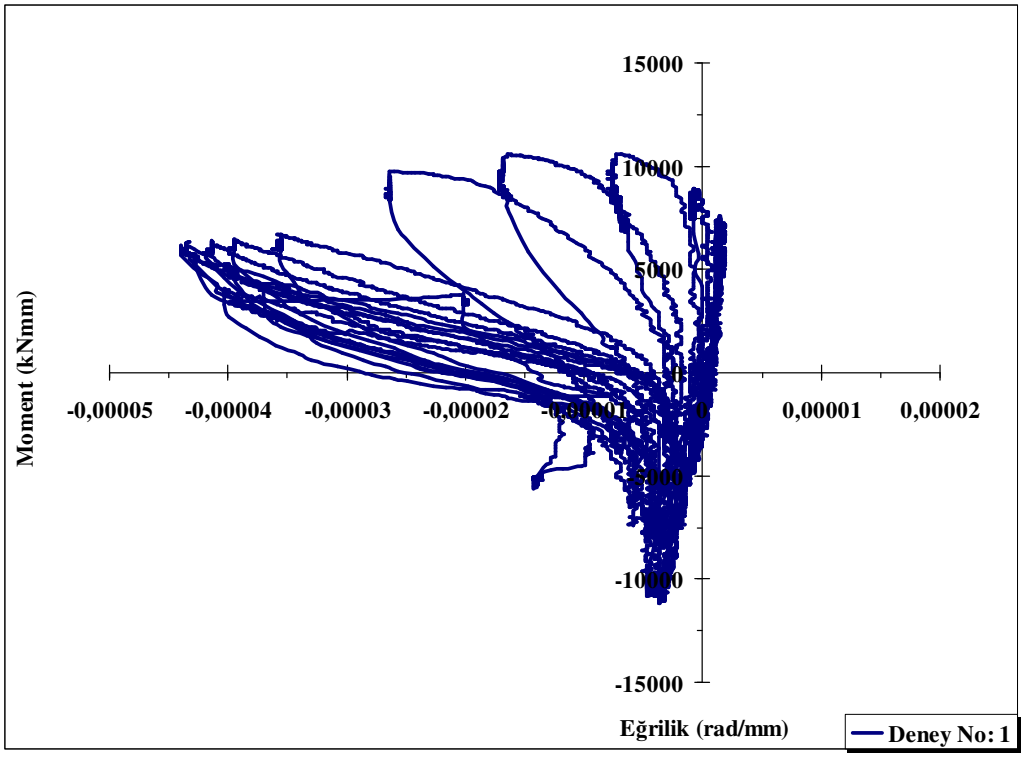
Şekil 5.25. 1. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği



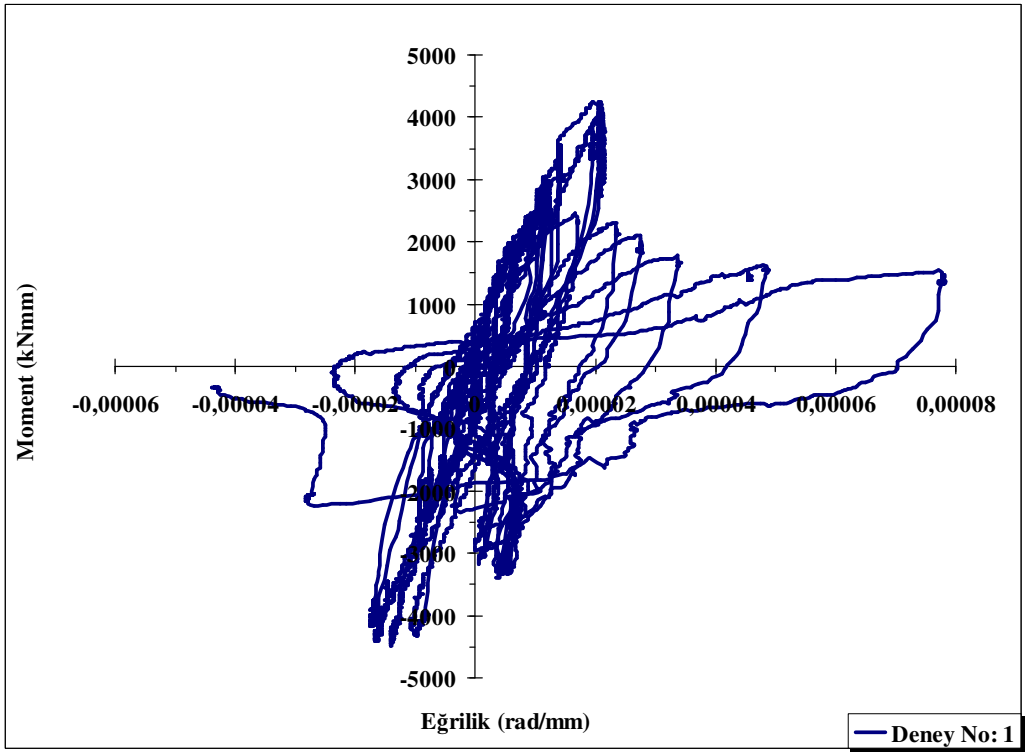
Şekil 5.26. 1. deney numunesine ait yatay 1. kat dayanım zarfı grafiği



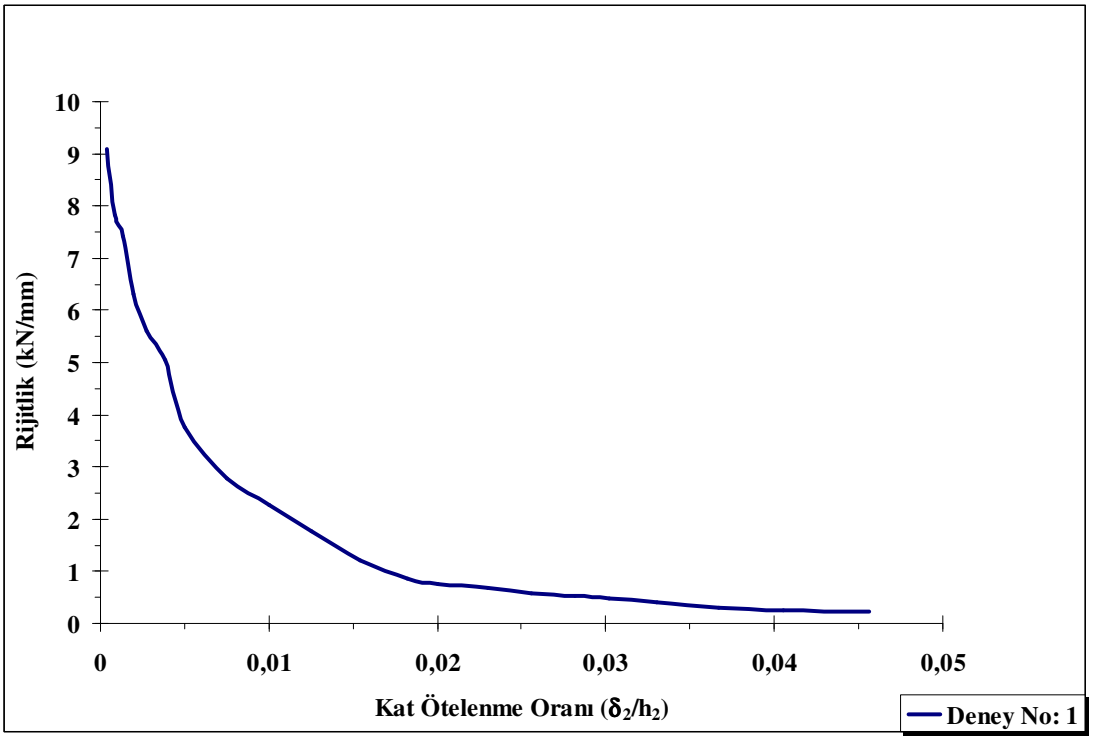
Şekil 5.27. 1. deney numunesine ait S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



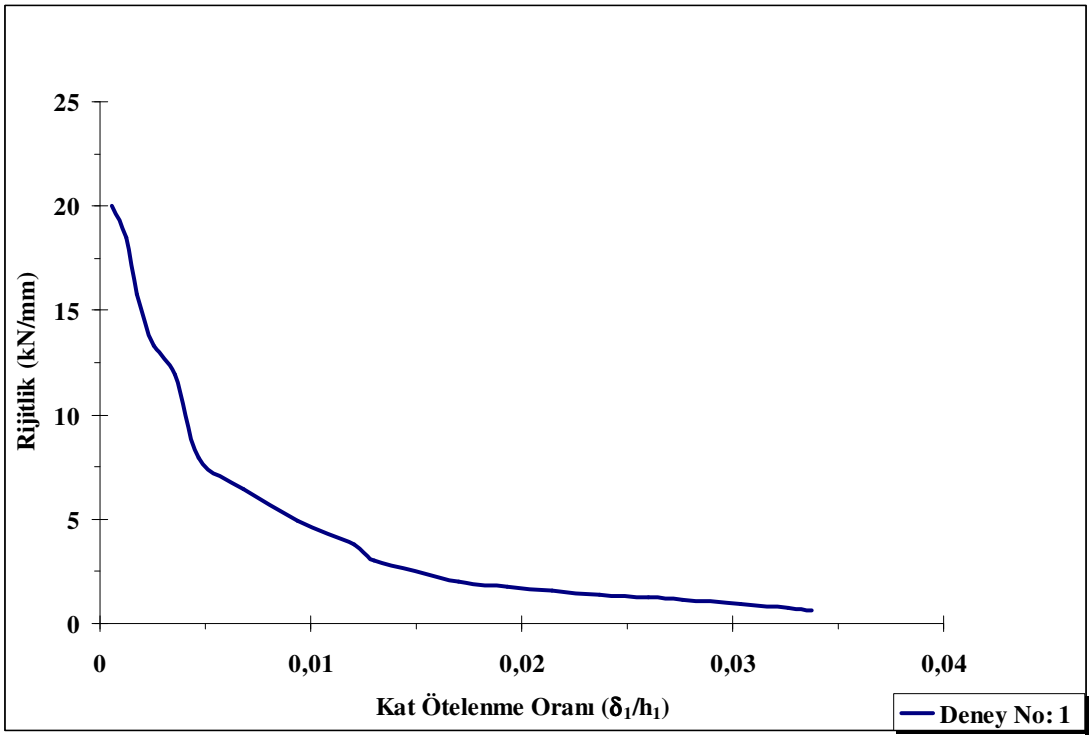
Şekil 5.28. 1. deney numunesine ait S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



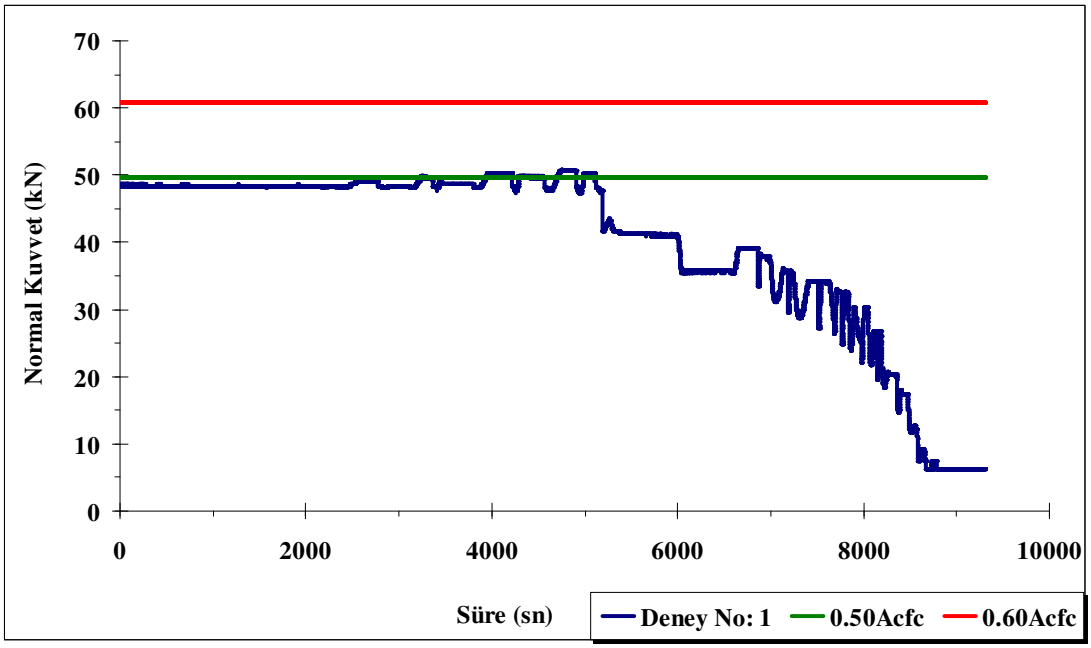
Şekil 5.29. 1. deney numunesine ait S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



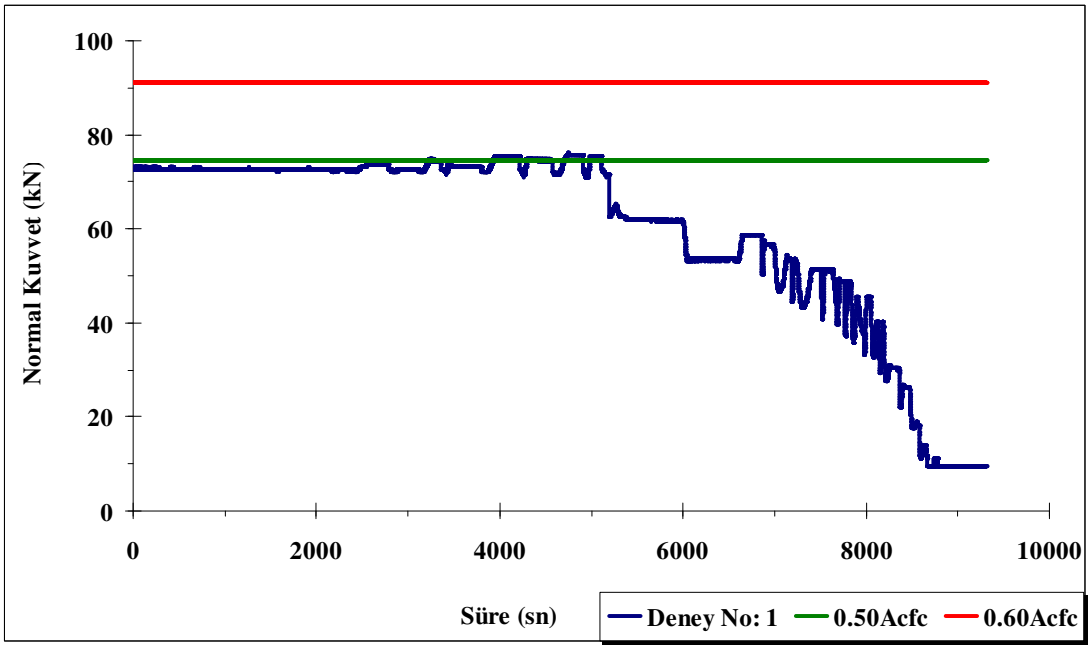
Şekil 5.30. 1. deney numunesine ait 2. kat (üst kat) rijitlik azalım grafiği



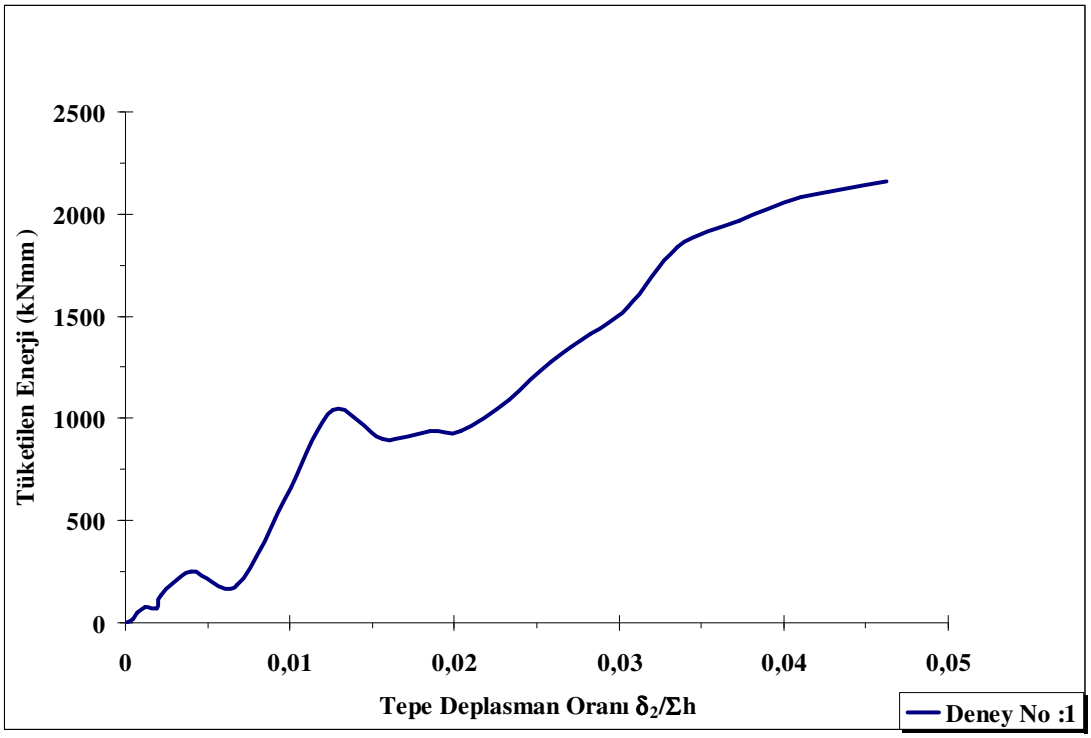
Şekil 5.31. 1. deney numunesine ait 1. kat (alt kat) rijitlik azalım grafiği



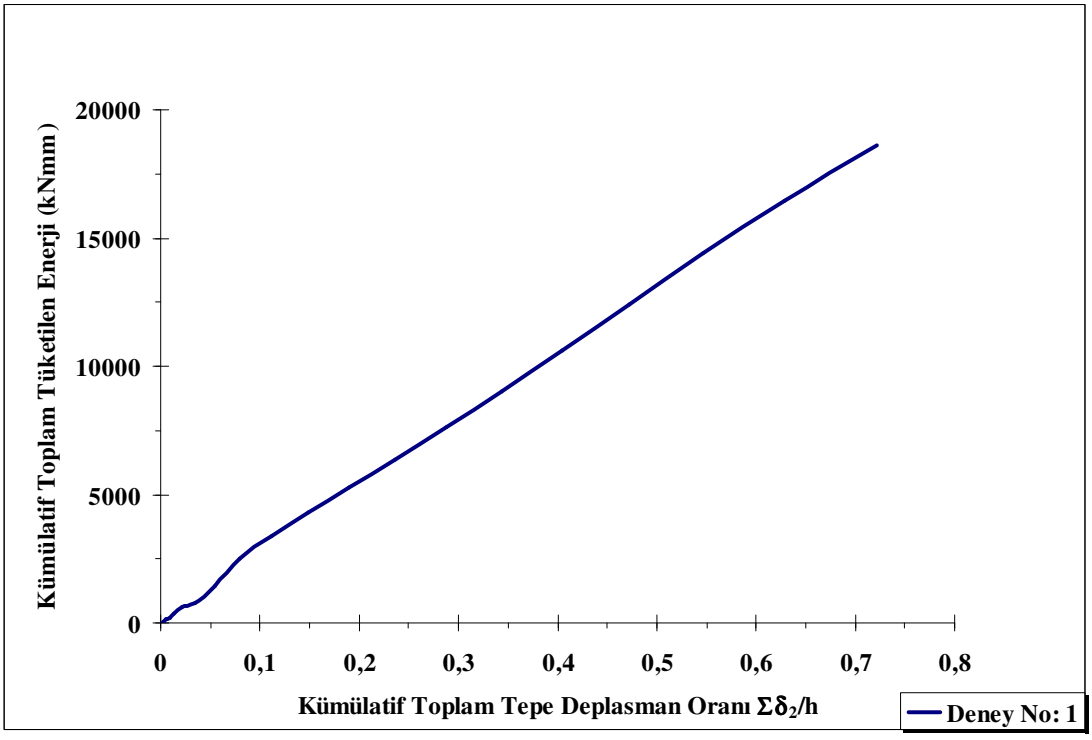
Şekil 5.32. 1. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



Şekil 5.33. 1. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



Şekil 5.34. 1. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)

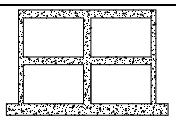


Şekil 5.35. 1. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği

5.2. 2 Nolu (2- BK-KK) Deney (2. Grup Boş Çerçeve)

2 nolu deney numunesi (2- BK-KK), dış perde duvar ile güçlendirme yapılmamış olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan boş çerçeve elemanıdır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.4.'de verilmiştir. Bu deneyin amacı ve özelliği, mevcut betonarme bina stoğunun büyük çoğunluğunda bulunan tasarım ve yapım kusurlarını temsil eden betonarme çerçeve elemanının, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin ve deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip betonarme çerçevenin dış perde duvar ile güçlendirmesi sonucunda değişen davranış özelliklerinin belirlenmesine temel teşkil edecek olmasıdır.

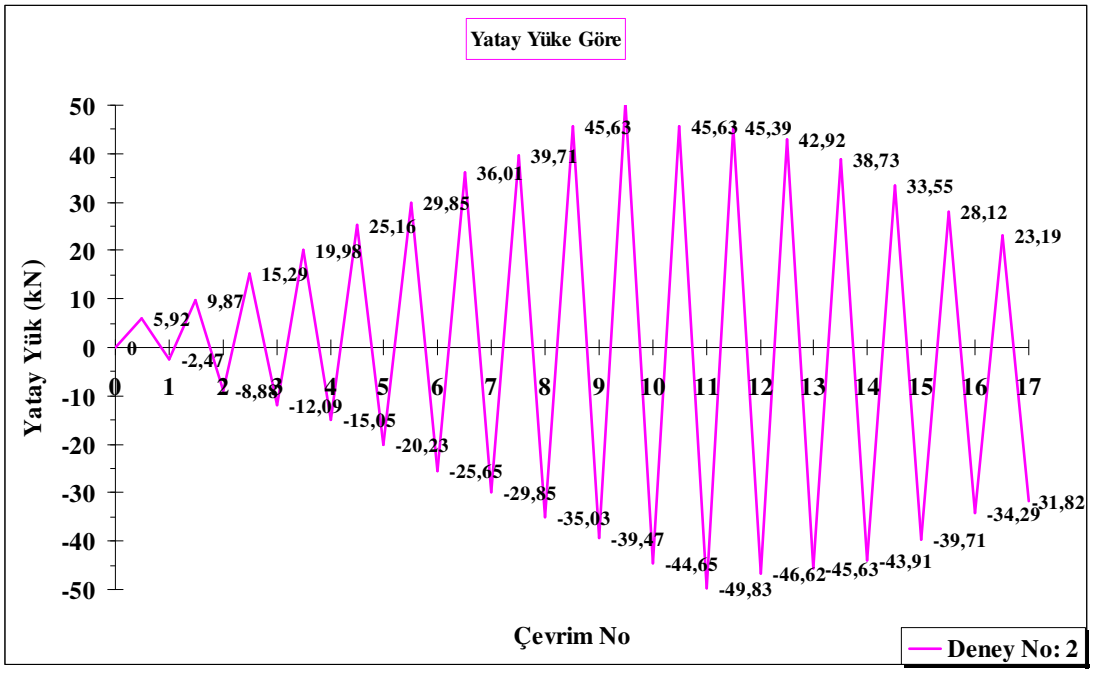
Çizelge 5.4. 2. deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesi	Çerçeve tipi	Kolonların Eksenel Yük Seviyesi (N_d/N_r)	Kolonların Boyuna Donatı Oranları (ρ_t)	Betonun Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)		
					ϕ4	ϕ6	ϕ8
Deney-2-BK-KK		0.5~0.6	0.023	13.255	335/469	450/550	375/490

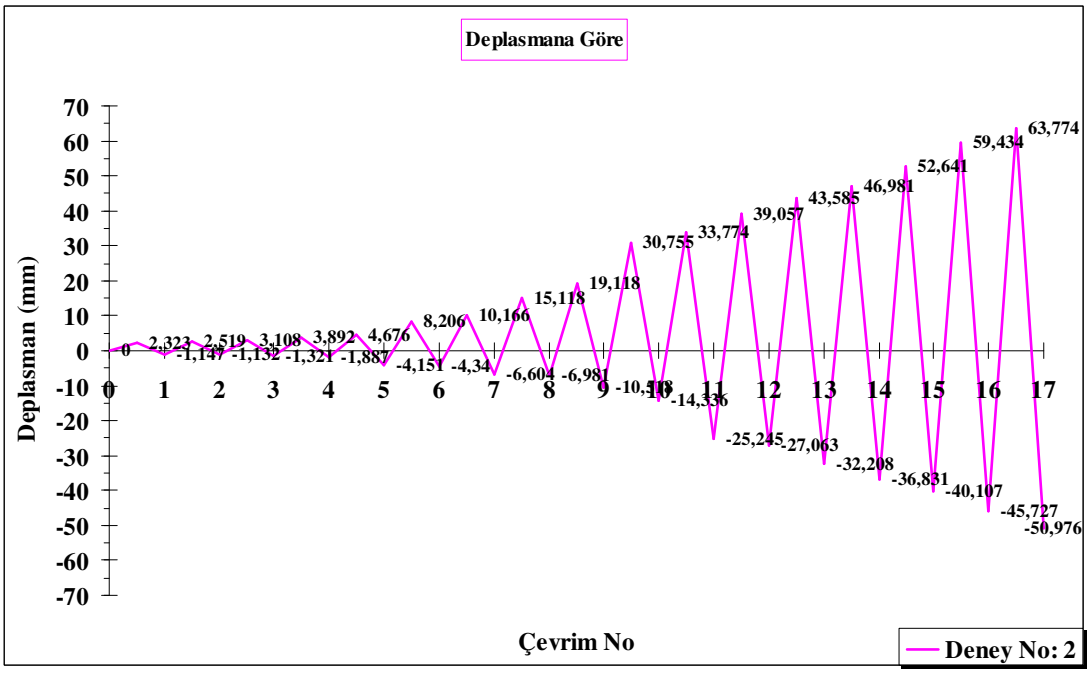
2 nolu deney numunesinin deneyden önceki durumu Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Ayrıca, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.36. 2. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü



a) 2. deney numunesinin yük geçmişi (yatay yüke göre)



b) 2. deney numunesinin yük geçmişi (tepe deplasmana göre)

Şekil 5.37. 2. deney numunesinin yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, çerçeveye üst kat kirişi hizasından uygulanan yatay yük ve üst kattan ölçülen deplasmana göre ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programından da izlenebileceği gibi, sistemin akması ile birlikte yükleme, yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçmiştir. Yükleme programına göre, 5 kN'luk artışlarla 50 kN'a kadar gidilmiş, bu noktadan sonra sistem aktığı için deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek, 5 mm'lik artışlarla, göçmeye kadar deplasman kontrollü yükleme devam etmiştir.

Çerçeve sisteminde ilk çatlak, 4. ileri çevrimde K101 kirişinin sağ alt mesnetinde 20 kN yatay yükte ve 4.678 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (İlk çatlağın oluştuğu bu yük seviyesi sistemin elastik sınırıdır) (Şekil 5.38). 5. çevrimden sonra TDY-98'in vermiş olduğu deplasman üst sınır değeri (0.0035 x h = 0.0035 x 2000 = 7.00 mm) aşılmıştır. Bu durumda sistemde farklı bölgelerde toplam 9 adet çatlak sayılmış ve kolonlarının hiçbirinde çatlak görülmemiştir. Bu adımdan sonra kolonlardaki ilk çatlak meydana gelmiştir. Çerçeve sisteminde kolonlarda oluşan ilk çatlak, 6. ileri çevrimde S101 kolonunun sağ alt ucunda (mesnette) 30 kN yatay yükte ve -8,34 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (Şekil 5.39).

2 nolu çatlak 1 nolu çatlak ile aynı anda K102 kirişinin sol üst mesnetinde, 20 kN yatay yük altında meydana gelmiştir. 3 ve 4 nolu çatlaklar, 4. geri çevrimde -20 kN yatay yük altında sırayla K101 kirişinin sol alt köşesinde, K102 kirişinin sağ üst mesnetinde meydana gelmiştir. 5. çevrimde, 25 kN yük ve 7.43 mm tepe deplasmanında, K101 kirşinin sol ucunda kolon yüzünde 5 nolu çatlak, K102 kirişinin sağ ucunda altta 6 nolu çatlak ve K101 kirşinin sol ucunda üstte 7 nolu çatlak oluşmuştur(yönetmelik deplasman sınırı).

Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasında alınan önemli notlar Çizelge 5.5'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen ve ölçülen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir. İleri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.



Şekil 5.38. 2. deney numunesinde K101 kirişi sağ alt mesnetinde oluşan 1 nolu çatlak ve K102 sol üst mesnetinde oluşan 2 nolu çatlak(elastik sınır)



Şekil 5.39. 2. deney numunesinde S101 kolonu sağ alt ucunda oluşan 10 nolu çatlak (yük; 30 kN, deplasman; -8,34 mm)

Çizelge 5.5. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
1.1	5	0,55	-
1.2	-5	-0,774	-
2.1	10	2,22	-
2.2	-10	-1,4	-
3.1	15	3,3	-
3.2	-15	-1,745	-
4.1	20	4,678	**1 nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinde altta oluştu. 2** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu.
4.2	-20	-1,743	**3** nolu çatlak *K101* kirişinin sol mesnetinin sol alt köşesinde oluştu. **4** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu.
5.1	25	7,43	**5** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda kolon yüzünden 29 cm içeride oluştu. **6** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu. **7** nolu çatlak *K101* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu.
5.2	-25	-3,486	**8** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda mesnetten 15,5 cm içeride oluştu. **9** nolu çatlak *K102* kirişinin sol alt mesnetinde oluştu.
6.1	30	8,34	4 ve 6 nolu çatlaklar birleşti. **10 nolu çatlak *S101* kolonunun alt ucunda sağda oluştu.**
6.2	-30	9,321	-
7.1	35	12,110	**11** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinden 14 cm içeride oluştu. **12** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinden 27 cm içeride oluştu. **13** nolu çatlak *S102* kolonunun

Çizelge 5.5.devamı. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			alt ucunda sağda oluştu. **14** nolu çatlak *S103* kolonunun alt ucunda sağda oluştu.
7.2	-35	-8,073	**15** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinde üstte oluştu. **16** nolu çatlak *S103* kolunun alt ucunda solda oluştu. **17** nolu çatlak *S102* kolonunun alt ucunda solda oluştu. **18** nolu çatlak *S101* kolonunun alt ucunda solda oluştu.
8.1	40	13,211	8 nolu çatlak aşağıya doğru uzadı. 6 nolu çatlak çatallaştı.**19** nolu çatlak orta düğüm noktasında oluştu. 2 nolu çatlak ilerledi. **20** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 10 cm içeride oluştu. **21** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 39 cm içeride oluştu. **22** nolu çatlak *K201* kirişinin sağ ucunda altta oluştu. **23** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 13 cm içeride oluştu. **24** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 6 cm içeride oluştu.
8.2	-40	-11,009	21 nolu çatlak ilerledi. 20 nolu çatlak kiriş altına doğru uzadı. 11 nolu çatlak kiriş üst ucuna uzadı. **25** nolu çatlak *K202* kirişinin sol ucunda içe (kolona)doğru çapraz oluştu. **26** nolu çatlak *S201* kolonunun üst ucunda sağda oluştu.

Çizelge 5.5.devamı. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
9.1	45	18,59	**27** nolu çatlak sol kenar düğümde soldan sağa doğru çapraz oluştu. **28** nolu çatlak *S203* kolonunun üst ucunda solda oluştu. 13 nolu çatlak üste doğru çatallandı. ***S102* kolonu alt ucu sağ tarafında ezilme başladı.**
9.2	-45	-17,339	1 ve 15 nolu çatlaklar birleşti. **29** nolu çatlak *K102* kirişinin ortalarında üstte mesnetten 60 cm içeride oluştu. **30** nolu çatlak orta düğüm noktasında 19 nolu çatlakla dik çapraz olarak oluştu. **31** nolu çatlak *S101* kolonunun üst düğümünde çapraz oluştu. **32** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinden 52 cm içeride üstte oluştu. **33** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda mesnetten 24 cm içeride oluştu. 5 nolu çatlak kiriş alt ucuna doğru ilerledi.
10.1	50.57	28,281	**34** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda mesnetten 42 cm içeride oluştu. 22 nolu çatlak yatay olarak ilerledi. *S101* ve *S102* kolonlarının alt uçlarında ezilme çatlakları görüldü. *S202* kolonunun alt ucunda kiriş yüzeyine paralel kolon boyunca **35** nolu çatlak oluştu.
10.2	-50	-28,624	32 nolu çatlak aşağıya doğru ilerledi. 7 nolu çatlak kolon dış yüzüne doğru ilerledi. 25 nolu çatlak yatay olarak ilerledi. **36** nolu çatlak S102 kolonunun üst ucunda oluştu. **37** nolu çatlak *S103* kolonunun üst ucunda sağda oluştu. *S103* kolonunun üst ucunda kolon-

Çizelge 5.5.devamı. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

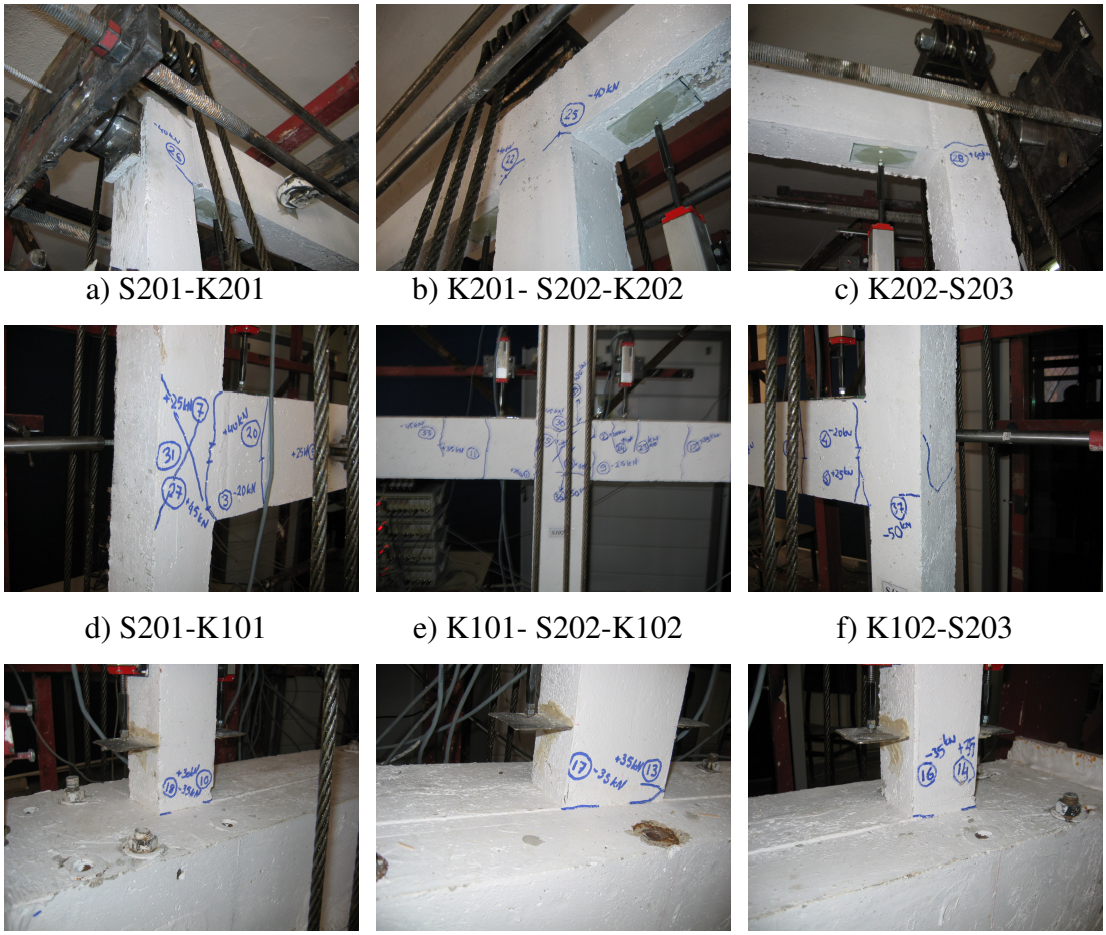
Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			kiriş birleşim bölgesinde ve alt ucunda ezilmeler görüldü. 28 nolu çatlak ilerledi.
11.1	45,39	30	**38** nolu çatlak *S103* kolonunun üst ucunda çapraz oluştu. **39** nolu çatlak *S201* kolonunun üst ucunda solda oluştu. **40** nolu çatlak *S103* kolonunun üst düğümünde aşağıya doğru oluştu. *S101* kolonunun alt ucunda ezilme görüldü. **41** nolu çatlak *S101* kolonunun üst düğümünde çapraz oluştu.
11.2	-46,62	-30	*S103* kolonunun alt ucunda sağda ezilmeler belirginleşti. 2 nolu çatlak çapraz olarak aşağıya doğru ilerledi. 22 ve 25 nolu çatlaklar birleşti. 26 nolu çatlak çatallaştı ve ilerledi. **42** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinden 52 cm içeride oluştu. 4 nolu çatlak 1.5 mm açıldı.
12.1	45,39	35	6 nolu çatlak 2.5 mm açıldı. **43** nolu çatlak *S101* kolonunun alt ucunda tabandan 6 cm yukarıda oluştu.
12.2	-46,62	-35	*S102* ve *S202* kolonlarının alt ucunda sağda ezilmeler görüldü.
13.1	43,41	40	*S203* kolonunun üst ucunda sağda, *S201* kolonunun üst ucunda sağda ve solda ezilmeler oluştu.
13.2	-43	-40	*S203* kolonunun üst ucu ezildi.
14.1	37	45	-
14.2	-39	-45	-
15.1	33	50	-

Çizelge 5.5.devamı. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
15.2	-33,5	-50	-
16.1		55	Orta düğüm noktası ≈10 cm düzlemden dışarıda.
16.2	-31,08	-55	8 nolu çatlak çatallandı(tarafsız eksenden). 44 nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucundan 57 cm içeride üstte oluştu.
17.1	23,43	60	-
17.2	-2,935	-60	-
18.1		70	-
18.2		-70	-

Not: Bu çizelgedeki yük ve deplasman değerleri, deney sırasında bilgisayar monitöründen görülüp anlık olarak yazıldığı için, grafiklerdeki değerlerle buradaki değerler arasında küçük farklılıklar olabilmektedir.

Deney numunesi 10. geri çevrimden sonra akmaya başlamış ve yük-deplasman eğrisi ve çevrimlerin eğimi azalmıştır (akma yükü, ≈35 kN). Akma yükünde 12.11 mm deplasman ölçülmüştür. Akma konumunda çerçeve düğüm noktalarının durumu Şekil 5.40, çerçevenin hasar durumu ise, Şekil 5.41'de verilmiştir.



a) S201-K201 b) K201- S202-K202 c) K202-S203

d) S201-K101 e) K101- S202-K102 f) K102-S203

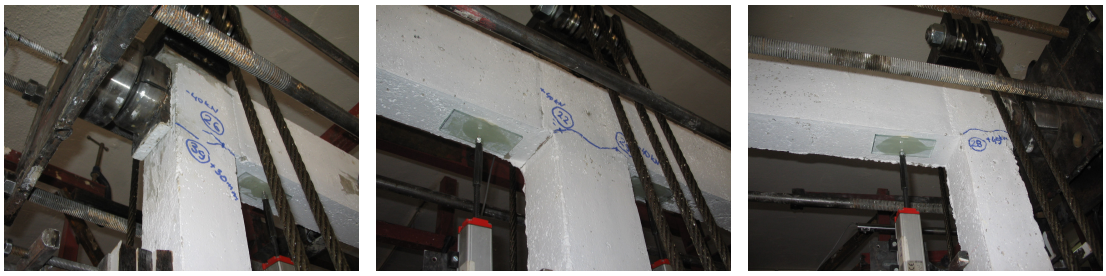
g) S101-Temel h) S102-Temel i) S103-Temel

Şekil 5.40. 2. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu

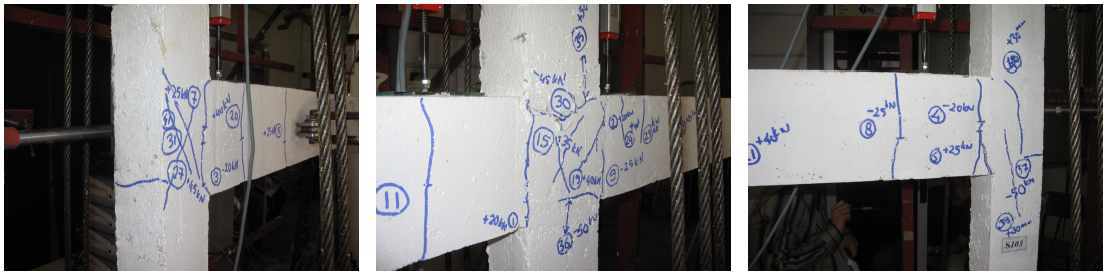


Şekil 5.41. 2. deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu

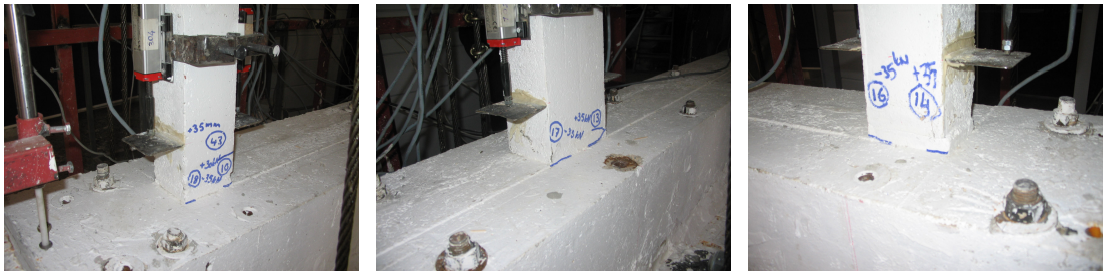
Şekil 5.42'de, deney numunesi düğüm noktalarının maksimum yük altındaki durumu verilmiştir. Şekil 5.43'de ise, çerçevenin maksimum yük altındaki genel görünümü verilmiştir.



a) S201-K201 b) K201- S202-K202 c) K202-S203



d) S201-K101 e) K101- S202-K102 f) K102-S203



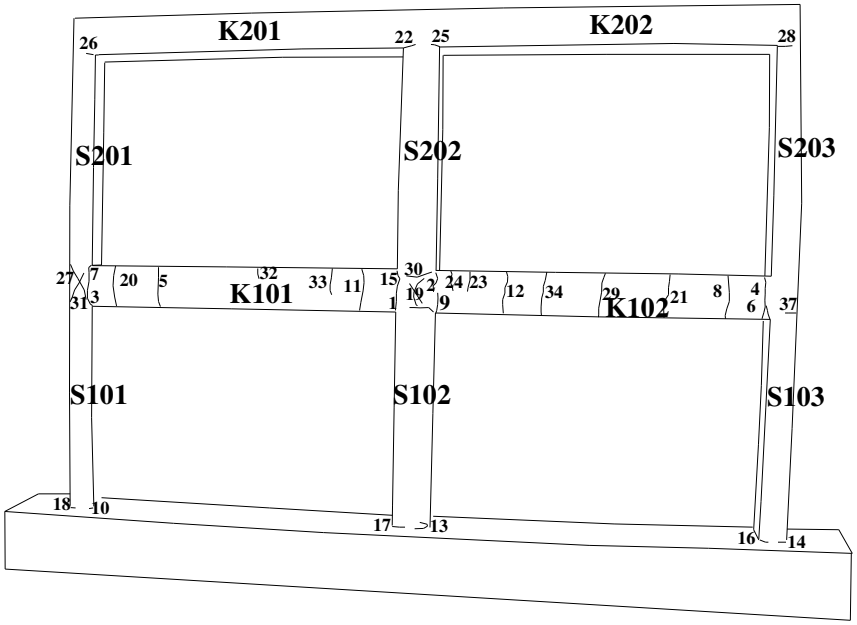
g) S101-Temel h) S102-Temel i) S103-Temel

Şekil 5.42. 2. deney numunesi düğüm noktalarının maksimum yük konumundaki hasar durumu

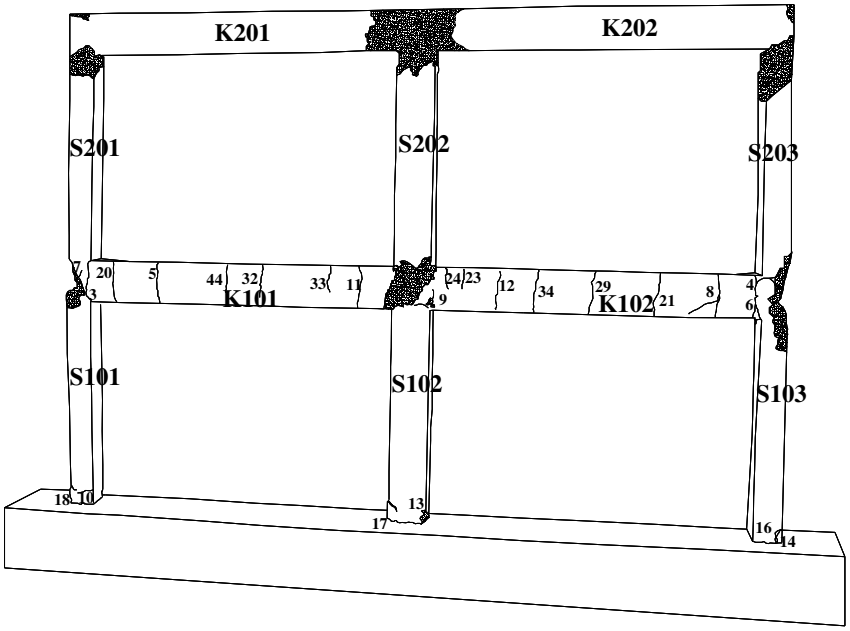


Şekil 5.43. 2. deney numunesinin maksimum yük anındaki görünüşü

13. çevrimden sonra oluşan plastik mafsallarla birlikte çerçevenin hiperstatiklik derecesi azalmış ve yatay yük taşıma kapasitesi düşmeye başlamıştır. Deney sonunda ulaşılan toplam tepe deplasman (üst kat kirişi yatay ötelenmesi) 70 mm olmuştur. Şekil 5.44'de 2. deney numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlaklar, Şekil 5.45 ise deney sonundaki çatlaklar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.44. 2. deney numunesinin maksimum yüklemedeki hasar durumu(şematik olarak)



Şekil 5.45. 2. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)

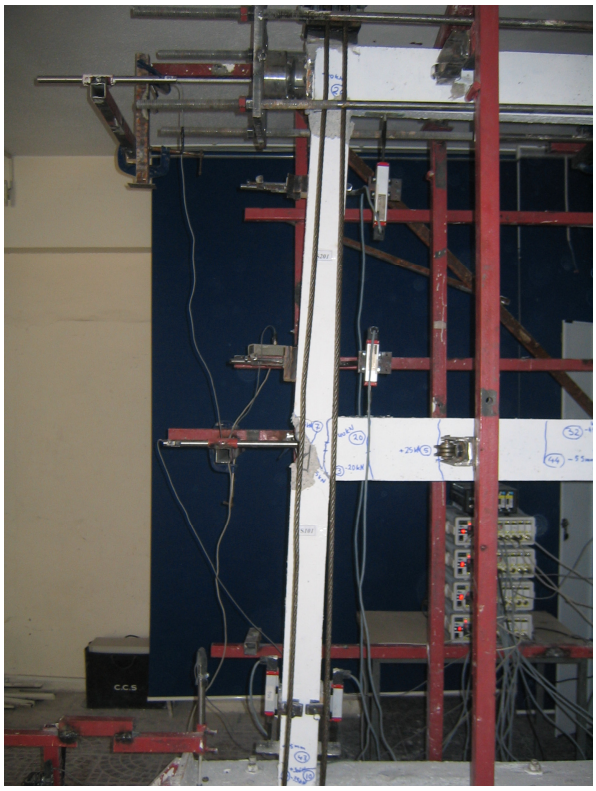


Şekil 5.46. 2. deney numunesinin deney sonu görünüşü

Deneyin sonuna doğru orta kolon üstüne yerleştirilen eksenel yük aktaran makara sistemi o bölgedeki betonun ezilerek dağılması nedeniyle yerinden kaymıştır(Şekil 5.47). Bu nedenle deney -70 mm deplasmandan sonra sona erdirilmiştir. Deney numunesinin deney sonundaki hasar durumu Şekil 5.48-Şekil 5.55'de verilmiştir.



Şekil 5.47. Deney sonuna doğru yerinden kayan eksenel yük düzeneği



Şekil 5.48. 2. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.49. 2. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.50. 2. deney numunesinin sağ kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



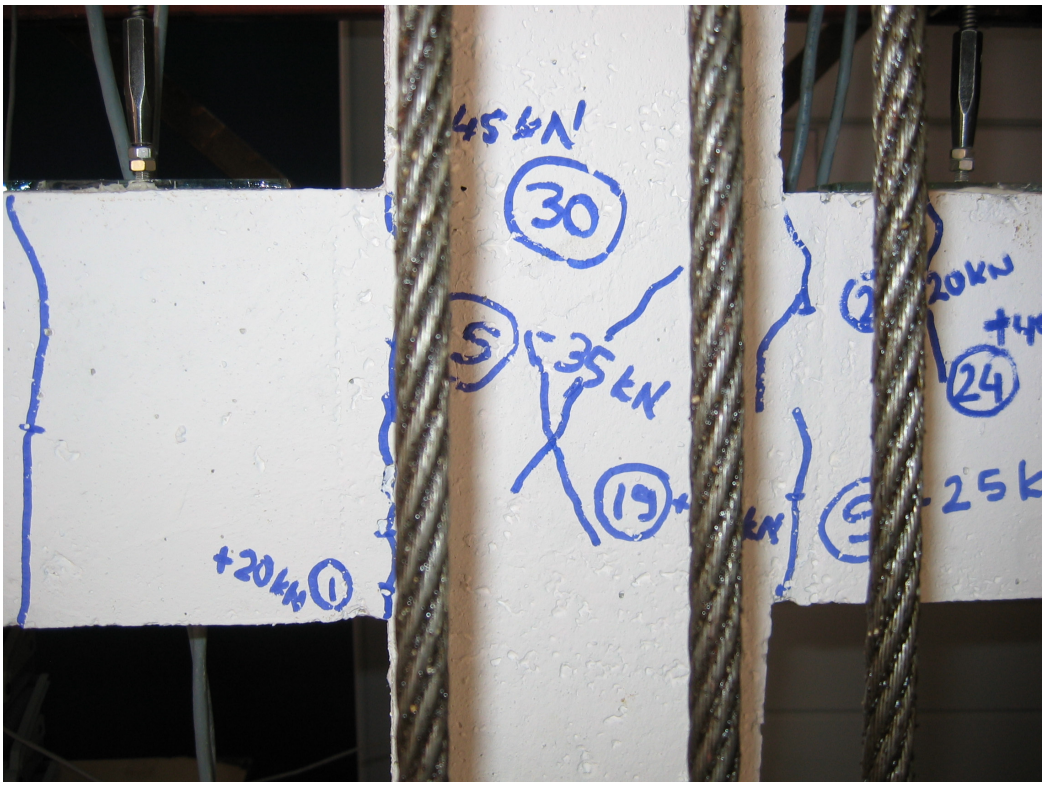
Şekil 5.51. 2. deney numunesinin 1. kat sağ kenar düğümünde meydana gelen hasar



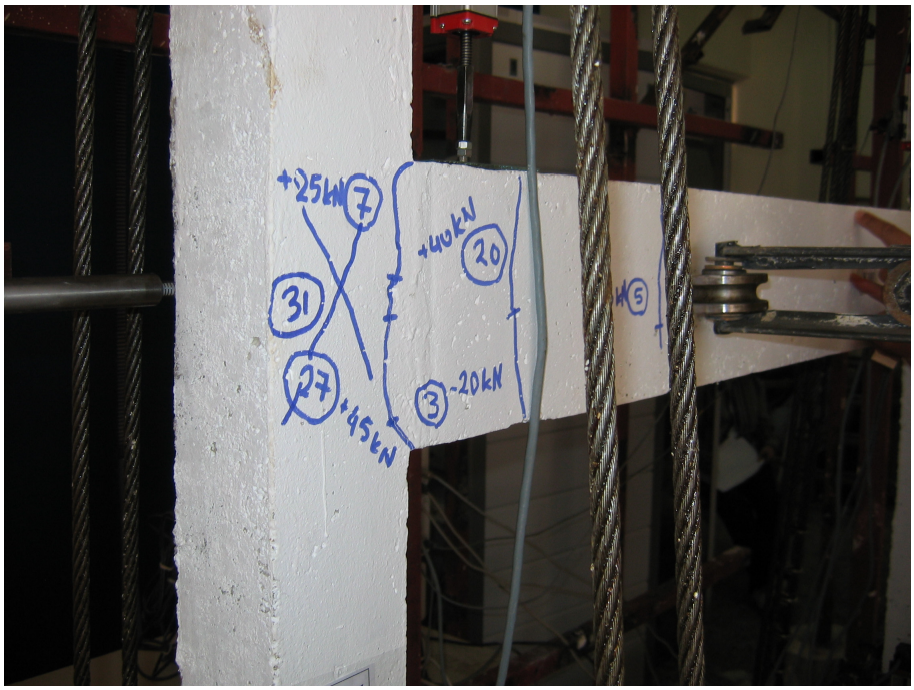
Şekil 5.52. 2. deney numunesinin sağ kenar kolonunun hasar durumu



Şekil 5.53. 2. deney numunesinin kolon alt uçlarında meydana gelen hasarlar

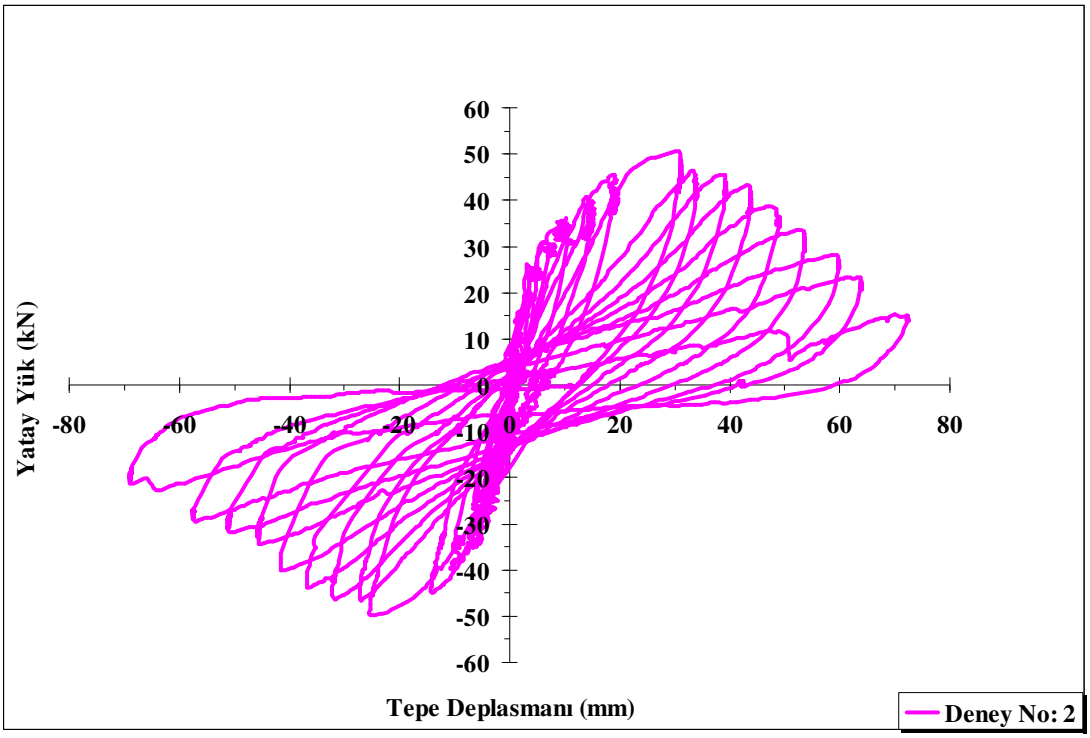


Şekil 5.54. 2. deney numunesinin 1. kat orta düğümünde meydana gelen kesme çatlağı

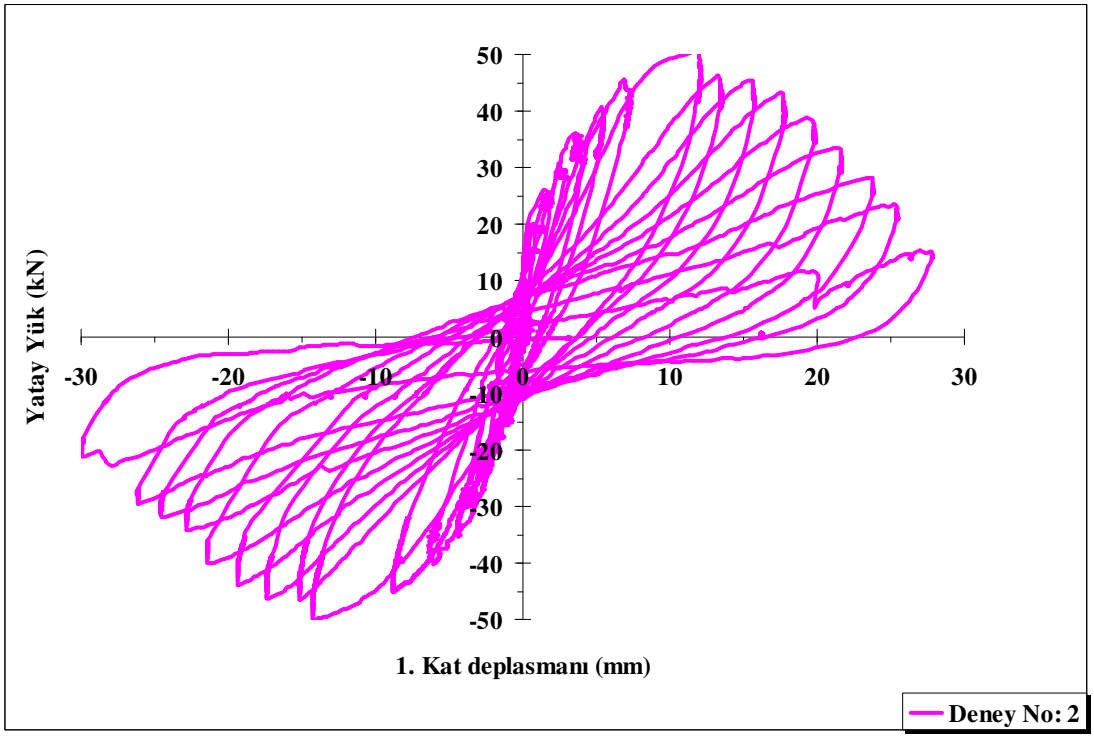


Şekil 5.55. 2. deney numunesinin 1. kat sol kenar düğümde meydana gelen kesme çatlağı

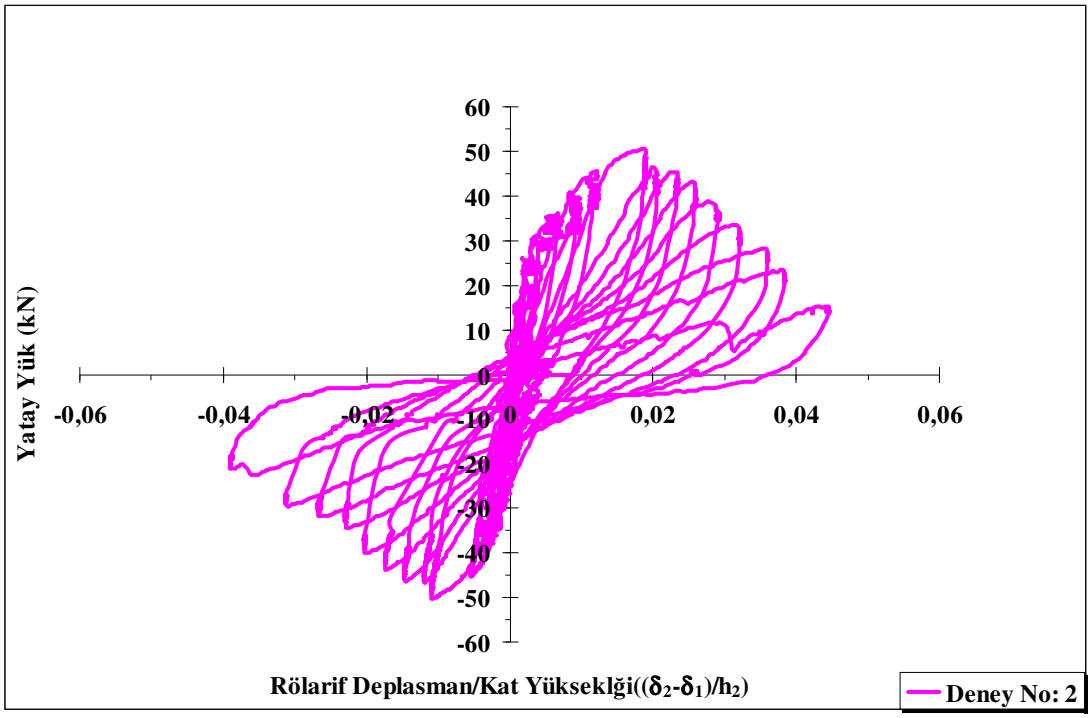
Bu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük–tepe deplasman grafiği Şekil 5.56'da, yatay yük -1. kat deplasman grafiği Şekil 5.57'de, yatay yük–2. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.58'de, yatay yük–1. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.59'da, yatay yük - 2. kat ötelenme grafiği Şekil 5.60'da, yatay yük 2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.61'de, yatay yük- 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.62'de, S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.63'de, S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.64'de, S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.65'de, rijitlik azalım grafikleri Şekil 5.66 ve Şekil 5.67'de, kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi Şekil 5.68 ve Şekil 5.69'da, her bir deplasman aralığı için hesaplanan enerji tüketimi–ötelenme oranı grafiği Şekil 5.70'de, kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat öteleme oranı grafiği de Şekil 5.71'de verilmiştir.



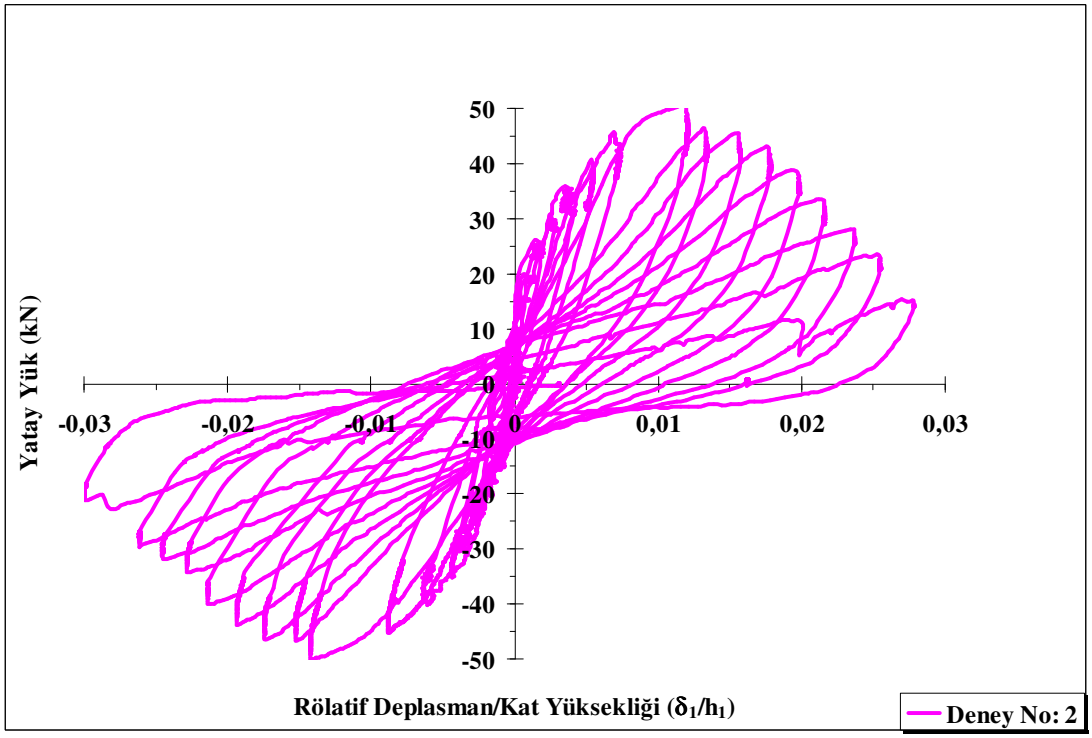
Şekil 5.56. 2. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği



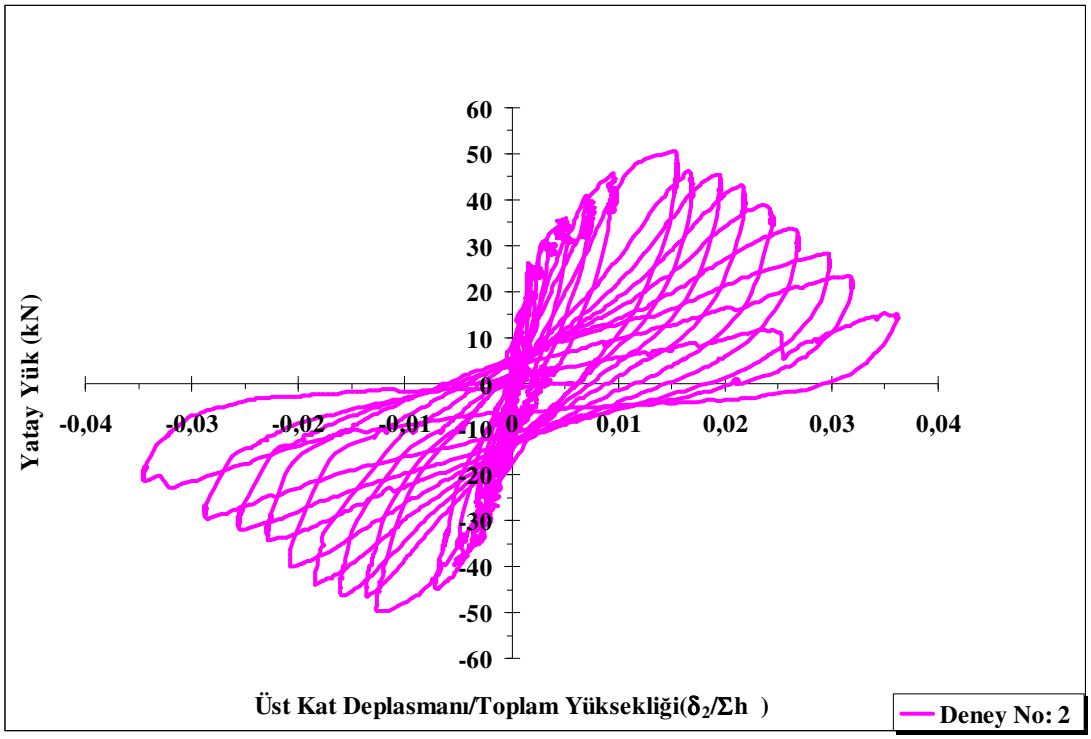
Şekil 5.57. 2. deney numunesine ait 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği



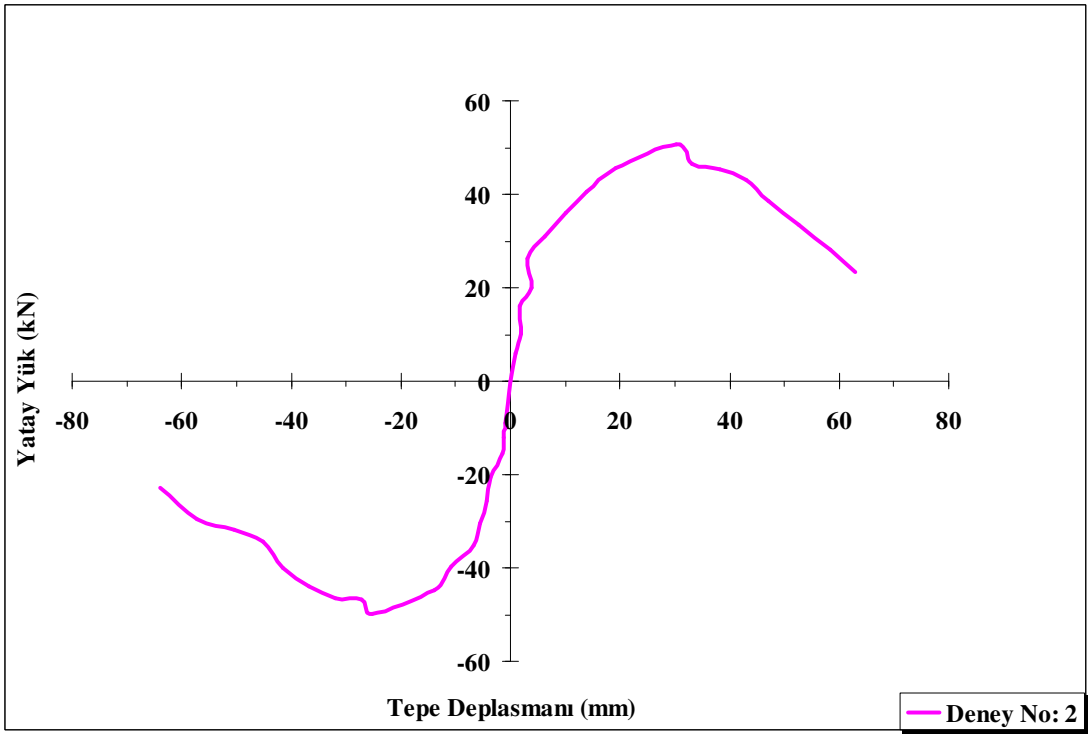
Şekil 5.58. 2. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği



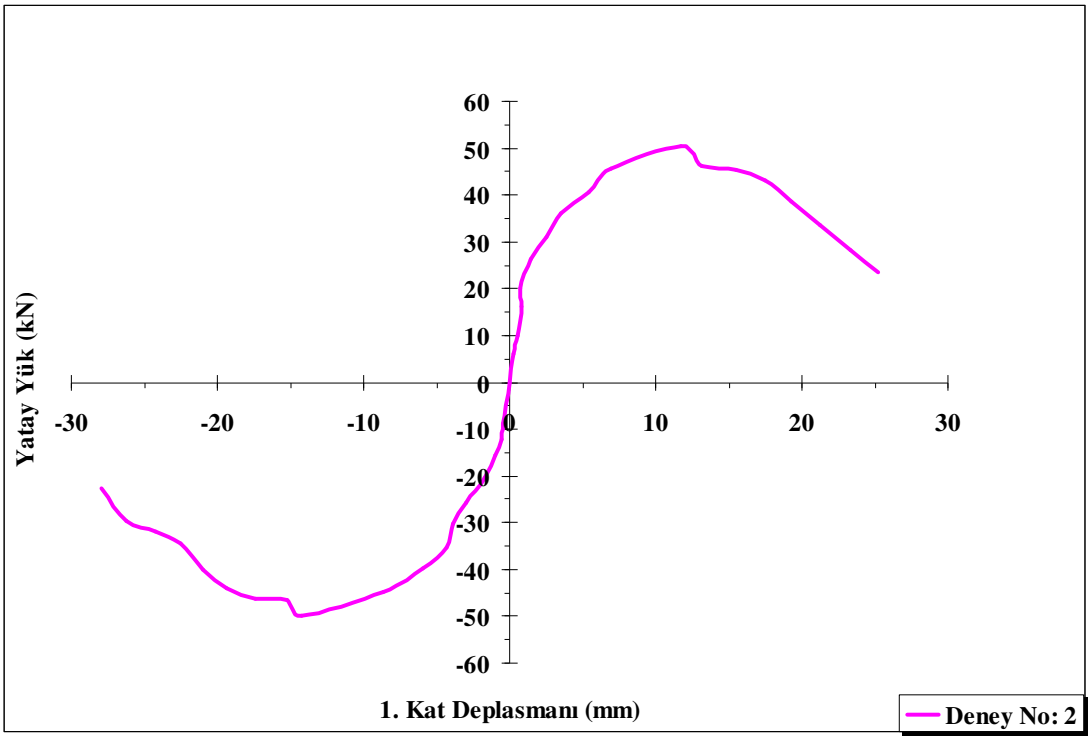
Şekil 5.59. 2. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği



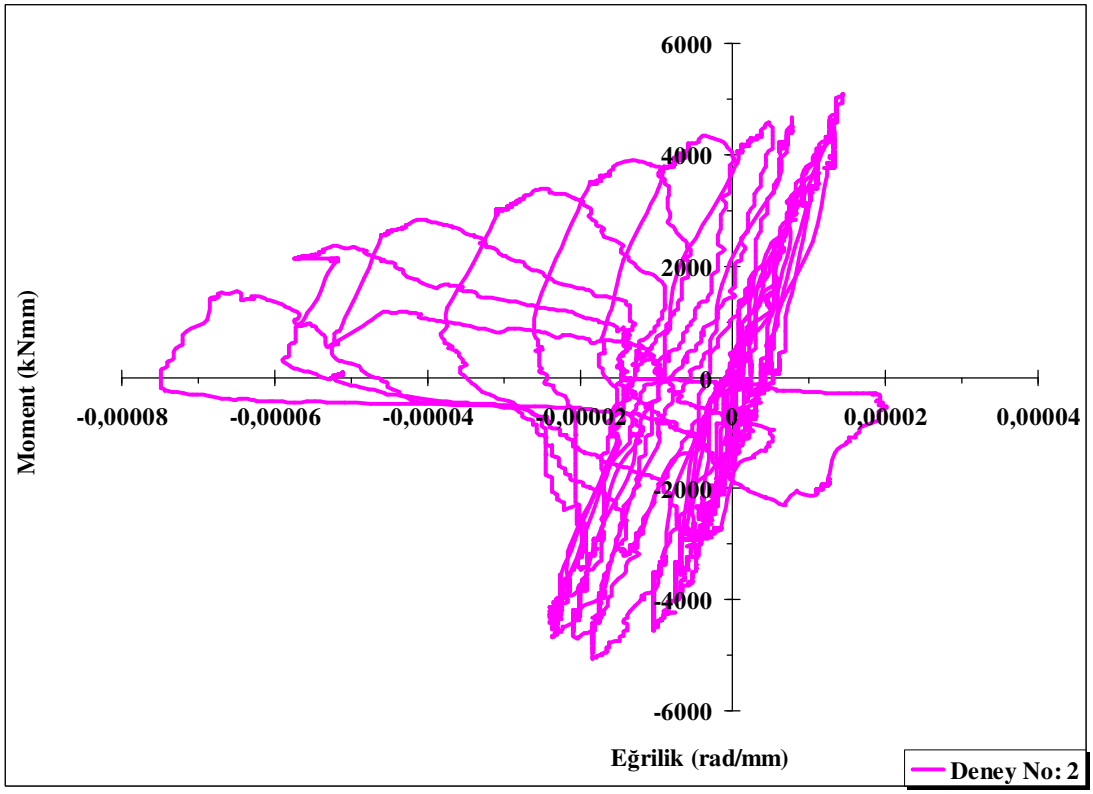
Şekil 5.60. 2. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği



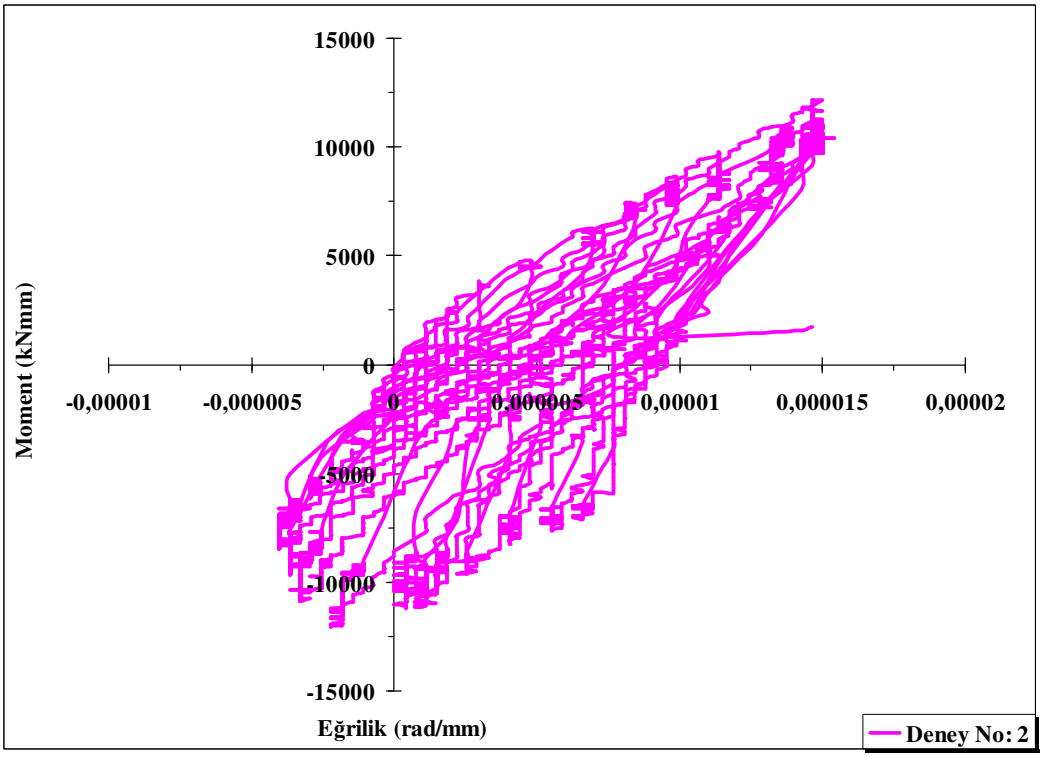
Şekil 5.61. 2. deney numunesine ait 2. kat dayanım zarfı grafiği



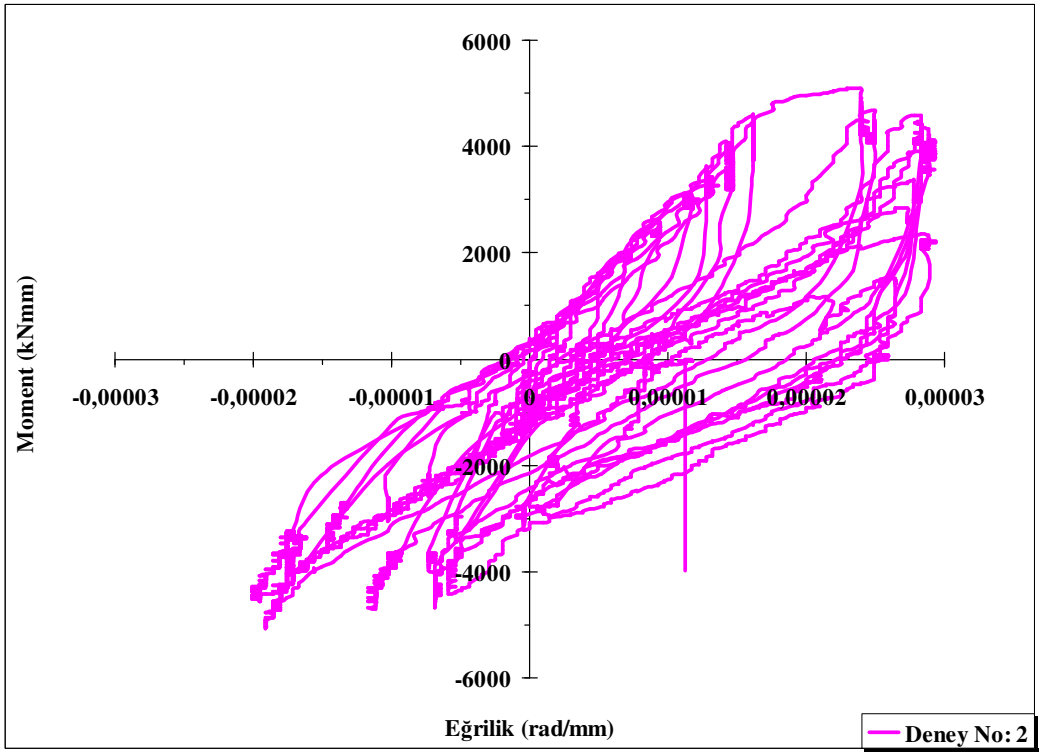
Şekil 5.62. 2. deney numunesine ait 1. kat dayanım zarfı grafiği



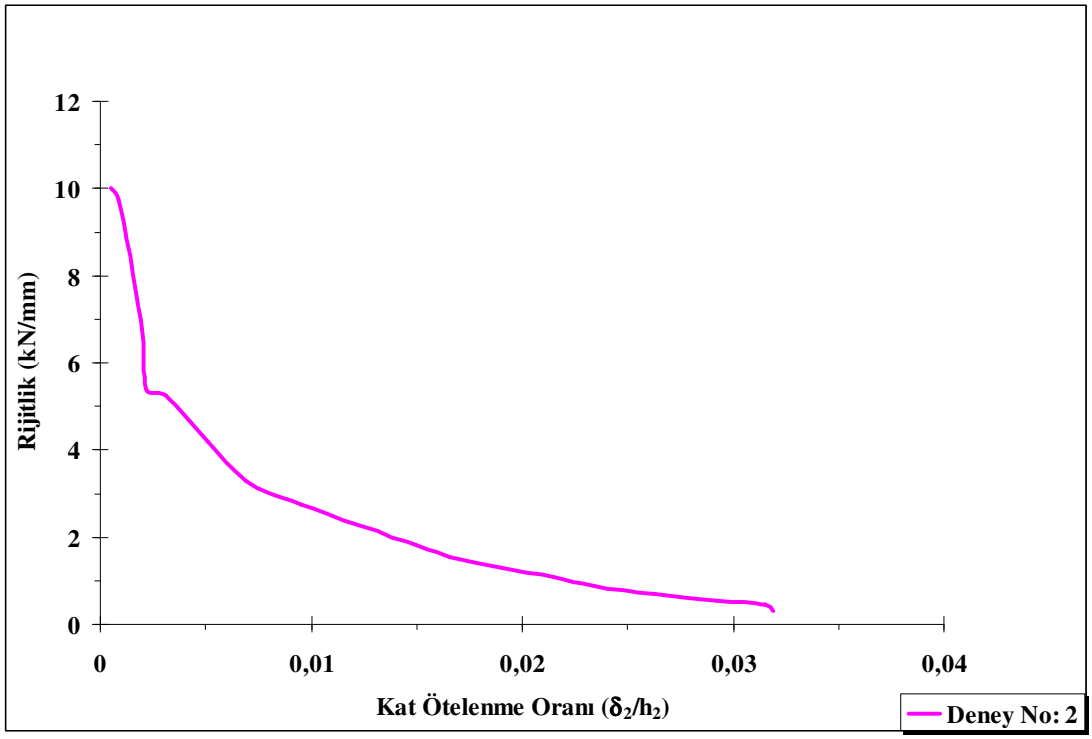
Şekil 5.63. 2. deney numunesine ait S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



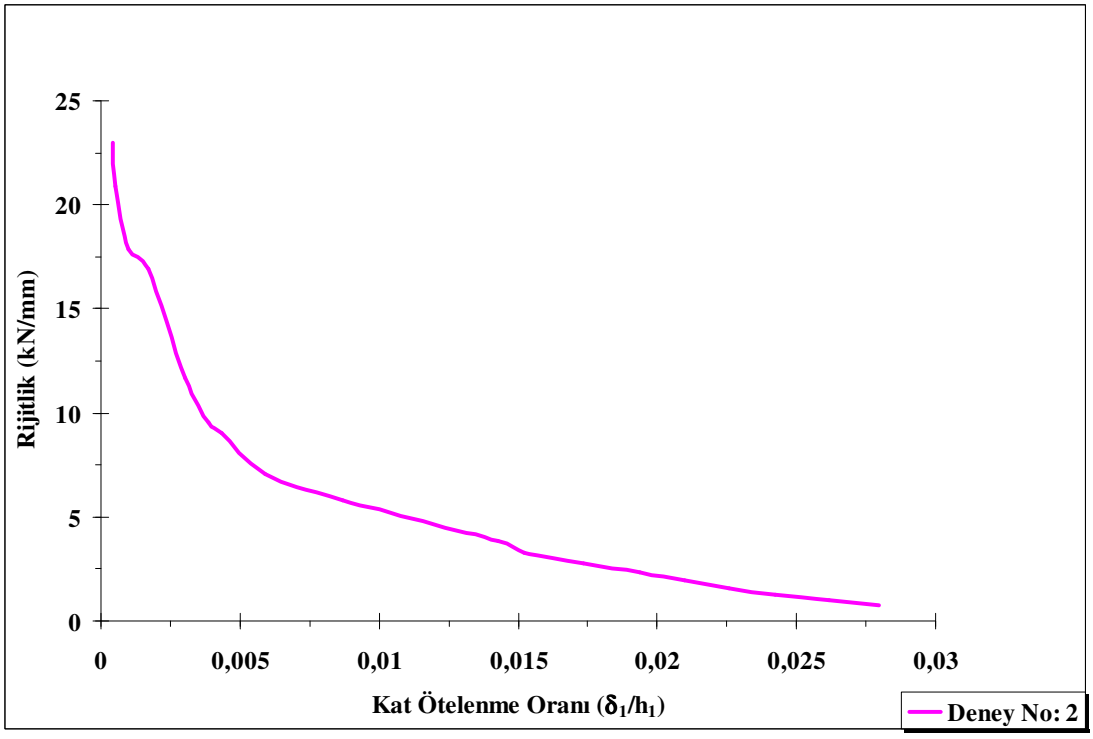
Şekil 5.64. 2. deney numunesine ait S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



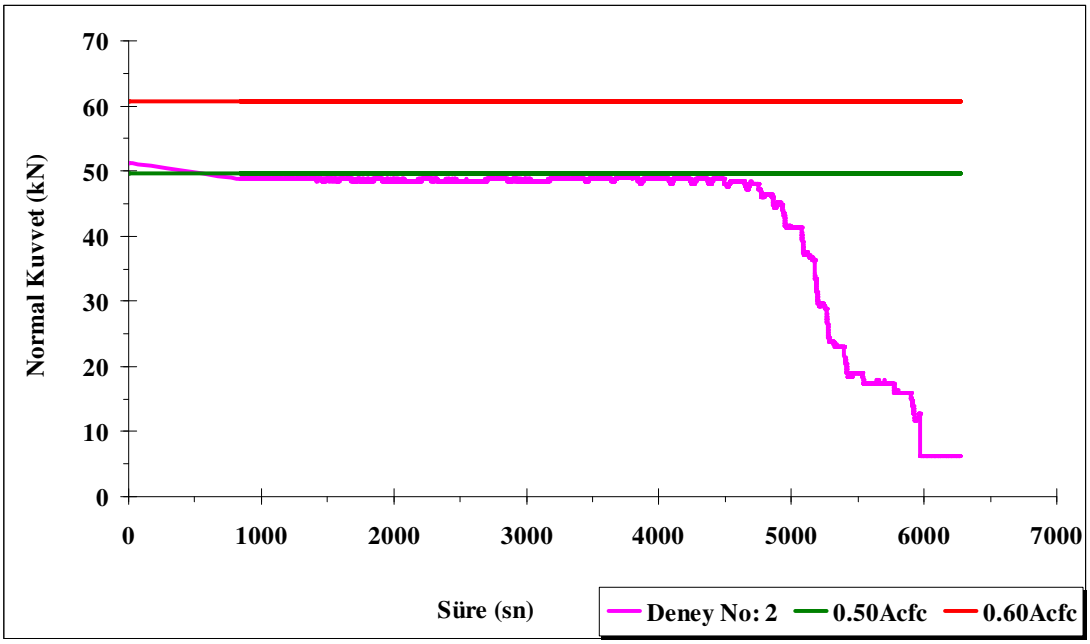
Şekil 5.65. 2. deney numunesine ait S103 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



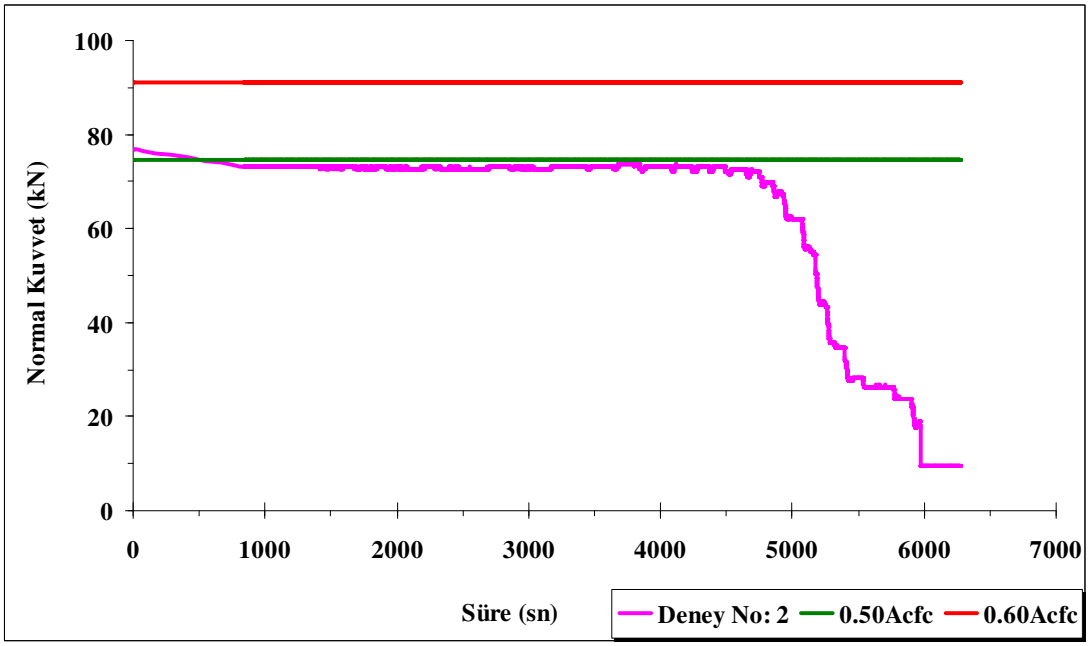
Şekil 5.66. 2. deney numunesine ait 2. kat (üst kat) rijitlik azalım grafiği



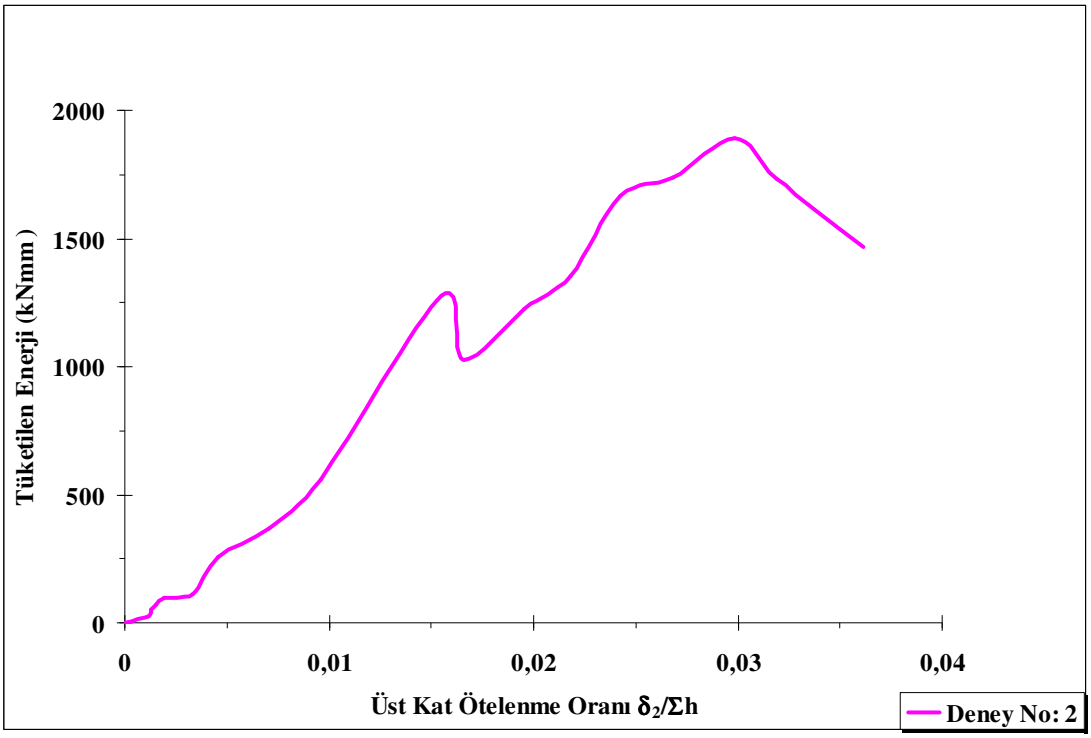
Şekil 5.67. 2. deney numunesine ait 1. kat (alt kat) rijitlik azalım grafiği



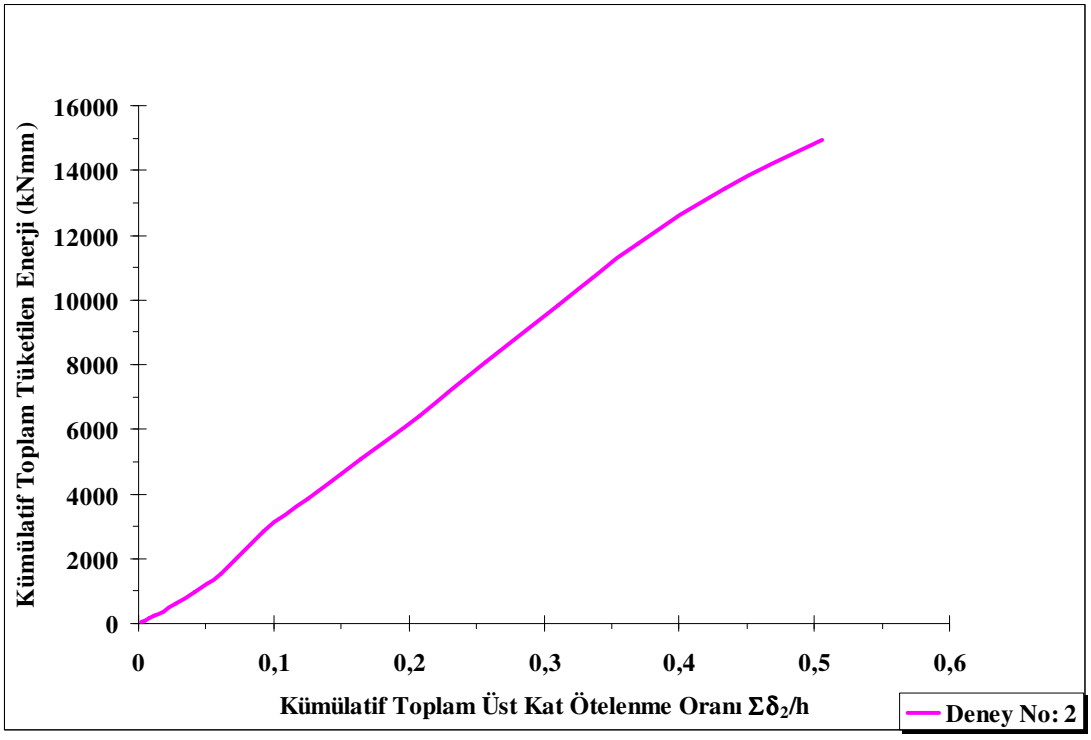
Şekil 5.68. 2. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



Şekil 5.69. 2. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



Şekil 5.70. 2. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)



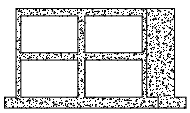
Şekil 5.71. 2. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği

5.3. 3 Nolu (3-BK-ZK PERDELİ) Deney (1. Grup Dış Perde Duvar İlaveli Çerçeve)

3 nolu (3-BK-ZK PERDELİ) deney numunesi, 1 nolu boş çerçeve deney numunesinde bulunan aynı tasarım ve yapım kusurlarını içerecek şekilde üretilmiş; deprem davranışı zayıf, zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan betonarme çerçevenin, sağ kenar kolonunun dış yüzüne betonarme dış perde duvar eklenerek 600 mm genişliğinde betonarme perde duvar haline getirilmesi ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeve elemanıdır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.6.'da verilmiştir. Bu deneyin amacı, 1 nolu boş çerçeve deney numunesi ile aynı özellikleri taşıyan boş çerçeve elemanına, 600 mm genişliğindeki betonarme dış perde duvarın eklenmesi ile, oluşturulan güçlendirilmiş çerçevenin ve bu perdenin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altındaki davranışının incelenmesidir.

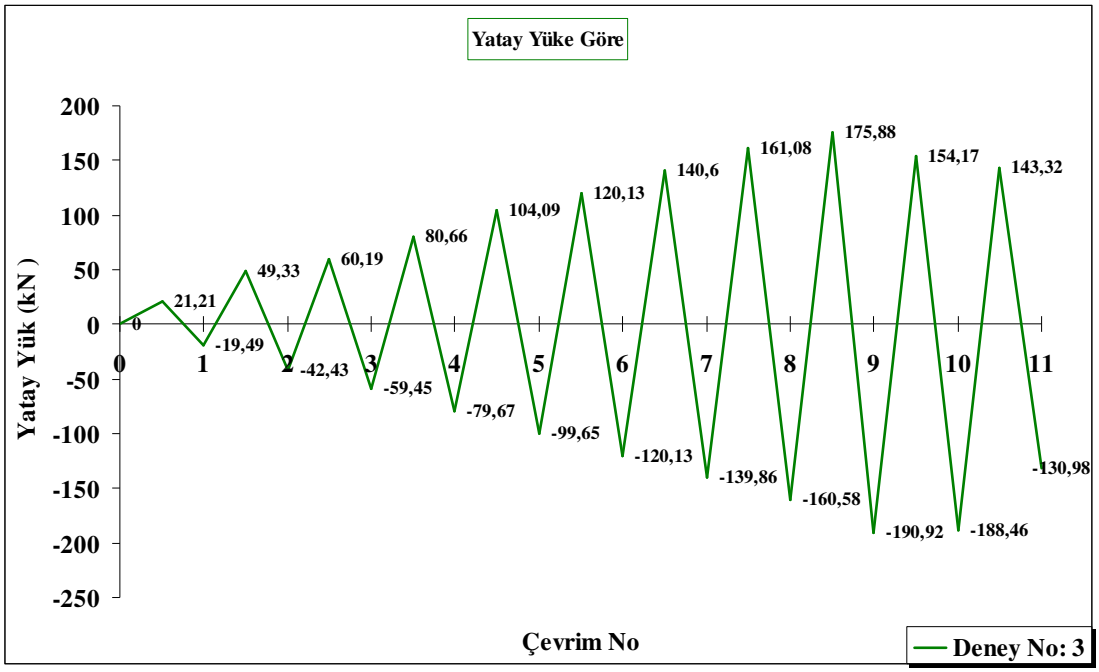
3 nolu deney numunesinin deneyden önceki durumu Şekil 5.72'de gösterilmiştir. Ayrıca, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.73'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. 3. deney numunesinin özellikleri

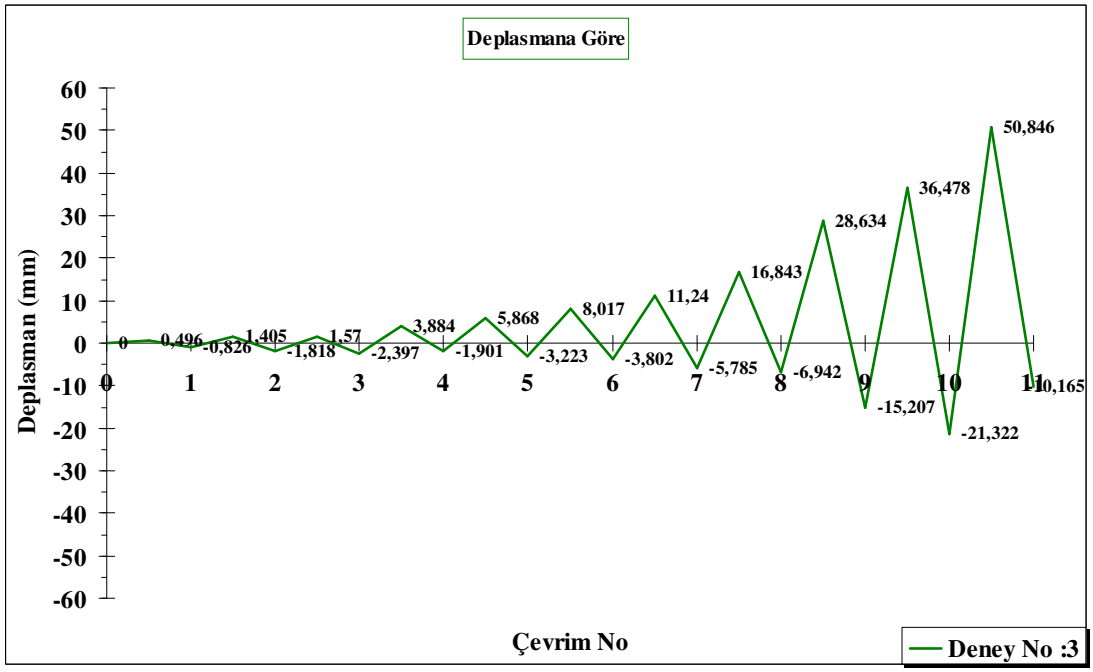
Deney Numunesi	Çerçeve tipi	Perde Betonu Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Kolon Eksenel Yük Seviyesi (N_d/N_r)	Kolon Boyuna Donatı Oranları (ρ_t)	Çerçeve Betonu Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)		
						ϕ4	ϕ6	ϕ8
Deney-3-BK-ZK PERDELİ		32.58	0.5~0.6	0.013	13.255	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{550}$	$\frac{375}{490}$



Şekil 5.72. 3. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü



a) 3. deney numunesinin yük geçmişi (yatay yüke göre)



b) 3. deney numunesinin yük geçmişi (tepe deplasmana göre)

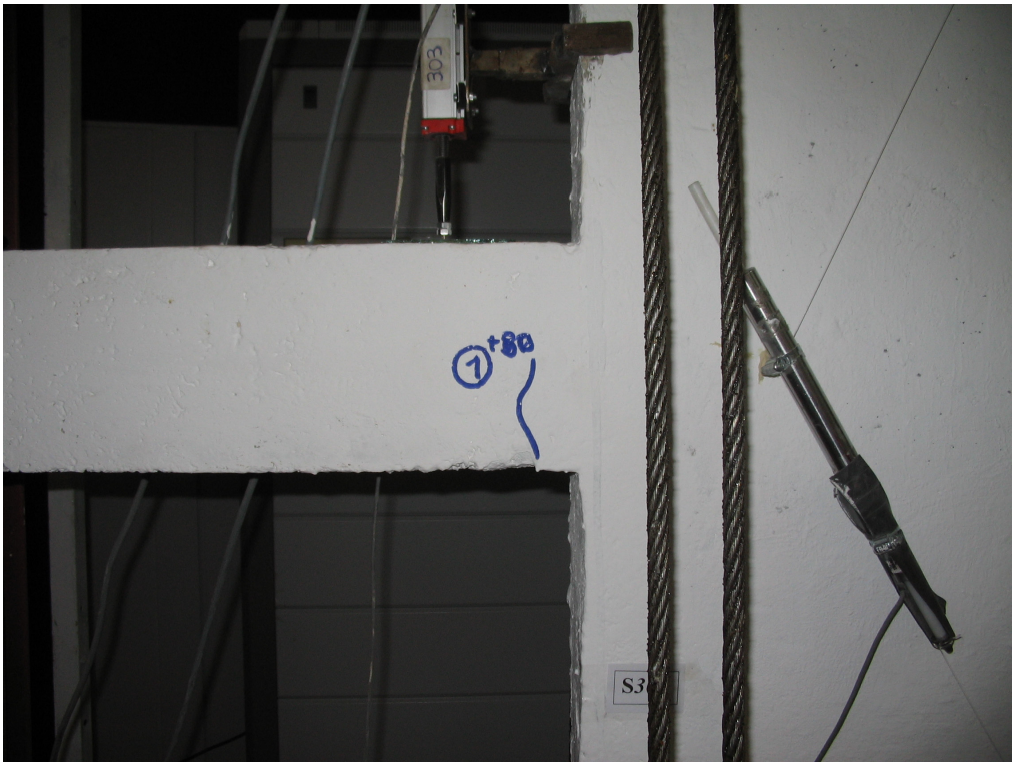
Şekil 5.73. 3. deney numunesinin yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, çerçeveye üst kat kirişi hizasından uygulanan yatay yük ve üst kattan ölçülen deplasmana göre ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programından da izlenebileceği gibi, sistemin akması ile birlikte yükleme, yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçmiştir. Yükleme programına göre, 20 kN'luk artışlarla 180 kN'a kadar gidilmiş, bu noktadan sonra sistem aktığı için deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek 10 mm'lik artışlarla, göçmeye kadar deplasman kontrollü yükleme devam etmiştir.

Çerçeve sisteminde ilk çatlak, 4. ileri çevrimde K102 kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 5 cm içeride 80 kN yatay yükte ve 4.132 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (İlk çatlağın oluştuğu bu yük seviyesi sistemin elastik sınırıdır) (Şekil 5.74). 6. çevrimden sonra TDY-98'in vermiş olduğu deplasman üst sınır değeri (0.0035 x h = 0.0035 x 2000 = 7.00 mm) aşılmıştır. Bu durumda sistemde farklı bölgelerde toplam 12 adet çatlak sayılmış ve kolonlarının hiçbirinde çatlak görülmezken, perdede ilk çatlak oluşmuştur. Perdede görülen ilk çatlak 120 kN yatay yükte ve 8 mm tepe deplasmanında perde sağ kenarında tabandan 62 cm yukarıda perde içine doğru 16 cm ilerleyen 10 nolu çatlak olarak meydana gelmiştir(Şekil 5.75). Çerçeve sisteminde kolonlarda oluşan ilk çatlak, 7. geri çevrimde S301 kolonunun alt ucunda sol tabandan perde içine doğru 140 kN yatay yükte ve -5.78 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (Şekil 5.76).

2 nolu çatlak, 1 nolu çatlak ile aynı anda K101 kirişinin sol üst mesnetinde 80 kN yatay yük altında meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak yine aynı çevrimde K101 kirişinin sağ alt köşesinde meydana gelmiştir. 6. ileri çevrimde, 120 kN yatay yük ve 8 mm tepe deplasmanında K102 kirişinin sağ alt ucunda kolon yüzünden 16 cm içeride(pilye büküm noktası) 8 nolu çatlak oluşmuştur (Şekil 5.77). 3 nolu deney numunesinde, maksimum yük 175. kN olarak ölçülmüştür. Bu yükteki yatay deplasman 30 mm, deneydeki maksimum deplasman ise, 50 mm olarak ölçülmüştür.

Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasınca alınan önemli notlar Çizelge 5.7'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen ve ölçülen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri adımlar 1 ve geri adımlar 2 nolu olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



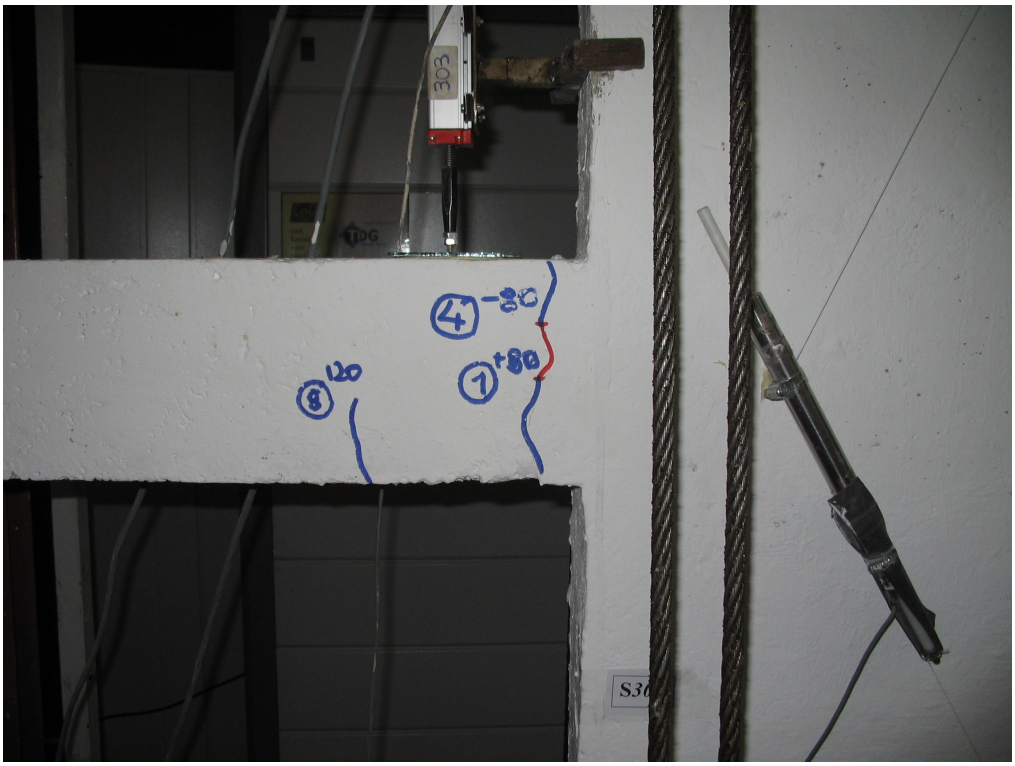
Şekil 5.74. 3. deney numunesinde K102 kirişi sağ alt mesnetinde oluşan 1 nolu çatlak(elastik sınır)



Şekil 5.75. 3. deney numunesinde perdede oluşan ilk çatlak(10 nolu çatlak) (yük; 120 kN, deplasman; 8 mm)



Şekil 5.76. 3. deney numunesinde S301 kolonu tabanında oluşan 15 nolu çatlak (yük; -140 kN, deplasman; -5.78 mm)



Şekil 5.77. 3. deney numunesinde K102 kirişi sağ alt ucunda oluşan 8 nolu çatlak (pilye büküm bölgesi)

Çizelge 5.7. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
1.1	20	0,083	
1.2	-20	-1,405	
2.1	40	1,48	
2.2	-40	-1,8	
3.1	60	1,57	
3.2	-60	-2,397	
4.1	80	4,132	**1 nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinde altta kolon yüzünden 5 cm içeride oluştu. 2** nolu çatlak *K101* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu. 3 nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinde altta oluştu.
4.2	-80	-2,146	**4** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinde üstte 1 nolu çatlağın üstünde oluştu. **5** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda altta oluştu.
5.1	100	5,537	2 nolu çatlak ilerledi. **6** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda kolon yüzünden 21.5 cm içeride oluştu. **7** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu.
5.2	-100	-3,3	-
6.1	120	8	**8** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda kolon yüzünden 16 cm içeride oluştu. **9** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda kolon yüzünden 10 cm içeride oluştu. **Perdede sağ kenarda tabandan 62 cm yukarıda içeriye doğru 16 cm ilerleyen 10 nolu çatlak oluştu. 11** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinde oluştu. 1 ve 4 nolu çatlaklar birleşti.

Çizelge 5.7.devamı. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
6.2	-120	-4,132	**12** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda 8 nolu çatlağın üzerinde oluştu. 5 nolu çatlak 2 nolu çatlağa doğru ilerledi.
7.1	140	11,5	2 ve 5 nolu çatlaklar birleşti. 6 nolu çatlak aşağıya doğru ilerledi. ***Perdede*** tabandan 71 cm yukarıda 16 cm yatay ilerleyen daha sonra 45^o açıyla ilerleyen **13** nolu çatlak oluştu. *Perdede* tabandan 80 cm yukarıda 16 cm yatay ilerleyen daha sonra 45^o açıyla ilerleyen **14** nolu çatlak oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi.
7.2	-140	-5,78	**15 nolu çatlak *S301* kolonunun alt ucunda solda tabandan içeriye doğru 15 cm uzunluğunda oluştu. 16** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda kolon yüzünden 18 cm içeride oluştu. 6 nolu çatlak tabana ulaştı.
8.1	160	17,025	13 nolu çatlak perde kenarından aşağıya doğru 45^o eğimle 36 cm ilerledi. **17** nolu çatlak perde tabandan 106 cm yukarıda oluştu. **18** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinden kolon iç yüzüne doğru 44 cm uzunluğunda oluştu. **19** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda kolon yüzünden 14.5 cm içeride oluştu. **20** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda kolon yüzünden 18.5 cm içeride oluştu. 2 nolu çatlak genişledi.

Çizelge 5.7.devamı. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
8.2	-160	-7,125	**21** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinde üst köşeden kolona doğru oluştu. **22** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinde üstte oluştu. **23** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde altta oluştu.
9.1	175.25	30	**24** nolu çatlak **perde** tabanından 96 cm yukarıda yatay olarak 35 cm ve 45^{o} eğimle oluştu. **25** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ alt ucunda oluştu. *S301* kolonunun sol kenarında 13 cm yükseklikte **26** nolu düşey ezilme çatlağı oluştu. 18 nolu çatlak çatallandı. **27** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ mesnetinde altta oluştu. **28** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 40 cm içeride oluştu. **29** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 30 cm içeride oluştu. **30** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 14 cm içeride oluştu. **31** nolu çatlak *S201* kolonunun alt ucunda solda ezilme çatlağı şeklinde oluştu. **32** nolu çatlak *S201* kolonunun üst düğüm noktasında çapraz olarak oluştu. *S203* kolonunun üst ucundan aşağıya doğru **33** nolu ezilme çatlağı oluştu. **34** nolu çatlak *K101* kolonunun sol düğüm noktasında oluştu. **35** nolu çatlak *S101* kolonunun alt ucunda solda tabandan 8 cm yukarıda oluştu. 2 nolu çatlak genişledi. S203 kolonunun üst ucunda düşey

Çizelge 5.7.devamı. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			ezilmeler oluştu. **36** nolu çatlak *S202* kolonunun üst ucunda sağda oluştu. Perde tabanından içeriye doğru 30 cm, temele doğru 15 cm 27' nolu çatlak oluştu.
9.2	-186	-15	15 nolu çatlak temele doğru ilerledi. 7 nolu çatlak ilerledi. **37** nolu çatlak *S103* kolonunun tabanından 22 cm yukarıdan yatay olarak kolon iç yüzünden perdeye doğru oluştu. 34 ve 5 nolu çatlaklar birleşti. **38** nolu çatlak *K101* kirişinin sol düğüm noktasında oluştu. **39** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde altta oluştu. *Temelde* aşağıya doğru **40** nolu çatlak oluştu.
10.1	150	40	*Perde* tabanı tabandan 4 mm yukarıya doğru kalktı. **41** nolu çatlak perde tabanında 31 cm içeride 10 cm perdeye doğru ve temele inerek oluştu. **42** nolu çatlak perde tabanından yukarıya doğru 25 cm içerde, ≈12 cm yukarıya doğru oluştu. 10 nolu çatlak perde tabanına doğru indi. **43** nolu çatlak *S201* kolonunun alt ucunda sağda 8 cm yukarıda oluştu. S301 kolonunun üst ucu kiriş tabanından 16 cm aşağıya doğru ezildi. S202 kolonunun üst ucu sağ kenarı ezildi. K101 kirişinin sağ üst ucu ezildi. S201 kolonunun üst ucu sağ kenarı yatay olarak ezildi.

Çizelge 5.7.devamı. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
10.2	-185	-20	Perde tabanı ezildi. 42 nolu çatlak yukarı çapraz olarak 10 ve 13 nolu çatlakları keserek kolon perde birleşiminin ekseninden 35 cm uzakta tabandan 35 cm uzunlukta ilerledi. **44** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda kolon yüzünden 75 cm içeride oluştu.
11.1	142.58	50	41 nolu çatlak sol üst uca doğru temelde çatallandı. S301 kolonunun tabanı tamamen ezildi. Perde sağ alt tabanı 6 mm açıldı. S102 kolonunun üst ucu ezildi. S301 kolonunun üst ucu 6 cm içeriye doğru ezildi.
11.2	-40.70	-25	S201, S202 kolonunun üst ucu ve K202 kirişinin sağ alt ucu belirgin bir şekilde ezildi. S201, S202 kolonlarının üst uçları ile K202 kirişinin sağ ucu ani bir şekilde göçtü. Perde tabanı tamamen ezildi.

Not: Bu çizelgedeki yük ve deplasman değerleri, deney sırasında bilgisayar monitöründen görülüp anlık olarak yazıldığı için, grafiklerdeki değerlerle buradaki değerler arasında küçük farklılıklar olabilmektedir.

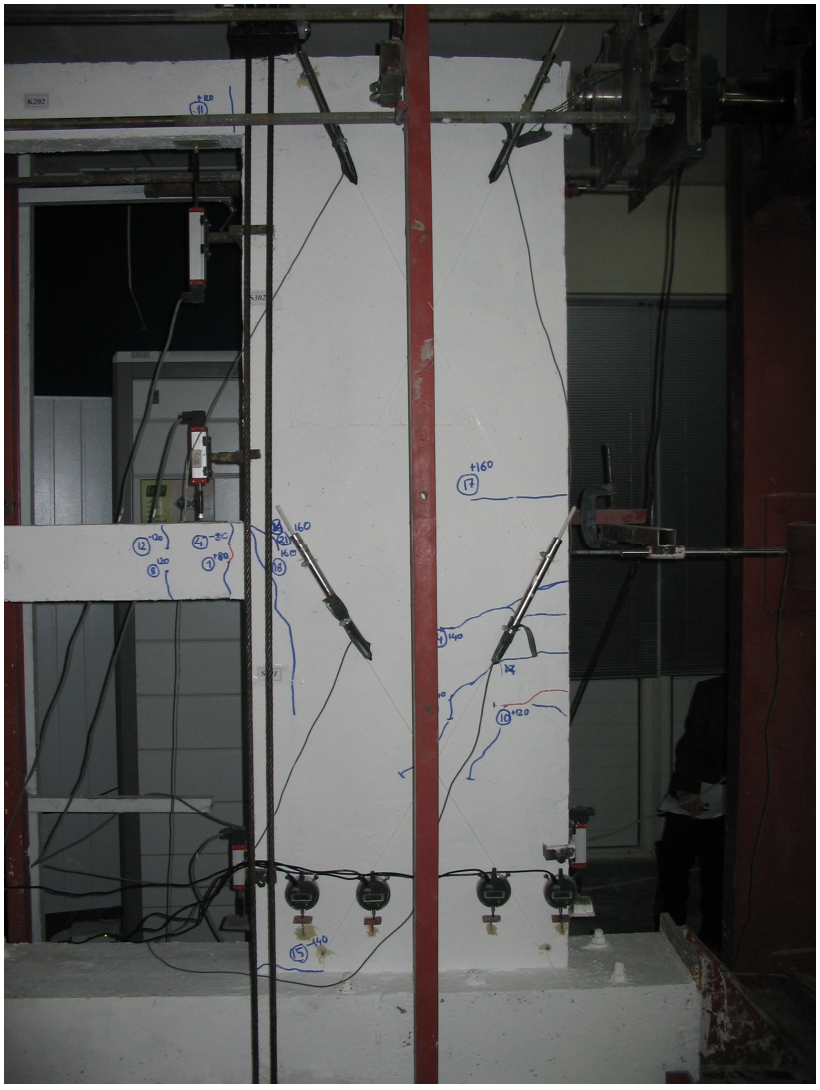
3 nolu deney numunesi, 8. geri çevrimden sonra akmaya başlamış ve yük-deplasman eğrisi ve çevrimlerin eğimi de azalmaya başlamıştır (akma yükü, ≈160 kN). Akma yükünde 17,025 mm deplasman ölçülmüştür. Akma konumunda çerçeve düğüm noktalarının durumu Şekil 5.78-5.79-5.80-5.81 ve çerçevenin genel olarak hasar durumu ise, Şekil 5.82'de verilmiştir. Çerçevenin maksimum yük anındaki hasar durumu Şekil 5.83'de verilmiştir.



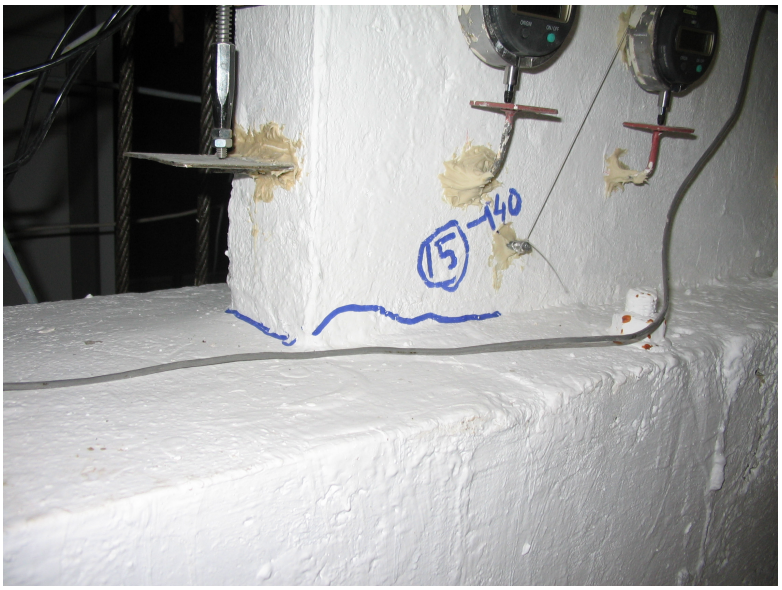
Şekil 5.78. 3. deney numunesinin sol kenar düğümlerinin akma konumunda durumu



Şekil 5.79. 3. deney numunesinin orta düğümlerinin akma konumunda durumu



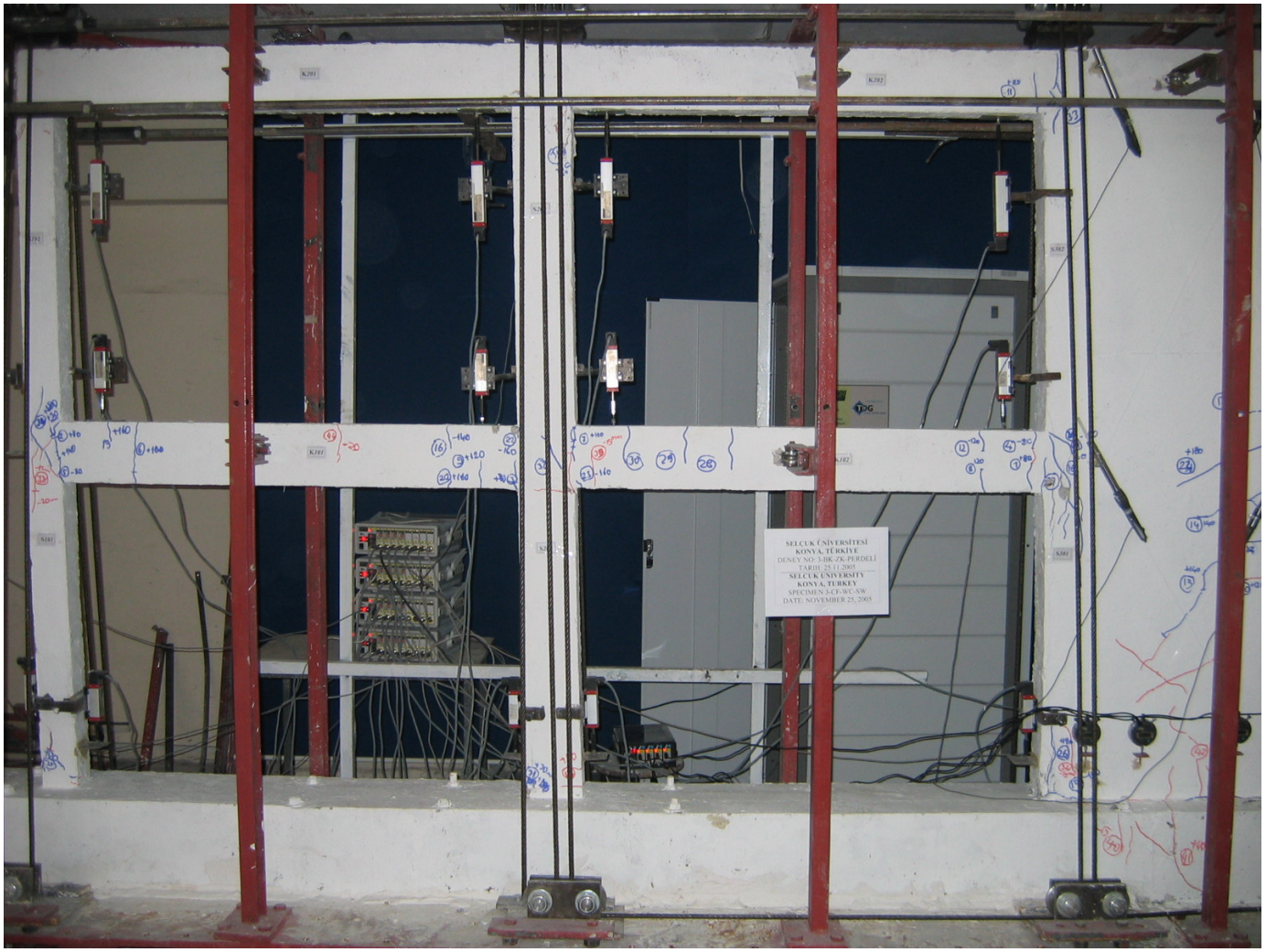
Şekil 5.80. 3. deney numunesinin sağ kenar düğümlerinin akma konumunda durumu



Şekil 5.81. 3. deney numunesinin perde tabanının akma konumunda durumu



Şekil 5.82. 3. deney numunesinin akma konumundaki hasar durumu



Şekil 5.83. 3. deney numunesinin maksimum yük anında hasar durumu

Deney sonuna doğru S201 ve S202 kolonunun üst ucu ve K202 kirişinin sağ alt ucu belirgin bir şekilde ezilmiştir. Daha sonra S201 ve S202 kolonlarının üst uçları ile K202 kirişinin sağ ucu ani bir şekilde göçmüştür(Şekil 5.84). Ayrıca, perde tabanı da tamamen ezilmiştir. Bu aşamadan sonra çerçevenin yanal stabilitesinin bozulması ve sağlıklı bir şekilde yatay yük aktarılamaması nedeniyle deneye 50 mm deplasman kademesinde son verilmiştir.



a) 2. kat sol düğüm



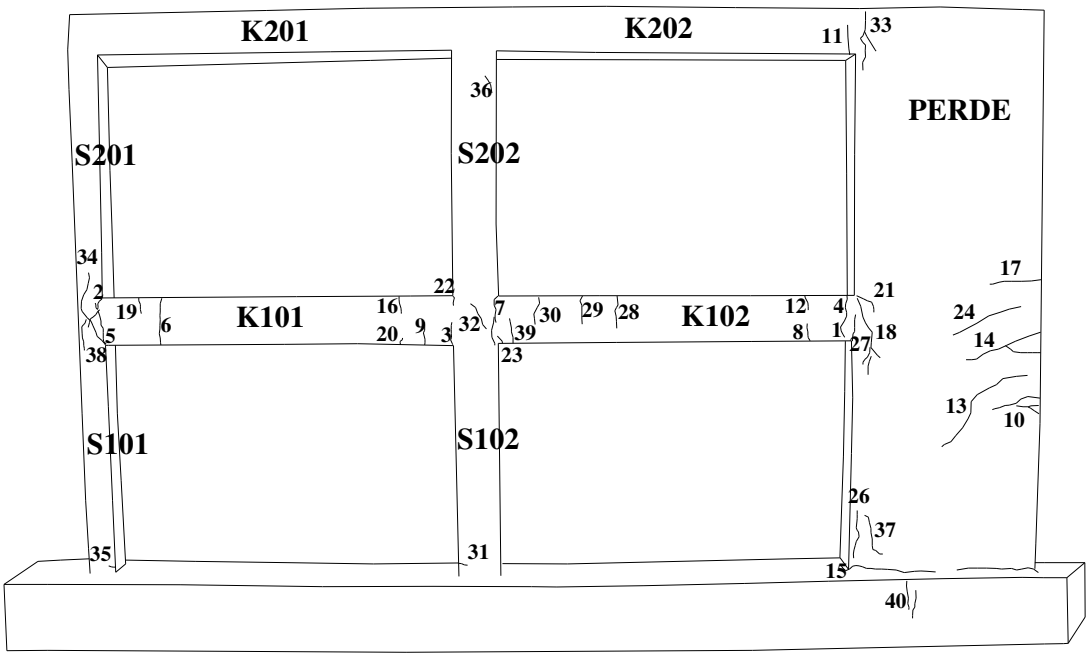
b) 2. kat orta düğüm



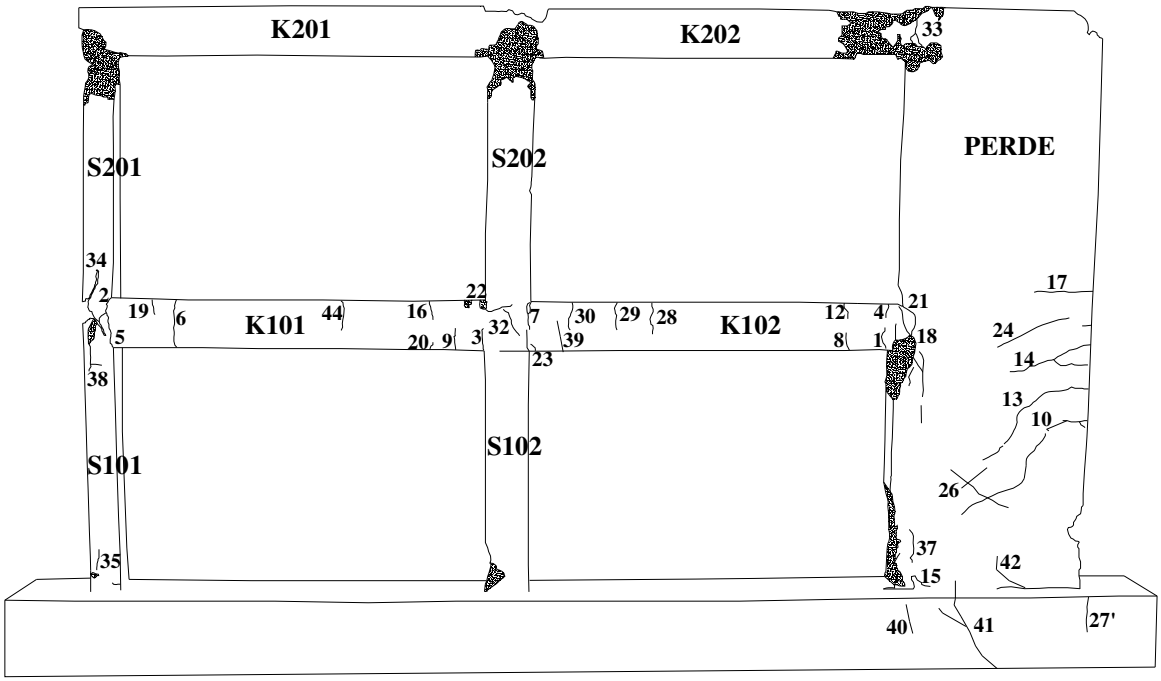
c) 2. kat sağ düğüm

Şekil 5.84. 3. deneyde ani kırılma sonucu üst düğüm noktalarında oluşan göçme

Şekil 5.85'de 3. deney numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlaklar; Şekil 5.86'da ise, deney sonundaki çatlaklar şematik olarak gösterilmiştir

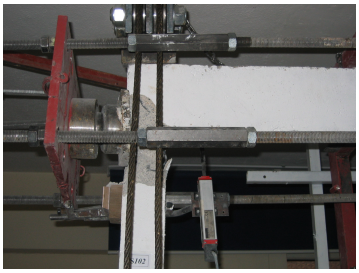


Şekil 5.85. 3. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu(şematik olarak)



Şekil 5.86. 3. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)

Çerçevenin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu Şekil 5.87'de verilmiştir.



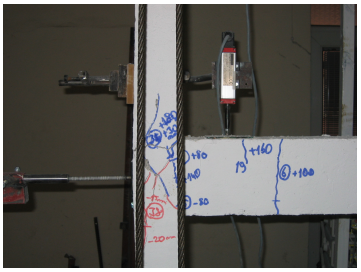
a) S201-K201



b) K201- S202-K202



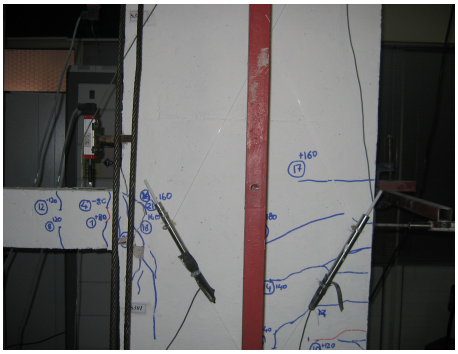
c) K202-PERDE



d) S201-K101



e) K101- S202-K102



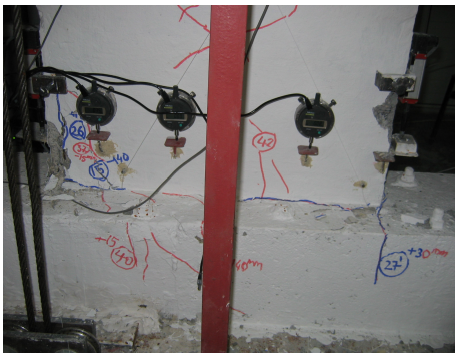
f) K102-PERDE



g) S101-Temel



h) S102-Temel



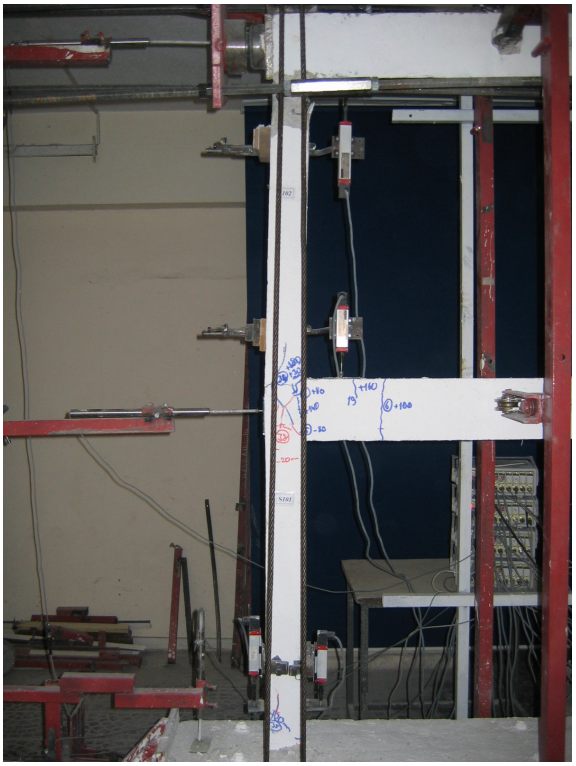
i) PERDE-Temel

Şekil 5.87. 3. deney numunesinin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu

3 nolu deney numunesinin deney sonundaki durumu Şekil 5.88-Şekil 5.94 aralığında verilmiştir.



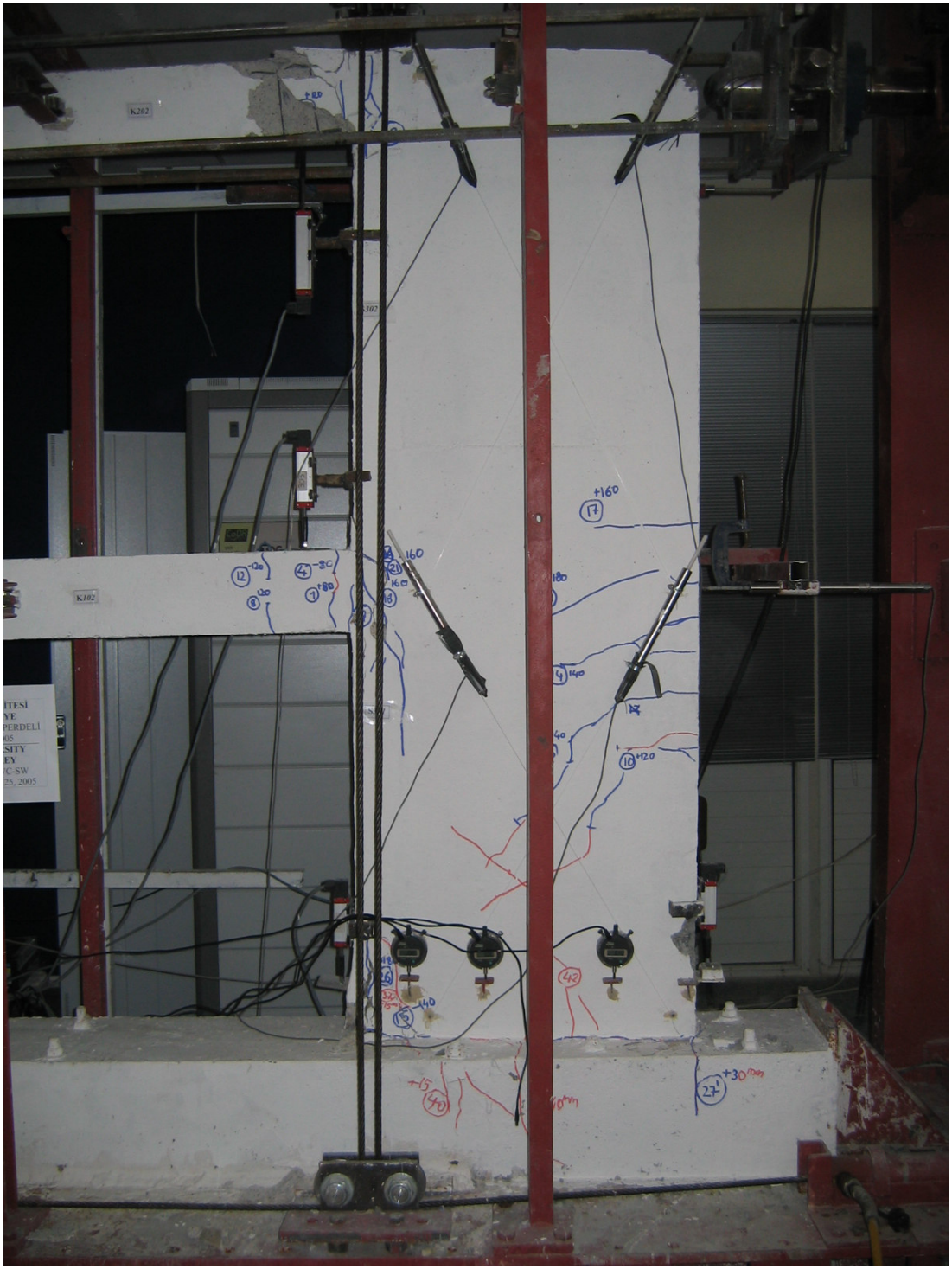
Şekil 5.88. 3. deney numunesinin deney sonu görünüşü



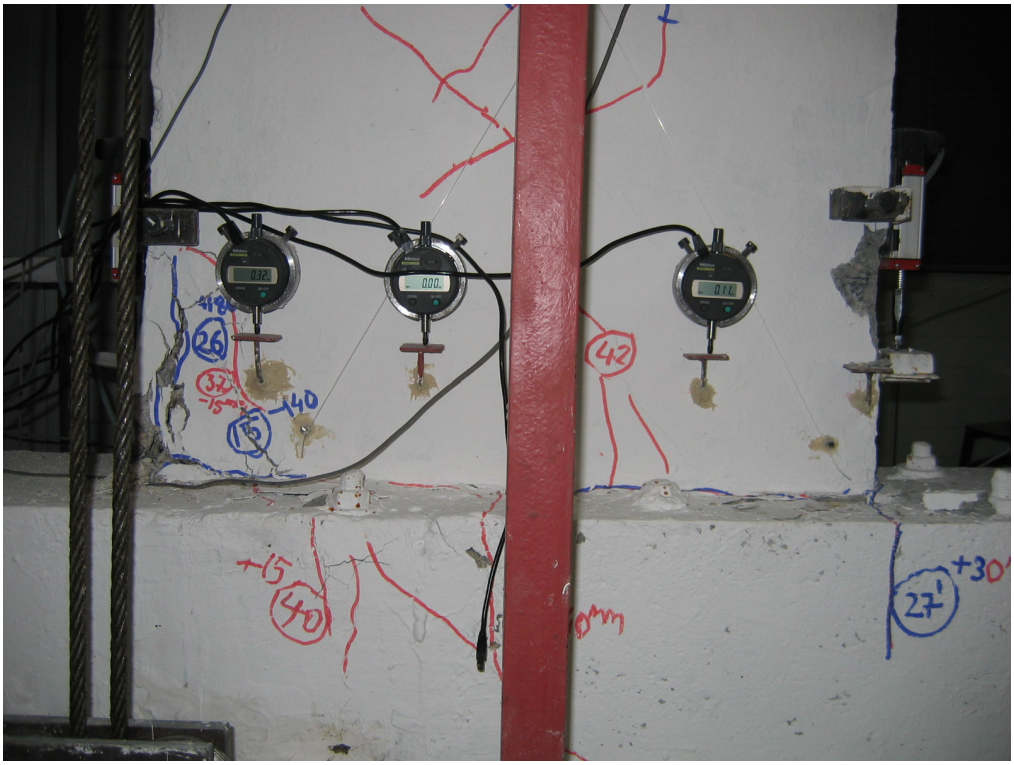
Şekil 5.89. 3. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



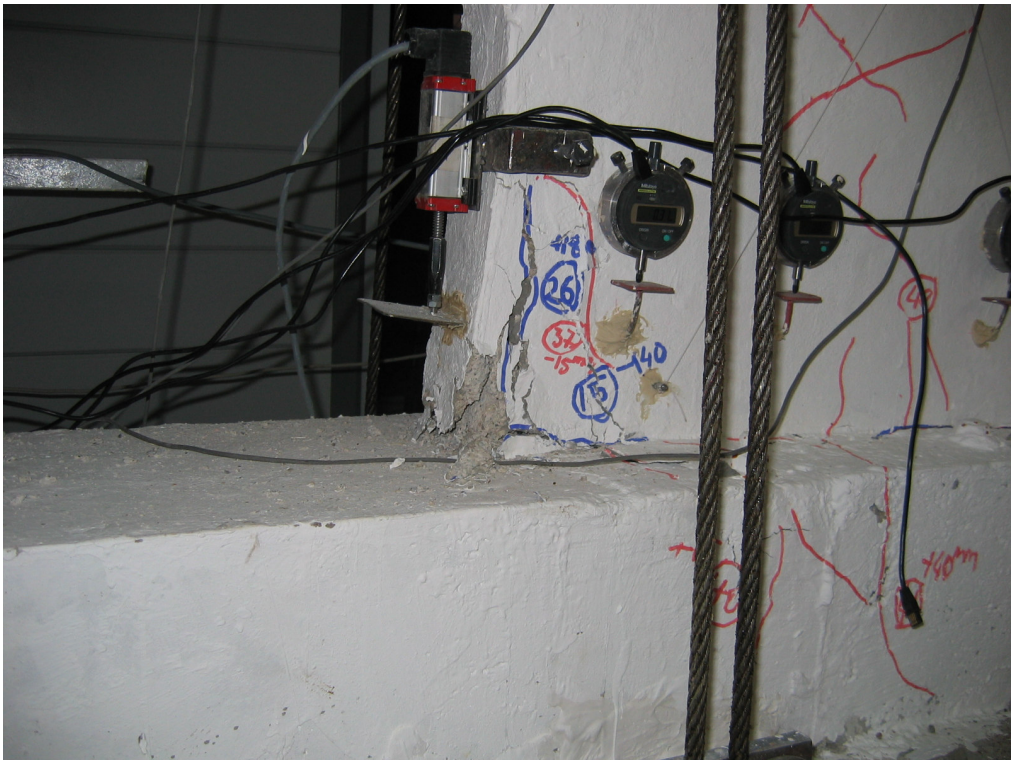
Şekil 5.90. 3. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



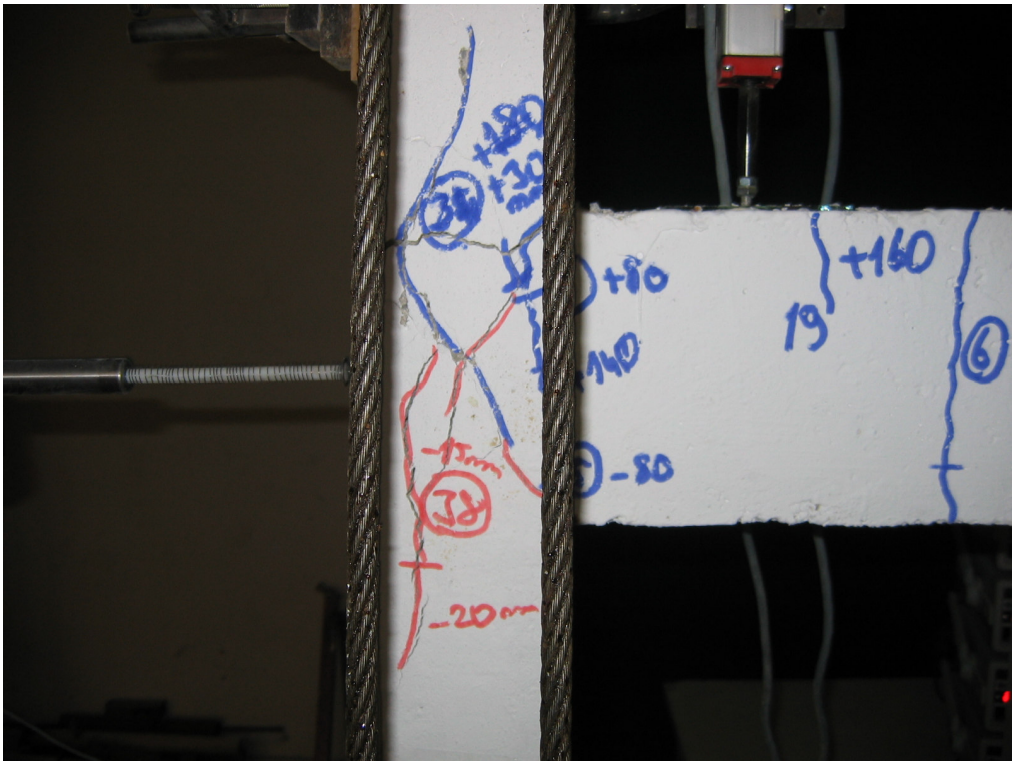
Şekil 5.91. 3. deney numunesinde perde duvarın deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.92. 3. deney numunesinde perde duvarın ve temelin deney sonundaki hasarı

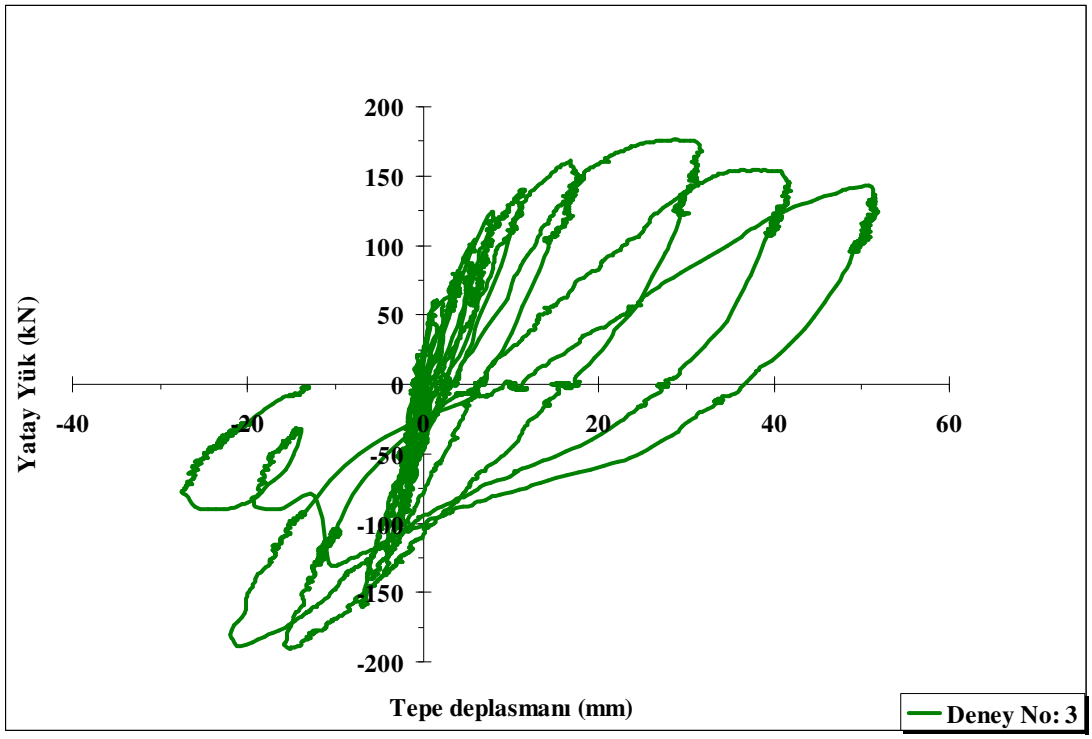


Şekil 5.93. 3. deney numunesinde perde duvarın sol kenarının deney sonu durumu

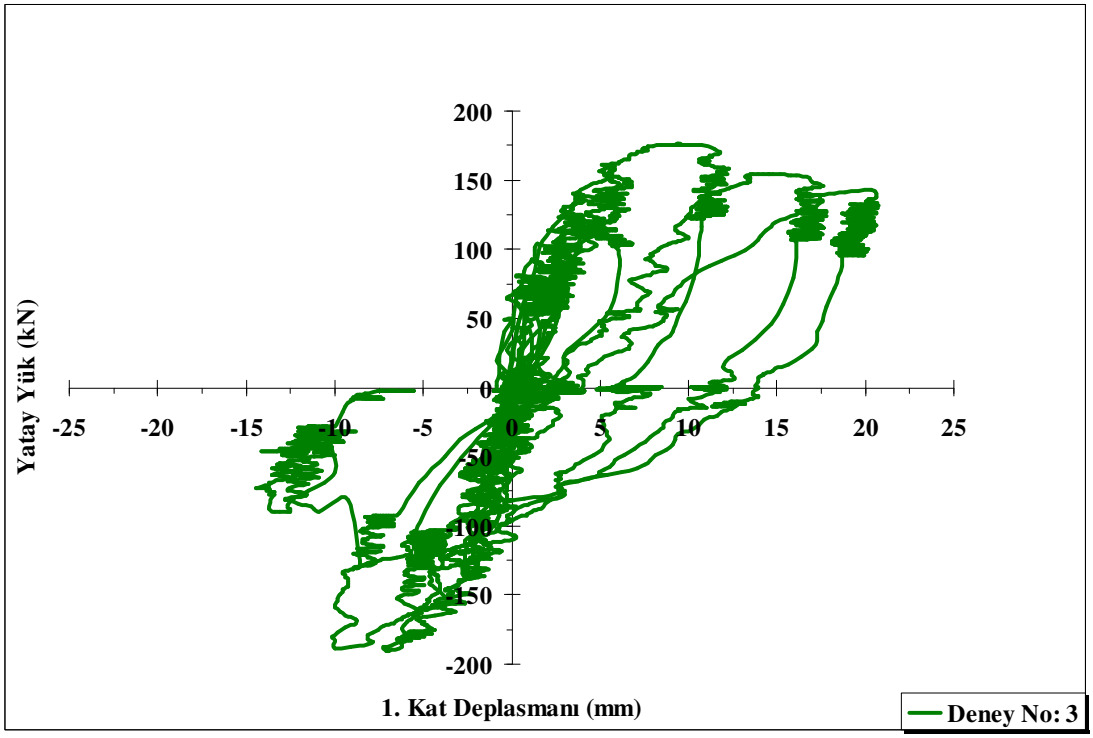


Şekil 5.94. 3. deney numunesinde sol kenar düğümde oluşan kesme çatlakları

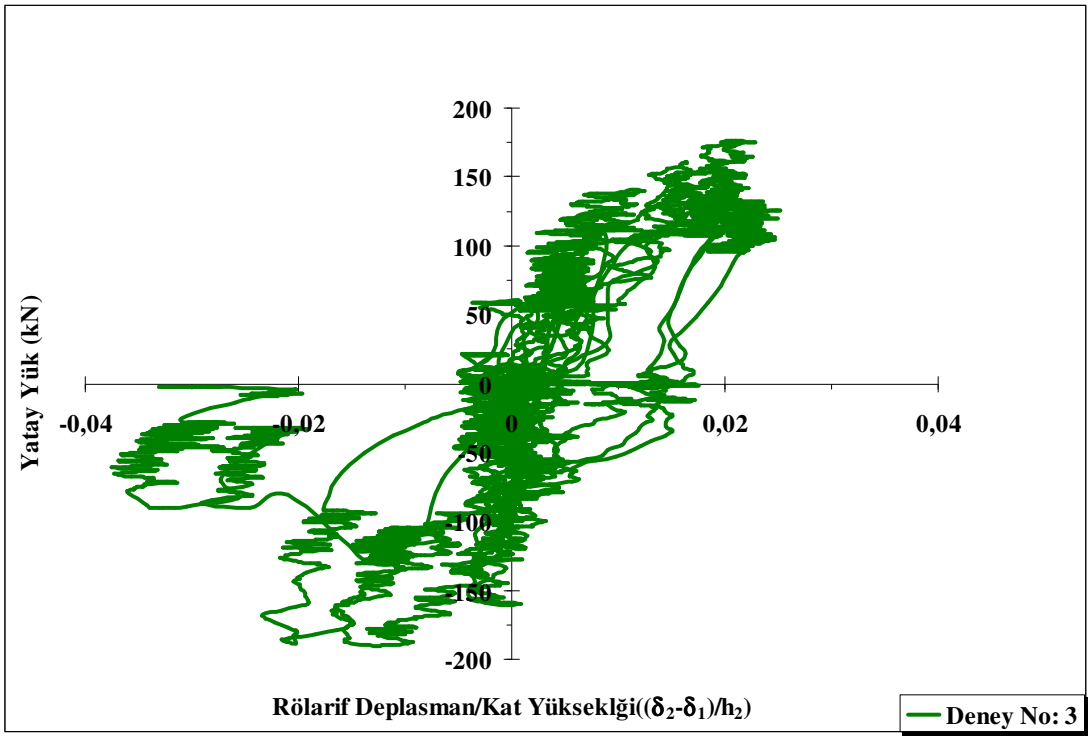
Bu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – tepe deplasman grafiği Şekil 5.95'de, yatay yük -1. kat deplasman grafiği Şekil 5.96'da, yatay yük – 2. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.97'de, yatay yük – 1. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.98'de, yatay yük - 2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.99'da, yatay yük-2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.100'de, yatay yük- 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.101'de, S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.102'de, S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.103'de, perde duvar kesiti birim deformasyon değişimi Şekil 5.104'de, rijitlik azalım grafikleri Şekil 5.105 ve Şekil 5.106'da, kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi Şekil 5.107 ve Şekil 5.108'de, 2. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği Şekil 5.109'da, 1. kat yatay yük kesme şekil değiştirmesi grafiği Şekil 5.110, her bir deplasman aralığı için hesaplanan enerji tüketimi – ötelenme oranı grafiği Şekil 5.111'de, kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat öteleme oranı grafiği Şekil 5.112'de, verilmiştir.



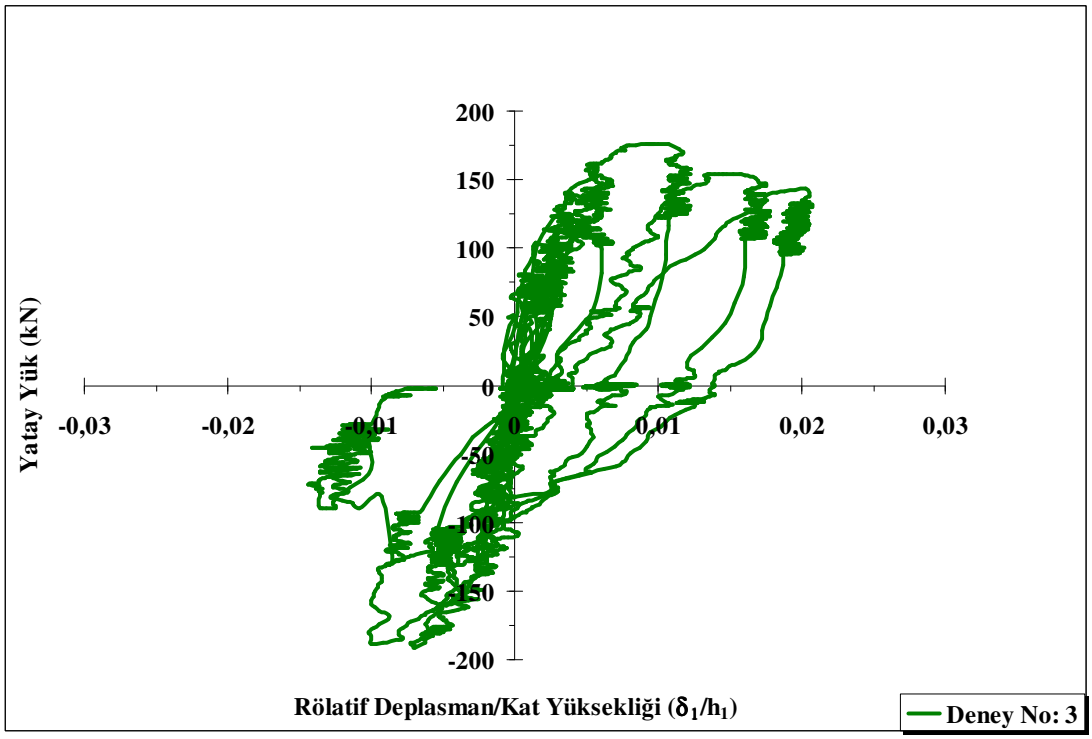
Şekil 5.95. 3. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği



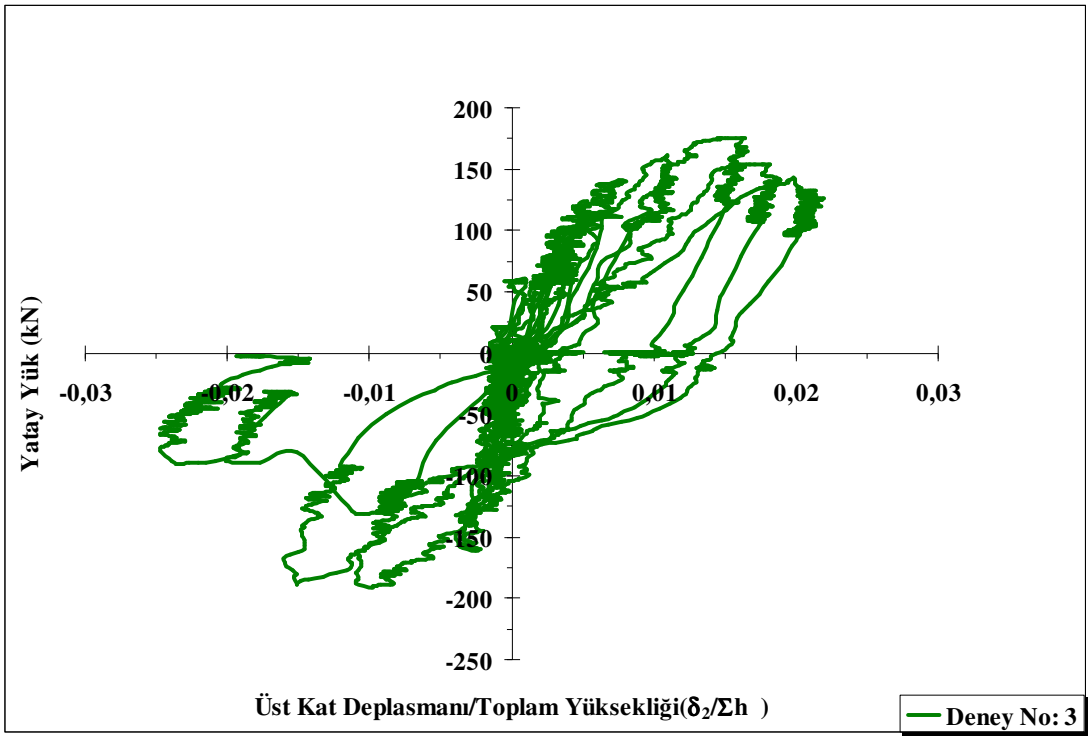
Şekil 5.96. 3. deney numunesine ait yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği



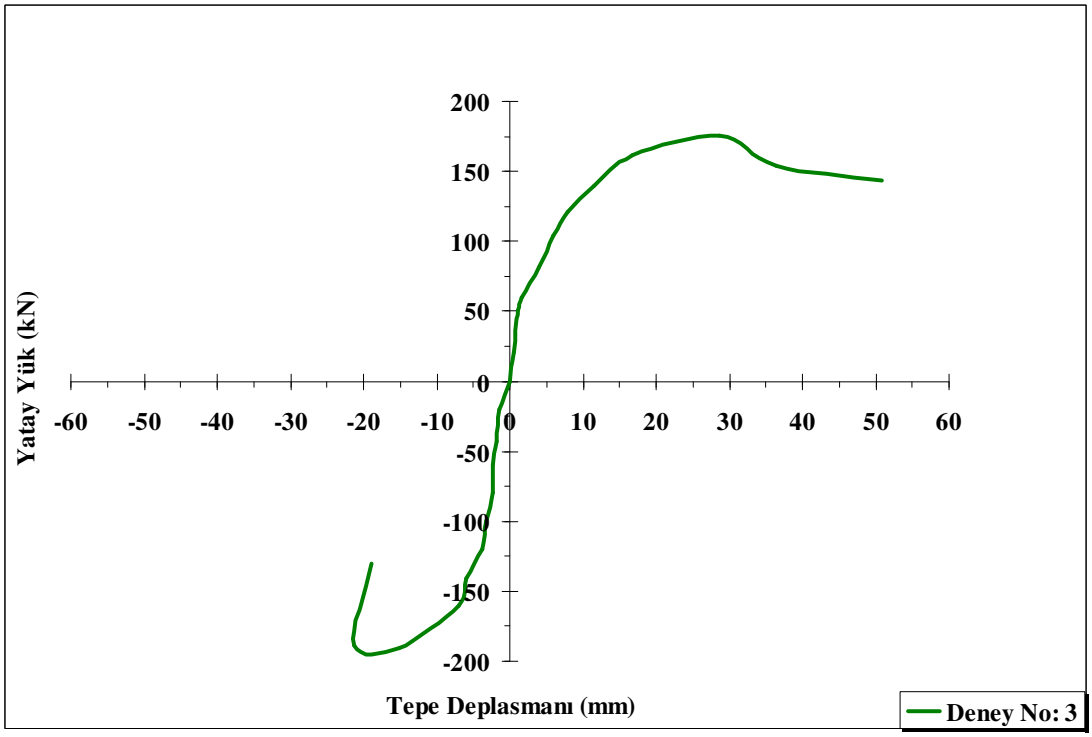
Şekil 5.97. 3. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği



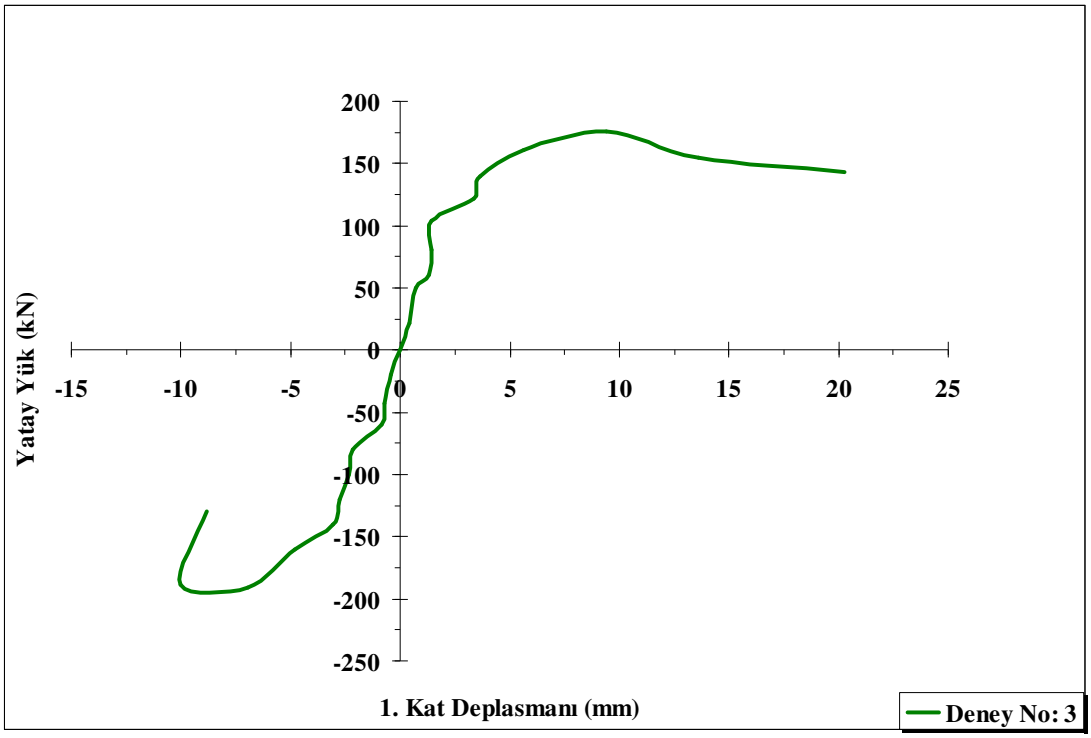
Şekil 5.98. 3. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği



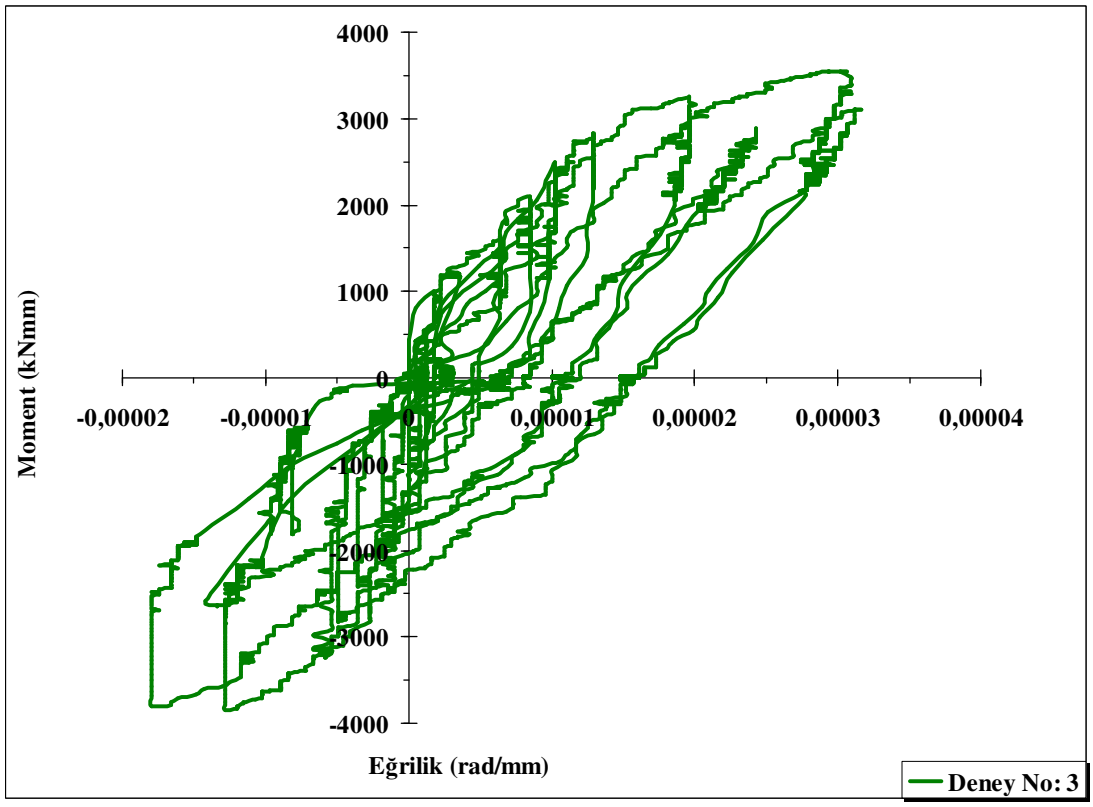
Şekil 5.99. 3. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği



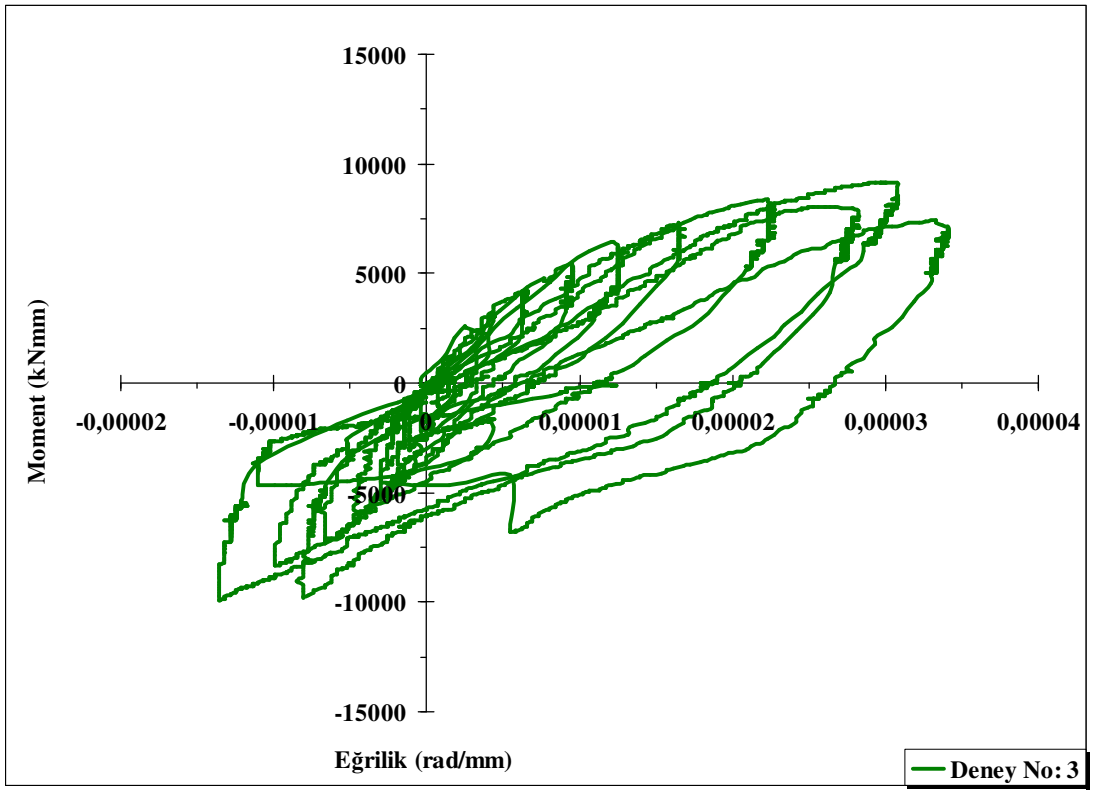
Şekil 5.100. 3. deney numunesine ait 2. kat dayanım zarfı grafiği



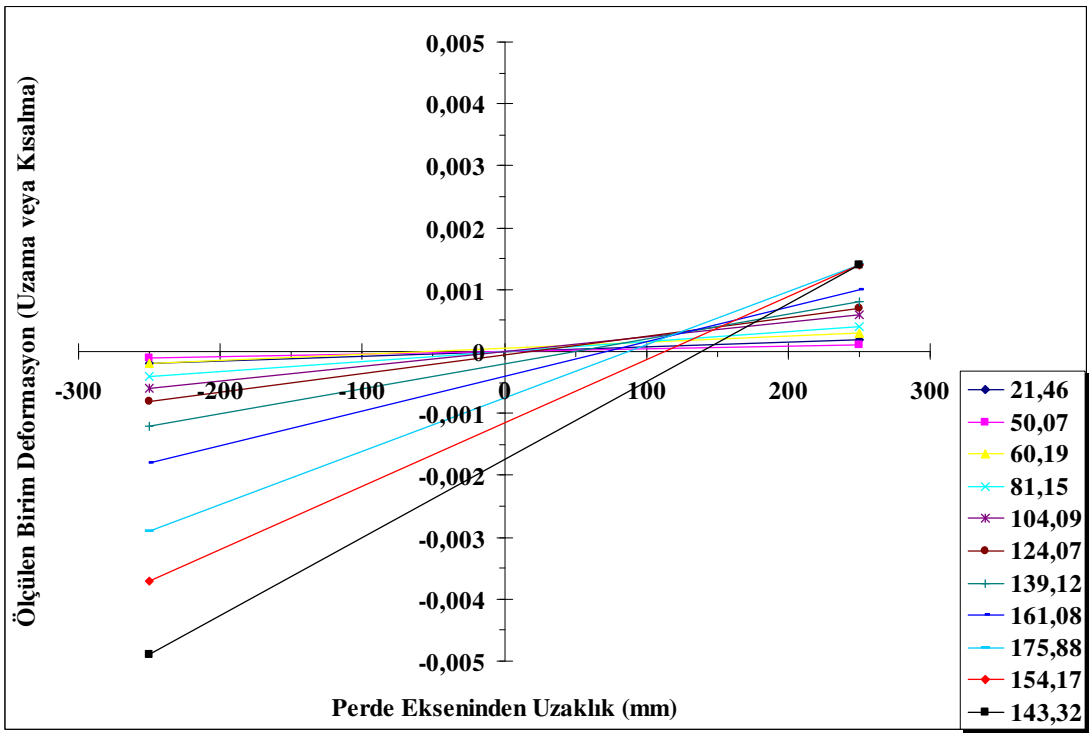
Şekil 5.101. 3. deney numunesine ait 1. kat dayanım zarfı grafiği



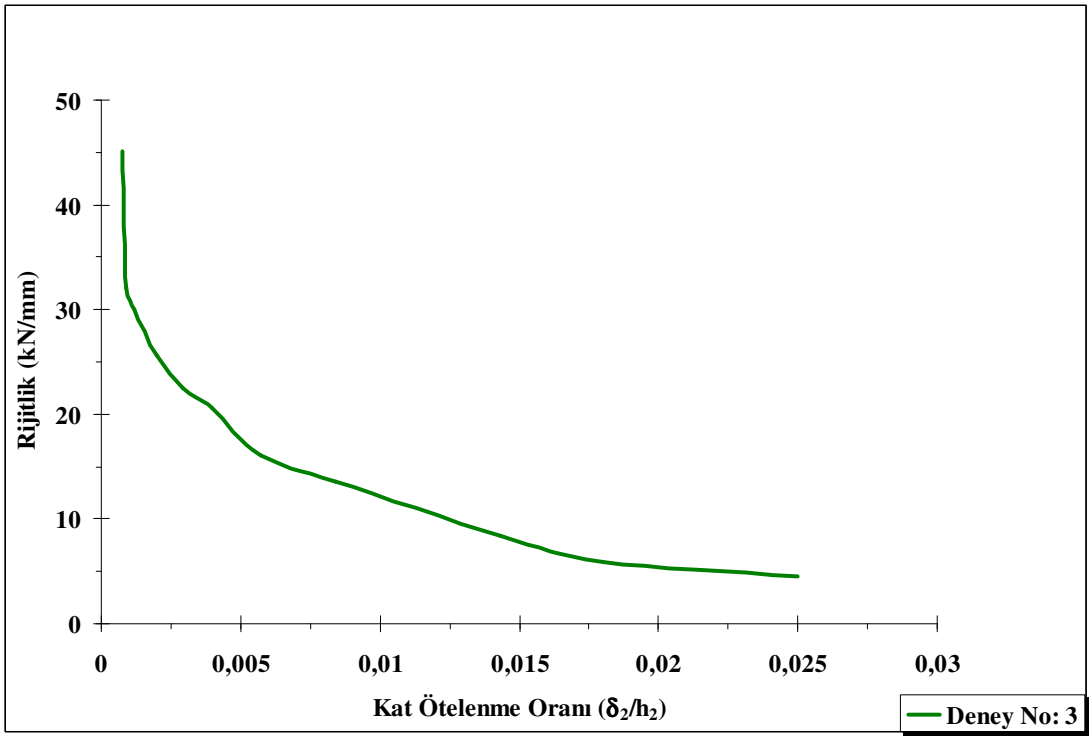
Şekil 5.102. 3. deney numunesine ait S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



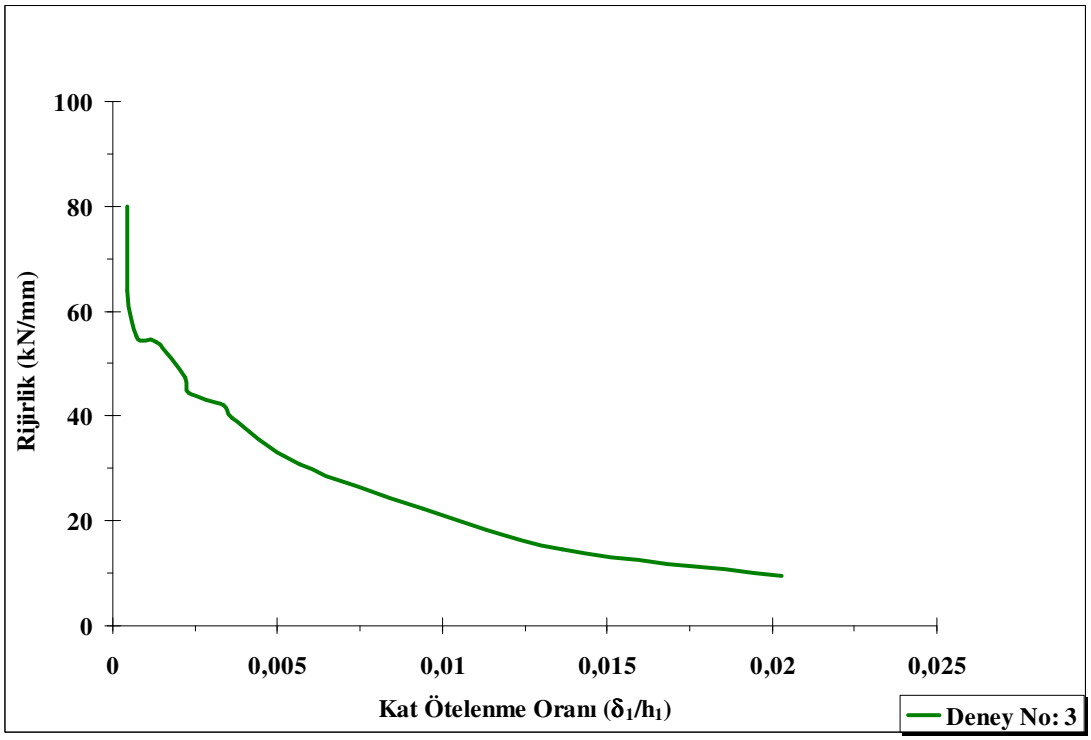
Şekil 5.103. 3. deney numunesine ait S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



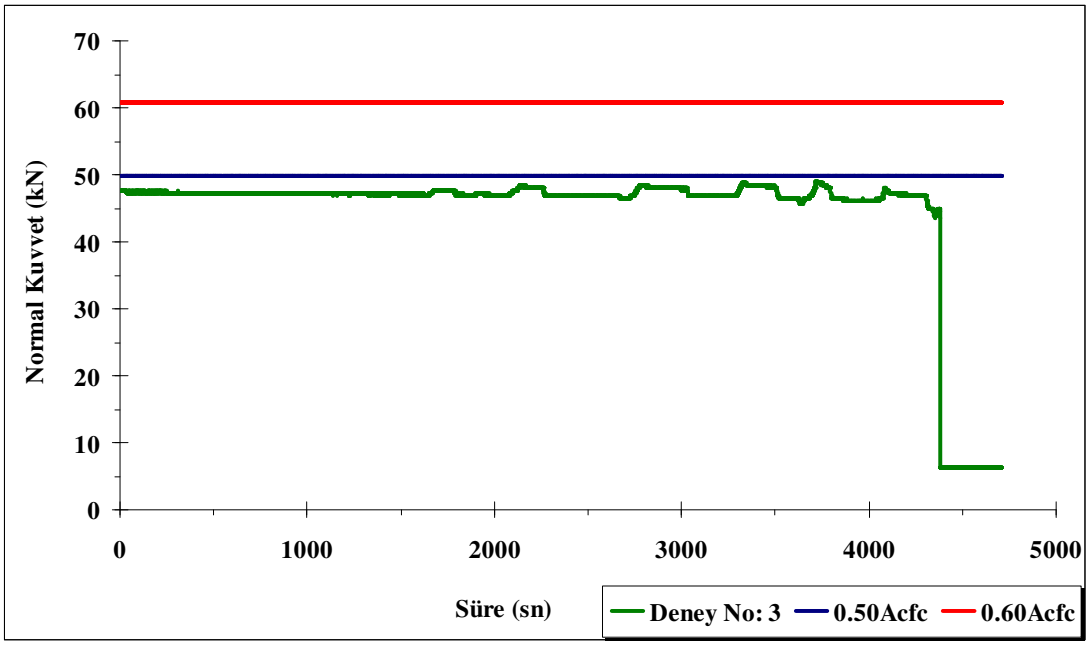
Şekil 5.104. 3. deney numunesinde temel üstünden 100 mm uzaklıkta perde duvar kesitin birim deformasyon değişimi



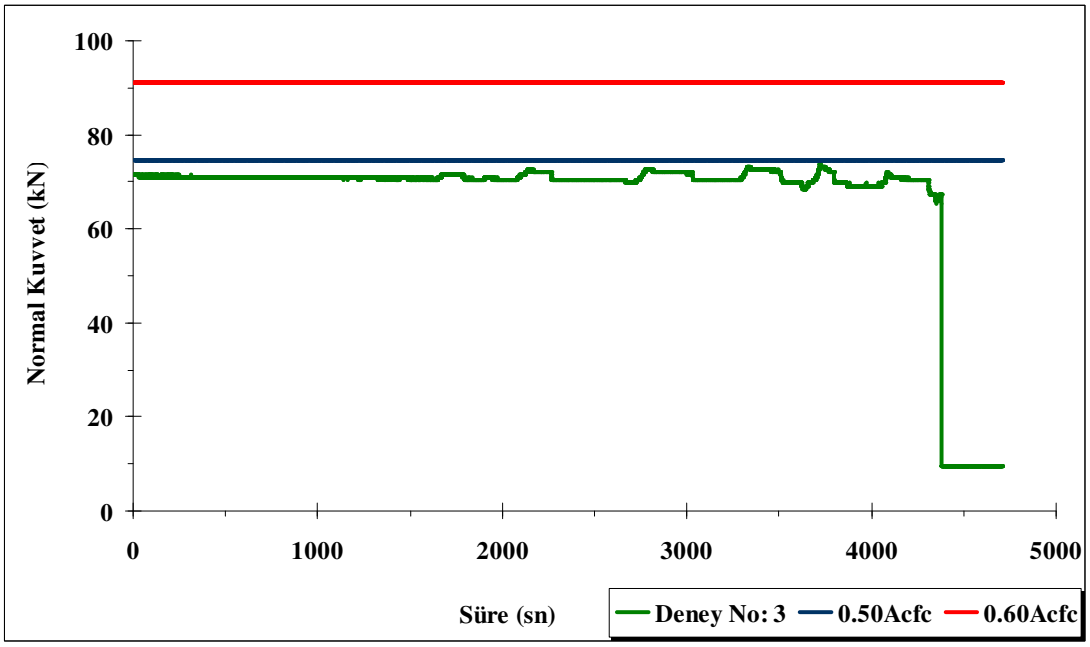
Şekil 5.105. 3. deney numunesine ait 2. kat (üst kat) rijitlik azalım grafiği



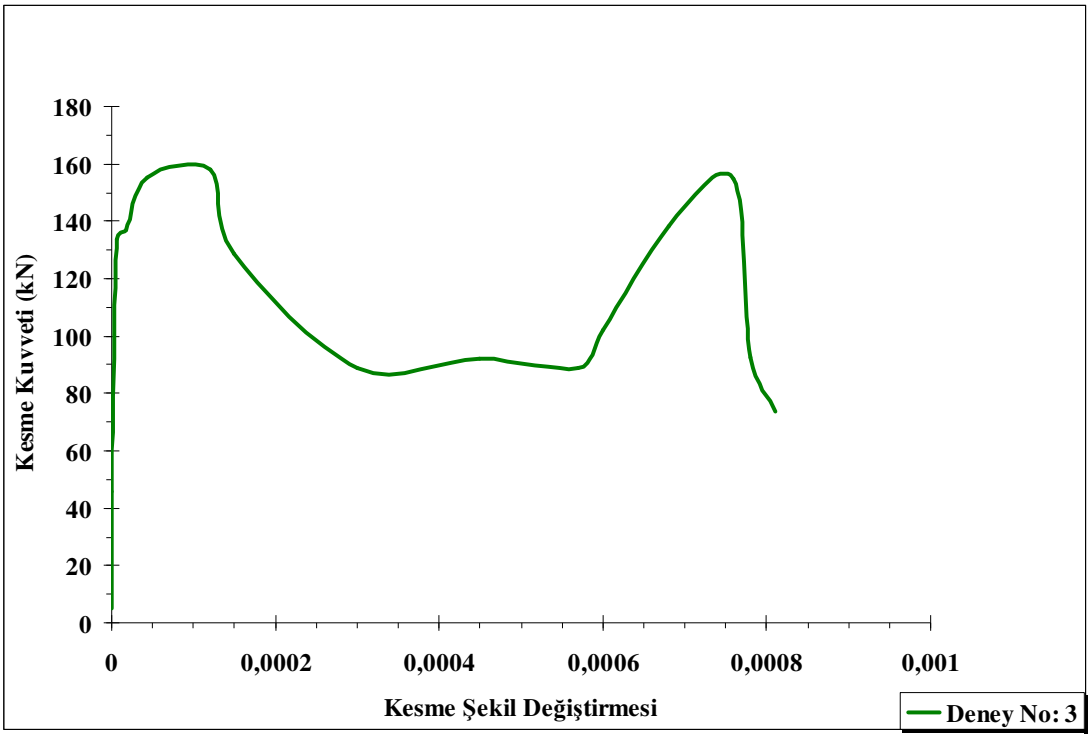
Şekil 5.106. 3. deney numunesine ait 1. kat (alt kat) rijitlik azalım grafiği



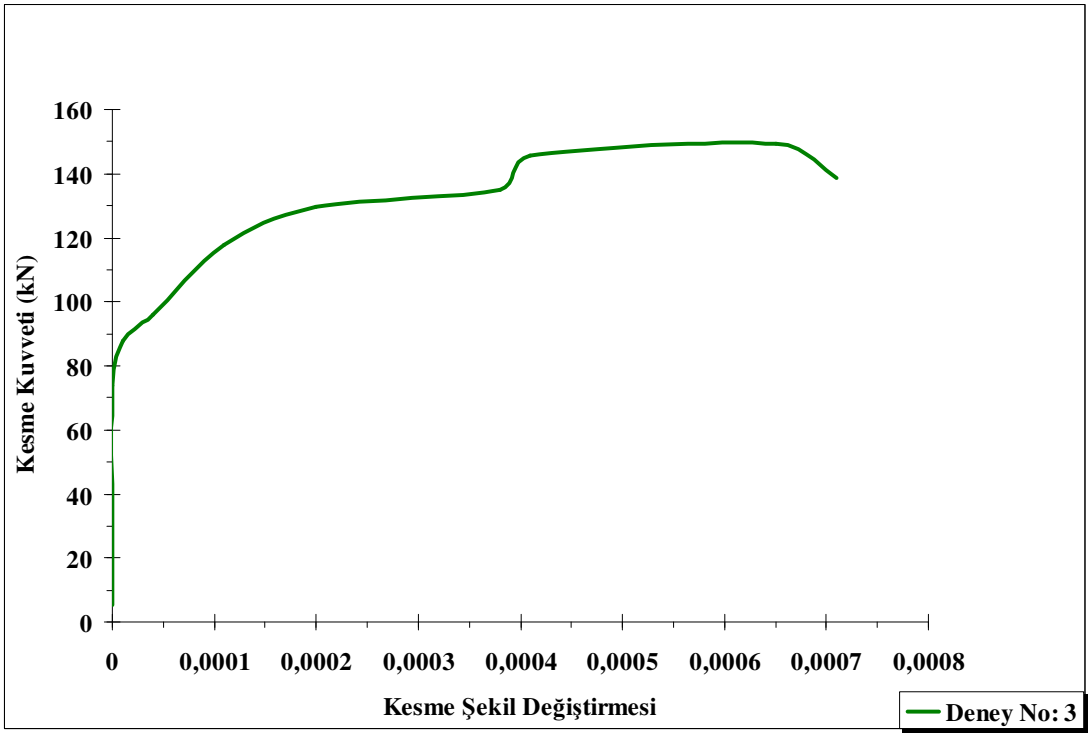
Şekil 5.107. 3. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



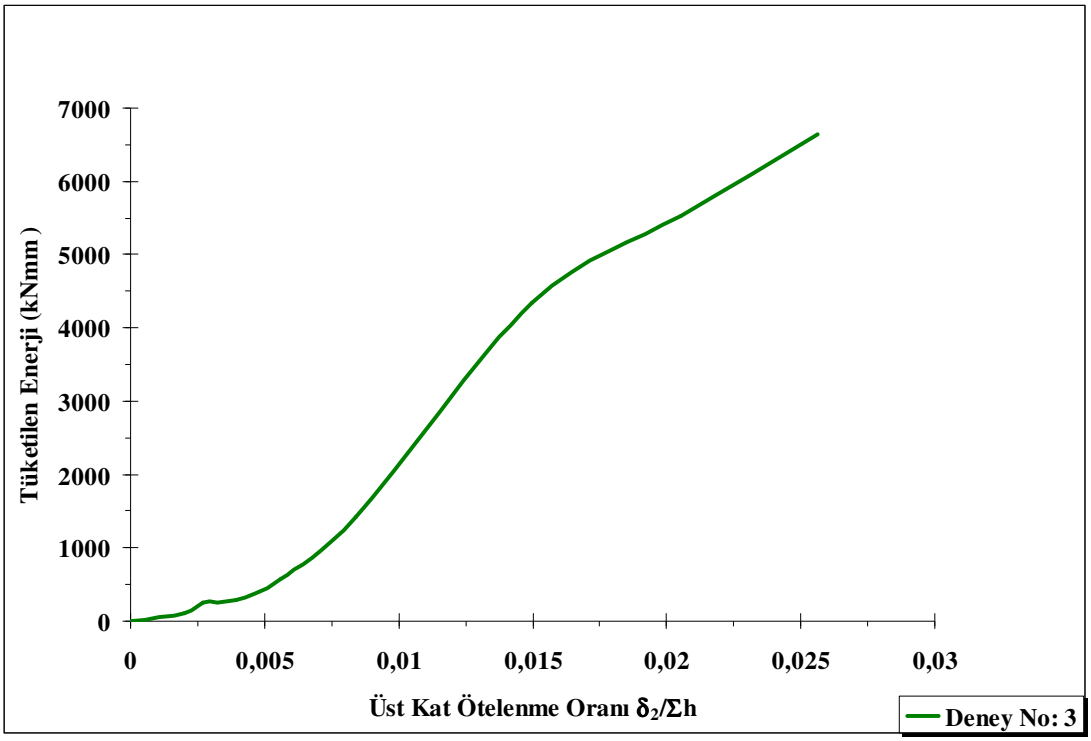
Şekil 5.108. 3. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



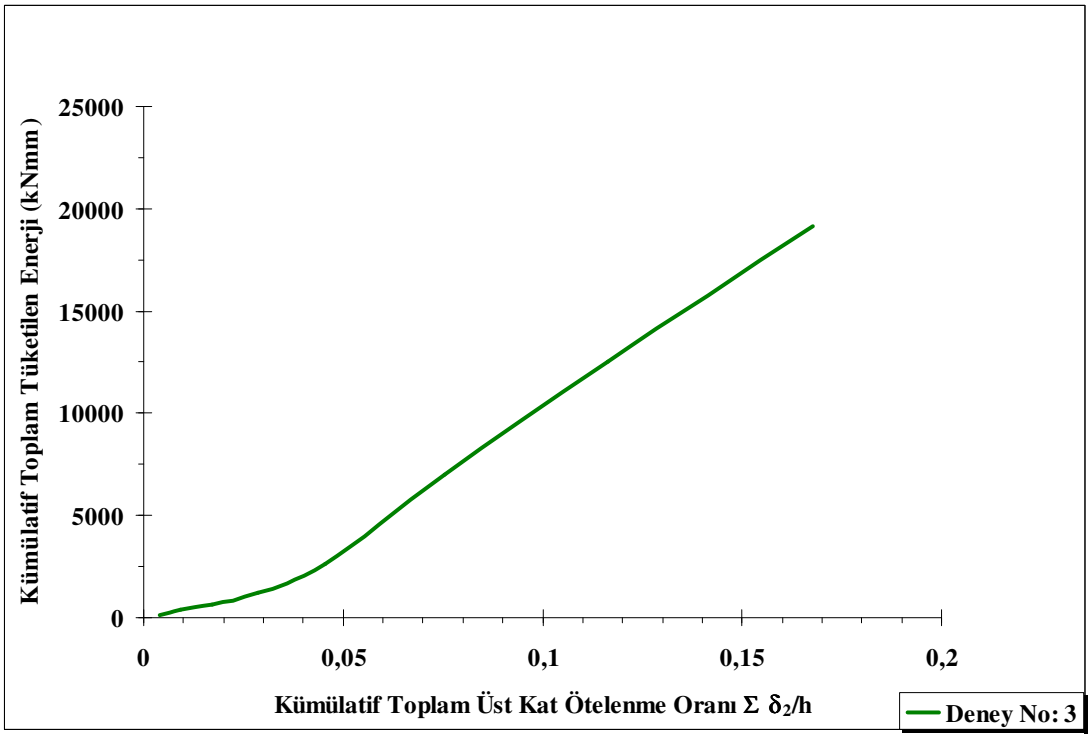
Şekil 5.109. 3. deney numunesine ait 2. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği



Şekil 5.110. 3. deney numunesine ait 1. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği



Şekil 5.111. 3. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)



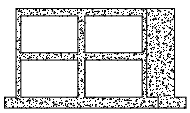
Şekil 5.112. 3. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği

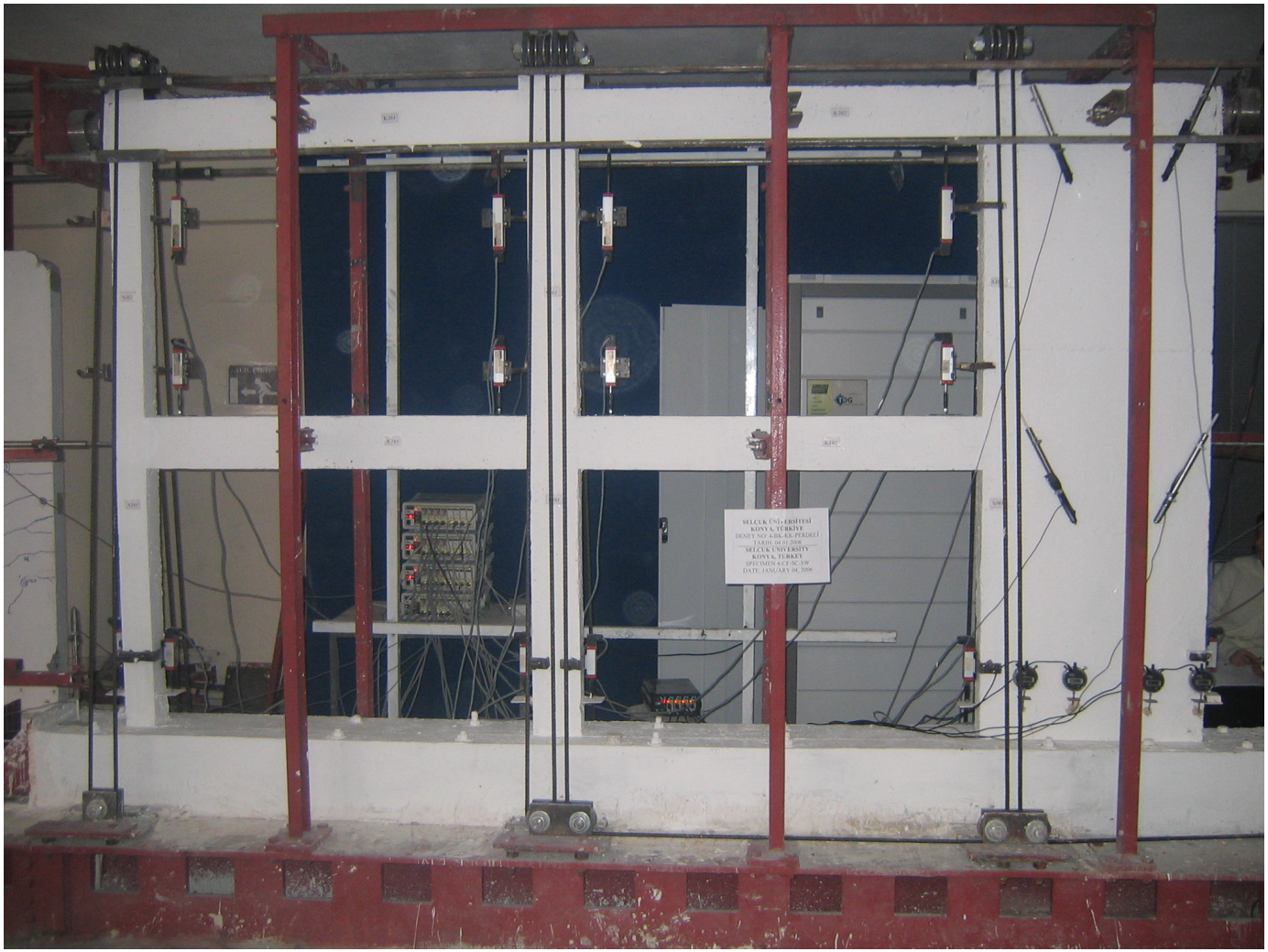
5.4. 4 Nolu (4- BK-KK PERDELİ) Deney (2. Grup Dış Perde Duvar İlaveli Çerçeve)

4 nolu (4- BK-KK PERDELİ) deney numunesi, 2 nolu boş çerçeve deney numunesinde bulunan aynı tasarım ve yapım kusurlarını içerecek şekilde üretilmiş; deprem davranışı zayıf, kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan betonarme çerçevenin, sağ kenar kolonunun dış yüzüne betonarme dış perde duvar eklenerek 600 mm genişliğinde betonarme perde duvar haline getirilmesi ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeve elemanıdır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.8.'de verilmiştir. Bu deneyin amacı, 2 nolu boş çerçeve deney numunesi ile aynı özellikleri taşıyan boş çerçeve elemanına, 600 mm genişliğindeki betonarme dış perde duvarın eklenmesi ile, oluşturulan güçlendirilmiş çerçevenin ve bu perdenin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altındaki davranışının incelenmesidir.

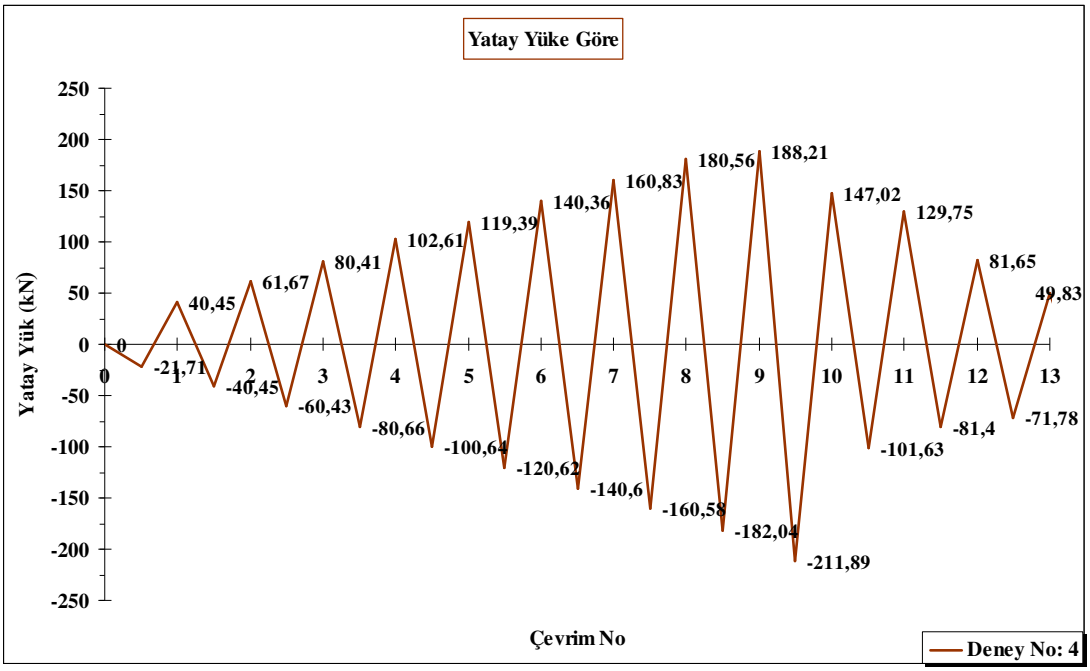
4 nolu deney numunesinin deneyden önceki durumu Şekil 5.113'de gösterilmiştir. Ayrıca, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.114'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. 4. deney numunesinin özellikleri

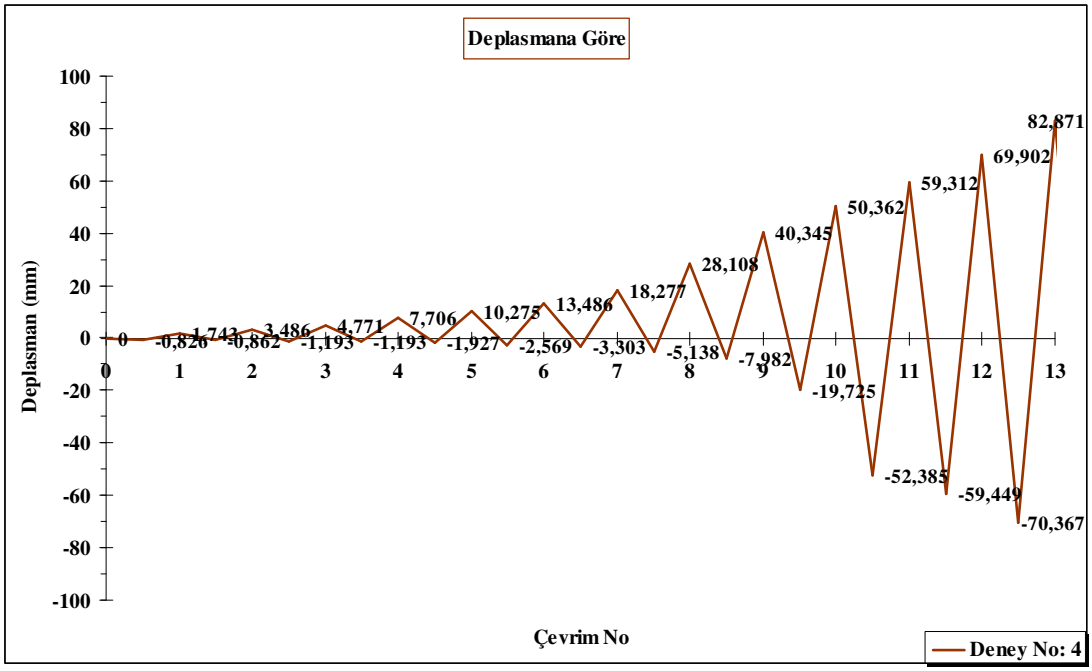
Deney Numunesi	Çerçeve tipi	Perde Betonu Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Kolon Eksenel Yük Seviyesi (N_d/N_r)	Kolon Boyuna Donatı Oranları (ρ_t)	Çerçeve Betonu Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)		
						ϕ4	ϕ6	ϕ8
Deney-4-BK-KK PERDELİ		29.10	0.5~0.6	0.023	13.255	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{550}$	$\frac{375}{490}$



Şekil 5.113. 4. deney numunesinin deneyden önceki görünüşü



a) 4. deney numunesinin yük geçmişi (yatay yüke göre)



b) 4. deney numunesinin yük geçmişi (tepe deplasmana göre)

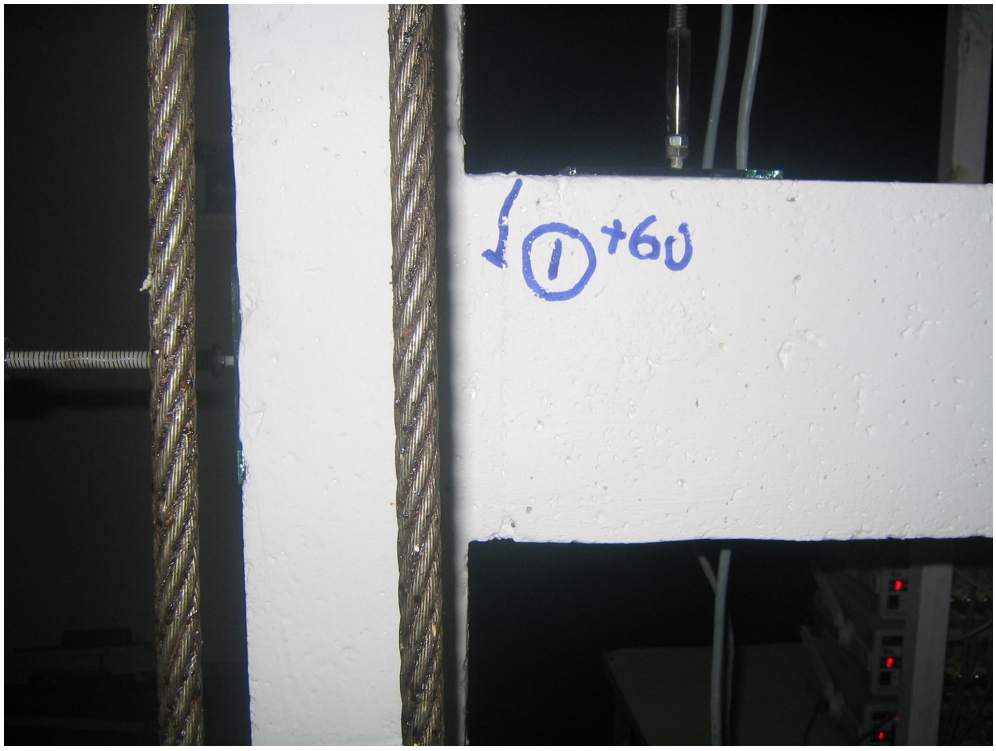
Şekil 5.114. 4. deney numunesinin yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, çerçeveye üst kat kirişi hizasından uygulanan yatay yük ve üst kattan ölçülen deplasmana göre ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programından da izlenebileceği gibi, sistemin akması ile birlikte yükleme, yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçmiştir. Yükleme programına göre, 20 kN'luk artışlarla 180 kN'a kadar gidilmiş, bu noktadan sonra sistem aktığı için deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek 10 mm'lik artışlarla, göçmeye kadar deplasman kontrollü yükleme devam etmiştir.

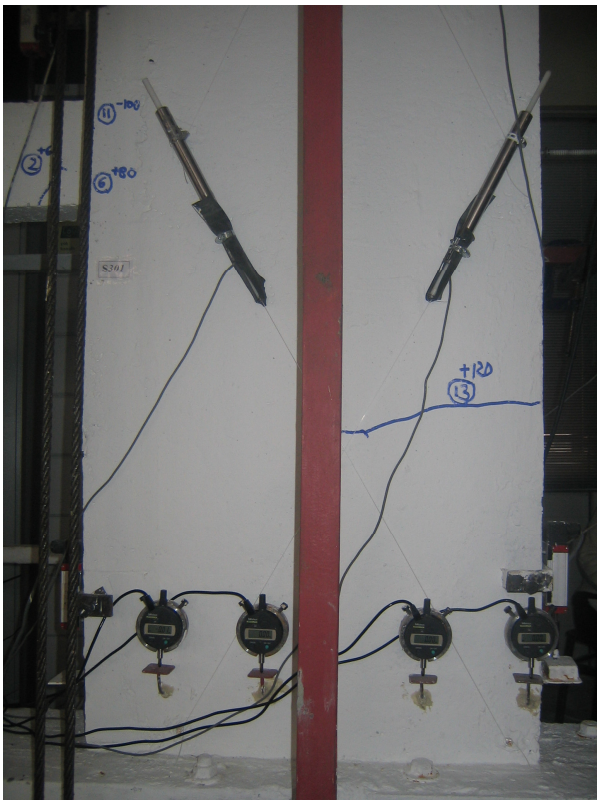
Çerçeve sisteminde ilk çatlak, 3. ileri çevrimde K101 kirişinin sol ucunda üstte 60 kN yatay yükte ve 3.394 mm tepe deplasmanında meydana gelmiştir (İlk çatlağın oluştuğu bu yük seviyesi sistemin elastik sınırıdır) (Şekil 5.115). 5. çevrimden sonra TDY-98'in vermiş olduğu deplasman üst sınır değeri (0.0035 x h = 0.0035 x 2000 = 7.00 mm) aşılmıştır. Bu durumda sistemde farklı bölgelerde toplam 10 adet çatlak sayılmış, perde ve kolonların hiçbirinde çatlak görülmemiştir. Perdede görülen ilk çatlak 120 kN yatay yükte ve 10.275 mm tepe deplasmanında perde sağ kenarı tabanından 50 cm yukarıda içeriye doğru 27 cm uzunluğunda 13 nolu çatlak olarak meydana gelmiştir(Şekil 5.116). Çerçeve sisteminde kolonlarda oluşan ilk çatlak, 8. geri çevrimde S202 kolonunun üst ucunda sağda içe doğru 160 kN yatay yükte ve -5.138 mm tepe deplasmanında oluşan 19 nolu çatlaktır(Şekil 5.117).

2 nolu çatlak, 1 nolu çatlak ile aynı anda K102 kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 8 cm içeride 60 kN yatay yük altında meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak yine aynı çevrimde K101 kirişinin sağ alt mesnetinde meydana gelmiştir. 5. ileri çevrimde, 100 kN yatay yük ve 7.706 mm tepe deplasmanında K102 kirişinin sol mesnetinde üstte 8 nolu çatlak oluştu (Şekil 5.118). 4 nolu deney elemanında, maksimum yük 184.57. kN olarak ölçülmüştür. Bu yükteki yatay deplasman 40 mm, deneydeki maksimum deplasman ise, 80 mm olarak ölçülmüştür.

Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasınca alınan önemli notlar Çizelge 5.9'da verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen ve ölçülen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri adımlar 1 ve geri adımlar 2 nolu olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



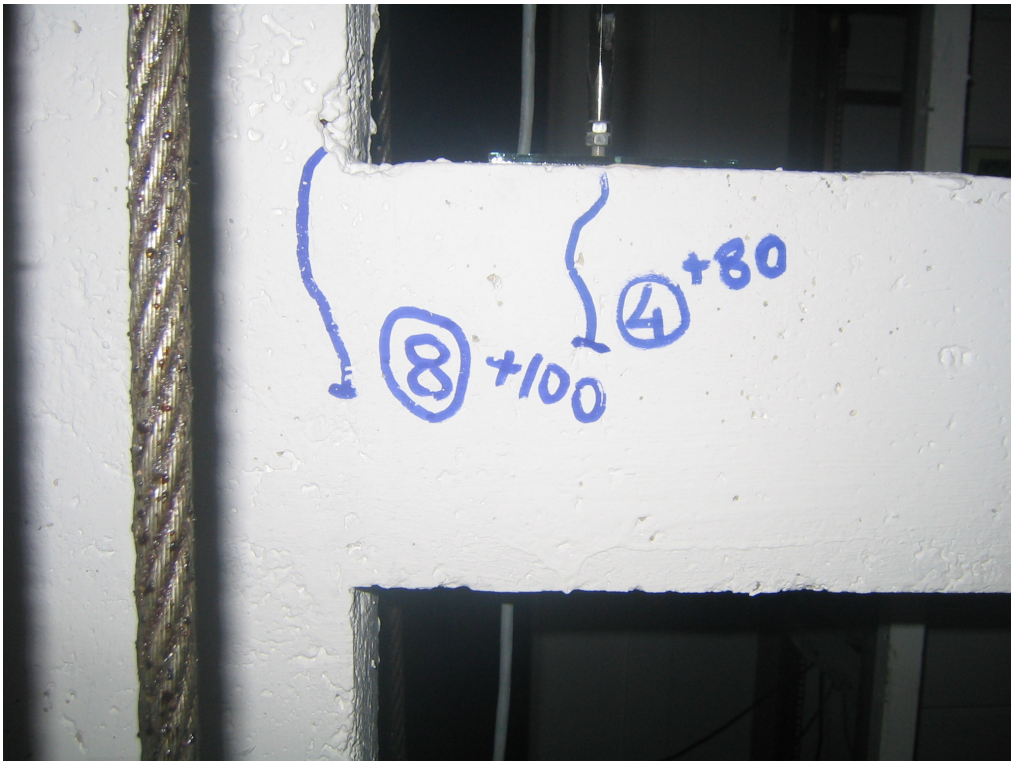
Şekil 5.115. 4. deney numunesinde K101 kirişi sol üst ucunda oluşan 1 nolu çatlak(elastik sınır)



Şekil 5.116. 4. deney numunesinde perdede oluşan ilk çatlak(13 nolu çatlak) (yük; 120 kN, deplasman; 10.275 mm)



Şekil 5.117. 4. deney numunesinde S202 kolonu üst ucunda oluşan 19 nolu çatlak (yük; -160 kN, deplasman; -5.138 mm)



Şekil 5.118. 4. deney numunesinde K102 kirişi sol üst mesnetinde oluşan 8 nolu çatlak (yönetmelik deplasman sınırı)

Çizelge 5.9. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
1.1	20	1.468	-
1.2	-20	-0.734	-
2.1	40	1.743	-
2.2	-40	-0.459	-
3.1	60	3.394	**1** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda üstte oluştu. **2** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 8 cm içeride oluştu. **3** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ alt mesnetinde oluştu.
3.2	-60	-1.193	-
4.1	80	4.771	**4** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda kolon yüzünden 9 cm içeride oluştu. **5** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda altta 9 cm içeride oluştu. **6** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ alt mesnetinde oluştu. 1 nolu çatlak ilerledi.
4.2	-80	-1.193	**7** nolu çatlak *K101* kirişinin sol alt ucunda 1 nolu çatlağın altında oluştu.
5.1	100	7.706	**8 nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu**(yönetmelik deplasman sınırı)**.** 6 nolu çatlak ilerledi. **9** nolu çatlak *K101* kirişinin sol ucunda üstte kolon yüzünden 21 cm içeride oluştu. **10** nolu çatlak *K102* kirişinin sol ucunda kolon yüzünden 18 cm içeride oluştu. Henüz kolonlarda çatlak oluşmadı.
5.2	-100	-2.110	1 nolu çatlak ilerledi. 6 nolu çatlak yukarı yönde ilerledi. **11** nolu çatlak *K102* kirişinin sol mesnetinde üstte oluştu ve 6 nolu çatlakla birleşti.

Çizelge 5.9.devamı. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
6.1	120	10.275	**12** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 14 cm içeride oluştu. **13 nolu çatlak perde sağ kenarı tabanından 50 cm yukarıda içeriye doğru 27 cm uzunluğunda oluştu.**
6.2	-120	-2.477	7 ve 1 nolu çatlaklar birleşti. **14** nolu çatlak *K102* kirişinin sol alt mesnetinde oluştu.
7.1	140	13.486	**15** nolu çatlak *perde* tabanından 70 cm yukarıda 26 cm içeriye doğru oluştu.
7.2	-140	-3.303	9 nolu çatlak ilerledi.
8.1	160	18.277	3 ve 5 nolu çatlaklar kiriş orta noktasına doğru ilerledi. 6 ve 11 nolu çatlakların kalınlığı 0.5 m'yi geçti. **16** nolu çatlak *perde* tabanından 85 cm yukarıda 16 cm içeriye doğru oluştu. Perde tabanında ayrılma görüldü. Perde sağ alt kenarında içeriye doğru 5 cm uzunluğunda **17** nolu çatlak oluştu.
8.2	-160	-5.138	**18** nolu çatlak *K101* kirişinin sağ mesnetinde üstte oluştu. **19 nolu çatlak S202 kolonunun üst ucunda sağda içe doğru oluştu. 20** nolu çatlak *S301* kolonunun tabanında sol kenarda oluştu.
9.1	180	28.386	**21** nolu çatlak *S201* kolonunun alt ucunda sağda kolon tabanından 2 cm yukarıda oluştu. **22** nolu çatlak *S101* kolonunun alt ucunda sağda oluştu. **23** nolu çatlak *S301*

Çizelge 5.9.devamı. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	**Yatay Yük (kN)**	**Yatay Deplasman (mm)**	**Gözlenen Davranış**
			kolonunun üst ucunda kiriş hizasında oluştu. **24** nolu çatlak perde tabanından 60 cm yukarıda 15 cm içeriye doğru oluştu. **25** nolu çatlak S101 kolonunun üst ucunda yatay konumda oluştu. **26** nolu çatlak perdede 1. kat üst hizasında oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi(10 cm). **27** nolu çatlak *S202* kolonunun üst ucunda solda yatay konumda oluştu. **28** nolu çatlak *K202* kirişinin sağ alt mesnetinde oluştu. **S301 kolonunun tabanında sol kenarda ezilme başlangıcı görüldü. 29** nolu çatlak *K102* kirişinde S102 kolon yüzünden 43 cm içeride oluştu. **30 nolu çatlak temelde temel pabucunda oluştu.**
9.2	-180	-7.892	**31** nolu çatlak *S301* kolonunun alt ucunda tabandan 4 cm yukarıda başlıyor ve temel içine doğru ilerliyor. S301 kolonunu üst ucunda ezilmeler görüldü. 23 nolu çatlak S302 kolonuna doğru 5 cm ilerledi ve sona erdi. **32** nolu çatlak *S201* alt ucunda solda oluştu. **33** nolu çatlak *S302* kolonu ile perdenin birleştiği üst uçta oluştu. Kolonla perde açılıyor.
10.1	184.57	40	**34** nolu çatlak *K102* kirişinin sağ ucunda altta kolon yüzünden 29 cm içeride oluştu. **35** nolu çatlak *S202* kolonunun üst ucunda yukarıdan 9 cm kolon ortasına doğru oluştu. **36** nolu çatlak *S202* kolonunun üst ucunda solda

Çizelge 5.9.devamı. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
			yukarıdan 14 cm uzunluğunda oluştu. S101 kolon-kiriş birleşim bölgesinde kolon sol kenarında ezilme oluştu. S101 kolonunun alt ucunda sol kenarda ezilme oluştu. S201 kolonunun alt ucunda sol kenarda ezilme oluştu. S301 kolonundaki ezilmeler belirginleşti(tabandan yüksekliği 7 cm)
10.2	-111.9	-40	S302 kolonunun üst ucu ezildi. S301 kolonunun sol üst ucundan 30 cm yukarıda 45^o başlayan çatlak perde kenarından temel kotunda ilerledi ve yatay olarak perde tabanında devam etti ve 31 nolu çatlakla birleşti(5 mm genişliğinde). Perde sağ alt tabanı 4 cm yüksekliğinde ezildi. S201 kolonunun sağ alt ucu ezildi. **37** nolu çatlak *S102* kolonunun üst ucunda sağda oluştu. 19 ve 27 nolu çatlaklar S202 kolonunun üst ucunda birleşti ve 19 nolu çatlak kirişe doğru devam etti. 14 nolu çatlak S201 kolonunda yatay olarak devam etti. **38** nolu çatlak *S202* kolonunun alt ucunda solda oluştu. S202 kolonunun alt ucu sağ kenarı ezildi. **Perdeden donatı kopma sesi duyuldu.**
11.1	141.34	50	38 mm deplasmandan sonra 2 adet donatı kopma sesi duyuldu. **39** nolu çatlak *S201* kolonunun üst ucunda solda oluştu ve 37 nolu çatlakla birleşti. Perde tabanında sağ kenarda çatlak açıklığı 9 mm oldu. Perde donatıları koptu.

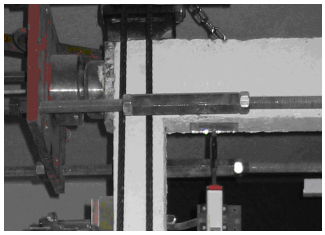
Çizelge 5.9.devamı. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
11.2	80	-50	-
12.1		60	Bir donatı kopma sesi daha duyuldu.
12.2	-70	-60	27 nolu çatlak yukarı ve aşağı yönde ilerledi.
13.1	77	70	Donatı kopma sesi duyuldu.
13.2	-67	-70	-
14.1	46	80	-
14.2	-55	-80	-

Not: Bu çizelgedeki yük ve deplasman değerleri, deney sırasında bilgisayar monitöründen görülüp anlık olarak yazıldığı için, grafiklerdeki değerlerle buradaki değerler arasında küçük farklılıklar olabilmektedir.

4 nolu deney numunesi, 9. geri çevrimden sonra akmaya başlamış ve yük-deplasman eğrisi ve çevrimlerin eğimi de azalmaya başlamıştır (akma yükü, ≈140 kN). Akma yükünde 13.486 mm deplasman ölçülmüştür. Akma konumunda çerçeve düğüm noktalarının durumu Şekil 5.119'da verilmiştir.

Çerçevenin maksimum yük anında hasar durum ise Şekil 5.120'de verilmiştir.



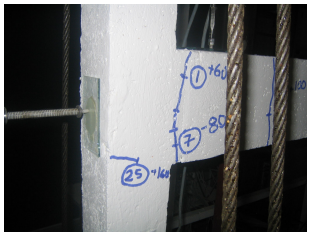
a) S201-K201



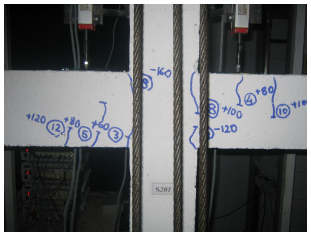
b) K201- S202-K202



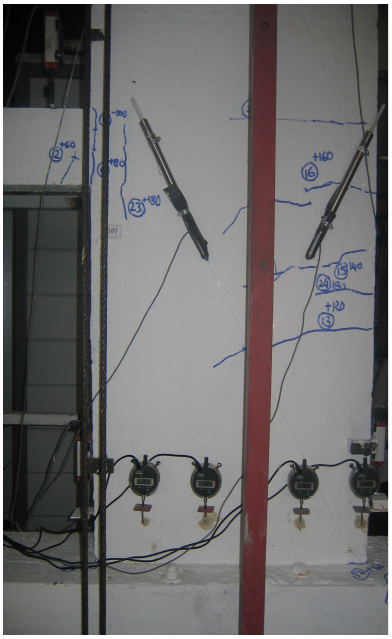
c) K202-PERDE



d) S201-K101



e) K101- S202-K102





f) S101-Temel



g) S102-Temel

h) PERDE-Temel

Şekil 5.119. 4. deney numunesinin düğüm noktalarında akma konumundaki hasar durumu

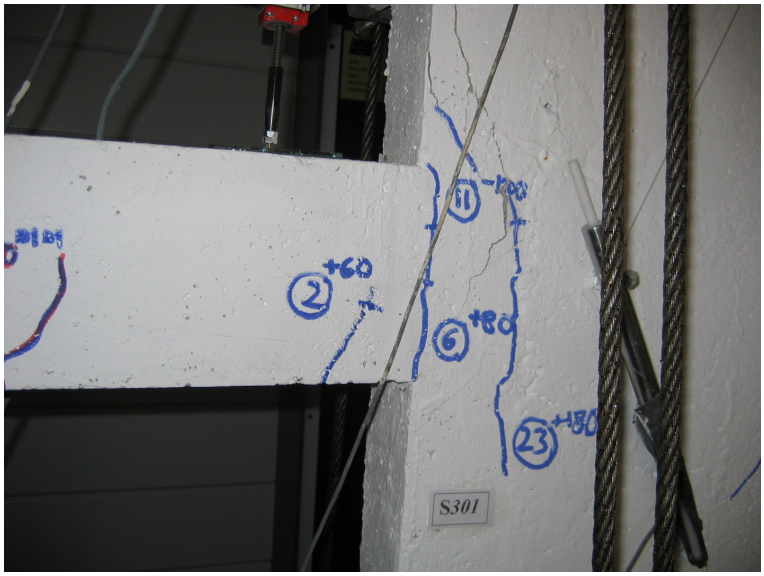


Şekil 5.120. 4. deney numunesinin maksimum yük anında hasar durumu

Maksimum yük seviyesinden sonra S203 kolonunun üst ucu ezilmiş ve kabuk betonu dökülmüştür(Şekil 5.121). Aynı zamanda S203 kolonunun alt uçlarında ve kolon-kiriş bölgesinde ezilme çatlakları belirginleşmiştir(Şekil 5.122). Perde tabanında ezilmeler görülmüş ve değişik zaman aralıklarıyla perde tabanından gelen boyuna donatı kopma sesleri duyulmuştur. Bu sesler deney sonuna kadar duyulmaya devam etti. Deneye 80 mm'lik deplasman kademesinde son verilmiştir.

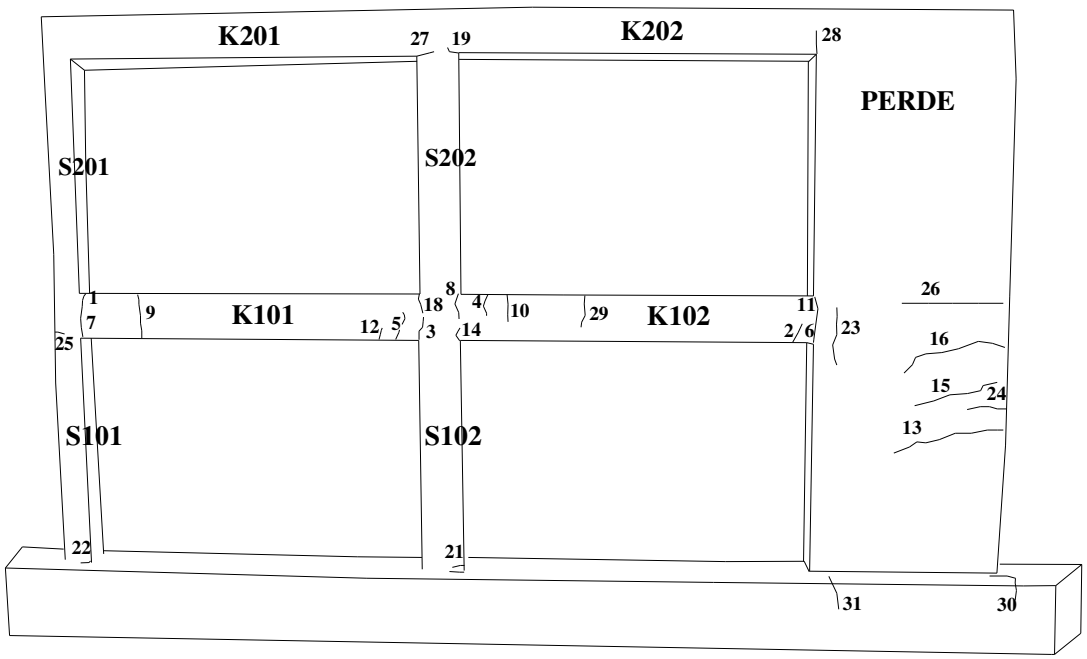


Şekil 5.121. 4. deneyde maksimum yük seviyesinden sonra S203 kolonunun üst ucunda oluşan hasar

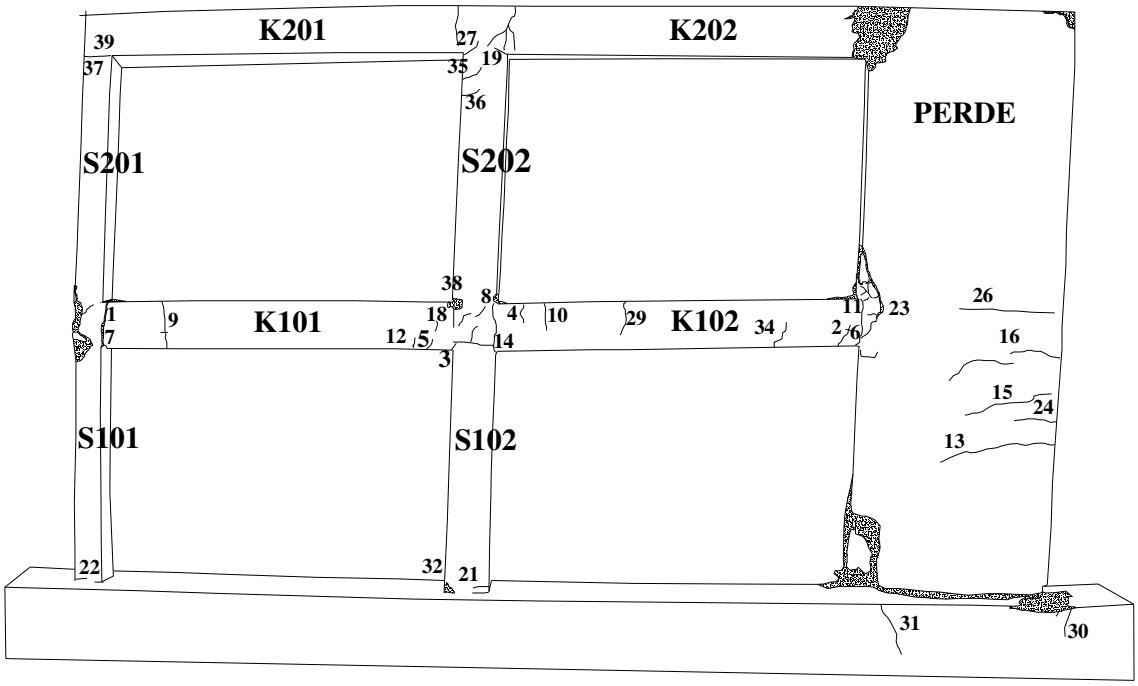


Şekil 5.122. 4. deneyde maksimum yük seviyesinden sonra S203 kolonunun alt ucunda oluşan çatlaklar

Şekil 5.123'de 4. deney numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlaklar; Şekil 5.124'de ise, deney sonundaki çatlaklar şematik olarak gösterilmiştir



Şekil 5.123. 4. deney numunesinin maksimum yüklemede hasar durumu(şematik olarak)



Şekil 5.124. 4. deney numunesinin deney sonrası hasar durumu (şematik olarak)

Çerçevenin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu Şekil 5.125'de verilmiştir.



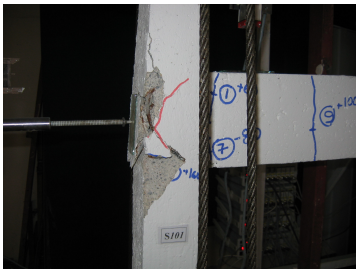
a) S201-K201



b) K201- S202-K202



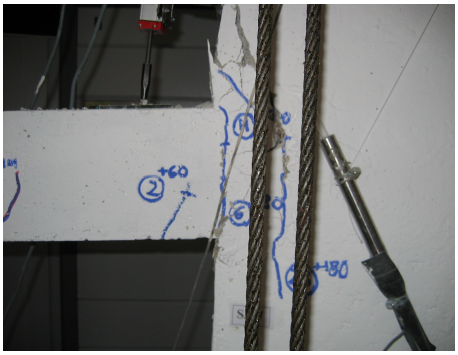
c) K202-PERDE



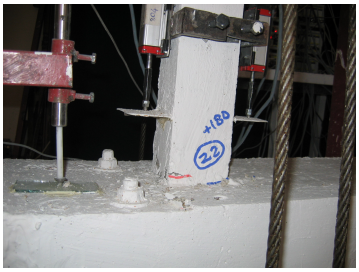
d) S201-K101



e) K101- S202-K102



f) K102-PERDE



g) S101-Temel



h) S102-Temel



i) PERDE-Temel

Şekil 5.125. 4. deney numunesinin düğüm noktalarının deney sonundaki hasar durumu

4 nolu deney numunesinin deney sonundaki durumu Şekil 5.126-Şekil 5.132 aralığında verilmiştir.



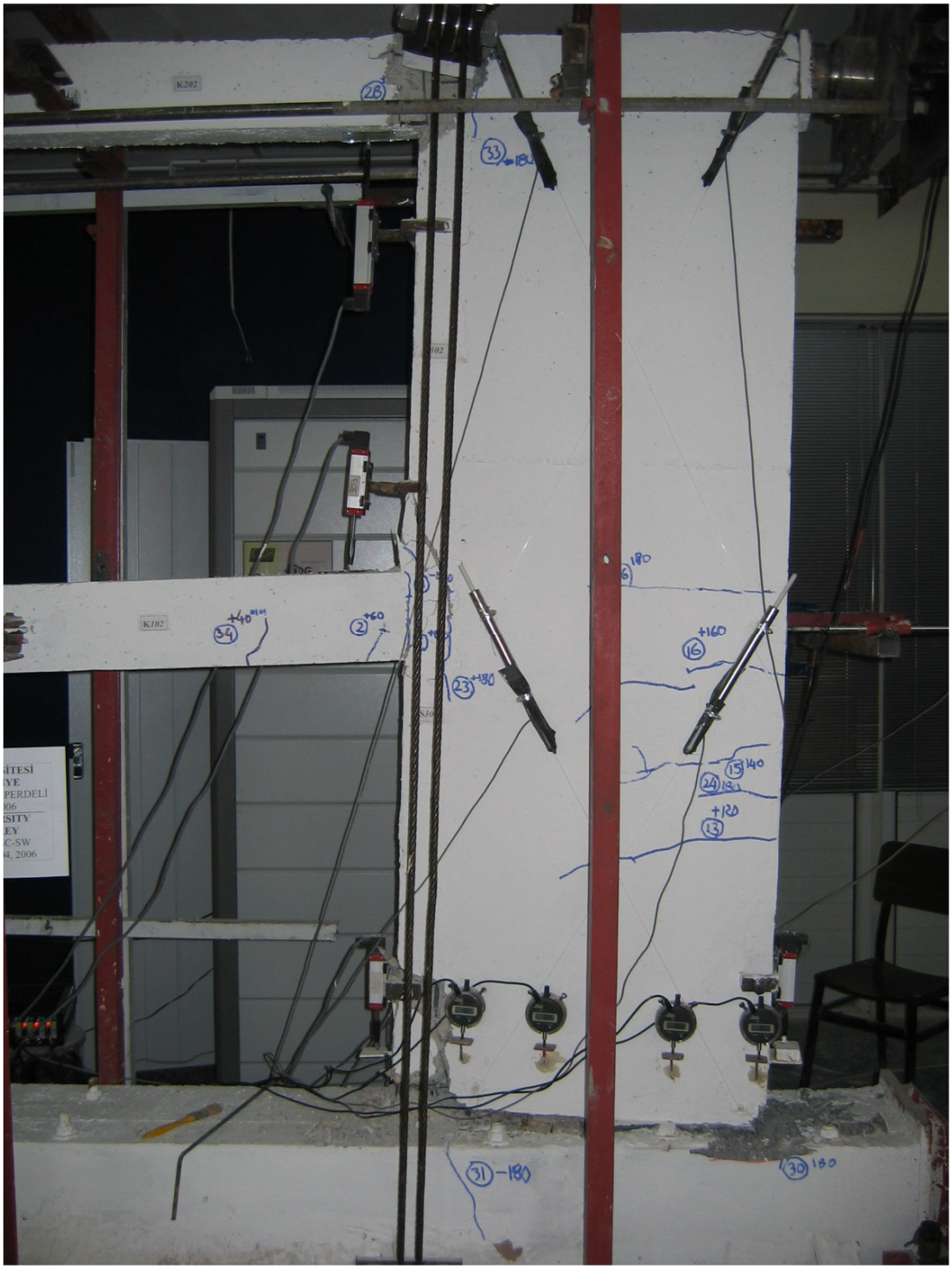
Şekil 5.126. 4. deney numunesinin deney sonu görünüşü



Şekil 5.127. 4. deney numunesinin sol kenar kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.128. 4. deney numunesinin orta kolonunun deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.129. 4. deney numunesinde perde duvarın deney sonundaki yatay deplasmanı



Şekil 5.130. 4. deney numunesinde perde donatılarının kopması

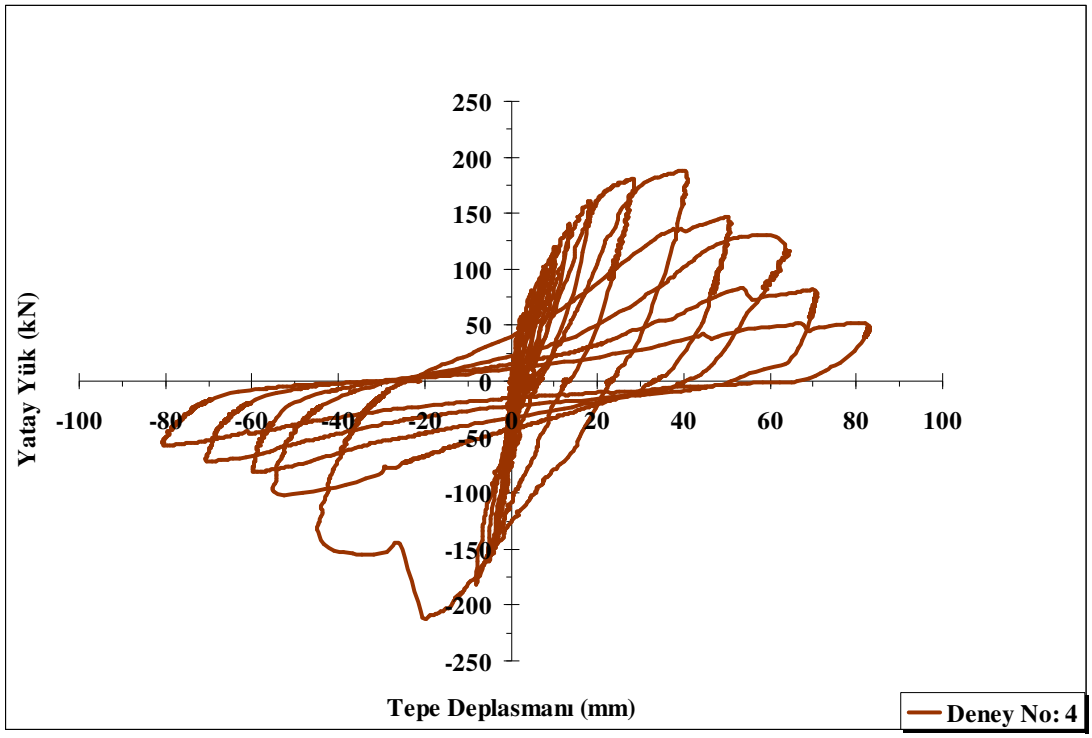


Şekil 5.131. 4. deney numunesinde perde sol kenarının hasarı

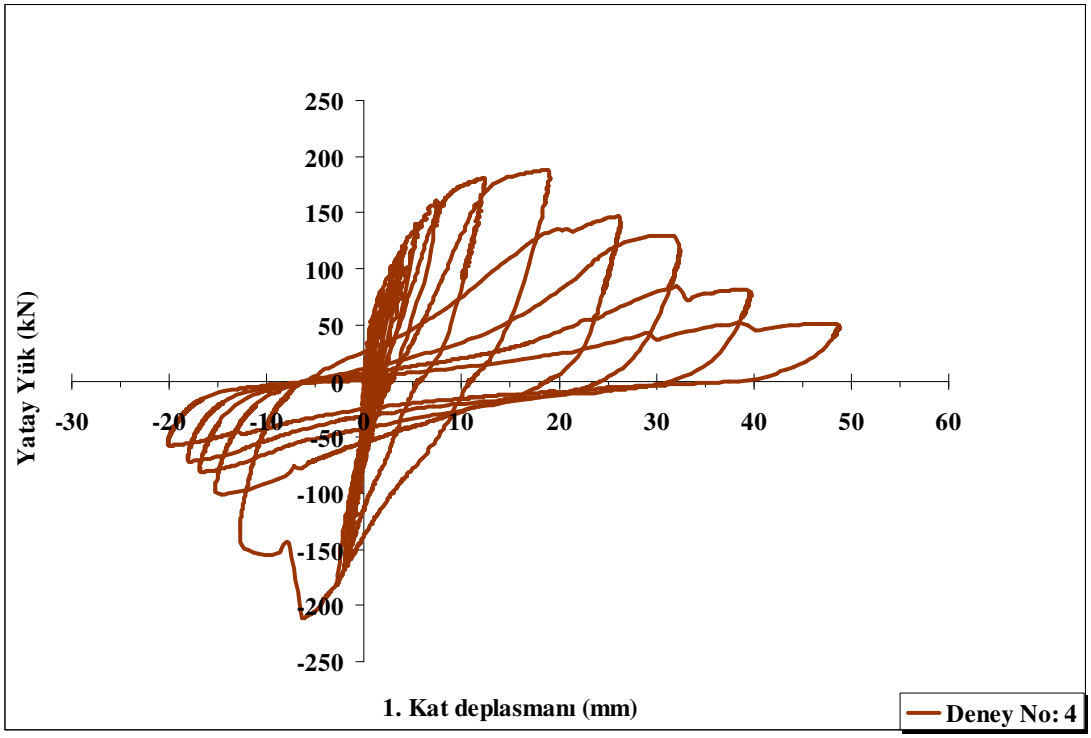


Şekil 5.132. 4. deney numunesinde S101 kolonunun üst düğüm noktasının deney sonundaki durumu

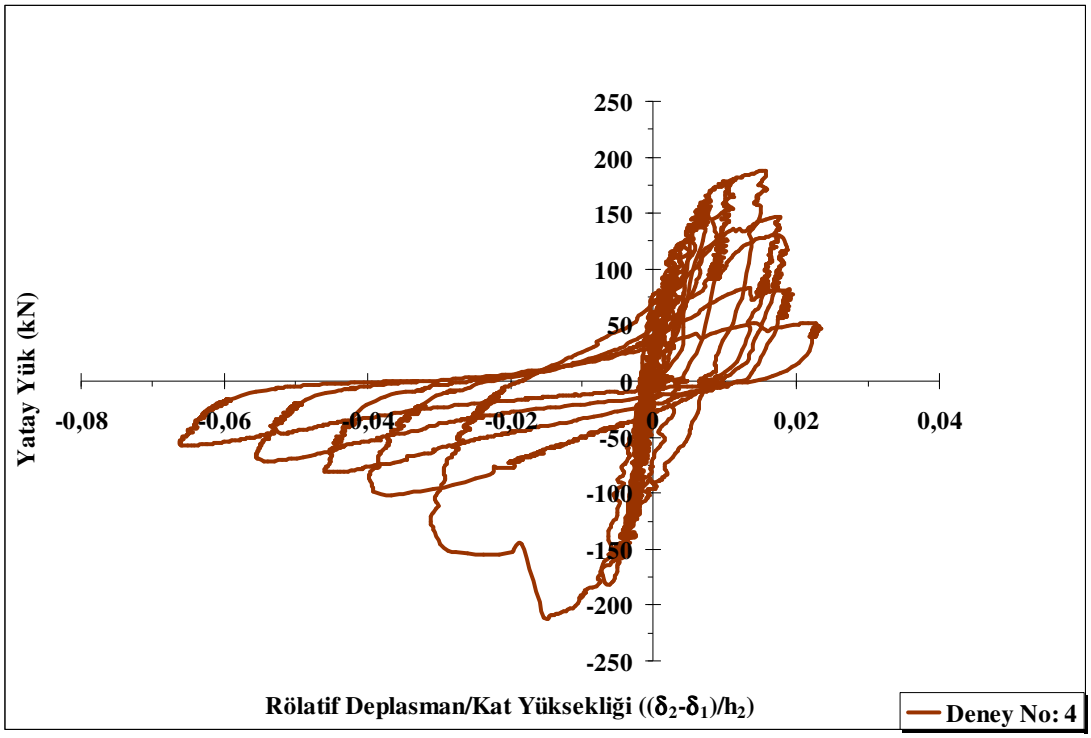
Bu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – tepe deplasman grafiği Şekil 5.133'de, yatay yük -1. kat deplasman grafiği Şekil 5.134'de, yatay yük–2. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.135'de, yatay yük – 1. kat rölatif ötelenme oranı grafiği Şekil 5.136'da, yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.137'de, yatay yük-2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.138'de, yatay yük- 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.139'da, S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.140'de, S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği Şekil 5.141'de, perde duvar kesiti birim deformasyon değişimi Şekil 5.142'de, rijitlik azalım grafikleri Şekil 5.143 ve Şekil 5.144'de, kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi Şekil 5.145 ve Şekil 5.146'da, 2. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği Şekil 5.147'de, 1. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği Şekil 5.148'de, her bir deplasman aralığı için hesaplanan enerji tüketimi – ötelenme oranı grafiği Şekil 5.149'da, kümülatif toplam tüketilen enerji-kümülatif toplam 2. kat öteleme oranı grafiği Şekil 5.150'de, verilmiştir.



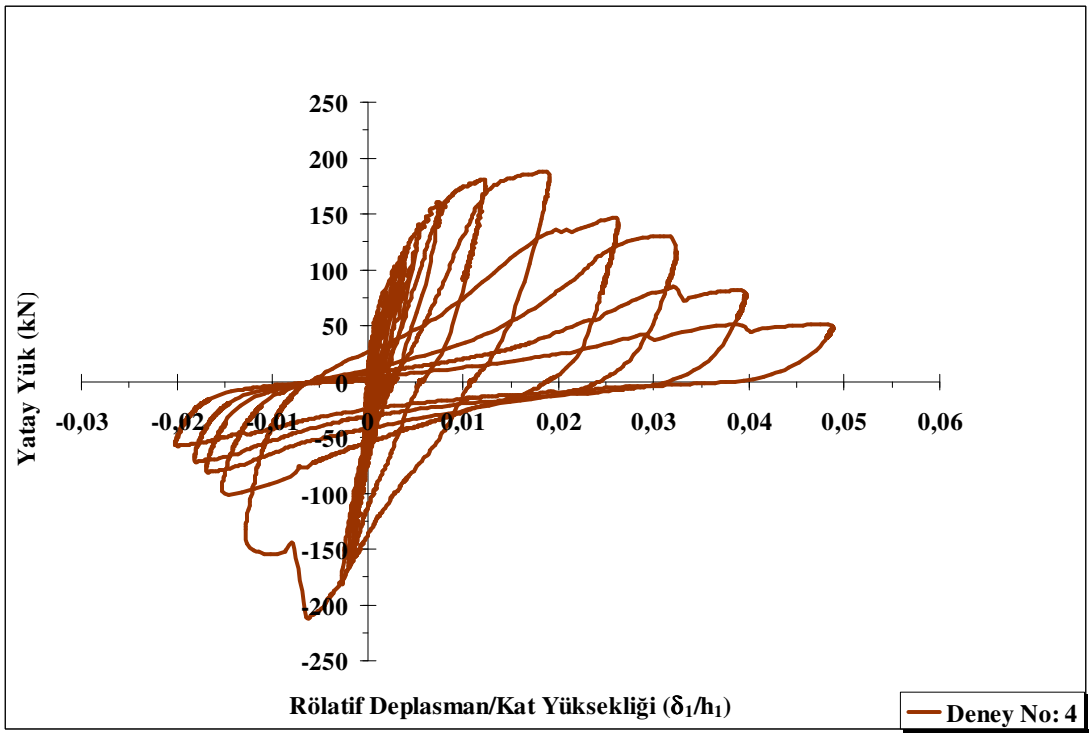
Şekil 5.133. 4. deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği



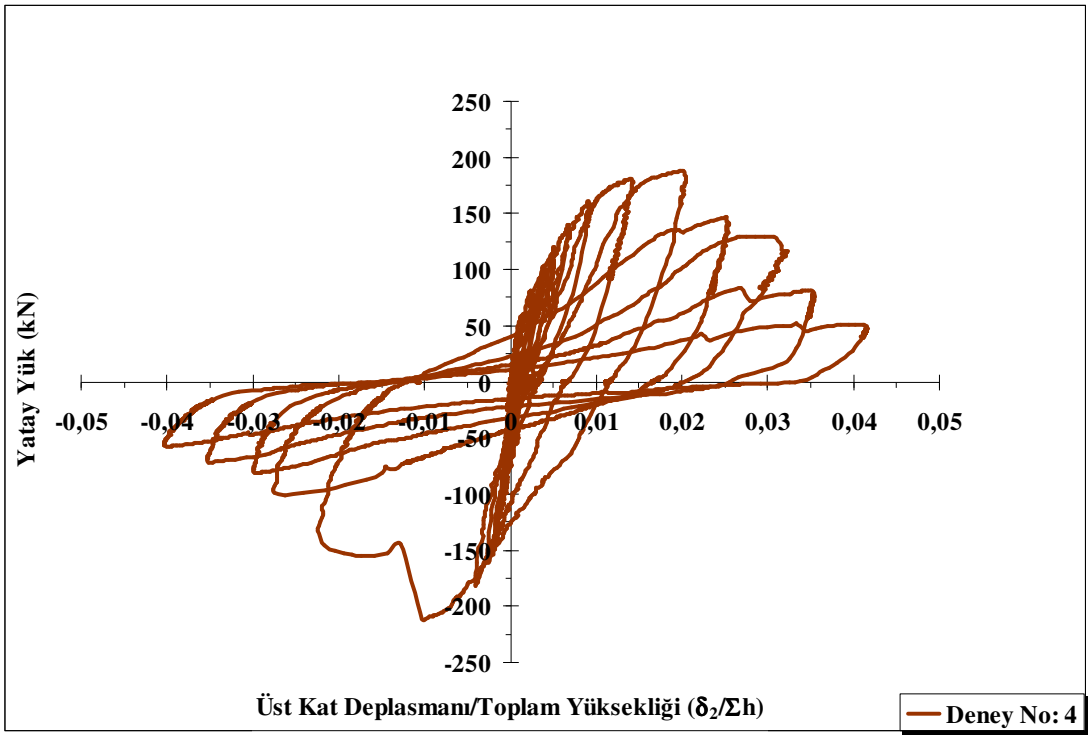
Şekil 5.134. 4. deney numunesine ait yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği



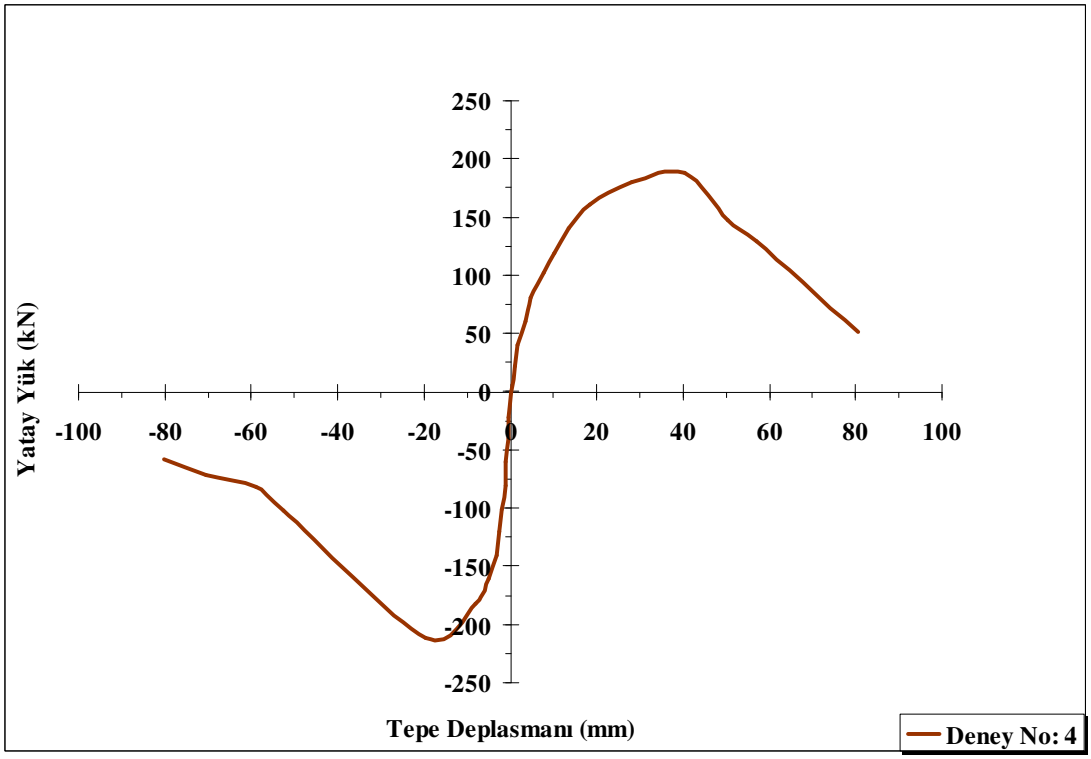
Şekil 5.135. 4. deney numunesine ait yatay yük-2. kat ötelenme oranı grafiği



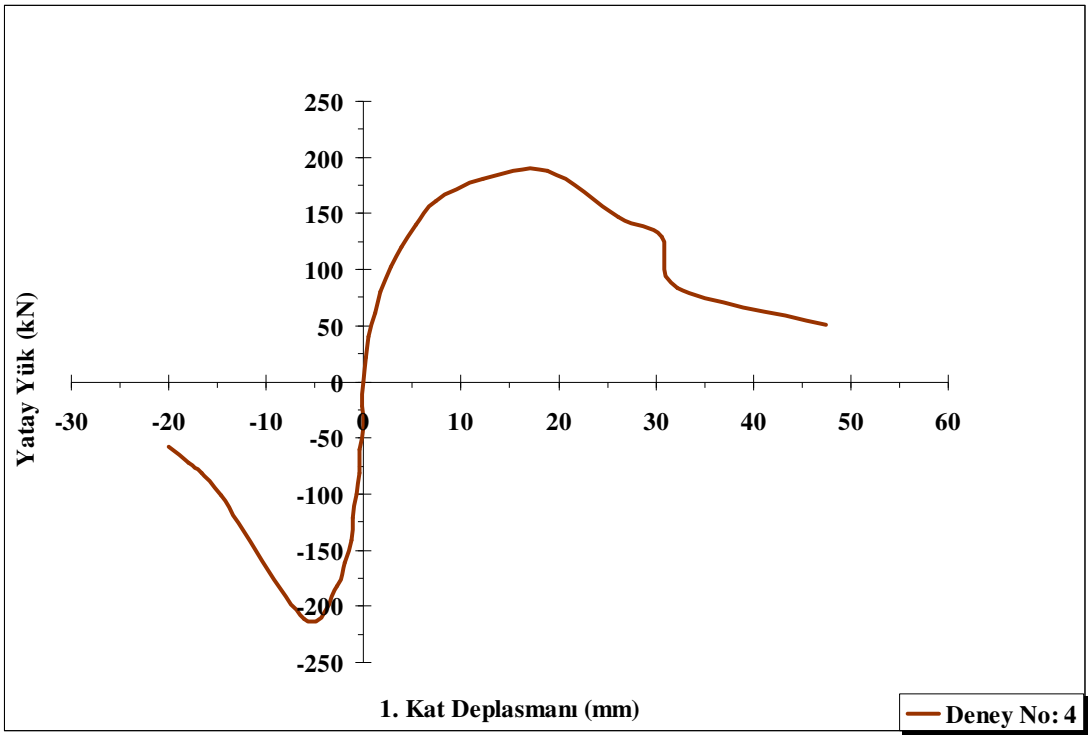
Şekil 5.136. 4. deney numunesine ait yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği



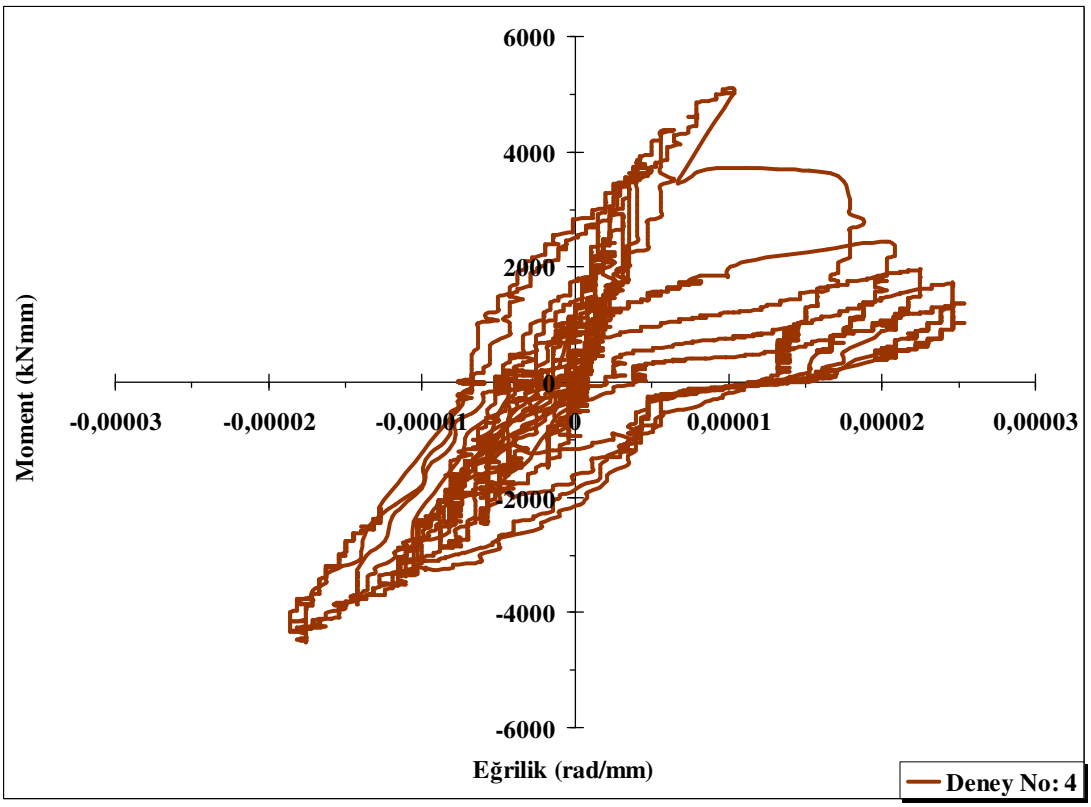
Şekil 5.137. 4. deney numunesine ait yatay yük-toplam ötelenme oranı grafiği



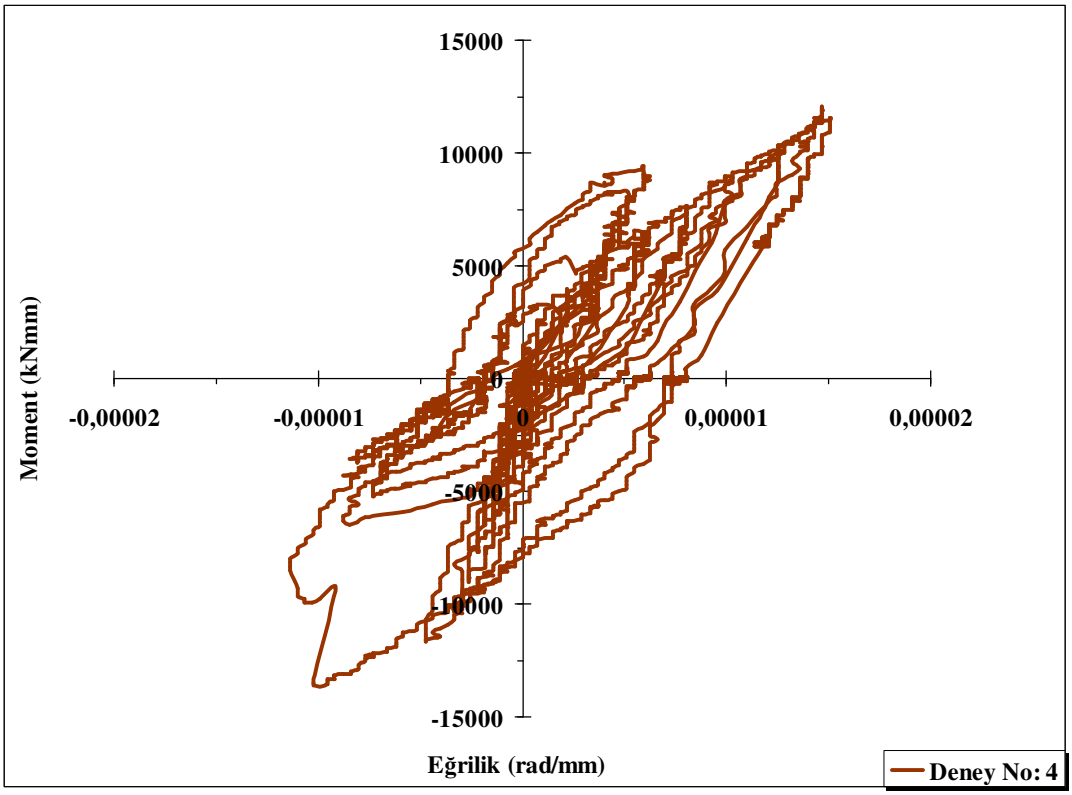
Şekil 5.138. 4. deney numunesine ait yatay 2. kat dayanım zarfı grafiği



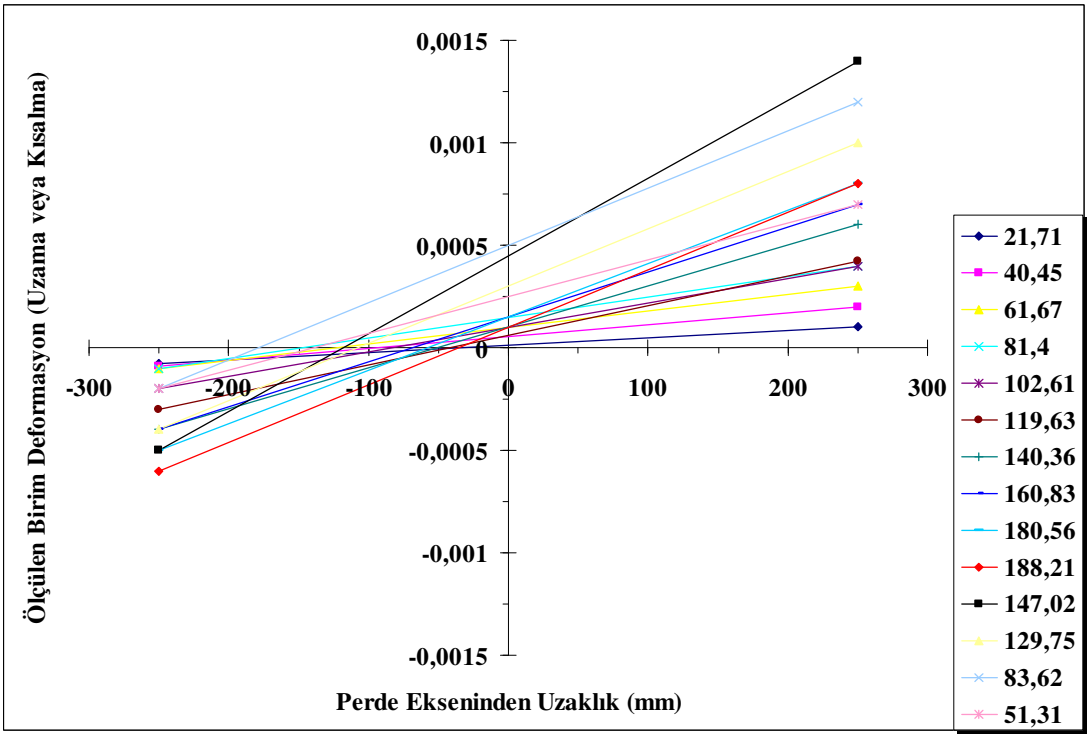
Şekil 5.139. 4. deney numunesine ait 1. kat dayanım zarfı grafiği



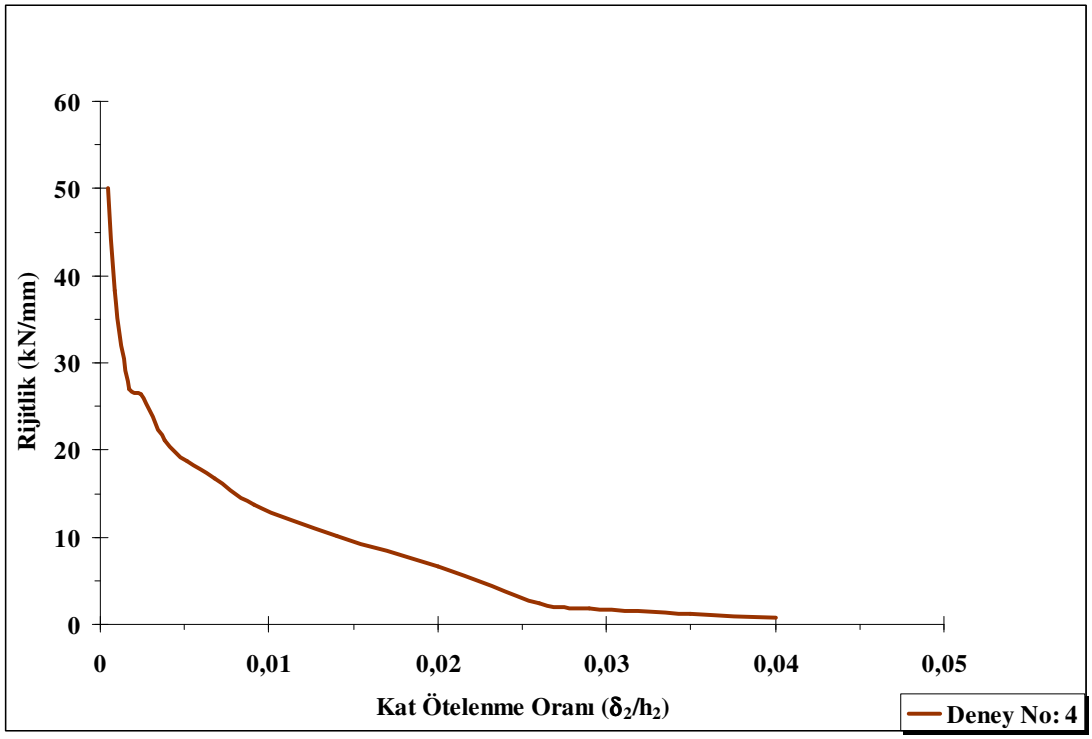
Şekil 5.140. 4. deney numunesine ait S101 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



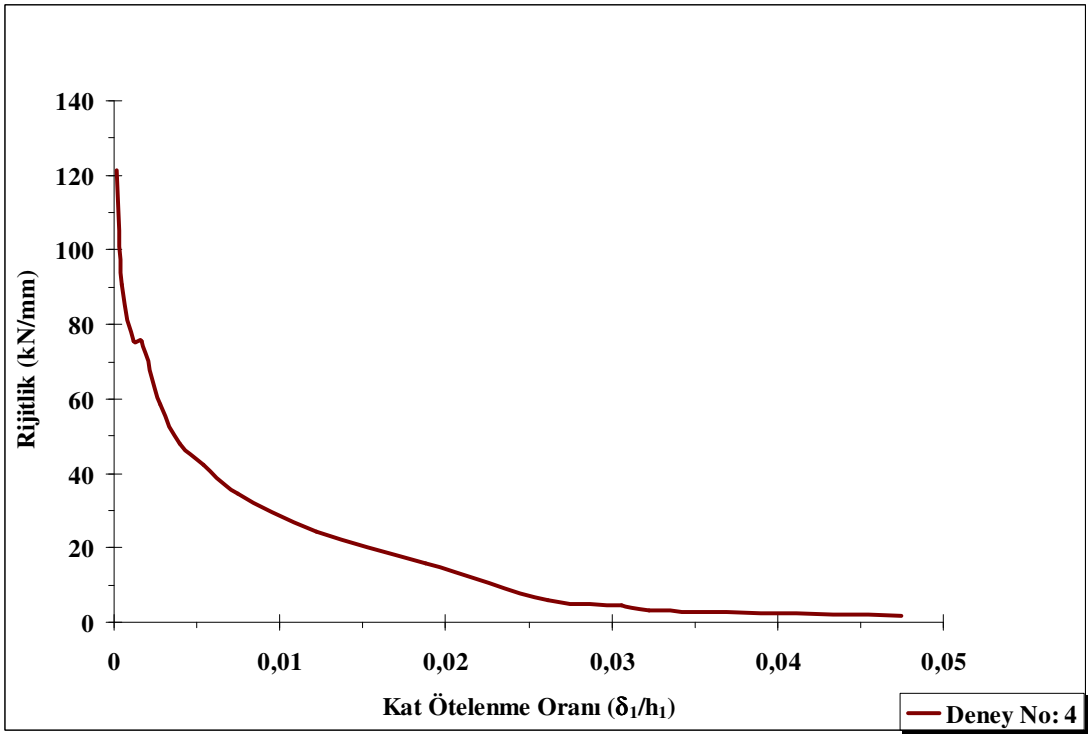
Şekil 5.141. 4. deney numunesine ait S102 kolonunun tabanındaki moment-eğrilik grafiği



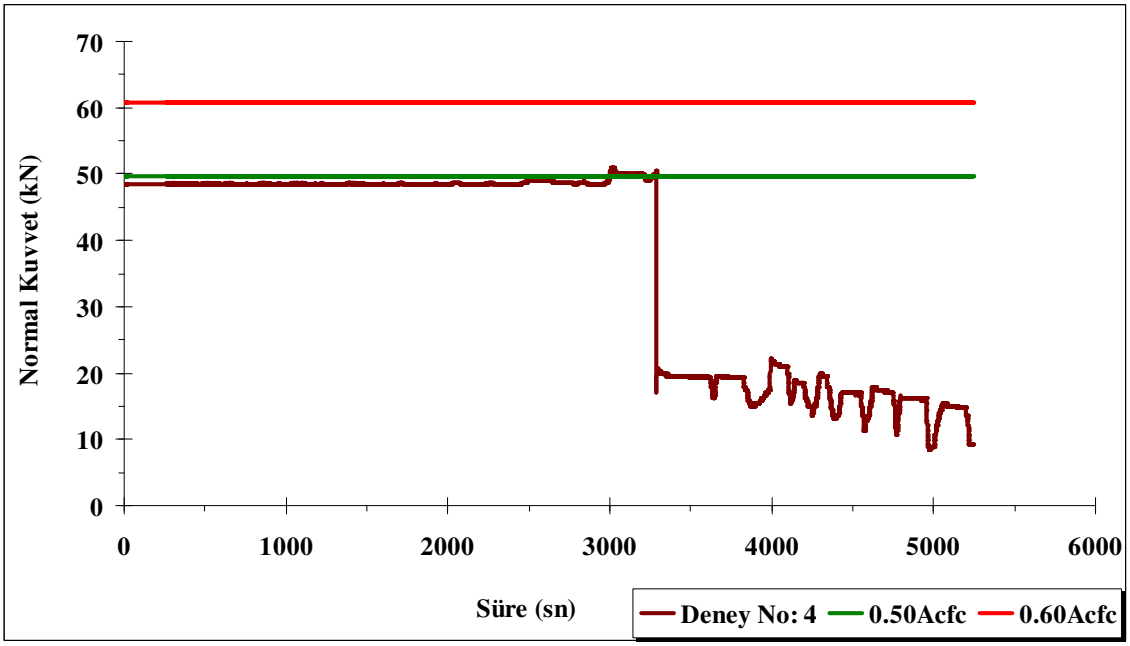
Şekil 5.142. 4. deney numunesinde temel üstünden 100 mm uzaklıkta perde duvar kesitin birim deformasyon değişimi



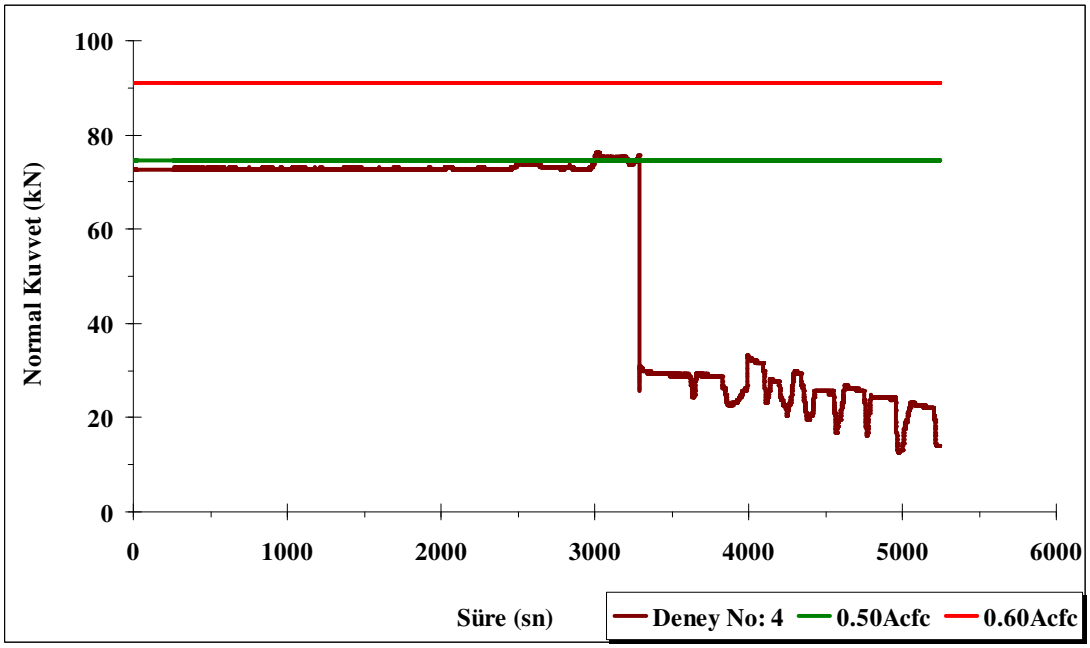
Şekil 5.143. 4. deney numunesine ait 2. kat (üst kat) rijitlik azalım grafiği



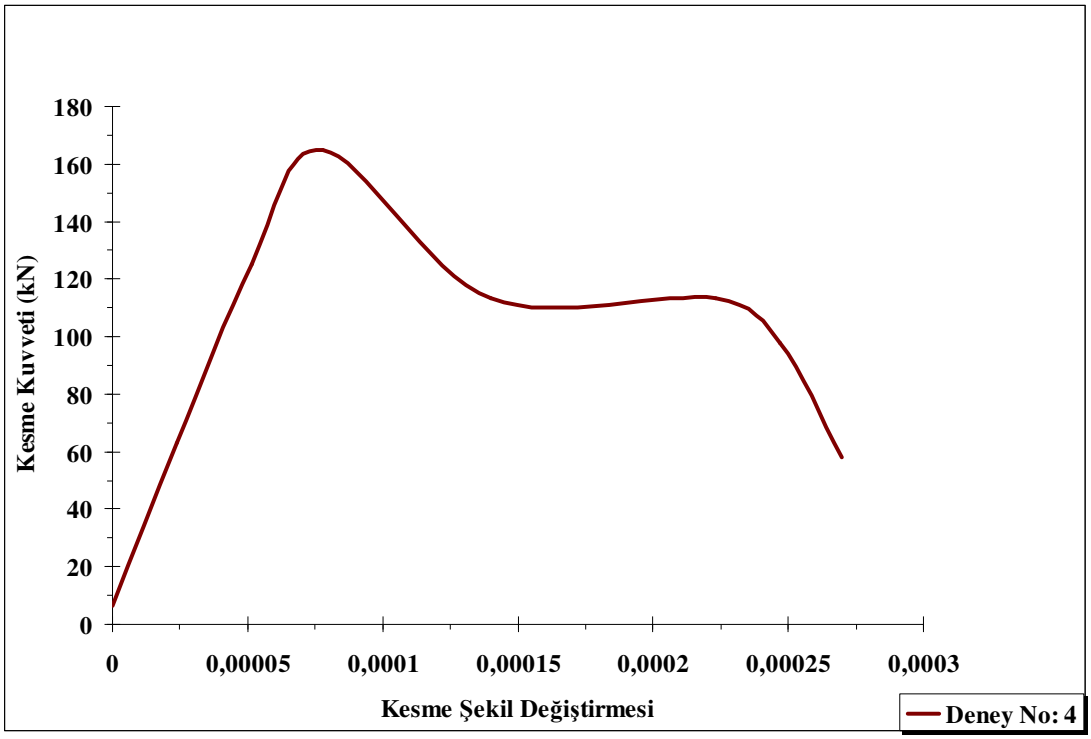
Şekil 5.144. 4. deney numunesine ait 1. kat (alt kat) rijitlik azalım grafiği



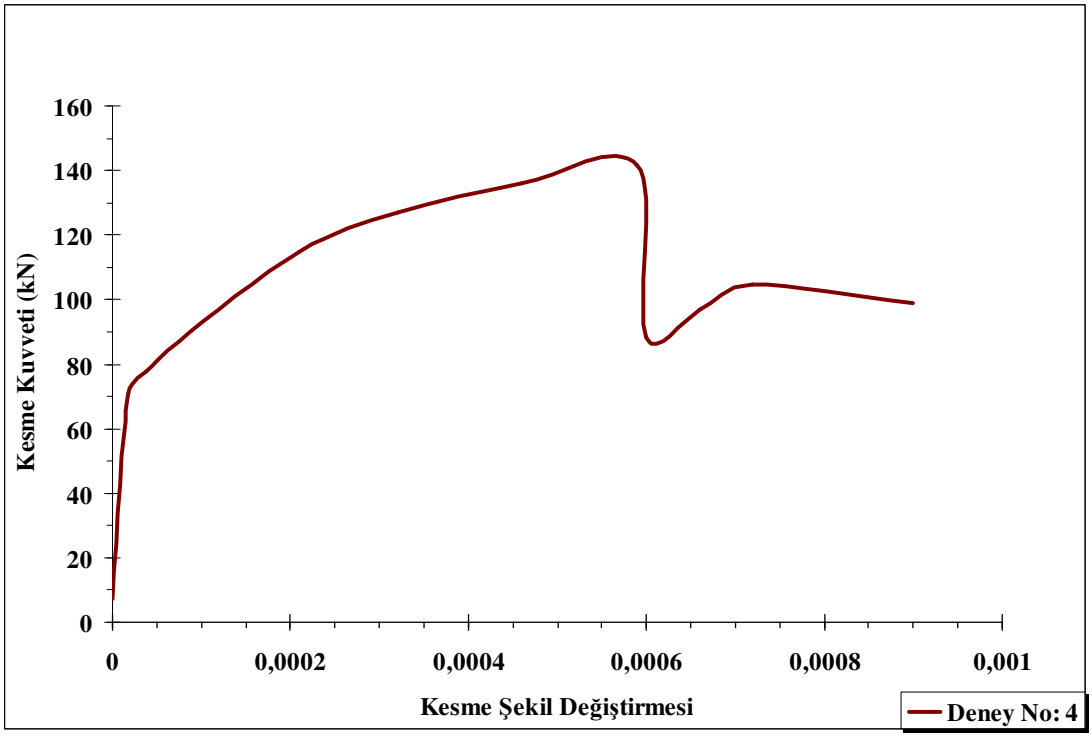
Şekil 5.145. 4. deney numunesinde kenar kolonlara uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



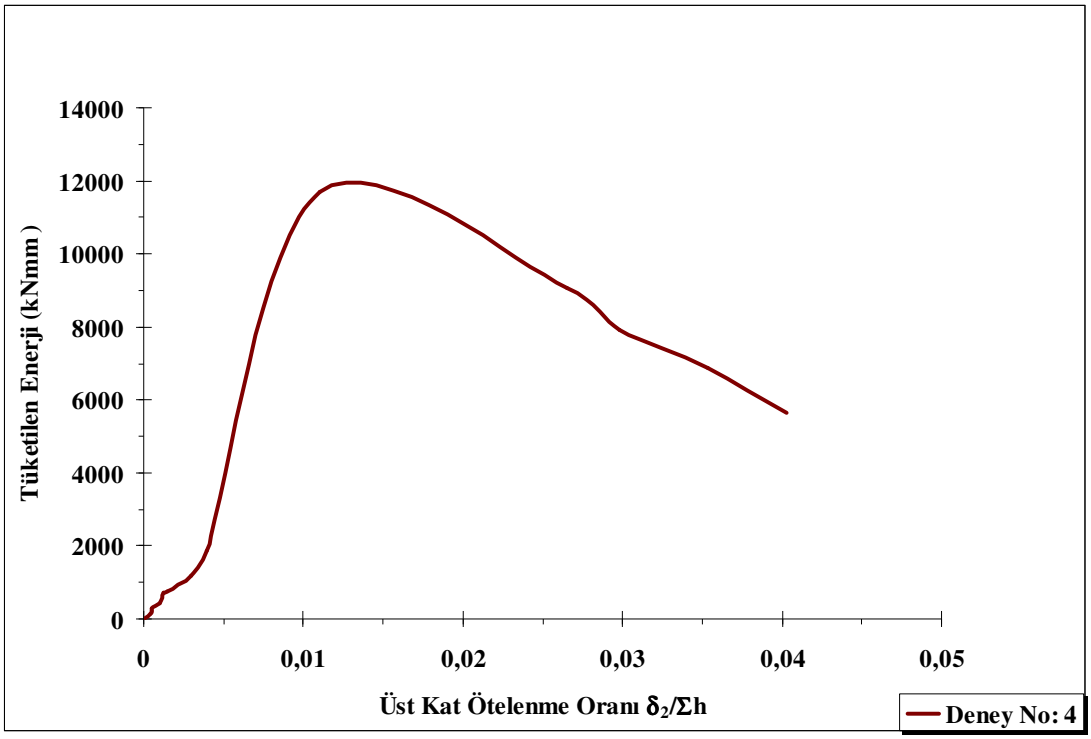
Şekil 5.146. 4. deney numunesinde orta kolona uygulanan düşey yükün deney süresince değişimi ve düşey yük için belirlenen (0.50~0.60 b x h x f_c) sınırları



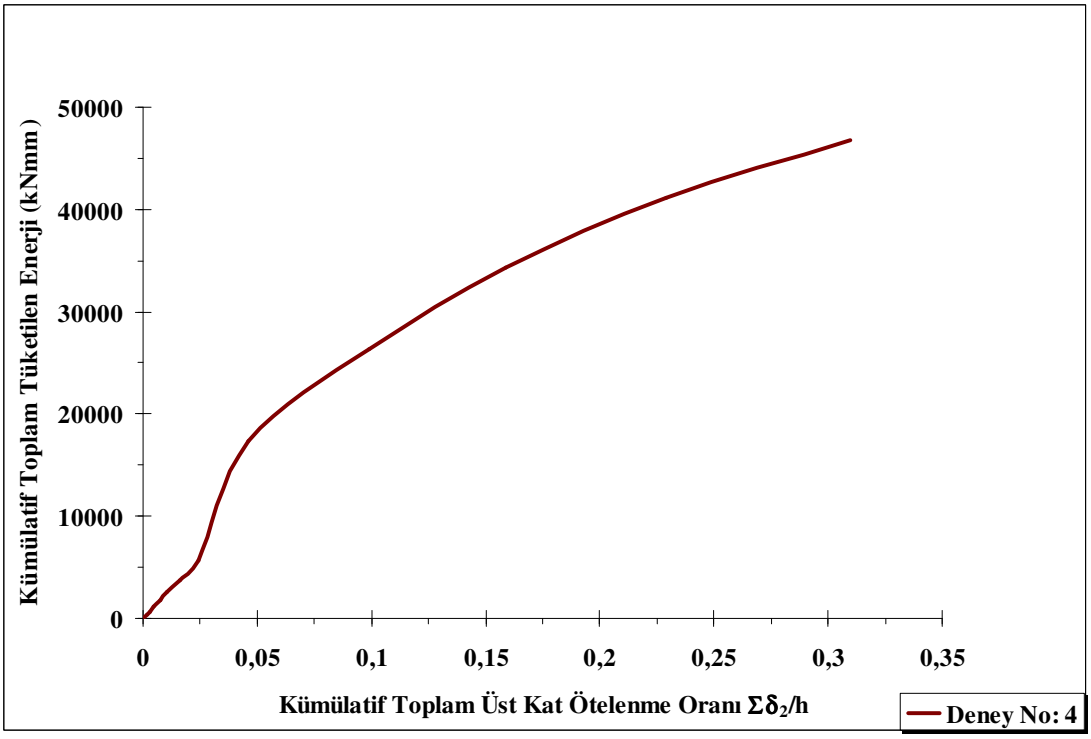
Şekil 5.147. 4. deney numunesine ait 2. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği



Şekil 5.148. 4. deney numunesine ait 1. kat yatay yük-kesme şekil değiştirmesi grafiği



Şekil 5.149. 4. deney numunesine ait tüketilen enerji- 2. kat ötelenme oranı grafiği (Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)



Şekil 5.150. 4. deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji- kümülatif toplam 2. kat ötelenme oranı grafiği

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRLMASI

Bu bölümde, deneysel verilerden faydalanılarak elde edilen dayanım özellikleri için 2. kat ve 1. kat için dayanım zarf eğrileri, rijitlik azalım grafikleri ve 2. kat için toplam tüketilen enerji grafiklerinin genel değerlendirmesi ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Grafiksel karşılaştırmalar yapılırken aşağıdaki esaslar dikkate alınmıştır:

a) Betonarme boş çerçeve numuneler için (1. deney numunesi BK-ZK ile 2. deney numunesi BK-KK),
b) Aynı özellikteki (1. grup) betonarme boş çerçeve ile betonarme dış perde duvar ilave edilmiş güçlendirilmiş çerçeve numuneleri için (1. deney numunesi BK-ZK ile 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ),
c) Aynı özellikteki (2. grup) betonarme boş çerçeve ile betonarme dış perde duvar ilave edilmiş güçlendirilmiş çerçeve numuneleri için (2. deney numunesi BK-KK ve 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ)
d) 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numuneleri için (3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ ile 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ)
e) Tüm deney numuneleri için

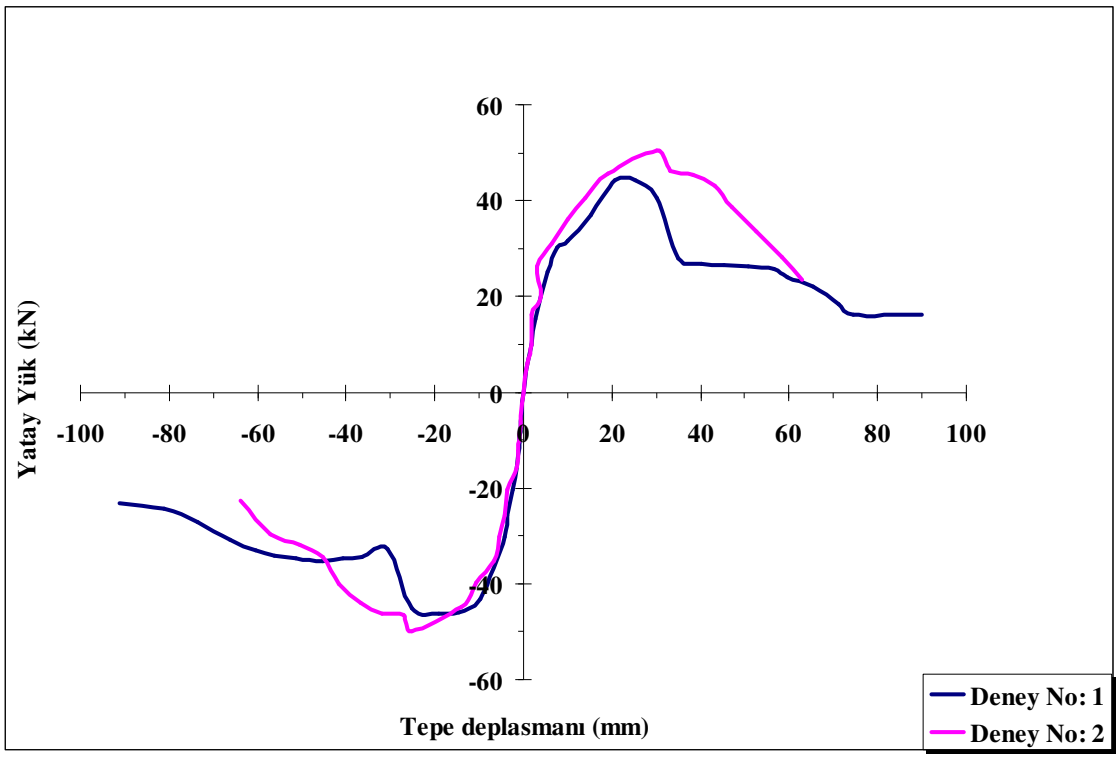
6.1. Betonarme Boş Çerçeve Deney Numunelerinin (1. ve 2. Deney Numunesi) Karşılaştırılması

6.1.1. Dayanım Karşılaştırması

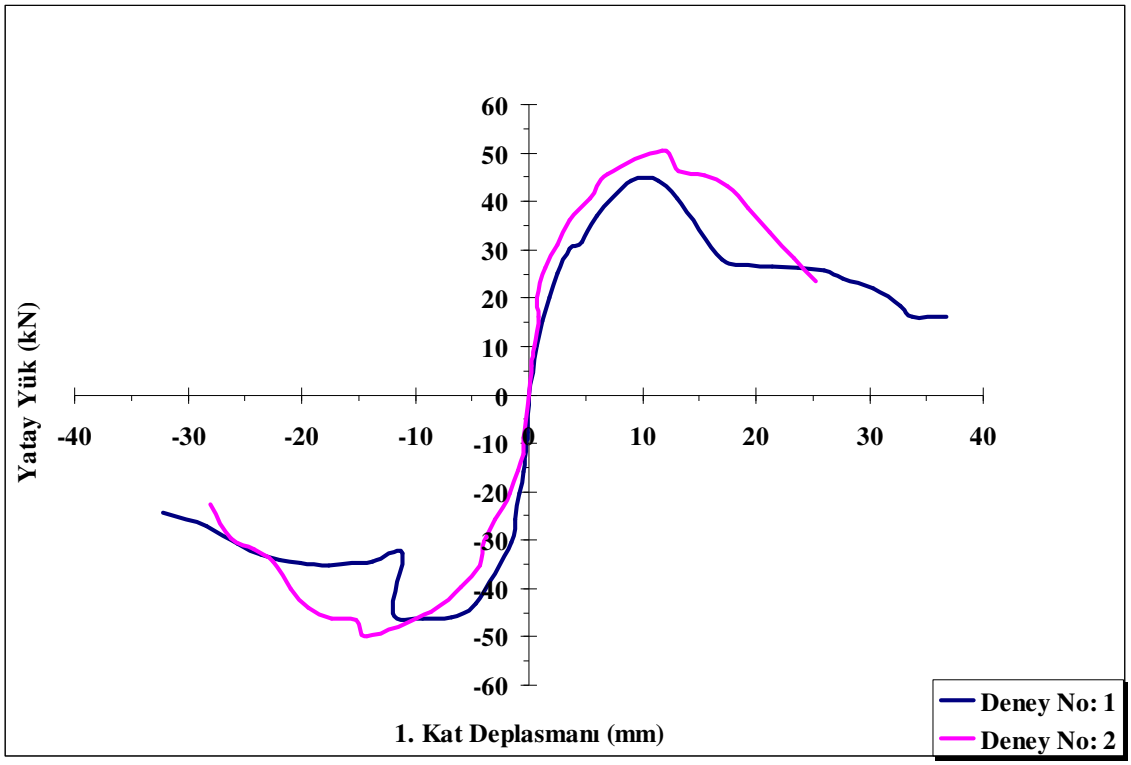
Bu bölümde, kesit özellikleri aynı, fakat kolon boyuna donatı oranları farklı olan (1. grup ve 2. grup) boş çerçeve deney numuneleri karşılaştırılmıştır. Kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş

özelliği taşıyan çerçeveler 1. grup ve kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan çerçeveler 2. grup deney numunesi olarak isimlendirilmiştir. Söz konusu deney numuneleri; 1. grup numune olan 1. deney numunesi BK-ZK, zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan betonarme boş çerçeve; 2. grup numune olan 2. deney numunesi BK-KK, kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan betonarme boş çerçevedir.

Söz konusu numunelerin (1. ve 2. deney) 2. kat dayanım zarf eğrileri Şekil 6.1, 1. kat dayanım zarf eğrileri de Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği gibi, taşınan en büyük yük değerleri; 1. deney numunesi BK-ZK için 44.15 kN, 2. deney numunesi BK-KK için 50.57 kN bulunmuştur. Referans olarak 1. deney numunesi baz alındığında, taşınan yatay yükteki artış %14.54 olmuştur.



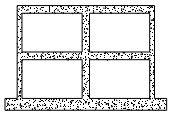
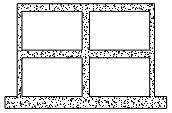
Şekil 6.1. Boş çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri



Şekil 6.2. Boş çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri

1. ve 2. deney numunelerine ait dayanım özellikleri Çizelge 6.1'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.

Çizelge 6.1. Boş çerçeve (1. ve 2. deney) numunelerine ait dayanım özellikleri

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük			En Büyük Yatay Yük Oranı	Akma Yükü			Akma Yükü Oranı	Deney Sonu Yükü			Deney Sonu Yükü Oranı
	Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No	
 1-BK-ZK	44.15	25.094	10.1	1	30.09	7,736	6.1	1	16.03	89.841	21.1	1
 2-BK-KK	50.57	30.189	10.1	1.145	36.01	10.166	7.1	1.19	23.43	63.019	17.1	1.46

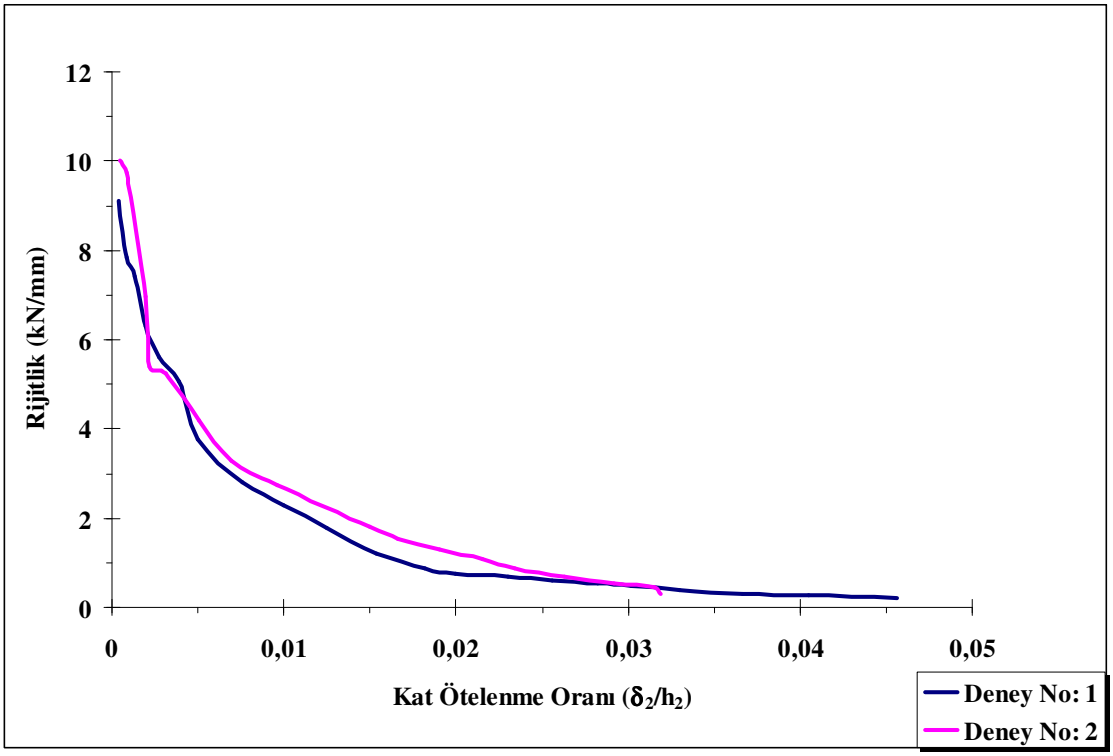
6.1.2. Rijitlik Karşılaştırması

Söz konusu (1. ve 2. deney) deney numunelerine ait, 2. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.3'de, 1. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri de Şekil 6.4'de verilmiştir. 2. kat başlangıç (ilk) çevrim rijitlikleri 1. deney numunesi için 9.1 kN/mm, 2. deney numunesi için 10 kN/mm değerlerinde olup, ilerleyen çevrimlerde düşmüştür. 2. deney numunesinde rijitlik azalımı daha ani iken, 1. deney numunesi daha yavaştır. 2. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranın, 1. deney numunesi için 0.023, 2. deney numunesi için 0.026 iken, yani deney sonuna yakın bir değerden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Numunelerin 1. kat başlangıç (ilk) rijitlik değerleri ise, 1. ve 2 deney numunesi için sırasıyla 20 kN/mm ve 23 kN/mm'dir. Her iki numunenin de ilk çevrim 2. kat rijitlik değerlerinde olduğu gibi, ilk çevrim 1. kat rijitlik değerlerinin de birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

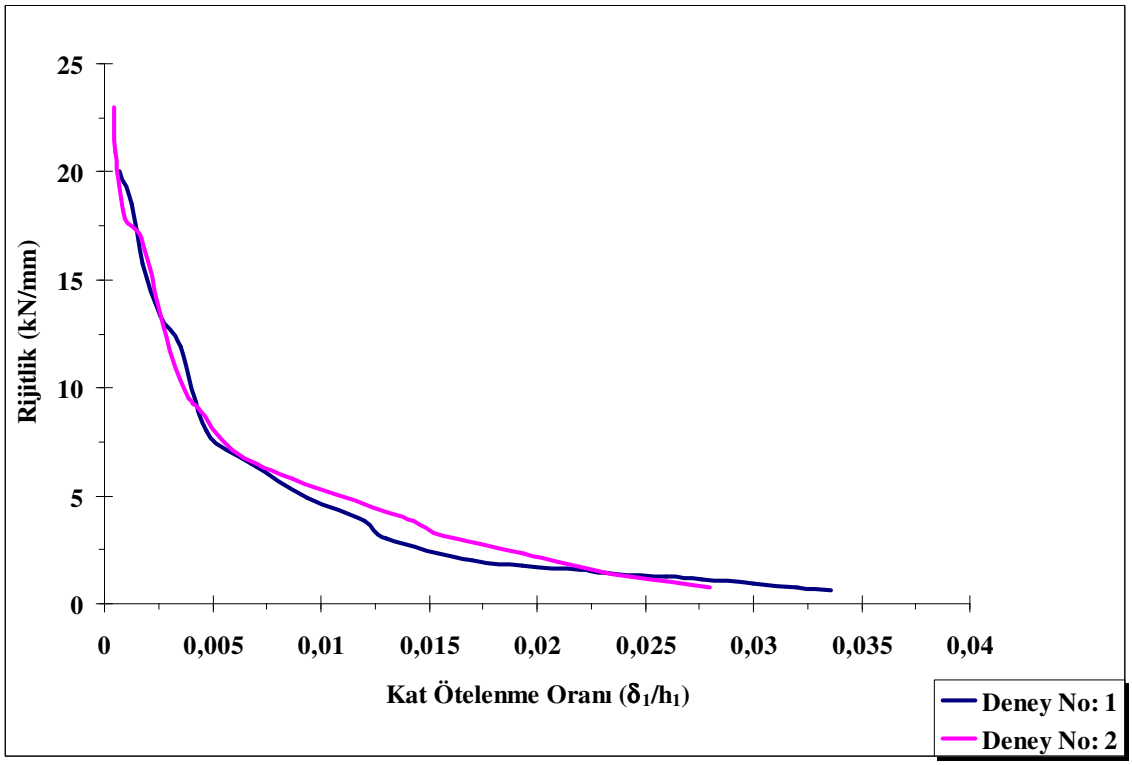
Maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.77 kN/mm, 2. deney numunesi için 1.81 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 1. deney numunesi için 3.80 kN/mm, 2. deney numunesi için 3.87 kN/mm değerindedir.

Ayrıca, göçme yükü çevrim rijitlik değerleri (göçme yükü olarak maksimum yükün % 85'i alınmıştır) ise, 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.21 kN/mm, 2. deney numunesi için 1.31 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 1. deney numunesi için 3.04 kN/mm, 2. deney numunesi için 3.27 kN/mm değerindedir.

1. ve 2. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri Çizelge 6.2'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

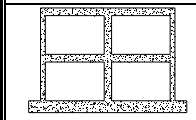
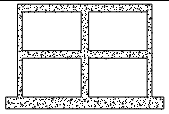


Şekil 6.3. Boş çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri



Şekil 6.4. Boş çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Çizelge 6.2. 1. ve 2. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

Deney Numunesi	**1. Çevrim Rijitliği (kN/mm) (*)**		**Max Yükteki Rijitlik (kN/mm) (**)**		**Göçme Yükü Çevrim Rijitliği ($0.85.F_{max}$)**		**Deney Sonu Çevrim Rijitliği**				**1. Çevrim Rijitlik Oranı: (*)/Referans Numune**		**Max Yükteki Rijitlik Oranı: (**)/Referans Numune**	
	2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**Rijitlik (kN/mm)**		**(δ_i / h_i)**		**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**
							2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**				
 1-BK-ZK	9.10	20.00	1.77	3.80	1.21	3.04	0.22	0.61	0.045	0.034	1	1	1	1
 2-BK-KK	10.00	23.00	1.81	3.87	1.31	3.27	0.31	0.73	0.032	0.028	1.09	1.15	1.02	1.01

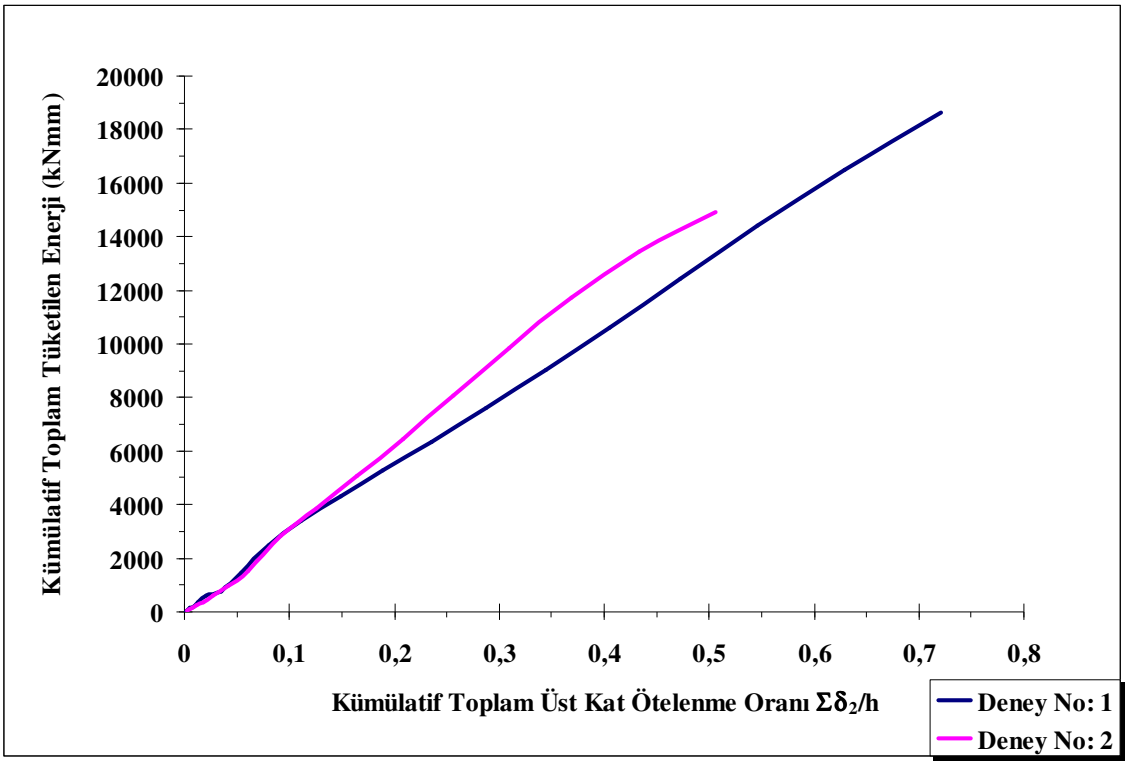
6.1.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

1 ve 2 nolu deney numunelerinden elde edilen toplam tüketilen enerji grafikleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 6.5'de verilmiştir. Toplam tüketilen enerji grafikleri, 2. kattaki deplasman değerleri dikkate alınarak çizilmiştir. Tüketilen enerji miktarı, deneysel yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Kümülatif deplasman ise, ileri ve geri çevrimlerdeki maksimum deplasmanların eklenmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6.5'den görüldüğü gibi, son çevrimlerdeki toplam tüketilen enerji değerleri; 1. deney numunesi için 18632 kNmm, 2. deney numunesi için 14925 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Maksimum yük seviyesinde toplam tüketilen enerji değerleri ise, 1. deney numunesi için 2491 kNmm, 2. deney numunesi için 3848 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Deneylerin bazılarında deney numunesi ve düzeneğinin durumunun tehlikeli bir konuma gelmesinden dolayı, yatay deplasman değerleri belli bir sınırın üstüne çıkartılamamış ve deneye devam edilememiştir. Bu nedenle, toplam rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının belli bir sabit değeri için karşılaştırma yapılması, enerji tüketme kapasitelerinin değerlendirilmesi bakımından daha anlamlı olacaktır. Bu amaçla, tüketilen enerji değerleri, en küçük toplam kat ötelenme oranı için karşılaştırılmıştır.

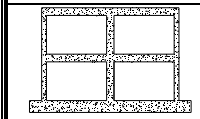
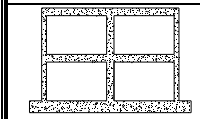
Her bir grup için karşılaştırma işlemi yapılırken, yukarıda bahsedilen durumu göz önüne alabilmek amacıyla, her gruptaki tüketilen enerji değerleri, ayrıca o gruptaki en küçük toplam kat ötelenme oranı baz alınarak yapılmıştır.



Şekil 6.5. Boş çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri

1. ve 2. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri, 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. 1. ve 2. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri

Deney Numunesi	**($\Sigma\delta_2$ / h)**	**Toplam Tüketilen Enerji (kNmm) (*)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (*)/Referans Numune**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji (kNmm) (**)**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji Oranı: (**)/Referans Numune**	**Numunelerin Yaptığı En Küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) Değerine Göre**	**Toplam Tüketilen Enerji [En küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) için] (kNmm) (***)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (***)/Referans Numune**
 1-BK-ZK	0.721	18632	1	2491	1	0.505	12500	1
 2-BK-KK	0.505	14925	0.80	3848	1.54	0.505	14925	1.194

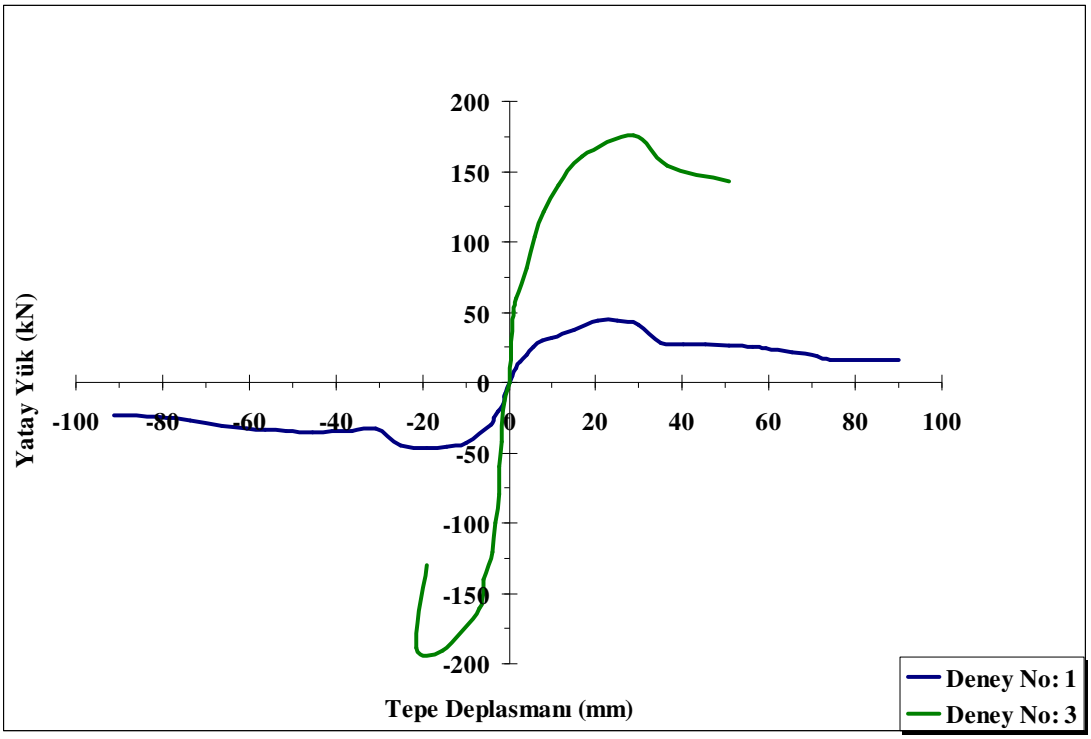
6.2. 1. Grup Betonarme Boş Çerçeve ile Betonarme Dış Perde Duvar İlave Edilmiş Güçlendirilmiş Çerçeve Deney Numunelerinin (1. ve 3. Deney Numunesi) Karşılaştırılması

6.2.1. Dayanım Karşılaştırması

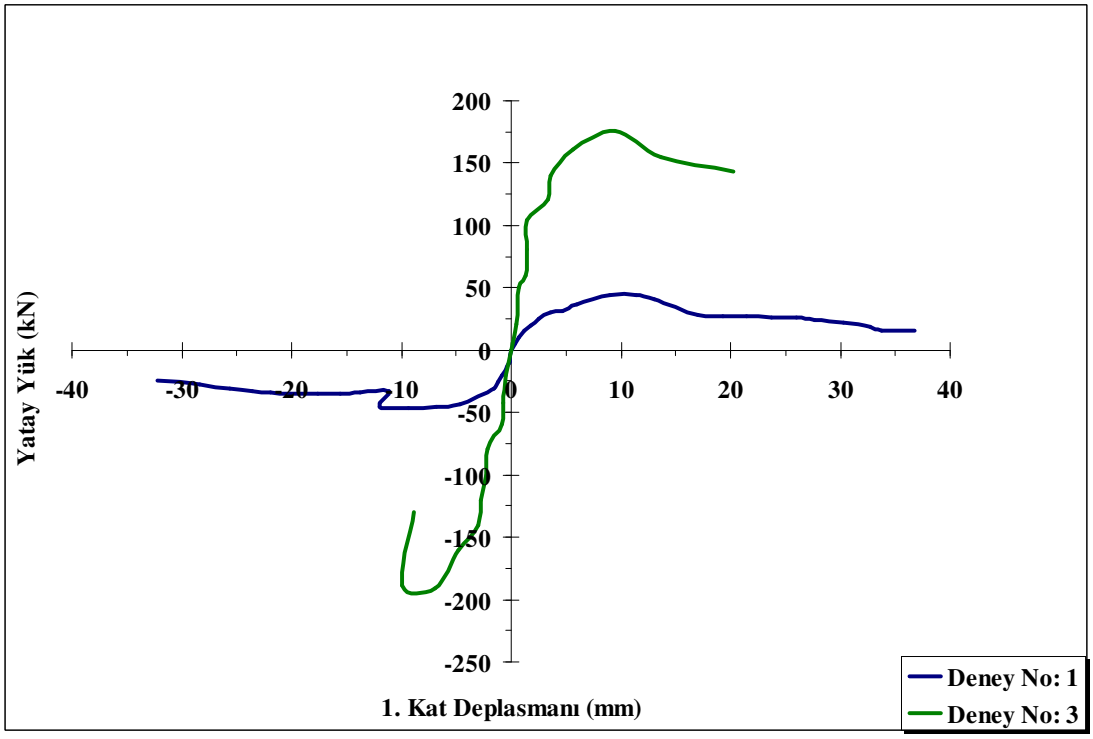
Bu bölümde, kesit ve donatı özellikleri aynı olan 1. grup (kolonların boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013) boş çerçeve deney numunesi (1. deney) ile, aynı özelliklerdeki boş çerçeveye dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi (3. deney) karşılaştırılmıştır. Her iki deney numunesi de kolonlarının boyuna donatı oranı ile zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan çerçevelerdir..

Söz konusu numunelerin 2. kat dayanım zarf eğrileri Şekil 6.6, 1. kat dayanım zarf eğrileri de Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği gibi, taşınan en büyük yük değerleri; 1. deney numunesi BK-ZK için 44.15 kN, 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ için 175.88 kN bulunmuştur. Referans olarak 1. deney numunesi baz alındığında, taşınan yatay yükteki artış % 298.37 olmuştur.

1. ve 3. deney numunelerine ait dayanım özellikleri Çizelge 6.4'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.

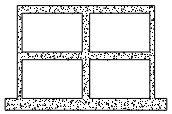
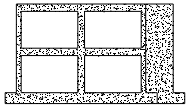


Şekil 6.6. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri



Şekil 6.7. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri

Çizelge 6.4. 1. ve 3. deney numunelerine ait dayanım özellikleri

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük			En Büyük Yatay Yük Oranı	Akma Yükü			Akma Yükü Oranı	Deney Sonu Yükü			Deney Sonu Yükü Oranı
	Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No	
 1-BK-ZK	44.15	25.094	10.1	1	30.09	7,736	6.1	1	16.03	89.841	21.1	1
 3-BK-ZK PERDELİ	175.88	28.634	9.1	3.98	147.50	14.13	7.1	4.90	143.32	50.846	11.1	8.94

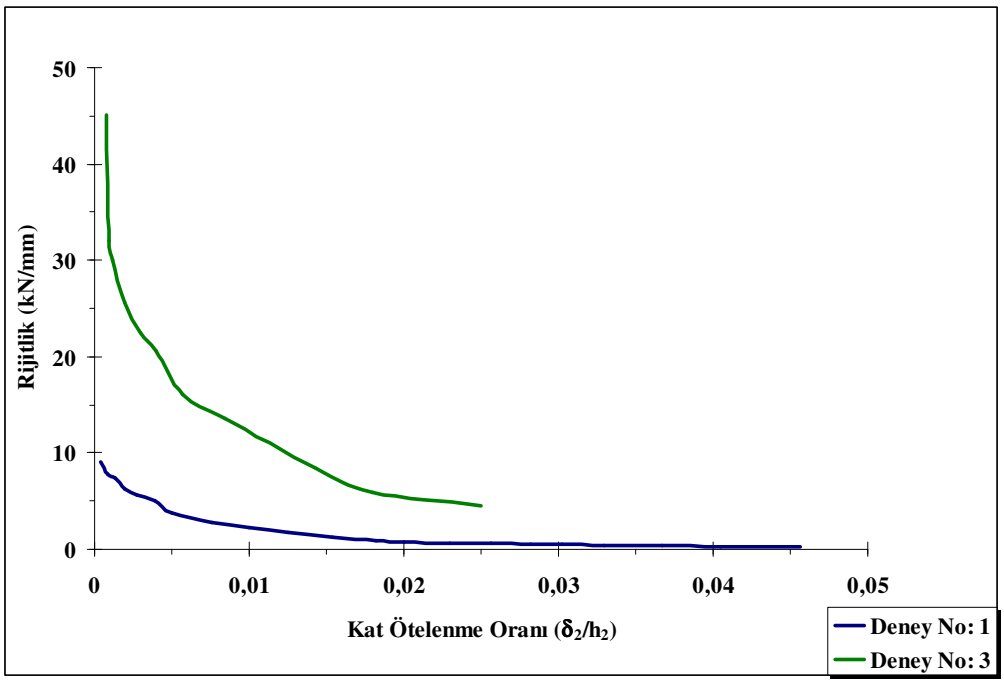
6.2.2. Rijitlik Karşılaştırması

Söz konusu (1. ve 3. deney) deney numunelerine ait, 2. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.8'de, 1. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri de Şekil 6.9'da verilmiştir. 2. kat ilk çevrim rijitlikleri 1. deney numunesi için 9.1 kN/mm, 3. deney numunesi için 45.1 kN/mm değerlerinde olup, ilerleyen çevrimlerde bu değerler düşmüştür. 3. deney numunesinde rijitlik azalımı daha ani iken, 1. deney numunesinde daha yavaştır. 2. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranın 1. deney numunesi için 0.023, 3. deney numunesi için 0.018 iken, yani deney sonuna yakın bir değerden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmekte olup, bu noktadan sonra rijitlik değerleri 1. deney numunesi için ≈0.5 kN/mm, 3. deney numunesi için 4 kN/mm dolaylarına inmektedir. İlk çevrimlerden elde edilen rijitlik değerleri dikkate alındığı zaman; 1. deney numunesi baz alındığında, 3. deney numunesinin 1. çevrim rijitliğindeki artış % 395.6'dır. Numunelerin 1. kat rijitlik değerleri ise, 1. ve 3. deney numunesi için sırasıyla 20 kN/mm ve 80 kN/mm'dir. 1. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının 1. deney numunesi için 0.017, 3. deney numunesi için de 0.015 değerinden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama sonucunda rijitlik değerleri 1. deney numunesi için ≈2 kN/mm, 3. deney numunesi için ≈14 kN/mm dolaylarına inmiştir. 1. kat ilk çevrim rijitlikleri dikkate alındığı zaman, 1. deney numunesi baz alındığında, 3. deney numunesinin 1. kat 1. çevrim rijitliğindeki artış % 300 olmuştur.

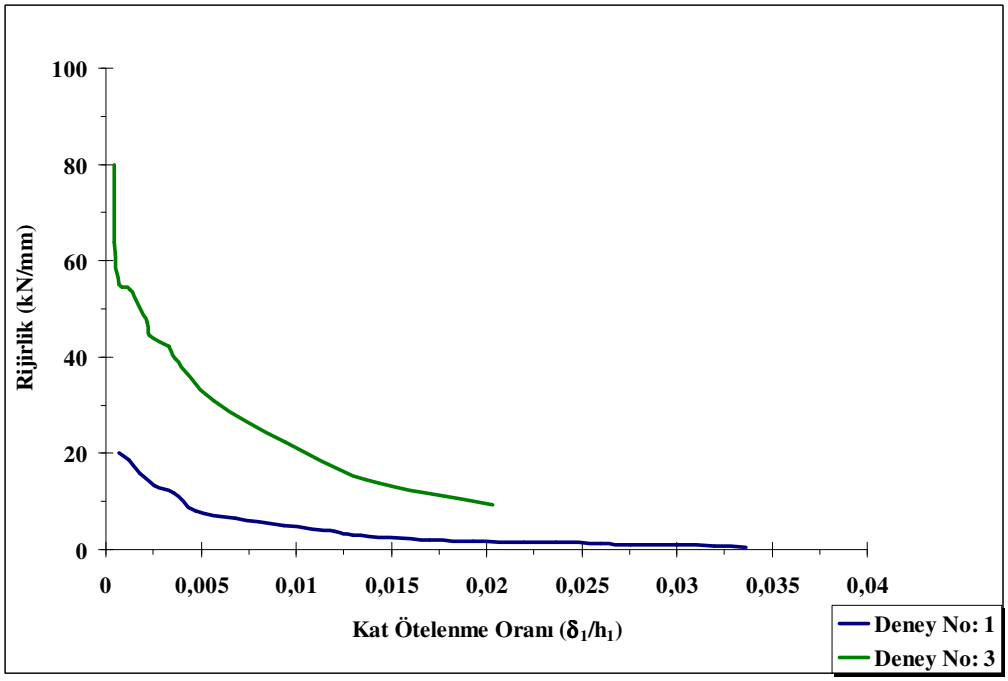
Maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.77 kN/mm, 3. deney numunesi için 5.93 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 1. deney numunesi için 3.80 kN/mm, 3. deney numunesi için 14.50 kN/mm değerindedir.

Ayrıca, göçme yükü seviyesindeki çevrim (göçme yükü olarak maksimum yükün % 85'i alınmıştır) için, 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.21 kN/mm, 3. deney numunesi için 4.49 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 1. deney numunesi için 3.04 kN/mm, 3. deney numunesi için 9.42 kN/mm değerindedir.

1. ve 2. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri Çizelge 6.5'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

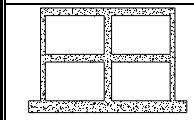
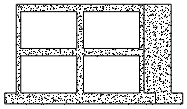


Şekil 6.8. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri



Şekil 6.9. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Çizelge 6.5. 1. ve 3. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

Deney Numunesi	**1. Çevrim Rijitliği (kN/mm) (*)**		**Max Yükteki Rijitlik (kN/mm) (**)**		**Göçme Yükü Çevrim Rijitliği ($0.85.F_{max}$)**		**Deney Sonu Çevrim Rijitliği**				**1. Çevrim Rijitlik Oranı: (*)/Referans Numune**		**Max Yükteki Rijitlik Oranı: (**)/Referans Numune**	
	2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**Rijitlik (kN/mm)**		**(δ_i / h_i)**		**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**
							2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**				
 1-BK-ZK	9.10	20.00	1.77	3.80	1.21	3.04	0.22	0.61	0.045	0.034	1	1	1	1
 3-BK-ZK PERDELİ	45.10	80.00	5.93	14.5	4.49	9.42	4.49	9.42	0.025	0.020	4.96	4	3.35	3.81

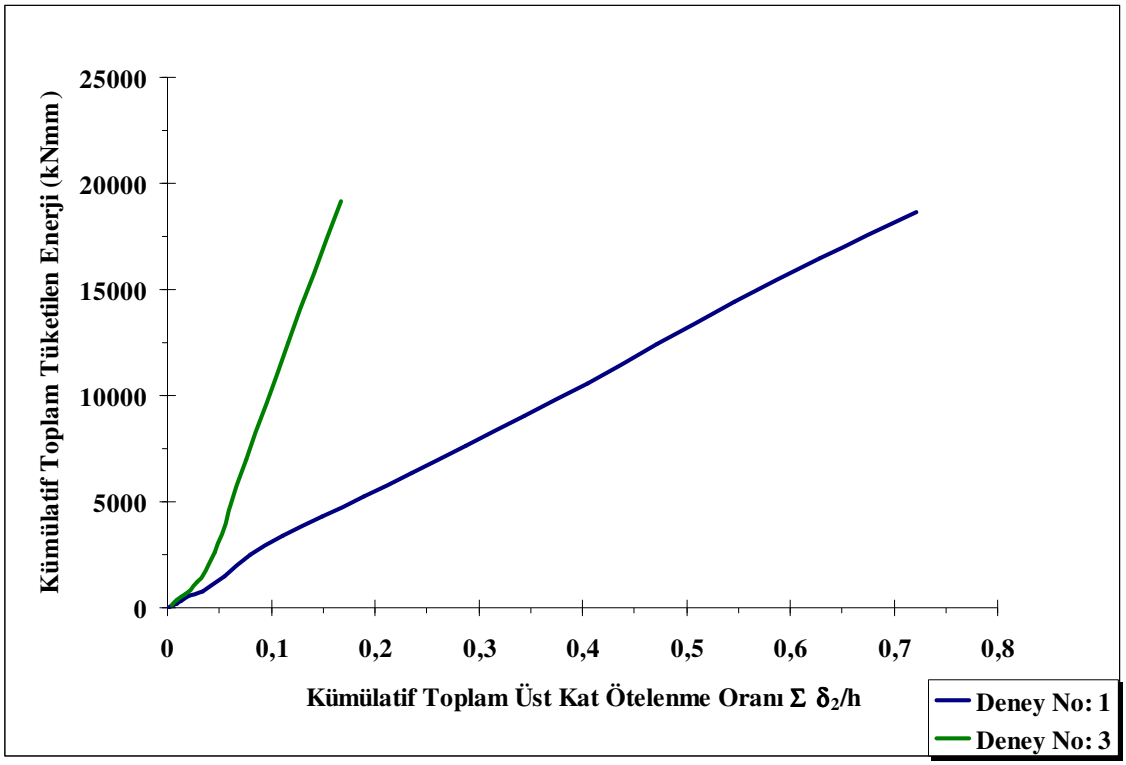
6.2.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

1 ve 3 nolu deney numunelerinin yük-deplasman grafiklerinden elde edilen toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 6.10'da verilmiştir. Toplam tüketilen enerji grafikleri, 2. kattaki deplasman değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Enerji tüketimi, önemli ölçüde yükleme geçmişine bağlı olduğu için, numunelerin aynı yükleme programına tabi tutulması anlamlıdır. Ancak, yapılan deneylerde, boş ve perde ilaveli çerçeve deney numunelerinin yükleme programları yatay yük taşıma kapasiteleri ve akma yüklerinin farklı olması nedeniyle birbirinden farklı alınmıştır.

Tüketilen enerji miktarı, deneysel yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Kümülatif deplasman ise, ileri ve geri çevrimlerdeki maksimum deplasmanların birbirine eklenmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6.10'dan görüldüğü gibi, son çevrimlerdeki toplam tüketilen enerji değerleri; 1. deney numunesi için 18632 kNmm, 3. deney numunesi için 19154 kNmm olarak hesaplanmıştır.

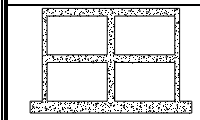
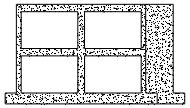
Maksimum yük seviyesinde toplam tüketilen enerji değerleri ise, 1. deney numunesi için 2491 kNmm, 3. deney numunesi için 12514 kNmm olarak hesaplanmıştır.

1. ve 3. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.10. 1. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri

Çizelge 6.6. 1. ve 3. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri

Deney Numunesi	**($\Sigma\delta_2$ / h)**	**Toplam Tüketilen Enerji (kNmm) (*)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (*)/Referans Numune**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji (kNmm) (**)**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji Oranı: (**)/Referans Numune**	**Numunelerin Yaptığı En Küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) Değerine Göre**	**Toplam Tüketilen Enerji [En küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) için] (kNmm) (***)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (***)/Referans Numune**
 1-BK-ZK	0.721	18632	1	2491	1	0.168	4794	1
 3-BK-ZK PERDELİ	0.168	19154	1.03	12514	5.02	0.168	19154	3.99

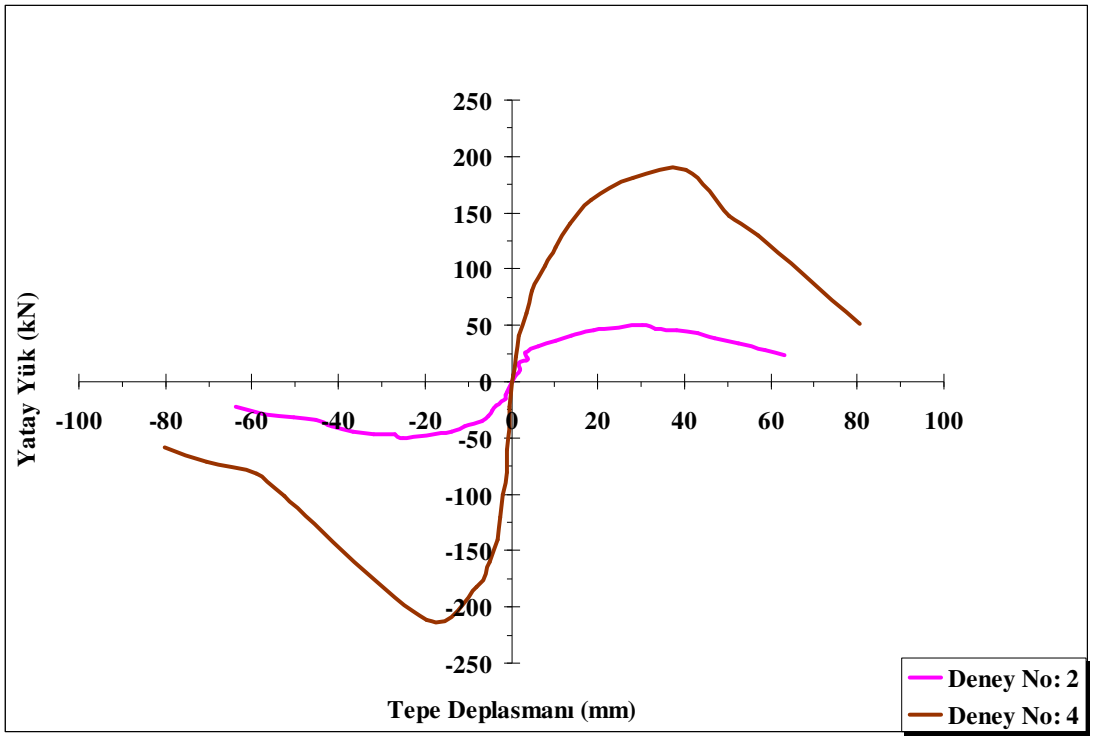
6.3. 2. Grup Betonarme Boş Çerçeve ile Betonarme Dış Perde Duvar İlave Edilmiş Güçlendirilmiş Çerçeve Deney Numunelerinin (2. ve 4. Deney Numunesi) Karşılaştırılması

6.3.1. Dayanım Karşılaştırması

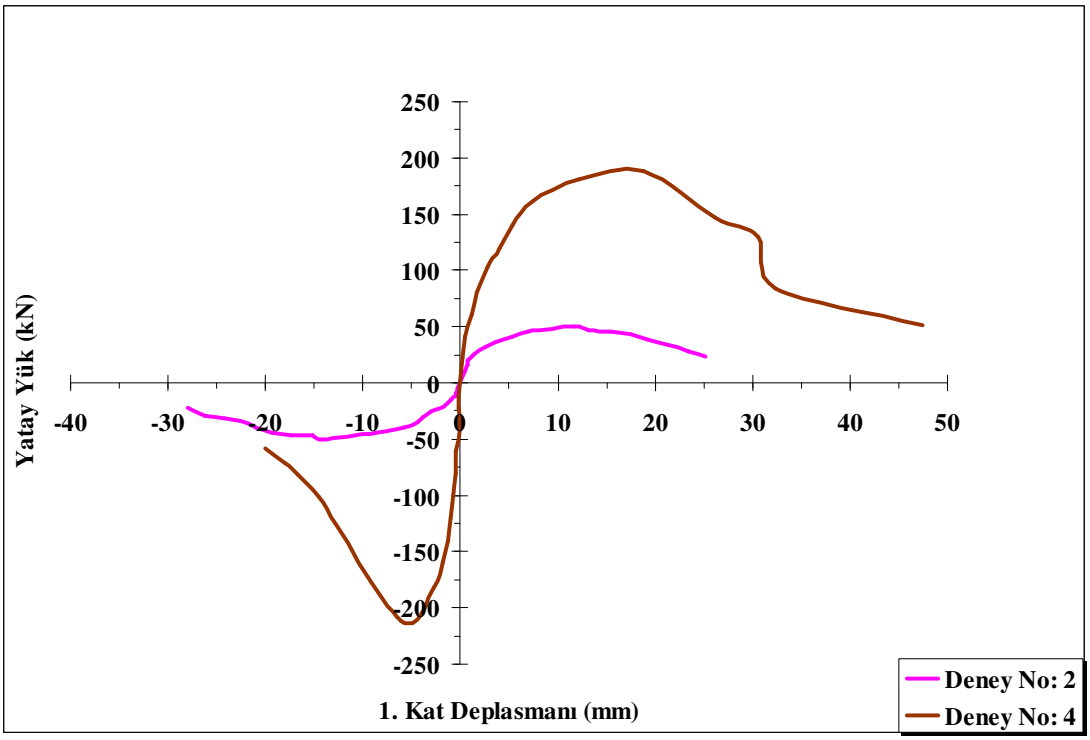
Bu bölümde, kesit ve donatı özellikleri aynı olan 2. grup (kolonların boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023) boş çerçeve deney numunesi (2. deney) ile, aynı özelliklerdeki boş çerçeveye dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi (4. deney) karşılaştırılmıştır. Her iki deney numunesi de kolonlarının boyuna donatı oranı ile kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan çerçevelerdir.

Söz konusu numunelerin 2. kat dayanım zarf eğrileri Şekil 6.11, 1. kat dayanım zarf eğrileri de Şekil 6.12'de verilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği gibi, taşınan en büyük yük değerleri; 2. deney numunesi BK-KK için 50.57 kN, 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ için 188.21 kN bulunmuştur. Referans olarak 2. deney numunesi baz alındığında, taşınan yatay yükteki artış % 272.18 olmuştur.

2. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri Çizelge 6.7'de 2. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.

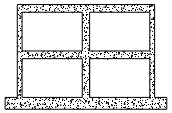
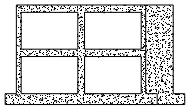


Şekil 6.11. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri



Şekil 6.12. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat dayanım zarf eğrileri

Çizelge 6.7. 2. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük			En Büyük Yatay Yük Oranı	Akma Yükü			Akma Yükü Oranı	Deney Sonu Yükü			Deney Sonu Yükü Oranı
	Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No	
 2-BK-KK	50.57	30.189	10.1	1	36.01	10.166	7.1	1	23.43	63.019	17.1	1
 4-BK-KK PERDELİ	188.21	40.345	10.1	3.72	138.88	13.486	7.1	3.86	51.31	80.414	14.1	2.19

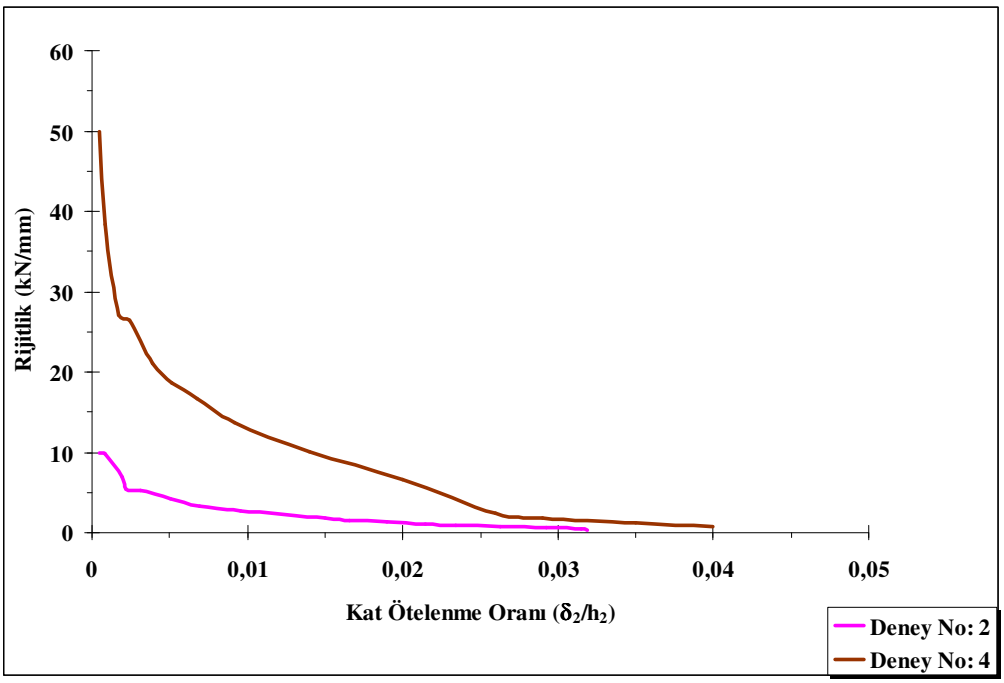
6.3.2. Rijitlik Karşılaştırması

Söz konusu (2. ve 4. deney) deney numunelerine ait, 2. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.13'de, 1. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri de Şekil 6.14'de verilmiştir. 2. kat ilk çevrim rijitlikleri 2. deney numunesi için 10 kN/mm, 4. deney numunesi için 50 kN/mm değerlerinde olup, ilerleyen çevrimlerde bu değerler düşmüştür. 4. deney numunesinde rijitlik azalımı daha ani iken, 2. deney numunesinde daha yavaştır. 2. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranı 2. ve 4. deney numunesi için 0.026 iken, yani deney sonuna yakın bir değerden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmekte olup, bu noktadan sonra rijitlik değerleri 2. deney numunesi için ≈1 kN/mm, 4. deney numunesi için ≈2.5 kN/mm dolaylarına inmektedir. İlk çevrimlerden elde edilen rijitlik değerleri dikkate alındığı zaman; 2. deney numunesi baz alındığında, 4. deney numunesinin 1. çevrim rijitliğindeki artış % 400'dür. Numunelerin 1. kat rijitlik değerleri ise, 2. ve 4. deney numunesi için sırasıyla 23 kN/mm ve 121 kN/mm'dir. 1. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının 2. deney numunesi için 0.020, 4. deney numunesi için de 0.030 değerinden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama sonucunda rijitlik değerleri 2. deney numunesi için ≈3 kN/mm, 4. deney numunesi için ≈4 kN/mm dolaylarına inmiştir. 1. kat ilk çevrim rijitlikleri dikkate alındığı zaman, 2. deney numunesi baz alındığında, 4. deney numunesinin 1. kat 1. çevrim rijitliğindeki artış % 426 olmuştur.

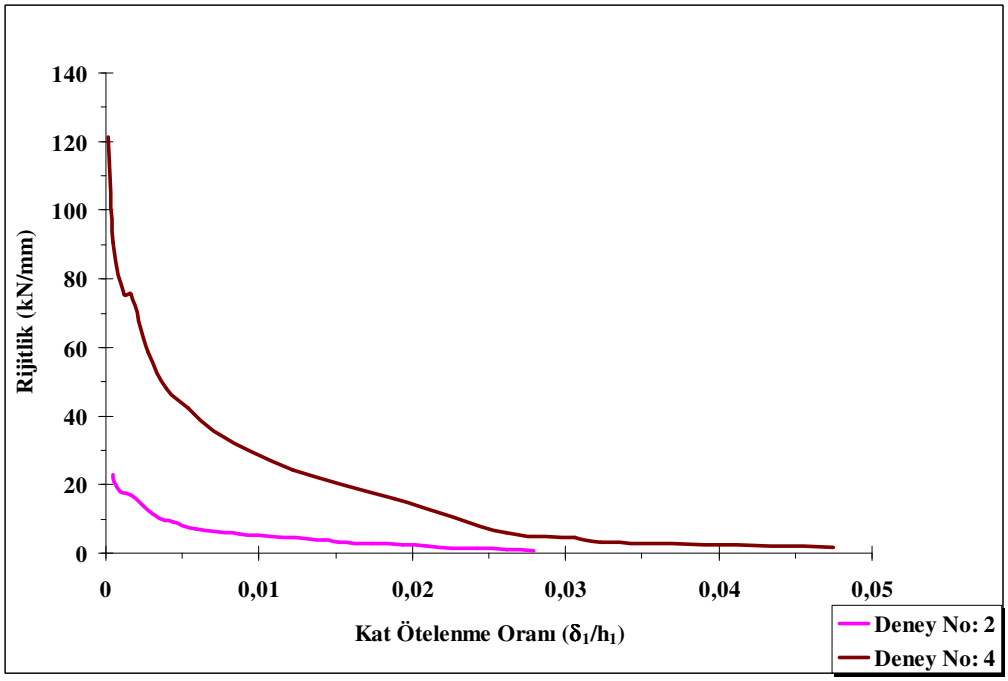
Maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik değerleri, 2. deney numunesi için 1.81 kN/mm, 4. deney numunesi için 10.05 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 2. deney numunesi için 3.87 kN/mm, 4. deney numunesi için 16.02 kN/mm değerindedir.

Göçme yükü seviyesindeki çevrim (göçme yükü olarak maksimum yükün % 85'i alınmıştır) için, 2. kat rijitlik değerleri, 2. deney numunesi için 1.31 kN/mm, 4. deney numunesi için 2.42 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 2. deney numunesi için 3.27 kN/mm, 4. deney numunesi için 4.46 kN/mm değerindedir.

2. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri Çizelge 6.8'de 2. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

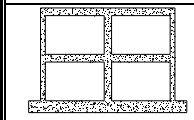
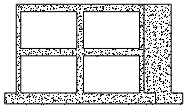


Şekil 6.13. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri



Şekil 6.14. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Çizelge 6.8. 2. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

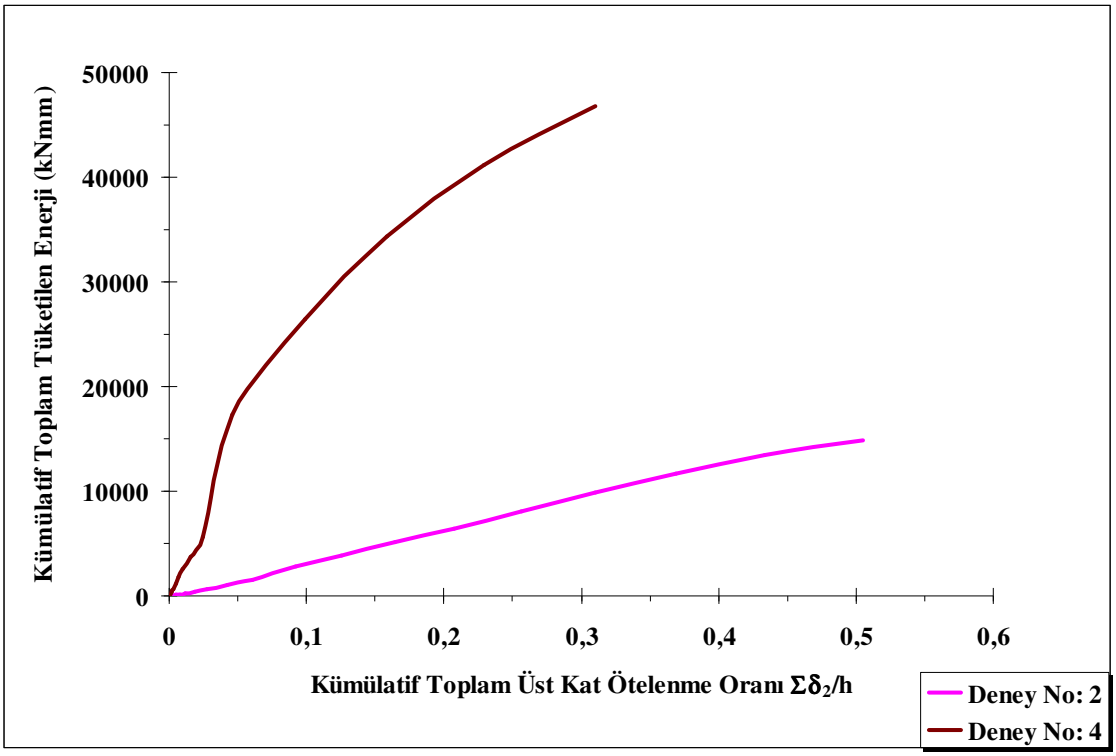
Deney Numunesi	**1. Çevrim Rijitliği (kN/mm) (*)**		**Max Yükteki Rijitlik (kN/mm) (**)**		**Göçme Yükü Çevrim Rijitliği ($0.85.F_{max}$)**		**Deney Sonu Çevrim Rijitliği**				**1. Çevrim Rijitlik Oranı: (*)/Referans Numune**		**Max Yükteki Rijitlik Oranı: (**)/Referans Numune**	
	2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**Rijitlik (kN/mm)**		**(δ_i / h_i)**		**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**
							2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**				
 2-BK-KK	10.00	23.00	1.81	3.87	1.31	3.27	0.31	0.73	0.032	0.028	1	1	1	1
 4-BK-KK PERDELİ	50.00	121.00	10.05	16.02	2.42	4.46	0.68	1.62	0.040	0.047	5	5.26	5.55	4.13

6.3.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

2 ve 4 nolu deney numunelerinin yük-deplasman grafiklerinden elde edilen toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 6.15'de verilmiştir. Toplam tüketilen enerji grafikleri, 2. kattaki deplasman değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Enerji tüketimi önemli ölçüde yükleme geçmişine bağlı olduğu için, numunelerin aynı yükleme programına tabi tutulması anlamlıdır. Ancak, yapılan deneylerde, boş ve perde ilaveli çerçeve deney numunelerinin yükleme programları yatay yük taşıma kapasiteleri ve akma yüklerinin farklı olması nedeniyle birbirinden farklı alınmıştır. Tüketilen enerji miktarı, deneysel yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Kümülatif deplasman ise, ileri ve geri çevrimlerdeki maksimum deplasmanların eklenmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6.15'den görüldüğü gibi, son çevrimlerdeki toplam tüketilen enerji değerleri; 2. deney numunesi için 14925 kNmm, 4. deney numunesi için 46839 kNmm olarak hesaplanmıştır.

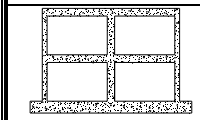
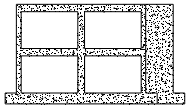
Maksimum yük seviyesinde toplam tüketilen enerji değerleri ise, 2. deney numunesi için 3848 kNmm, 4. deney numunesi için 17332 kNmm olarak hesaplanmıştır.

2. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri 2. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.15. 2. Grup boş ve perdeli çerçeve deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri

Çizelge 6.9. 2. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri

Deney Numunesi	**($\Sigma\delta_2$ / h)**	**Toplam Tüketilen Enerji (kNmm) (*)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (*)/Referans Numune**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji (kNmm) (**)**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji Oranı: (**)/Referans Numune**	**Numunelerin Yaptığı En Küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) Değerine Göre**	**Toplam Tüketilen Enerji [En küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) için] (kNmm) (***)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (***)/Referans Numune**
 2-BK-KK	0.505	14925	1	3848	1	0.309	9833	1
 4-BK-KK PERDELİ	0.310	46839	3.14	17332	4.5	0.309	46839	4.76

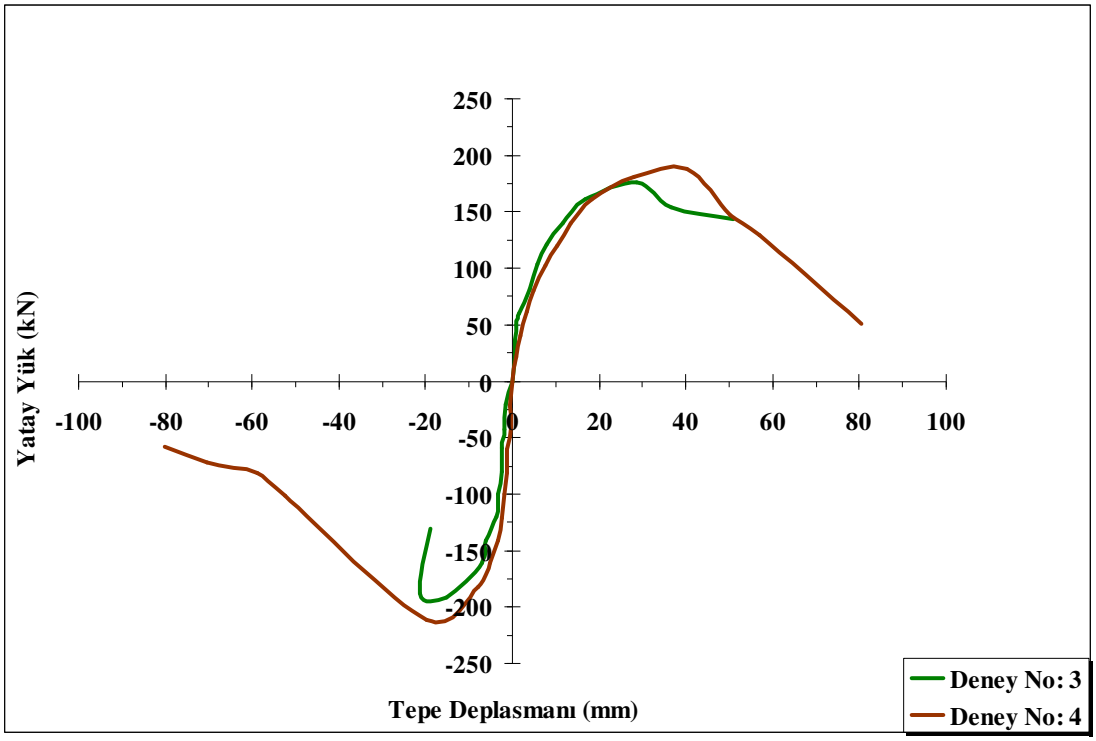
6.4. 1. ve 2. Grup Güçlendirilmiş Çerçeve Numunelerinin (3. ve 4. Deney Numunesi) Karşılaştırılması

6.4.1. Dayanım Karşılaştırması

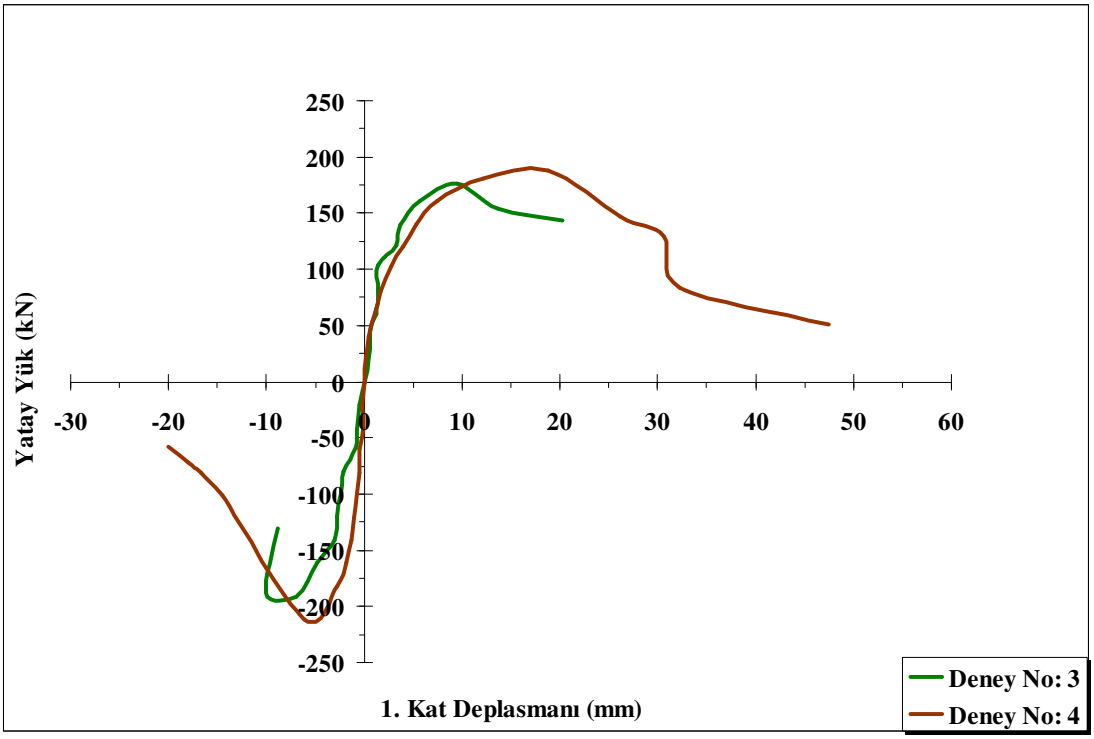
Bu bölümde, kesit özellikleri aynı, fakat kolon boyuna donatı oranları farklı olan (1. grup ve 2. grup) dış perde duvar ilave edilmiş güçlendirilmiş çerçeve deney numuneleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan numuneler, 3. deney numunesi olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği gösteren BK-ZK PERDELİ ile 4. deney numunesi olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği gösteren BK-KK PERDELİ'dir.

Söz konusu numunelerin 2. kat dayanım zarf eğrileri Şekil 6.16, 1. kat dayanım zarf eğrileri de Şekil 6.17'de verilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği gibi, taşınan en büyük yük değerleri; 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ için 175.88 kN, 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ için 188.21 kN bulunmuştur. Referans olarak 3. deney numunesi baz alındığında, taşınan yatay yükteki artış % 7.01 olmuştur.

3. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri Çizelge 6.10'da 3. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

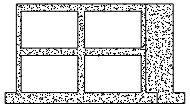
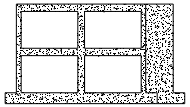


Şekil 6.16. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri



Şekil 6.17. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri

Çizelge 6.10. 3. ve 4. deney numunelerine ait dayanım özellikleri

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük			En Büyük Yatay Yük Oranı	Akma Yükü			Akma Yükü Oranı	Deney Sonu Yükü			Deney Sonu Yükü Oranı
	Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No	
 3-BK-ZK PERDELİ	175.88	28.634	9.1	1	147.50	14.130	7.1	1	143.32	50.846	11.1	1
 4-BK-KK PERDELİ	188.21	40.345	10.1	1.07	138.88	13.486	7.1	0.94	51.31	80.414	14.1	0.35

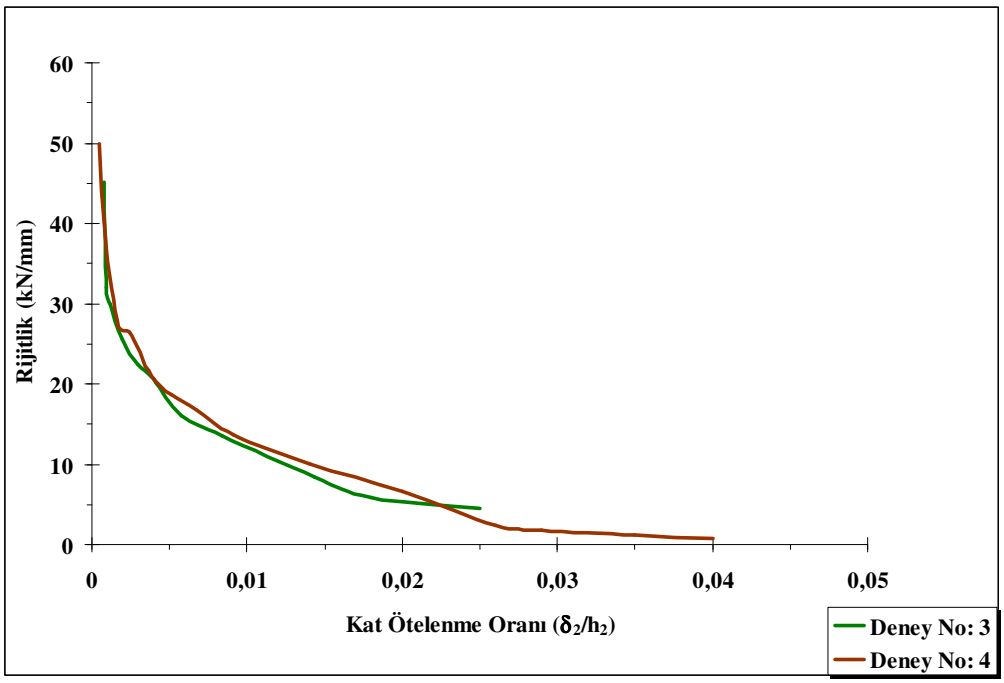
6.4.2. Rijitlik Karşılaştırması

Söz konusu (3. ve 4. deney) deney numunelerine ait, 2. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.18'de, 1. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri de Şekil 6.19'da verilmiştir. 2. kat ilk çevrim rijitlikleri 3. deney numunesi için 45.1 kN/mm, 4. deney numunesi için 50 kN/mm değerlerinde olup, ilerleyen çevrimlerde bu değerler düşmüştür. 3. deney numunesinde rijitlik azalımı daha ani iken, 4. deney numunesinde daha yavaştır. 2. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranı 3. deney numunesi için 0.018, 4. deney numunesi için 0.026 iken, yani deney sonuna yakın bir değerden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmekte olup, bu noktadan sonra rijitlik değerleri 3. deney numunesi için ≈4 kN/mm, 4. deney numunesi için ≈2.5 kN/mm dolaylarına inmektedir. İlk çevrimlerden elde edilen rijitlik değerleri dikkate alındığı zaman, 4. deney numunesinin 1. çevrim rijitliğinde azalma dikkati çekmektedir. Numunelerin 1. kat rijitlik değerleri ise, 3. ve 4. deney numunesi için sırasıyla 80 kN/mm ve 121 kN/mm'dir. 1. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının 3. deney numunesi için 0.015, 4. deney numunesi için de 0.030 değerinden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama sonucunda rijitlik değerleri 3. deney numunesi için ≈14 kN/mm, 4. deney numunesi için ≈4 kN/mm dolaylarına inmiştir. 1. kat ilk çevrim rijitlikleri dikkate alındığı zaman, 3. deney numunesi baz alındığında, 4. deney numunesi 1. kat 1. çevrim rijitliğindeki artış % 51.25 olmuştur.

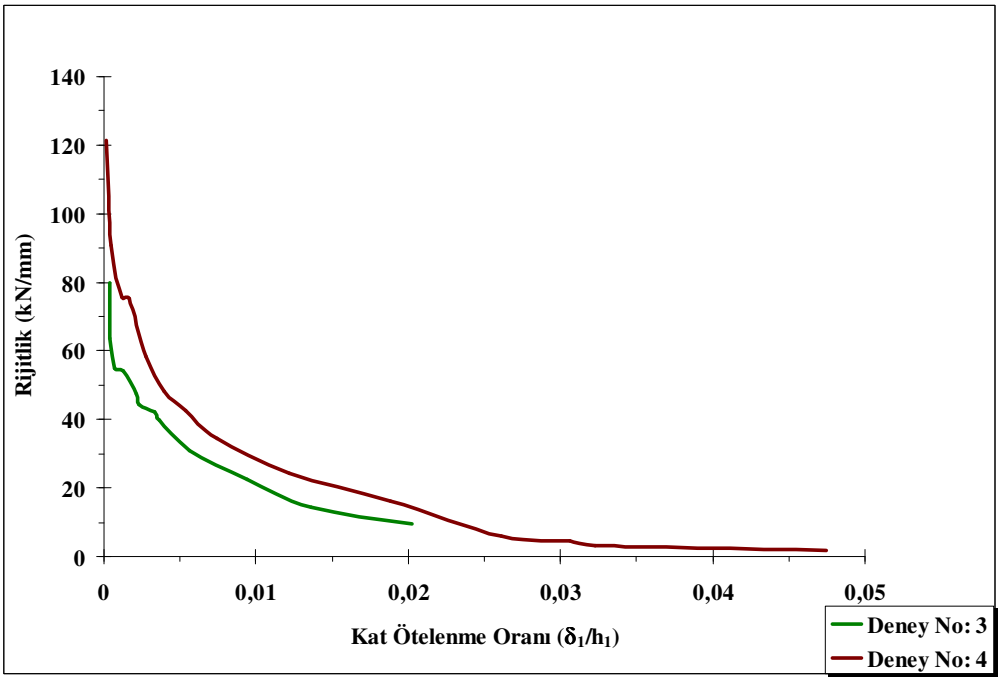
Maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik değerleri, 3. deney numunesi için 5.93 kN/mm, 4. deney numunesi için 10.05 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 3. deney numunesi için 14.5 kN/mm, 4. deney numunesi için 16.019 kN/mm değerindedir.

Göçme yükü seviyesindeki çevrim (göçme yükü olarak maksimum yükün % 85'i alınmıştır) için, 2. kat rijitlik değerleri, 3. deney numunesi için 4.49 kN/mm, 4. deney numunesi için 2.42 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 3. deney numunesi için 9.42 kN/mm, 4. deney numunesi için 4.46 kN/mm değerindedir.

3. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri Çizelge 6.11'de 3. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

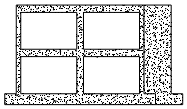
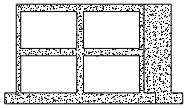


Şekil 6.18. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri



Şekil 6.19. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Çizelge 6.11. 3. ve 4. deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

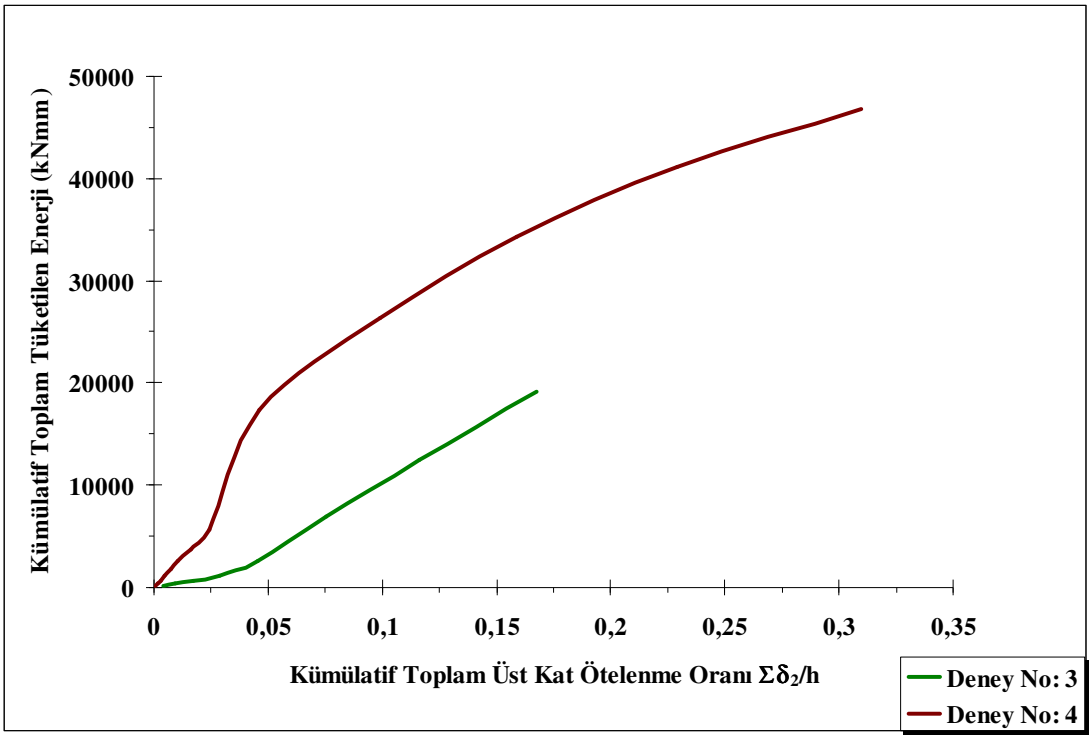
Deney Numunesi	**1. Çevrim Rijitliği (kN/mm) (*)**		**Max Yükteki Rijitlik (kN/mm) (**)**		**Göçme Yükü Çevrim Rijitliği ($0.85.F_{max}$)**		**Deney Sonu Çevrim Rijitliği**				**1. Çevrim Rijitlik Oranı: (*)/Referans Numune**		**Max Yükteki Rijitlik Oranı: (**)/Referans Numune**	
	2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**Rijitlik (kN/mm)**		**(δ_i / h_i)**		**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**
							2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**				
 3-BK-ZK PERDELİ	45.10	80.00	5.93	14.50	4.49	9.42	4.49	9.42	0.025	0.020	1	1	1	1
 4-BK-KK PERDELİ	50.00	121.00	10.05	16.02	2.42	4.46	0.68	1.62	0.04	0.047	1.1	1.51	1.69	1.1

6.4.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

3 ve 4 nolu deney numunelerinin yük-deplasman grafiklerinden elde edilen toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 6.20'de verilmiştir. Toplam tüketilen enerji grafikleri, 2. kattaki deplasman değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Enerji tüketimi önemli ölçüde yükleme geçmişine bağlı olduğu için, numunelerin aynı yükleme programına tabi tutulması anlamlıdır. Tüketilen enerji miktarı, deneysel yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Kümülatif deplasman ise, ileri ve geri çevrimlerdeki maksimum deplasmanların eklenmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6.20'den görüldüğü gibi, son çevrimlerdeki toplam tüketilen enerji değerleri; 3. deney numunesi için 19154 kNmm, 4. deney numunesi için 46839 kNmm olarak hesaplanmıştır.

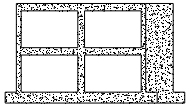
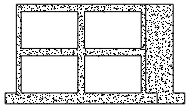
Maksimum yük seviyesinde toplam tüketilen enerji değerleri ise, 3. deney numunesi için 12514 kNmm, 4. deney numunesi için 17332 kNmm olarak hesaplanmıştır.

3. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri 3. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.20. 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri

Çizelge 6.12. 3. ve 4. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri

Deney Numunesi	**($\Sigma\delta_2$ / h)**	**Toplam Tüketilen Enerji (kNmm) (*)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (*)/Referans Numune**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji (kNmm) (**)**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji Oranı: (**)/Referans Numune**	**Numunelerin Yaptığı En Küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) Değerine Göre**	**Toplam Tüketilen Enerji [En küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) için] (kNmm) (***)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (***)/Referans Numune**
 3-BK-ZK PERDELİ	0.168	19154	1	12514	1	0.168	19154	1
 4-BK-KK PERDELİ	0.310	46839	2.45	17332	1.38	0.168	35000	1.83

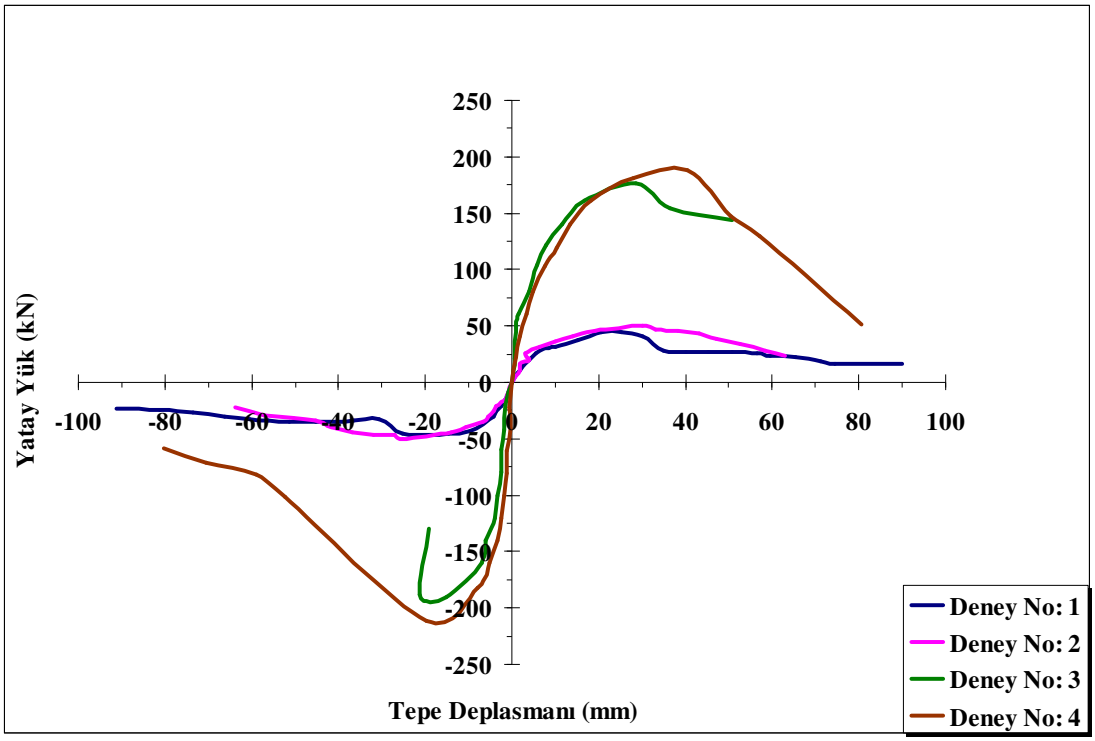
6.5. Bütün Deney Numunelerinin Birarada (1., 2., 3. ve 4. Deney Numunesi) Karşılaştırılması

6.5.1. Dayanım Karşılaştırması

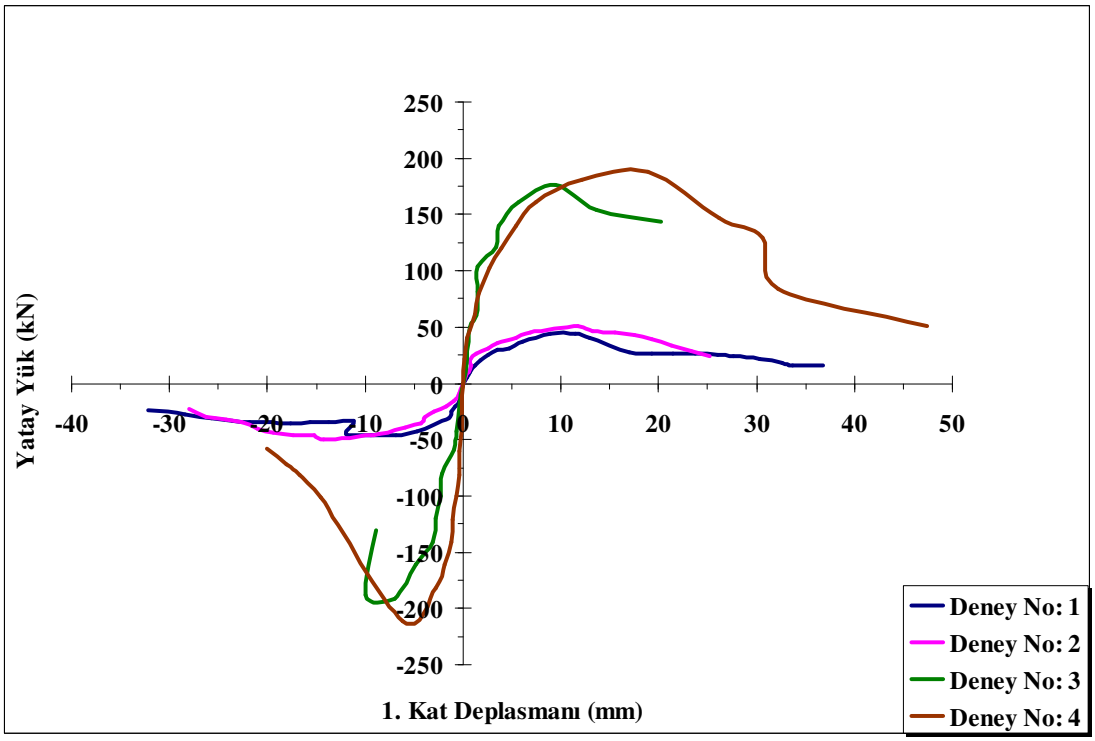
Bu bölümde, bütün deney numuneleri birarada karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan çerçeve deney numuneleri, önceki bölümlerde belirtildiği şekilde; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup çerçeve 1. deney numunesi BK-ZK, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup çerçeve 2. deney numunesi BK-KK, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup çerçevenin dış perde duvar ile güçlendirilmiş hali olan 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ ve kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup çerçevenin dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş hali olan 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ deney numuneleridir.

Söz konusu numunelerin 2. kat dayanım zarf eğrileri Şekil 6.21, 1. kat dayanım zarf eğrileri de Şekil 6.22'de verilmiştir. Bu şekillerden görülebileceği gibi, taşınan en büyük yük değerleri; 1. deney numunesi BK-ZK için 44.15 kN, 2. deney numunesi BK-KK için 50.57 kN, 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ için 175.88 kN ve 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ için 188.21 kN bulunmuştur. En fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip deney numunesi, 4. deney numunesi olan BK-KK PERDELİ'dir. Referans olarak 1. deney numunesi baz alındığında, taşınan maksimum yatay yükteki artış 2. deney numunesi BK-KK'da % 14.54, 3. deney numunesi BK-ZK PERDELİ'de % 298.37, 4. deney numunesi BK-KK PERDELİ'de % 326.29 olmuştur.

Bütün deney numunelerine ait dayanım özellikleri Çizelge 6.13'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

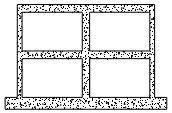
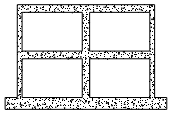
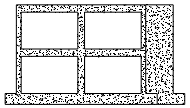
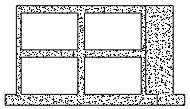


Şekil 6.21. Bütün deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri



Şekil 6.22. Bütün deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarf eğrileri

Çizelge 6.13. Bütün deney numunelerine ait dayanım özellikleri

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük			En Büyük Yatay Yük Oranı	Akma Yükü			Akma Yükü Oranı	Deney Sonu Yükü			Deney Sonu Yükü Oranı
	Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No		Yük (kN)	δ (mm)	Çevrim No	
 1-BK-ZK	44.15	25.094	10.1	1	30.09	7,736	6.1	1	16.03	89.841	21.1	1
 2-BK-KK	50.57	30.189	10.1	1.14	36.01	10.166	7.1	1.19	23.43	63.019	17.1	1.46
 3-BK-ZK PERDELİ	175.88	28.634	9.1	3.98	147.50	14.130	7.1	4.90	143.32	50.846	11.1	8.94
 4-BK-KK PERDELİ	188.21	40.345	10.1	4.26	138.88	13.486	7.1	4.61	51.31	80.414	14.1	3.2

6.5.2. Rijitlik Karşılaştırması

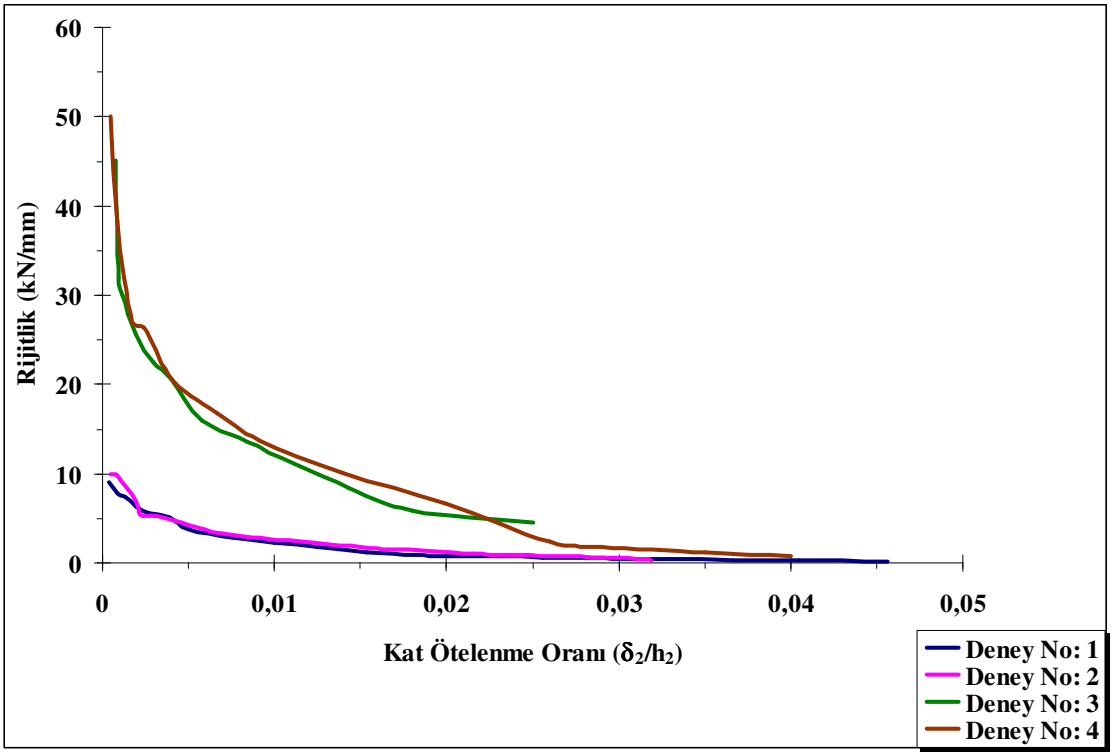
Söz konusu bütün deney numunelerine ait, 2. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.23'de, 1. kat için elde edilen rijitlik azalımı grafikleri de Şekil 6.24'de verilmiştir. 2. kat ilk çevrim rijitlikleri; 1. deney numunesi için 9.1 kN/mm, 2. deney numunesi için 10 kN/mm, 3. deney numunesi için 45.1 kN/mm ve 4. deney numunesi için 50 kN/mm değerlerinde olup, ilerleyen çevrimlerde bu değerler düşmüştür. Betonarme perdeli sistemlerde rijitlik azalımı daha ani iken, boş çerçeve sistemlerde daha yavaştır. 2. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının 0.02 değerinden sonra tüm çerçeve sistemlerinde rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmekte olup, bu noktadan sonra rijitlik değerleri 1. ve 2. deney numunesi için ≈1 kN/mm, 3. deney numunesi için ≈4 kN/mm, 4. deney numunesi için 2.5 kN/mm dolaylarına inmektedir. İlk çevrimlerden elde edilen rijitlik değerleri dikkate alındığı zaman; 1. deney numunesi baz alındığında, 1. çevrim rijitliğindeki artış 2. deney numunesinde % 9.89, 3. deney numunesinin 1. çevrim rijitliğindeki artış % 395.6, 4. deney numunesinde ise; % 449.45 olmuştur. Numunelerin 1. kat rijitlik değerleri ise, 1. deney numunesi için 20 kN/mm, 2. deney numunesi için 23 kN/mm, 3. deney numunesi için 80 kN/mm ve 4. deney numunesi için 121 kN/mm'dir. 1. kat için rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının 1. deney numunesi için 0.017, 2. deney numunesi için 0.020, 3. deney numunesi için 0.015, 4. deney numunesi için de 0.030 değerinden sonra rijitlik değerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama sonucunda rijitlik değerleri 1. ve 2. numuneler için ≈2 kN/mm 3. deney numunesi için ≈14 kN/mm, 4. deney numunesi için ≈4 kN/mm dolaylarına inmiştir. 1. kat ilk çevrim rijitlikleri dikkate alındığı zaman, 1. deney numunesi baz alındığında, 2. deney numunesinin 1. kat 1. çevrim rijitliğindeki artış %15, 3. deney numunesinin 1. kat 1. çevrim rijitliğindeki artış % 300, 4. deney numunesinde % 505 olmuştur.

Maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.77 kN/mm, 2. deney numunesi için 1.81 kN/mm, 3. deney numunesi için 5.93 kN/mm, 4. deney numunesi için 10.05 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri

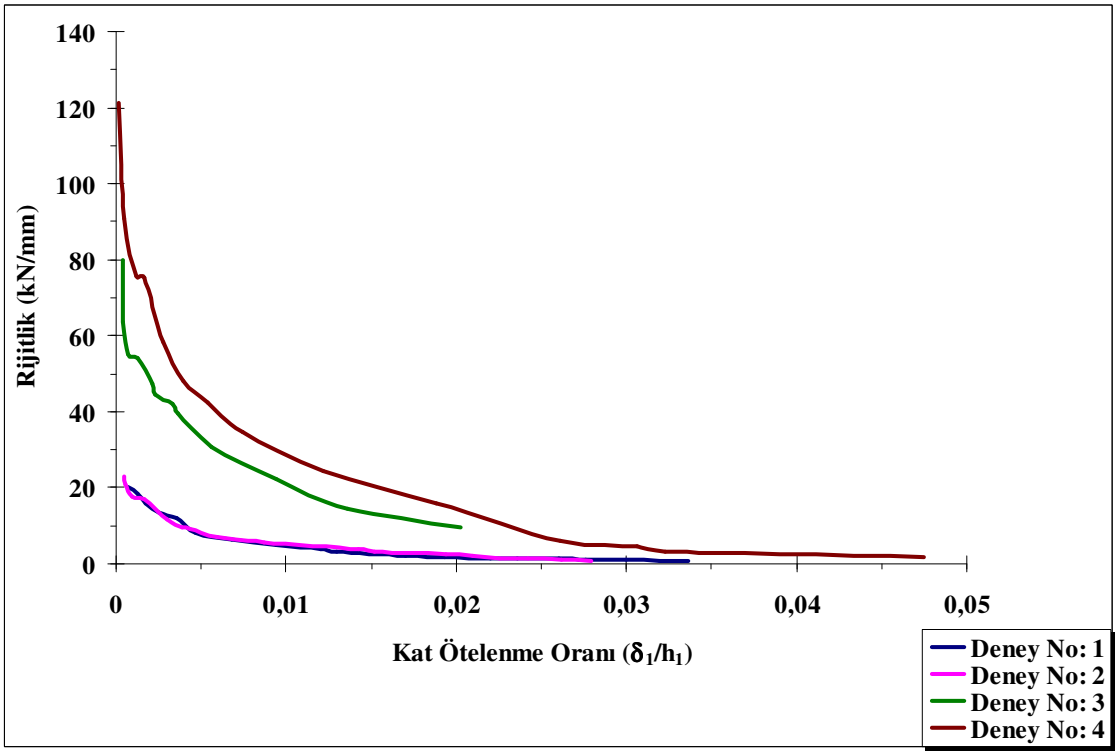
1. deney numunesi için 3.80 kN/mm, 2. deney numunesi için 3.87 kN/mm, 3. deney numunesi için 14.15 kN/mm, 4. deney numunesi için 16.019 kN/mm değerindedir.

Göçme yükü seviyesindeki çevrim (göçme yükü olarak maksimum yükün % 85'i alınmıştır) için, 2. kat rijitlik değerleri, 1. deney numunesi için 1.21 kN/mm, 2. deney numunesi için 1.31 kN/mm 3. deney numunesi için 4.49 kN/mm, 4. deney numunesi için 2.42 kN/mm iken; 1. kat rijitlik değeri 1. deney numunesi için 3.04 kN/mm, 2. deney numunesi için 3.27 kN/mm 3. deney numunesi için 9.42 kN/mm, 4. deney numunesi için 4.46 kN/mm değerindedir.

Bütün deney numunelerine ait rijitlik özellikleri Çizelge 6.14'de 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde verilmiştir.

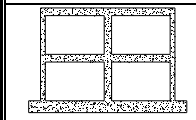
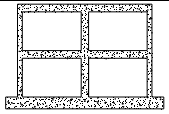
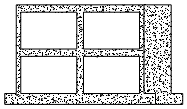
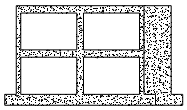


Şekil 6.23. Bütün deney numunelerine ait 2. kat rijitlik azalım grafikleri



Şekil 6.24. Bütün deney numunelerine ait 1. kat rijitlik azalım grafikleri

Çizelge 6.14. Bütün deney numunelerine ait rijitlik özellikleri

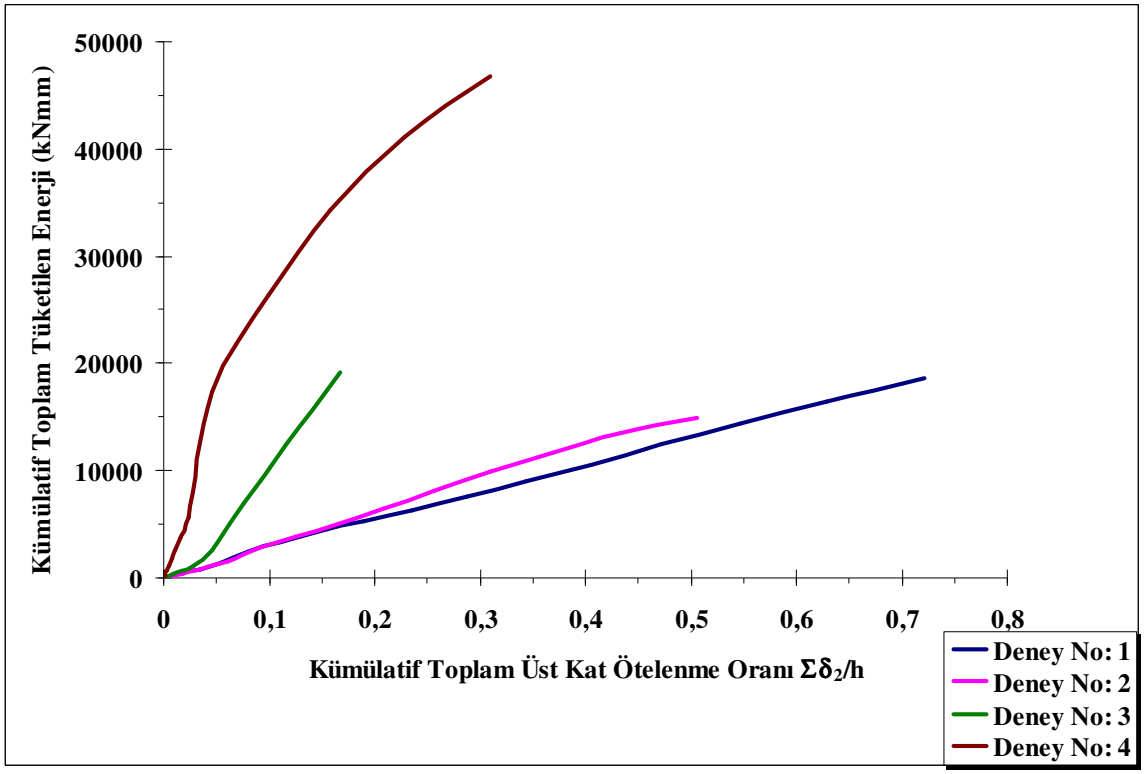
Deney Numunesi	**1. Çevrim Rijitliği (kN/mm) (*)**		**Max Yükteki Rijitlik (kN/mm) (**)**		**Göçme Yükü Çevrim Rijitliği ($0.85.F_{max}$)**		**Deney Sonu Çevrim Rijitliği**				**1. Çevrim Rijitlik Oranı: (*)/Referans Numune**		**Max Yükteki Rijitlik Oranı: (**)/Referans Numune**	
	2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**	**Rijitlik (kN/mm)**		**(δ_i / h_i)**		**2. kat**	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**
							2. kat	**1. kat**	**2. kat**	**1. kat**				
 1-BK-ZK	9.10	20.00	1.77	3.80	1.21	3.04	0.22	0.613	0.045	0.034	1	1	1	1
 2-BK-KK	10.00	23.00	1.81	3.87	1.31	3.27	0.31	0.73	0.032	0.028	1.09	1.15	1.02	1.02
 3-BK-ZK PERDELİ	45.10	80.00	5.93	14.50	4.49	9.42	4.49	9.42	0.025	0.020	4.96	4	3.35	3.82
 4-BK-KK PERDELİ	50.00	121.00	10.05	16.02	2.42	4.46	0.68	1.62	0.040	0.047	5.49	6.05	5.68	4.22

6.5.3. Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

Bütün deney numunelerinin yük-deplasman grafiklerinden elde edilen toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 6.25'de verilmiştir. Toplam tüketilen enerji grafikleri, 2. kattaki deplasman değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Enerji tüketimi önemli ölçüde, yükleme geçmişine bağlı olduğu için numunelerin aynı yükleme programına tabi tutulması anlamlıdır. Tüketilen enerji miktarı, deneysel yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Kümülatif deplasman ise, ileri ve geri çevrimlerdeki maksimum deplasmanların eklenmesi ile hesaplanmıştır. Şekil 6.25'den görüldüğü gibi, son çevrimlerdeki toplam tüketilen enerji değerleri; 1. deney numunesi için 18632 kNmm, 2. deney numunesi için 14925 kNmm, 3. deney numunesi için 19154 kNmm ve 4. deney numunesi için 46839 kNmm olarak hesaplanmıştır. Referans olarak 1. deney numunesi baz alındığında, enerji tüketimindeki artış; 2. deney numunesinde artış görülmezken, 3. deney numunesinde %2.8, 4. deney numunesinde %151.4 olmuştur. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi; deney numunelerinin bazılarında deney düzeneğinin durumu ve çerçevenin yanal deplasmanı tehlikeli bir konuma gelmesinden dolayı yatay deplasman değerleri belli bir sınırın üstüne çıkartılamaması nedeniyle, toplam rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının belli bir sabit değeri için karşılaştırma yapılması, enerji tüketme kapasitelerinin değerlendirilmesi bakımından daha anlamlı olacaktır. Bu amaçla, tüketilen enerji değerleri, en küçük toplam kat ötelenme oranı için karşılaştırılmıştır.

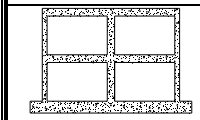
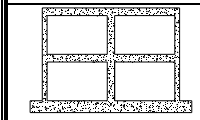
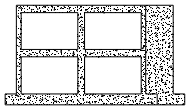
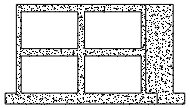
Maksimum yük seviyesinde toplam tüketilen enerji değerleri ise, 1. deney numunesi için 2491 kNmm, 2. deney numunesi için 3848 kNmm, 3. deney numunesi için 12514 kNmm, 4. deney numunesi için 17332 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Bütün deney numuneleri için yapılan bu karşılaştırma, toplam tüketilen enerji değerleri için 1. deney numunesi referans alınarak karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.15'de verilmiştir.



Şekil 6.25. Bütün deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji grafikleri

Çizelge 6.15. Bütün deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji değerleri

Deney Numunesi	**($\Sigma\delta_2$ / h)**	**Toplam Tüketilen Enerji (kNmm) (*)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (*)/Referans Numune**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji (kNmm) (**)**	**Maksimum Yük Seviyesinde Tüketilen Enerji Oranı: (**)/Referans Numune**	**Numunelerin Yaptığı En Küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) Değerine Göre**	**Toplam Tüketilen Enerji [En küçük ($\Sigma\delta_2$ / h) için] (kNmm) (***)**	**Tüketilen Enerji Oranı: (***)/Referans Numune**
 1-BK-ZK	0.721	18632	1	2491	1	0.168	4794	1
 2-BK-KK	0.505	14925	0.80	3848	1.54	0.168	5072	1.06
 3-BK-ZK PERDELİ	0.168	19154	1.03	12514	5.02	0.168	19154	3.995
 4-BK-KK PERDELİ	0.310	46839	2.51	17332	6.96	0.168	35000	7.3

6.6. Bütün Numunelerin İleri Çevrim Rijitlik Değerlerinin Karşılaştırılması

4. Bölümde detaylı olarak anlatılan rijitlik hesapları iki kısma ayrılmıştı. 1. Kısım, deney numunesinin yatay yükleme sırasında yapmış olduğu yatay yük – yatay tepe deplasman çevrimsel davranışında, ileri ve geri çevrimin birlikte düşünüldüğü (tam çevrim) durumdur. Buna göre bulunan rijitlik değerleri, daha önceki karşılaştırma bölümünde detaylı bir şekilde incelenmişti.

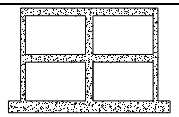
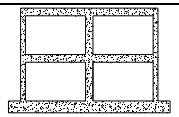
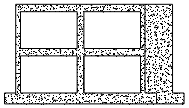
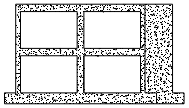
Literatürde deney elemanlarının rijitlikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, sadece ileri çevrimin göz önüne alındığı durumlara da sıklıkla rastlanılmaktadır. Bundan hareketle, bu bölümde 2. bir kısım olarak, ileri çevrimler için (yarı çevrim) elde edilen rijitlik değerleri de Çizelge 6.16'da verilmiştir. Bu çizelgede, her bir deney numunesinin 1. ileri çevrim rijitliği, maksimum yükteki ileri çevrim rijitliği ve göçme anındaki (maksimum yatay yükün %85'i) ileri çevrim rijitliği yer almaktadır.

Bu çizelgelerde ayrıca başlangıç ileri çevrim (yarı çevrim) rijitliğine göre, hesaplanan maksimum ve göçme yükü anındaki rijitliklerin düşüş oranları da yüzde olarak verilmiştir.

Çizelge 6.16'dan da görülebileceği gibi, sadece ileri çevrimler için 3. ve 4. deney numunelerinin başlangıç, maksimum yükteki ve göçme yükündeki rijitlikleri 1. ve 2. deney numunelerine göre çok daha fazladır. 3. deney numunesinin rijitliği, 1. deney numunesine göre başlangıçta %712.7, maksimum yükte %250.8, göçme yükünde ise %212.6 daha fazladır. 4. deney numunesinin rijitliği, 2. deney numunesine göre başlangıçta %551.3, maksimum yükte %273.2, göçme yükünde ise %294.9 daha fazladır.

Ancak; 4 nolu numunenin başlangıç rijitliği 3 nolu numuneye eşit ya da daha fazla olması gerekirken, deney başlangıcındaki ölçüm değerlerinin çok küçük olması nedeniyle, istenilen seviyede hassas ölçümler yapılamadığı için daha küçük bulunmuştur.

Çizelge 6.16. Deney numunelerinin ileri çevrim rijitlik değerleri

Deney Numunesi	**1. Çevrim (Başlangıç) Rijitliği (kN / mm)**	**Maksimum Yükteki (F_{max}) İleri Çevrim Rijitliği (kN / mm)**		**Göçme Yükündeki ($0.85.F_{max}$) İleri Çevrim Rijitliği (kN / mm)**	
		Rijitlik	**% Rijitlik Kaybı (1. Çevrime Göre)**	**Rijitlik**	**% Rijitlik Kaybı (1. Çevrime Göre)**
 1-BK-ZK	6.21	1.75	71.82	1.35	78.26
 2-BK-KK	6.21	1.78	71.34	1.19	80.84
 3-BK-ZK PERDELİ	50.47	5.83	88.45	4.22	91.64
 4-BK-KK PERDELİ	40.45	6.27	84.49	4.70	88.38

6.7. Bütün Numunelerin İleri Çevrimlere Göre Enerji Tüketme Özelliklerinin Karşılaştırılması

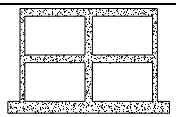
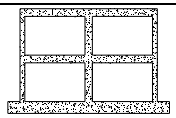
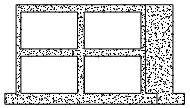
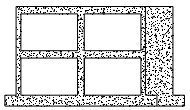
4. Bölümde detaylı olarak anlatılan enerji hesapları iki kısma ayrılmıştı. 1. Kısım, deney numunesinin yatay yükleme sırasında yapmış olduğu yatay yük – yatay tepe deplasmanı çevrimsel davranışında ileri ve geri çevrimin birlikte düşünüldüğü (tam çevrim) durumdur. Buna göre bulunan enerji değerleri daha önceki karşılaştırmalar kısmında verilmişti. Rijitlik için yapılan hesaplamalara benzer şekilde, sadece ileri çevrimin (yarı çevrim) göz önüne alındığı durum için yapılan enerji hesaplamaları da Çizelge 6.17'de verilmiştir.

Bu çizelgede, her bir deney numunesinin 1. ileri çevrimde tükettiği enerji, maksimum yük anına kadar ileri çevrimlerde tüketilen toplam enerji ve göçme anına (maksimum yatay yükün %85'i) kadar ileri çevrimlerde tüketilen toplam enerji değerleri yer almaktadır.

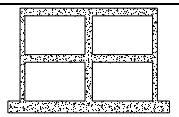
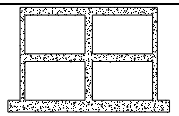
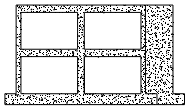
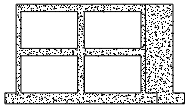
Bu çizelgelerde ayrıca başlangıç ileri çevriminde (yarı çevrim) tüketilen enerjiye göre, hesaplanan maksimum ve göçme yükü anındaki toplam tüketilen enerji artış oranları da yüzde olarak verilmiştir.

Yine bütün deney numuneleri için ilk çatlak ve mafsal oluşum yerleri de Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Deney numunelerinin kümülatif tüketilen enerji karşılaştırmaları (ileri çevrimlere göre)

Deney Numunesi	**1. Çevrimde Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)**	**İleri Çevrim Durumunda Maksimum Yüke Kadar (F_{max}) Tüketilen Enerji (kNmm)**		**İleri Çevrim Durumunda Göçme Yüküne Kadar ($0.85.F_{max}$) Tüketilen Enerji (kNmm)**	
		Enerji	**% Enerji Artışı (1. Çevrime Göre)**	**Enerji**	**% Enerji Artışı (1. Çevrime Göre)**
 1-BK-ZK	13.368	1495	11183	2594	19404
 2-BK-KK	15.600	1809	11596	3804	24385
 3-BK-ZK PERDELİ	59.950	6883	11481	10534	17571
 4-BK-KK PERDELİ	78.100	9532	12204	14512	18581

Çizelge 6.18. Bütün deney numuneleri için ilk çatlak ve ilk mafsal oluşum değerleri

Deney Numunesi	İlk Çatlak			İlk Mafsal		
	Oluştuğu Yer	**Oluştuğu Yük (kN)**	**Oluştuğu Tepe Deplasmanı (mm)**	**Oluştuğu Yer**	**Oluştuğu Yük (kN)**	**Oluştuğu Tepe Deplasmanı (mm)**
 1-BK-ZK	K102 kirişinin sol mesnetinde üstte	15	2,642	S203 kolonu alt ucu	-32	-30
 2-BK-KK	K101 kirişinin sağ mesnetinde altta	20	4,678	K102 kolonu sağ ucu	45	30
 3-BK-ZK PERDELİ	K102 kirişinin sağ mesnetinde altta	80	4,132	S201 kolonu alt ucu	186	15
 4-BK-KK PERDELİ	K101 kirişinin sol mesnetinde üstte	60	3.394	S103 kolonu alt ucu	180	28.39

7. ANALİTİK ÇALIŞMALAR VE DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

7.1. Deneysel Davranışın Analitik Olarak İncelenmesi

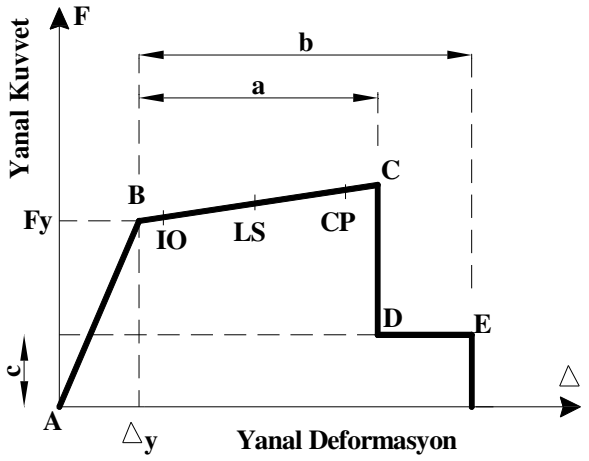
Çalışmanın bu bölümünde, deney elemanları üzerinde analitik hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve deneyler sonucunda elde edilen verilerle; analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analitik çalışmalarda, deney numunelerinde meydana gelen ilk eğilme çatlağı ve dış perde duvardaki ilk çatlak yükleri hesaplanmıştır. Maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri, araştırmacıların önerdiği denklemler ve "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" hükümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, deprem davranışı zayıf, kolonları basınç kırılması gösteren, sünek olmayan betonarme çerçevelerin ve dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmiş numunelerin teorik yük-deplasman zarf eğrisi ve elemanların mafsallaşma davranışı SAP2000 bilgisayar programının yedinci sürümü kullanılarak incelenmiştir. Burada, bütün deney numunelerinde program girdilerinden olan malzeme özelliklerinin tanıtılmasında, malzemelerin gerçek değerleri girilerek analiz yapılmıştır. Malzeme değerleri olarak; beton için silindir basınç deneyinden elde edilen ortalama basınç dayanımı değeri ve donatı çeliği için donatı çekme deneyinden elde edilen akma dayanımı maksimum gerilme değerleri kullanılmıştır. SAP2000, elemanların akma kapasitesi olarak sadece akma momentini veya eksenel yük-moment etkileşim eğrisini kabul etmektedir. Bu program kullanılarak oluşturulan modellere, deplasman kontrollü itme analizi (Pushover Analysis) uygulanmıştır. Statik İtme Analizi (Pushover Analysis), yapıların yatay yükler altında göstereceği davranışı tahmin etmek için kullanılan nonlineer statik analiz yönteminin bir çeşididir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen zarf eğrileri, deney numunelerinin zarf eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Bu bölümün sonunda, kolonların deneylerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri analitik yöntemle bulunanlarla karşılaştırılıp, sonuçlar yorumlanmıştır.

7.2. Statik İtme Analizi (Pushover Analysis)

Deprem öncesi göçme güvenliklerinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılan yöntemlerden birisi de lineer olmayan statik analiz ya da dünya literatüründeki ismiyle pushover analizdir. Nonlineer statik itme analizinde, plastik mafsal tanımlaması için FEMA-273 (Federal Emergency Management Agency) ve ATC-40'da (The Applied Technology Council) pushover analizi için verilmiş basitleştirilmiş plastik mafsal modelleri yer almaktadır. Mafsal tanımlama için kullanılan eğrinin özellikleri; betonun dayanımına, betonarme donatısının özelliğine, etriye miktarına ve eksenel yük durumu gibi değişkenlere bağlıdır. Programa girdi olarak plastik mafsal oluşum yerleri ve her plastik mafsal için davranış biçimlerinin (moment mafsalı vs.) programa girilmesi gerekmektedir.
Bu davranış, kuvvet ile deplasman arasındaki ilişkiye bağlı olarak tanımlanır. Programda sadece çubuk elemanlarda mafsal tanımlanabildiğinden, için de perde türü elemanlar için çubuk model kullanılmak zorunludur.

Pushover analiz yöntemi ile, yapının elastik ötesi davranışı pratik olarak belirlenmektedir. Bu analiz yöntemiyle yapının hangi bölgelerinde zayıflık olduğu, hangi bölgelerde elastik ötesi davranışa ulaşıldığı, hangi bölgelerin önce göçebileceği, plastik mafsalların nerelerde oluşacağı belirlenebilmektedir. Performansın belirlenmesinde çoğunlukla kapasite spektrum yöntemi kullanılmaktadır. Yapıda talep ile kapasitenin karşılaştırılması sırasında kuvvet yerine deplasman kullanılır. Yapıda elastik ötesi davranış meydana getirecek düzeyde olan olağan bir yükleme, yapıya adım adım artış yapılarak etki ettirilir ve bu sırada artan deplasmanlar yapı elemanlarında elastik ötesi davranış ortaya çıkarır. Bunun sonucunda yük ve deplasmanların karşılıklı gösterildiği, yapıya ait kapasite eğrisi elde edilir.

Şekil 7.1'de bir mafsalın yanal kuvvet - yanal deformasyon ilişkisini gösteren idealleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi diyagramı verilmiştir. Plastik mafsallara ait özellikler, bir kesitteki deformasyon ve buna karşılık gelen iç kuvvet değerlerinin, performans seviyelerine karşılık gelen noktaların işaretlendiği bir grafik ile verilmektedir.



Şekil 7.1. Plastik mafsalda meydana gelen deformasyon kriter noktaları
(FEMA-273 / 356, 1997)

A ve B noktaları arası elastik davranışı temsil etmektedir. B noktasından sonra, elastik ötesi davranış ve plastik mafsal oluşumu başlamaktadır. FEMA-273 ve FEMA-356'da yapı performans noktaları şu şekilde belirlenmiştir:

- B (Basic Safety) Fonksiyonel Performans Seviyesi: Deprem sonrasında, yapının kullanımıyla ilgili bir can güvenliği tehlikesi söz konusu değildir ve hiçbir onarım gerekmez.
- IO (Immediate Occupancy) Hemen Kulanım Performans Seviyesi: Yapı güvenlidir. Oluşan hasar kolaylıkla onarılabilir.
- LS (Life Safety) Can Güvenliği Performans Seviyesi: Yapı ayaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan hasarlar oluşur.
- CP (Collapse Prevention) Yapısal Stabilite Performans Seviyesi: Yapı çok zorlanmıştır. Kesitlerin çoğunda mafsallaşma olmuştur.

Deney numunelerinin modellenmesinde kullanılan moment plastik mafsalı veya moment ve normal kuvvet tesirlerini bir arada dikkate alan plastik mafsal tipi ATC-40 ve FEMA-273 / 356 kullanılarak tanımlanırken; B noktasının koordinatı akma momentine bağlı olarak otomatik bir şekilde SAP 2000 tarafından belirlenir. C noktasının değeri ise B'nin %10'u olarak alınır. C, D, E noktalarına ait dönme değerleri ATC-40 ve FEMA-273 / 356'da bulunan ve aşağıda Türkçeleştirilmiş

olarak gösterilen tablolardan alınır. Böylece her bir eleman üzerinde tanımlanacak olan plastik mafsal özellikleri belirlenerek, mafsalın nonlineer davranışı karakterize edilebilmektedir.

SAP2000 programında ATC-40 ve FEMA-273 / 356 'ün dikkate alınmasıyla önceden tanımlanmış olarak sadece moment, sadece normal kuvvet, sadece kesme kuvveti için ve bunun yanında normal kuvvet ve momentin birlikte dikkate alındığı durum için mafsal tipleri mevcuttur. Kullanıcı isterse bu hazır mafsal tiplerini kullanabileceği gibi, farklı özelliklere sahip mafsal tipleri de tanımlayabilmektedir.

Bu hazır mafsal tipleri; sadece normal kuvvet mafsalı **P**, sadece moment mafsalı **M3**, sadece kesme kuvveti mafsalı **V2** ve hem normal kuvvet, hem moment mafsalı **PMM** olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsallara ait davranış parametreleri aşağıdaki tablolarda tanımlanmıştır.

Dış perde duvar ilaveli çerçevelerde, perde duvar bir kolon elemanı olarak modellenmiştir. Oluşturulan çerçeve modelinde, perdenin genişliğini dikkate almak için kirişlerin perdeye birleştiği uçlar, rijit uç bölgeleri (rigid end zones) olarak tanımlanmıştır. Perde duvarların bu şekilde modellenmesi, benzer yapıların analizinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu şekilde modellenme ile statik analiz sonucunda oluşan plastik mafsallar, düğüm noktası yerine kirişle perdenin birleştiği bölgede oluşmuştur.

SAP2000 programı vasıtasıyla, potansiyel süneklik kapasitesi, yapıların yatay yüklere karşı dayanımının yeterliliği, elemanların hangi yük kademesinde ve hangi sırayla akma ve göçmeye ulaşacakları belirlenebilmektedir. Bir bina taşıyıcı sisteminin akmaya başlaması için, sistem üzerinde tek bir plastik mafsalın oluşması yeterli değildir. Çerçeve davranışını belirgin bir şekilde değiştirecek kadar çok plastik mafsalın oluşması gerekir. Eksenel yük taşıyan kolon ve perde elemanlarında, plastik mafsal oluşumu ile birlikte kapasite eğrisinin şekli değişerek yatay olmaya başlamaktadır.

Çizelge 7.1. Betonarme kirişlerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)

DURUMLAR			**Modelleme Parametreleri**			**Kabul Kriterleri**				
			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları		**Artık Güç Oranları**	**Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları**				
						Eleman Tipi				
						Birincil (Ana)			**İkincil**	
			a	**b**	**c**	**IO**	**LS**	**CP**	**LS**	**CP**
1. Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı donatısı durumu	$\frac{V}{b_w d\sqrt{f_c'}}$								
≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Uygun	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Uygun	≤ 3	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Uygun	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Uygun Değil	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Uygun Değil	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01
2. Kesme Etkisindeki Kirişler										
Etriye aralığı $\leq$ d / 2			0.0	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
3. Bindirme Boyu Yetersiz Kirişler										
Etriye aralığı $\leq$ d / 2			0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4. Düğüm Noktasında Kiriş Donatılarının Yeterince Uzatılmadığı Kirişler										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

Çizelge 7.2. Betonarme kolonlarda plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)

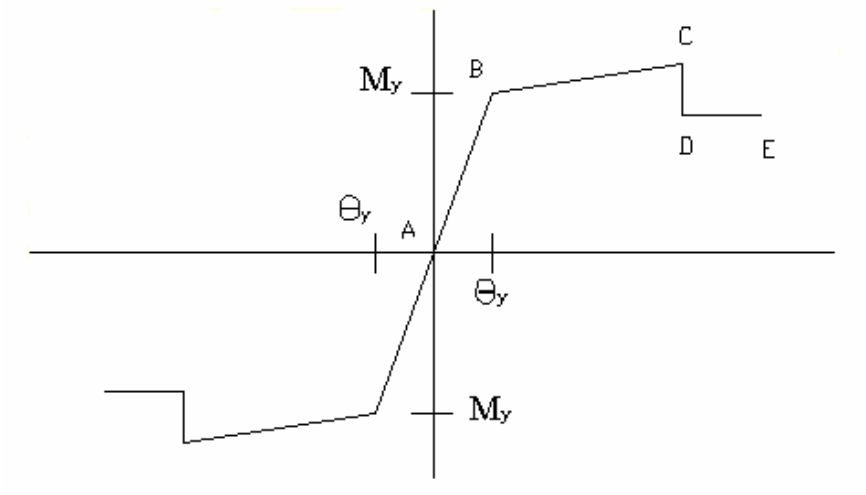
DURUMLAR			**Modelleme Parametreleri**			**Kabul Kriterleri**				
			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları		**Artık Güç Oranları**	**Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları**				
						Eleman Tipi				
						Birincil (Ana)			**İkincil**	
			a	**b**	**c**	**IO**	**LS**	**CP**	**LS**	**CP**
1. Eğilme Etkisindeki Kolonlar										
$\frac{P}{A_g f_c'}$	Sargı donatısı durumu	$\frac{V}{b_w d\sqrt{f_c'}}$								
≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	Uygun	≥ 6	0.015	0.025	0.2	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	Uygun Değ	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	Uygun Değ	≥ 6	0.005	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	Uygun Değ	≤ 3	0.005	0.005	-	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.4	Uygun Değ	≥ 6	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2. Kesme Etkisindeki Kolonlar										
Etriye aralığı $\leq$ d / 2 veya $\frac{P}{A_g f_c'} \leq 0.1$			0.0	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
Diğer Durumlar			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3. Temiz yüksekliği boyunca bindirme boyu yetersiz kolonlar										
Etriye aralığı $\leq$ d / 2			0.01	0.02	0.4	1	1	1	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.2	1	1	1	0.005	0.01
4. Eksenel yükü 0.70 P_0 'ı geçen kolonlar										
Uzunluğunun tamamında uygun donatılı kolonlar			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
Diğer bütün durumlar			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 7.3. Betonarme perdelerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (ATC-40 ve FEMA-273 / 356)

DURUMLAR			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları		Artık Güç Oranları	Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları				
						Eleman Tipi				
						Birincil (Ana)			İkincil	
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
1. Perdeler										
$\frac{(A_S - A_S')f_y + P}{t_w \ell_w f_c'}$	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f'_c}}$	Perde uç donatısı								
≤ 0.1	≤ 3	Evet	0.015	0.02	0.75	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	≥ 6	Evet	0.01	0.015	0.40	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.025	≤ 3	Evet	0.009	0.012	0.60	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
≥ 0.025	≥ 6	Evet	0.005	0.01	0.30	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	≤ 3	Hayır	0.008	0.015	0.60	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	≥ 6	Hayır	0.006	0.01	0.30	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.025	≤ 3	Hayır	0.003	0.005	0.25	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.025	≥ 6	Hayır	0.002	0.004	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2. Süreksiz perdeleri taşıyan kolonlar										
İki etriyeli			0.01	0.015	0.2	0.003	0.007	0.01	----	---
Kötü etriyeli			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	---
3. Perde arası bağ kirişler										
Boyuna ve enine donatı	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f'_c}}$		d	e						
İkisi de mevcut, uygun	≤ 3		0.025	0.04	0.75	0.006	0.015	0.025	0.025	0.04
	≥ 6		0.015	0.03	0.5	0.005	0.01	0.015	0.015	0.03
Enine donatı uygun değil	≤ 3		0.02	0.035	0.5	0.006	0.02	0.02	0.02	0.035
	≥ 6		0.01	0.025	0.25	0.005	0.01	0.01	0.01	0.025
Diyagonal donatı var	----		0.03	0.05	0.8	0.006	0.018	0.03	0.03	0.05

Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'de FEMA-273 / 356 veya ATC-40'tan elde edilen kolon ve kirişlerde plastik mafsal davranışı için modelleme parametreleri ve sayısal varsayımları verilmiştir. Burada ρ kirişteki çekme donatısı oranını, ρ' kirişteki basınç donatısı oranını, ρ_b dengeli donatı oranını, b_w ve d eleman kesit boyutlarını, f_c' beton hesap basınç dayanımını, A_g kolon kesit alanını, P eksenel tasarım kuvvetini ve V tasarım kesme kuvvetini göstermektedir. Ara değerler için tablolarda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir. SAP2000 programındaki hazır plastik mafsal tiplerinin değiştirilmeden varsayılan değerleri ile kullanılması pek sağlıklı sonuç vermemektedir (Inel ve Özmen, 2006). Çünkü program her bir mafsal tipi için FEMA-273 veya ATC-40'dan ortalama bazı değerleri kullanmaktadır. Kesit özelliklerini, donatı durumunu ve tasarıma ait iç kuvvet etkilerini (moment, kesme kuvveti, normal kuvvet vb.) dikkate almamaktadır. Bu nedenle plastik mafsal özellikleri kullanıcı tarafından ilgili tablolar kullanılarak belirlenmelidir. Bu şekilde daha gerçekçi ve doğru sonuçlar elde edilmektedir.

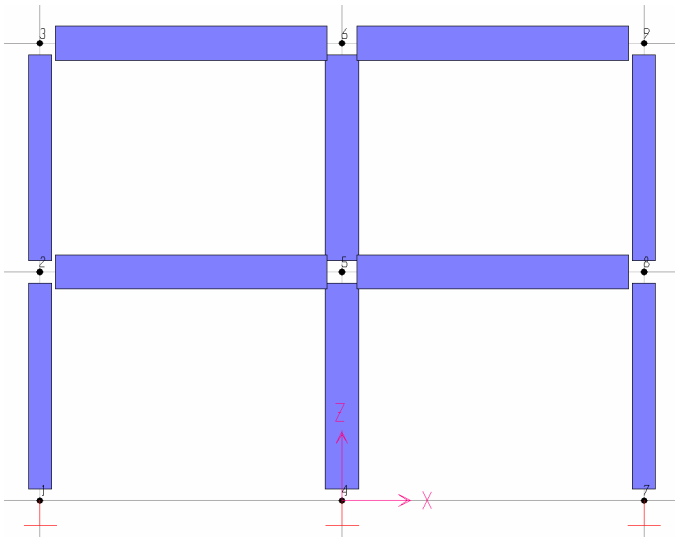
Bütün deney numuneleri üst kat kirişi ekseninden yüklenmiş ve analiz yapılmıştır. Temel sistemi ankastre kabul edilmiştir. Analizlerde çatlamış kesit elastisite modülleri kullanılmıştır. FEMA 356 ve FEMA 273'de kirişler için 0.5EI kolonlar için ise 0.7EI eğilme rijitliği kullanılması gerektiği söylenmektedir.



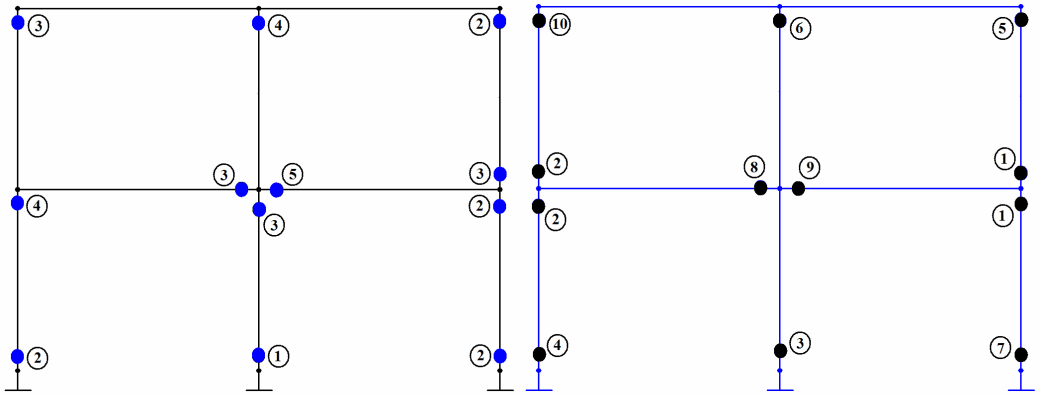
Şekil 7.2. Bir moment mafsalı için moment-dönme ilişkisi (SAP 2000 Klavuzu)

7.3. Deney Numunelerinin SAP 2000 ile Lineer Olmayan Analizi

1 nolu 1-BK-ZK deney numunesinin modeli Şekil 7.3'de verilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşum sırası ve yerleri aşağıda Şekil 7.4'de gösterilmiştir. Şekil 7.5'de plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları, Çizelge 7.4'de her adım için mafsal yerleri verilmiştir. Bu çizelgede Şekil 7.1'de verilen performans noktaları kullanılmış ve plastik mafsallarda oluşan hasar türleri kategorilere ayrılmıştır.

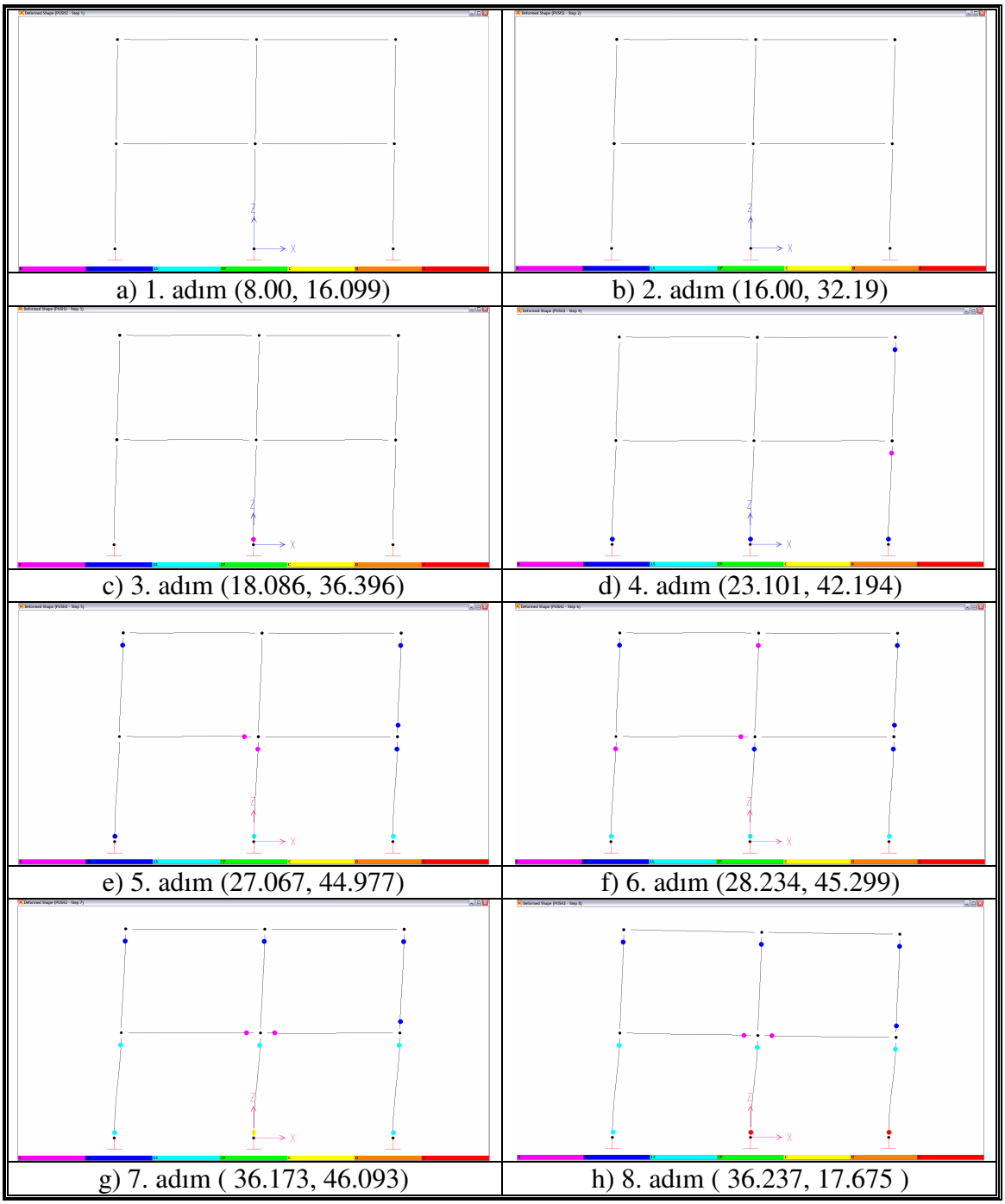


Şekil 7.3. 1 nolu deney numunesinin SAP2000'de modeli



a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sırasında gözlemlenen

Şekil 7.4. 1 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası



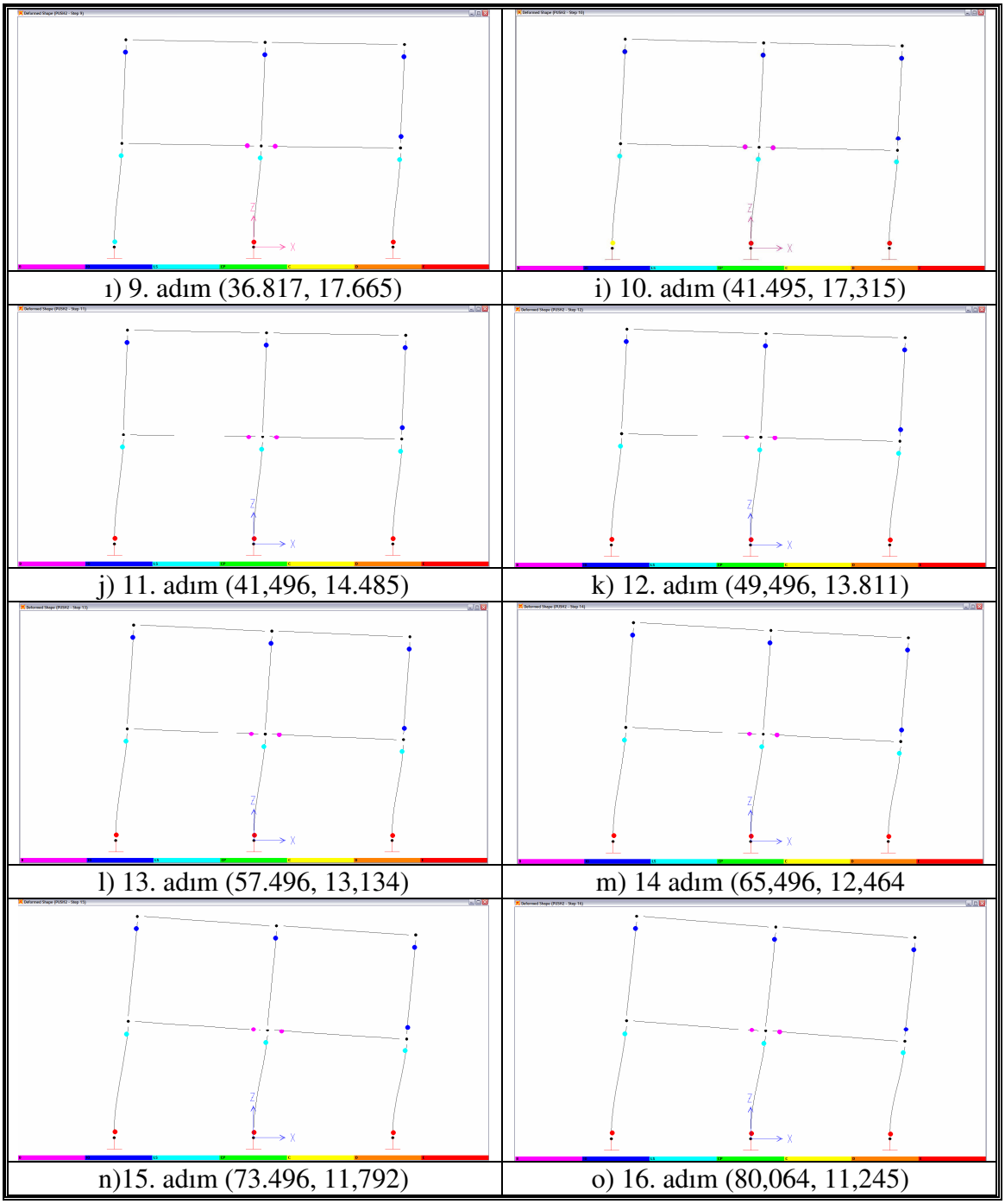
a) 1. adım (8.00, 16.099) b) 2. adım (16.00, 32.19)

c) 3. adım (18.086, 36.396) d) 4. adım (23.101, 42.194)

e) 5. adım (27.067, 44.977) f) 6. adım (28.234, 45.299)

g) 7. adım (36.173, 46.093) h) 8. adım (36.237, 17.675)

Şekil 7.5. 1. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

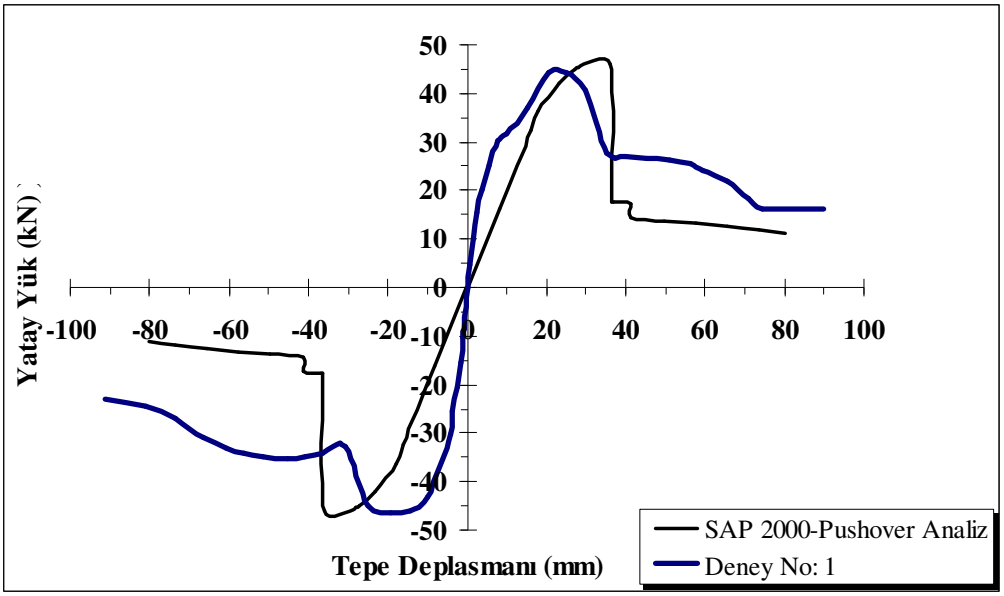


Şekil 7.5. 1. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

Çizelge 7.4. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları

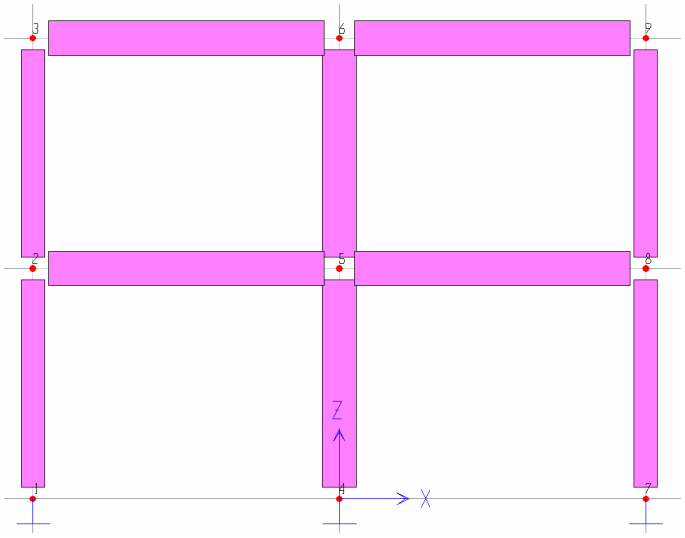
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0	0	0	0
2	20	0	0	0	0	0	0	0
3	19	1	0	0	0	0	0	0
4	15	1	4	0	0	0	0	0
5	11	2	5	2	0	0	0	0
6	9	3	5	3	0	0	0	0
7	8	2	4	5	0	1	0	0
8	8	2	4	4	0	0	0	2
9	8	2	4	4	0	0	0	2
10	8	2	4	3	0	1	0	2
11	8	2	4	3	0	0	0	3
12	8	2	4	3	0	0	0	3
13	8	2	4	3	0	0	0	3
14	8	2	4	3	0	0	0	3
15	8	2	4	3	0	0	0	3
16	8	2	4	3	0	0	0	3

Şekil 7.6'da 1. deney numunesinin deney sonunda elde edilen üst kat kirişi yatay yük-deplasman eğrisi ile SAP2000 bilgisayar programı pushover analiz vasıtasıyla elde edilen yük-deplasman grafiği birlikte verilmiştir.

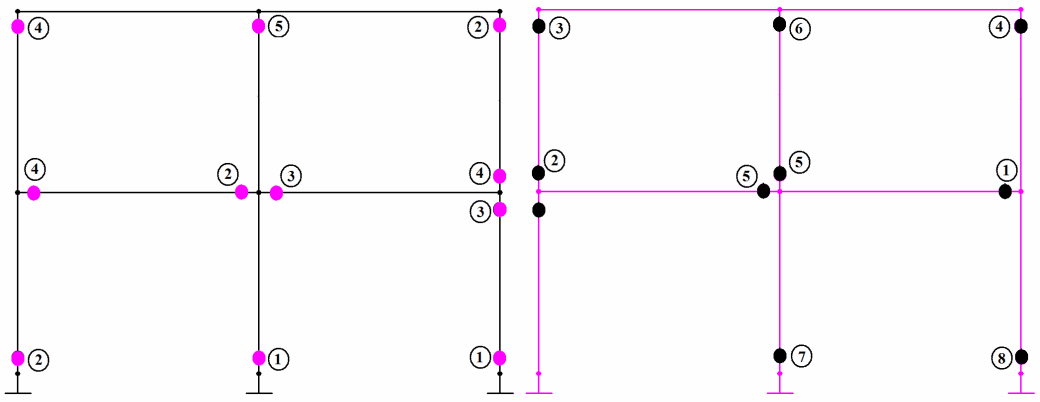


Şekil 7.6. 1. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması

2 nolu 2- BK-KK deney numunesinin modeli Şekil 7.7'de verilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşum sırası ve yerleri aşağıda Şekil 7.8'de gösterilmiştir. Şekil 7.9'da plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları, Çizelge 7.5'de her adım için mafsal yerleri verilmiştir Bu çizelgede Şekil 7.1'de verilen performans noktaları kullanılmış ve plastik mafsallarda oluşan hasar türleri kategorilere ayrılmıştır.

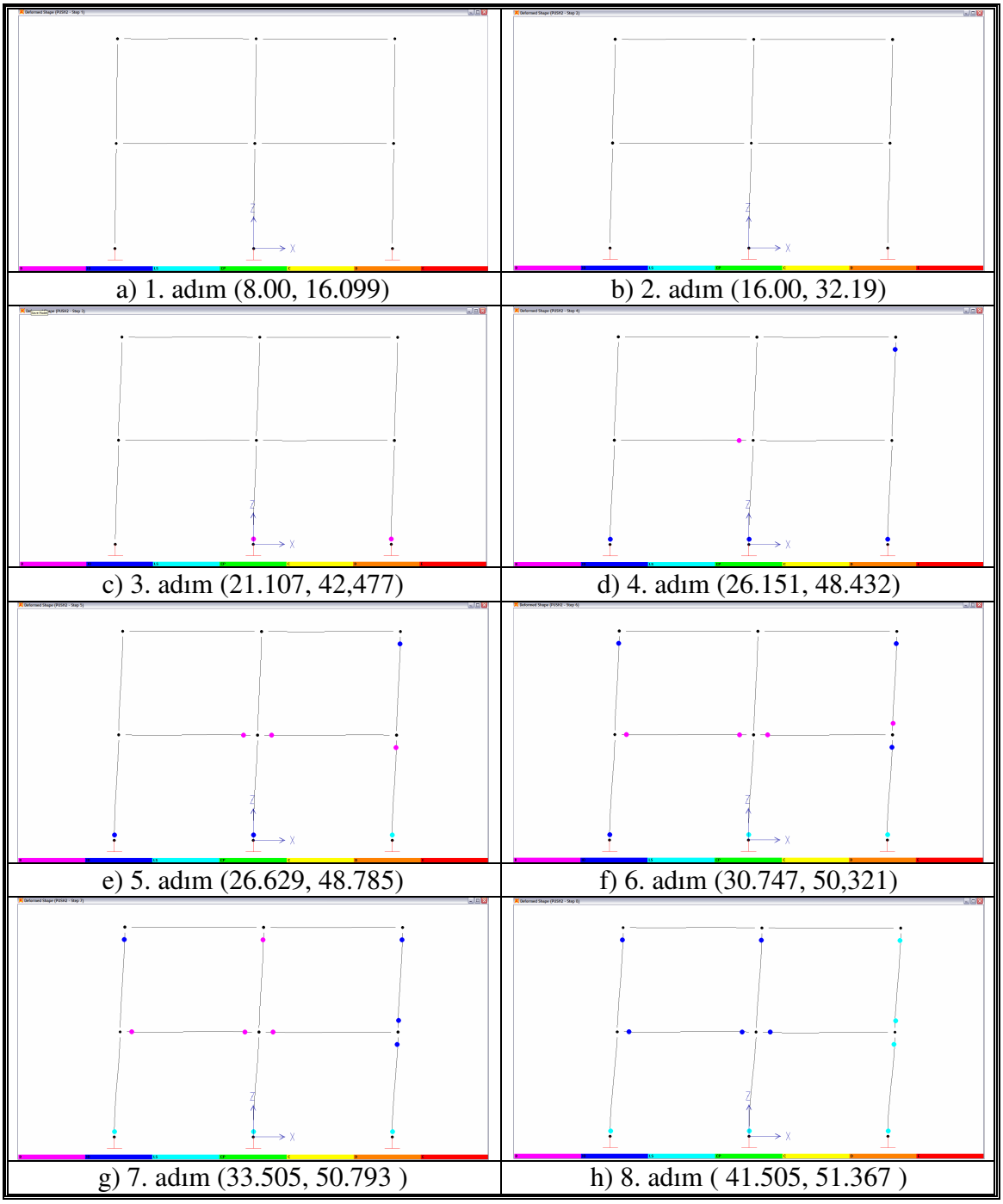


Şekil 7.7. 2 nolu deney numunesinin SAP2000'de modeli



a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sırasında gözlemlenen

Şekil 7.8. 2 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası



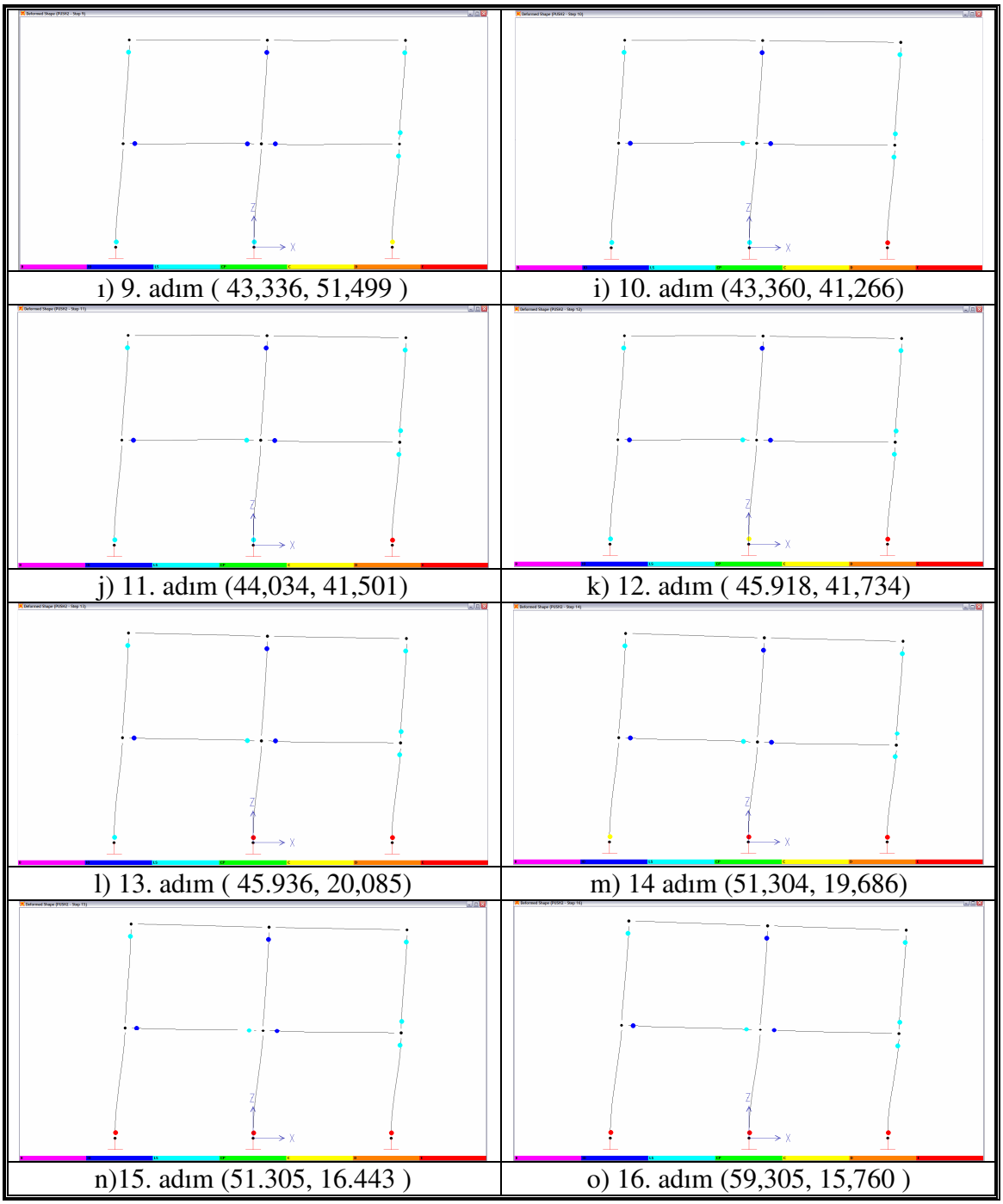
a) 1. adım (8.00, 16.099) | b) 2. adım (16.00, 32.19)

c) 3. adım (21.107, 42,477) | d) 4. adım (26.151, 48.432)

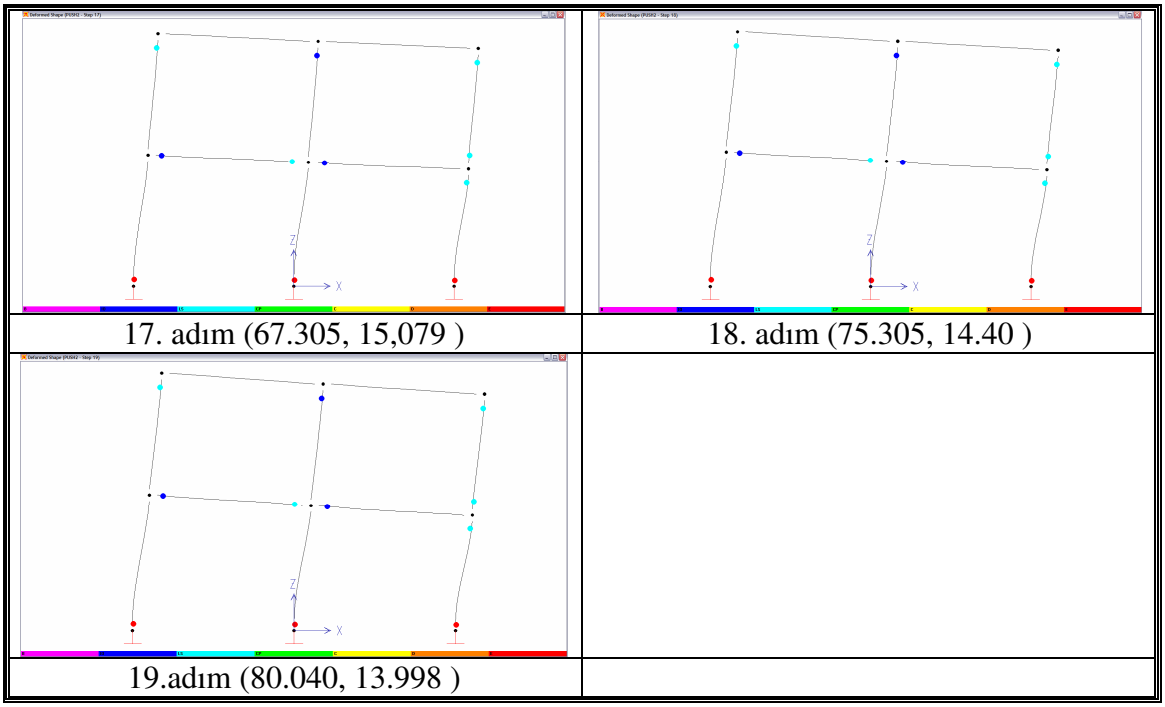
e) 5. adım (26.629, 48.785) | f) 6. adım (30.747, 50,321)

g) 7. adım (33.505, 50.793) | h) 8. adım (41.505, 51.367)

Şekil 7.9. 2. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri



Şekil 7.9. 2. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

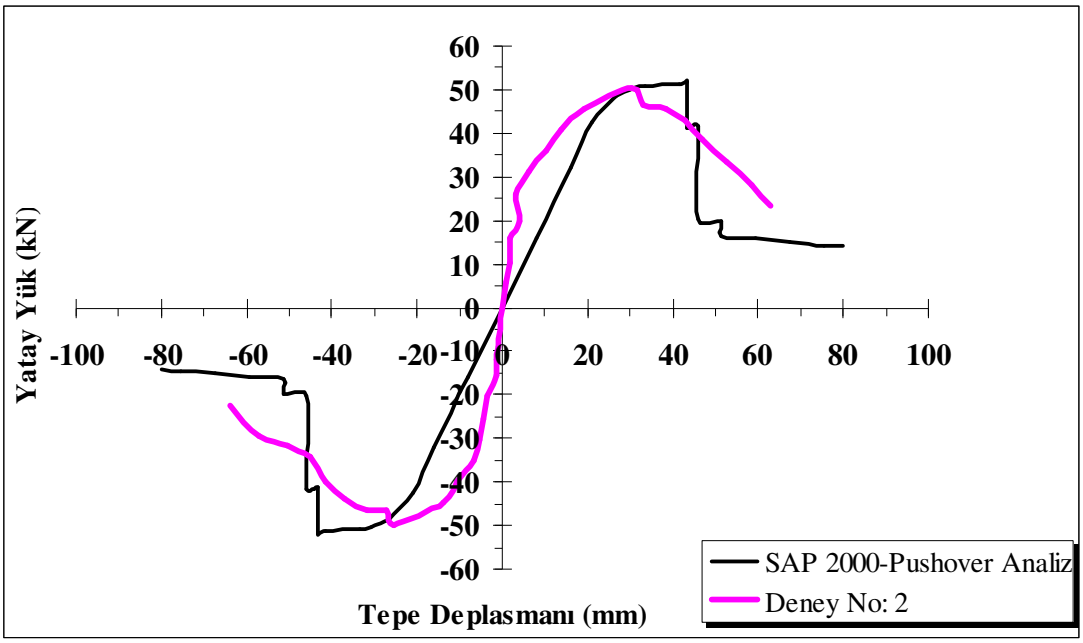


Şekil 7.9. 2. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

Çizelge 7.5. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları

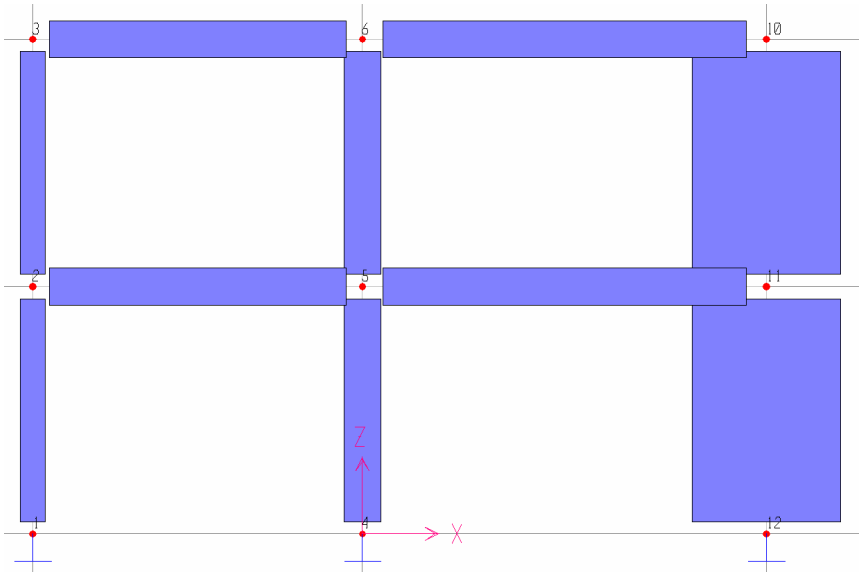
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0	0	0	0
2	20	2	0	0	0	0	0	0
3	18	1	0	0	0	0	0	0
4	15	3	4	0	0	0	0	0
5	13	4	3	1	0	0	0	0
6	10	0	4	2	0	0	0	0
7	9	0	4	3	0	0	0	0
8	9	0	5	6	0	0	0	0
9	9	0	4	6	0	1	0	0
10	9	0	3	7	0	0	0	1
11	9	0	3	7	0	0	0	1
12	9	0	3	6	0	1	0	1
13	9	0	3	6	0	0	0	2
14	9	0	3	5	0	1	0	2
15	9	0	3	5	0	0	0	3
16	9	0	3	5	0	0	0	3
17	9	0	3	5	0	0	0	3
18	9	0	3	5	0	0	0	3
19	9	0	3	5	0	0	0	3

Şekil 7.10'da 2. deney numunesinin deney sonunda elde edilen üst kat kirişi yatay yük-deplasman eğrisi ile SAP2000 bilgisayar programı pushover analiz vasıtasıyla elde edilen yük-deplasman grafiği birlikte verilmiştir.

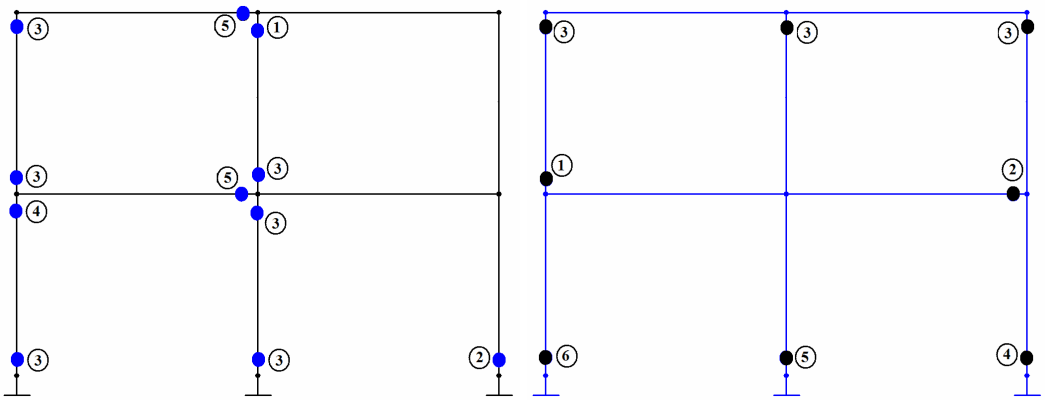


Şekil 7.10. 2. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması

3 nolu 3-BK-ZK PERDELİ deney numunesinin modeli Şekil 7.11'da verilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşum sırası ve yerleri aşağıda Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Şekil 7.13'da plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları, Çizelge 7.6'da her adım için mafsal yerleri verilmiştir. Bu çizelgede, Şekil 7.1'de verilen performans noktaları kullanılmış ve plastik mafsallarda oluşan hasar türleri kategorilere ayrılmıştır.

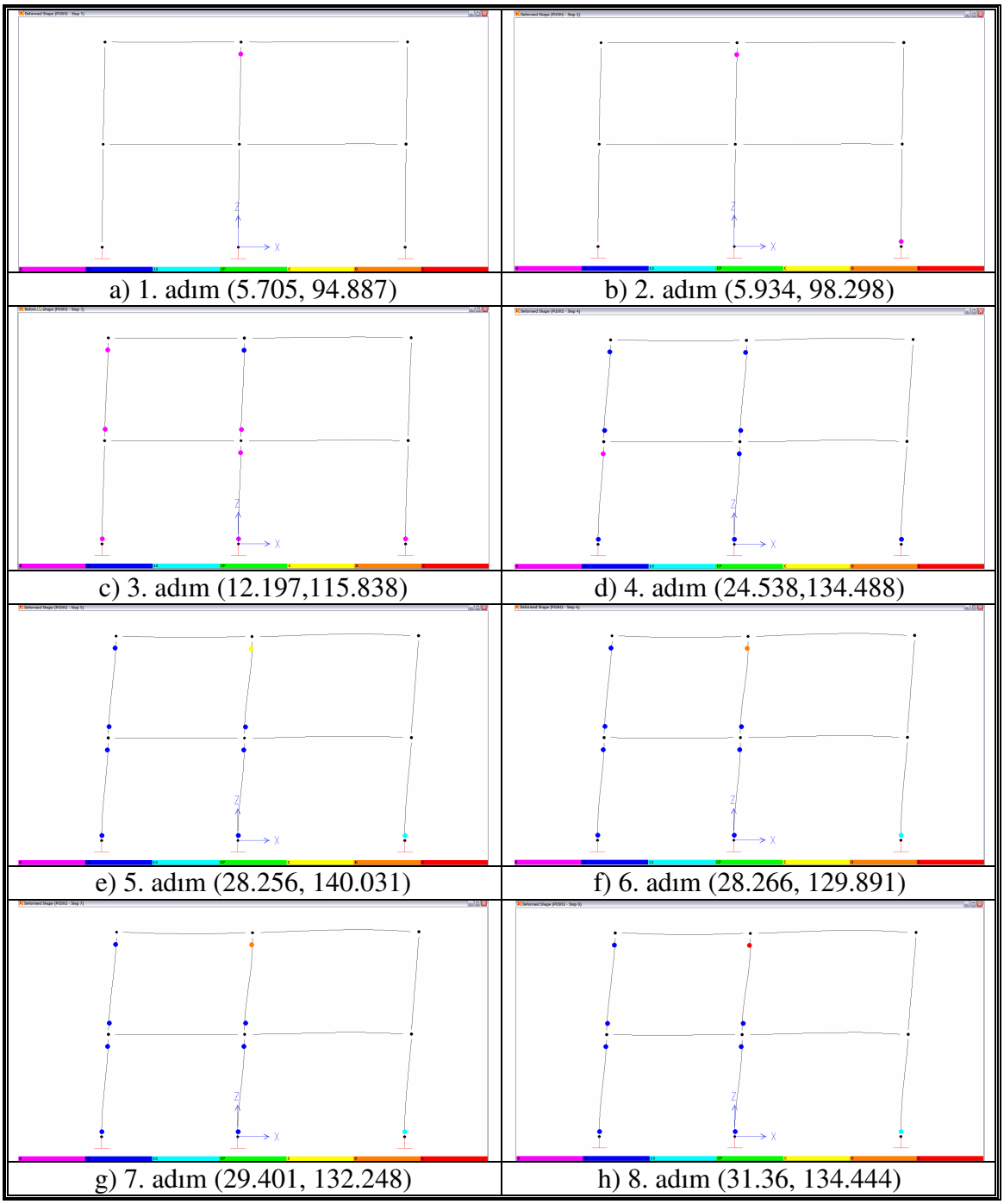


Şekil 7.11. 3 no'lu deney numunesinin SAP2000'de modeli



a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sırasında gözlemlenen

Şekil 7.12. 3 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası



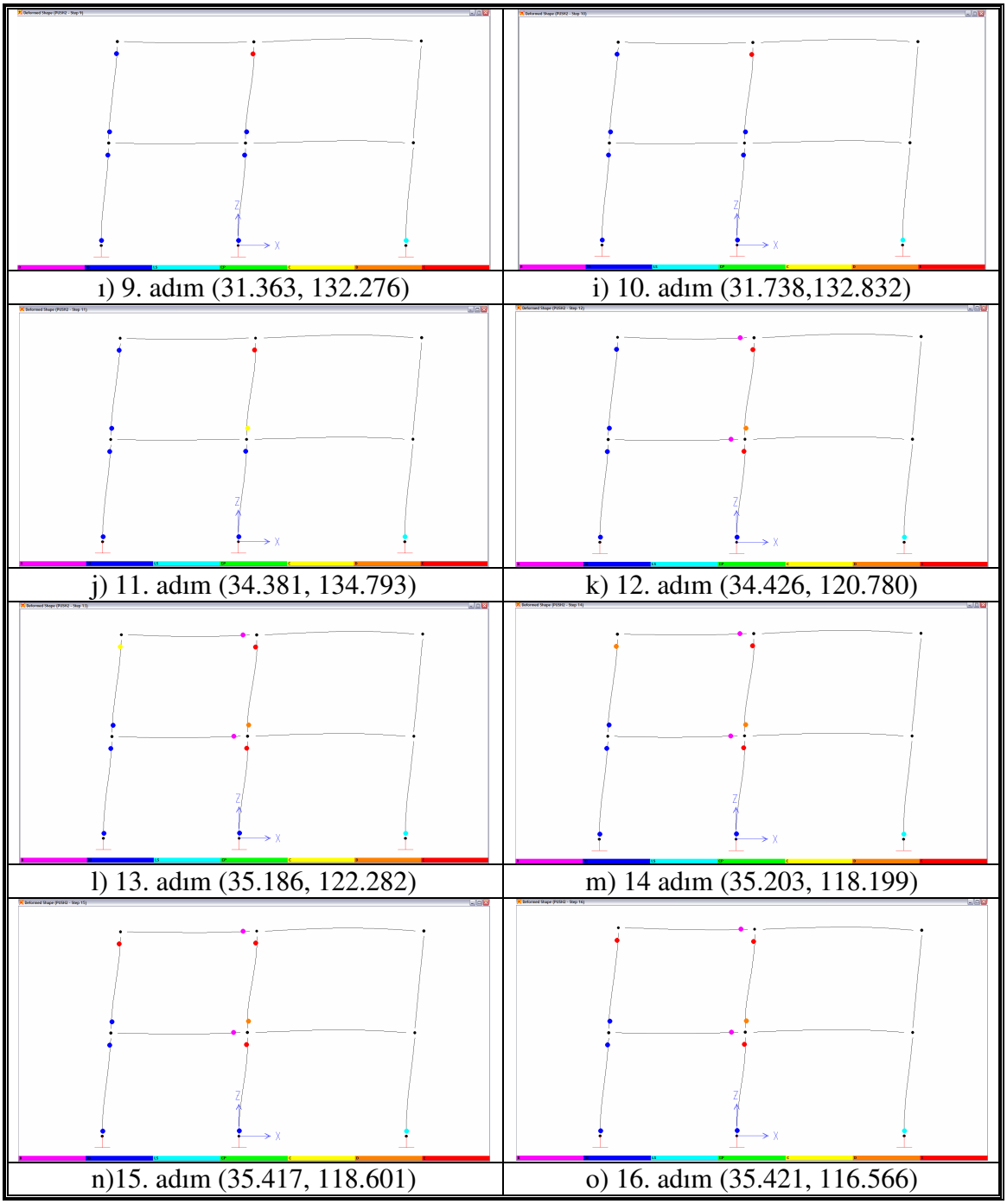
a) 1. adım (5.705, 94.887) b) 2. adım (5.934, 98.298)

c) 3. adım (12.197,115.838) d) 4. adım (24.538,134.488)

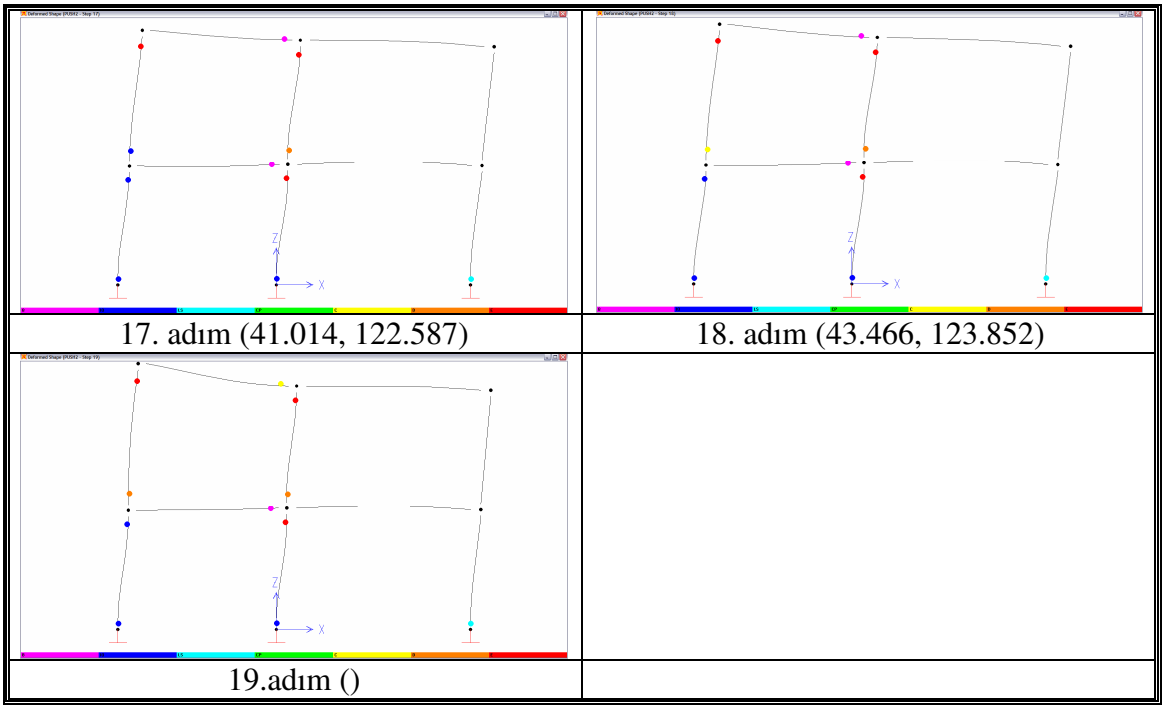
e) 5. adım (28.256, 140.031) f) 6. adım (28.266, 129.891)

g) 7. adım (29.401, 132.248) h) 8. adım (31.36, 134.444)

Şekil 7.13. 3. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri



Şekil 7.13. 3. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

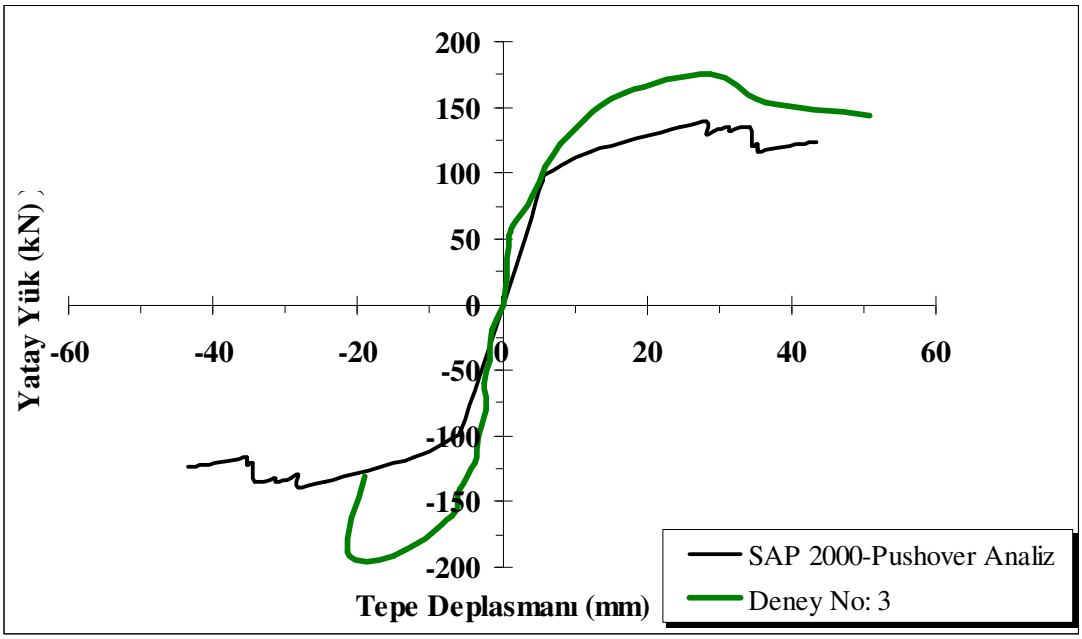


Şekil 7.13. 3. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

Çizelge 7.6. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları

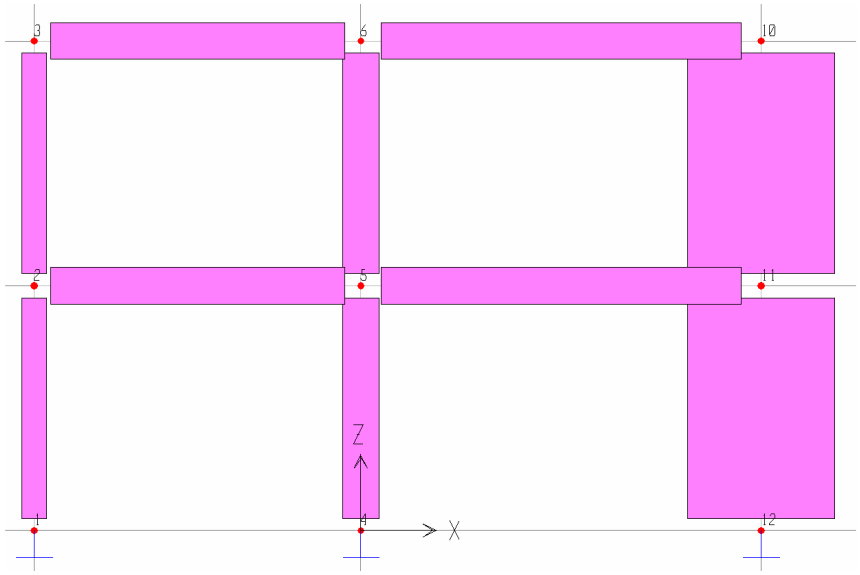
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	16	0	0	0	0	0	0	0
1	15	1	0	0	0	0	0	0
2	14	2	0	0	0	0	0	0
3	8	7	1	0	0	0	0	0
4	7	1	8	0	0	0	0	0
5	7	0	7	1	0	1	0	0
6	7	0	7	1	0	0	1	0
7	7	0	7	1	0	0	1	0
8	7	0	7	1	0	0	0	1
9	7	0	7	1	0	0	0	1
10	7	0	7	1	0	0	0	1
11	7	0	6	1	0	1	0	1
12	5	2	5	1	0	0	1	2
13	5	2	4	1	0	1	1	2
14	5	2	4	1	0	0	2	2
15	5	2	4	1	0	0	1	3
16	5	2	4	1	0	0	1	3
17	5	2	4	1	0	0	1	3
18	5	2	3	1	0	1	1	3
19	5	1	3	1	0	1	2	3

Şekil 7.14'de 3. deney numunesinin deney sonunda elde edilen üst kat kirişi yatay yük-deplasman eğrisi ile SAP2000 bilgisayar programı pushover analiz vasıtasıyla elde edilen yük-deplasman grafiği birlikte verilmiştir.

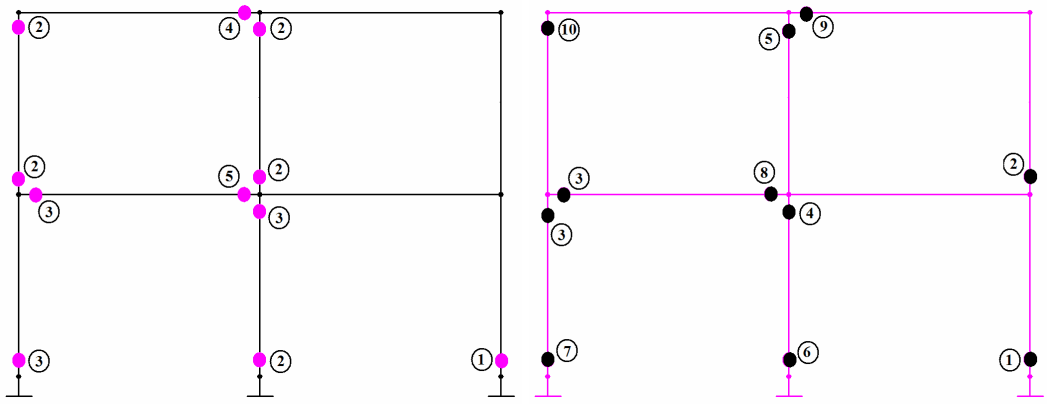


Şekil 7.14. 3. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması

4 nolu 4- BK-KK PERDELİ deney numunesinin modeli Şekil 7.15'de verilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsal oluşum sırası ve yerleri aşağıda Şekil 7.16'de gösterilmiştir. Şekil 7.17'de plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları, Çizelge 7.7'de her adım için mafsal yerleri verilmiştir. Bu çizelgede, Şekil 7.1'de verilen performans noktaları kullanılmış ve plastik mafsallarda oluşan hasar türleri kategorilere ayrılmıştır.

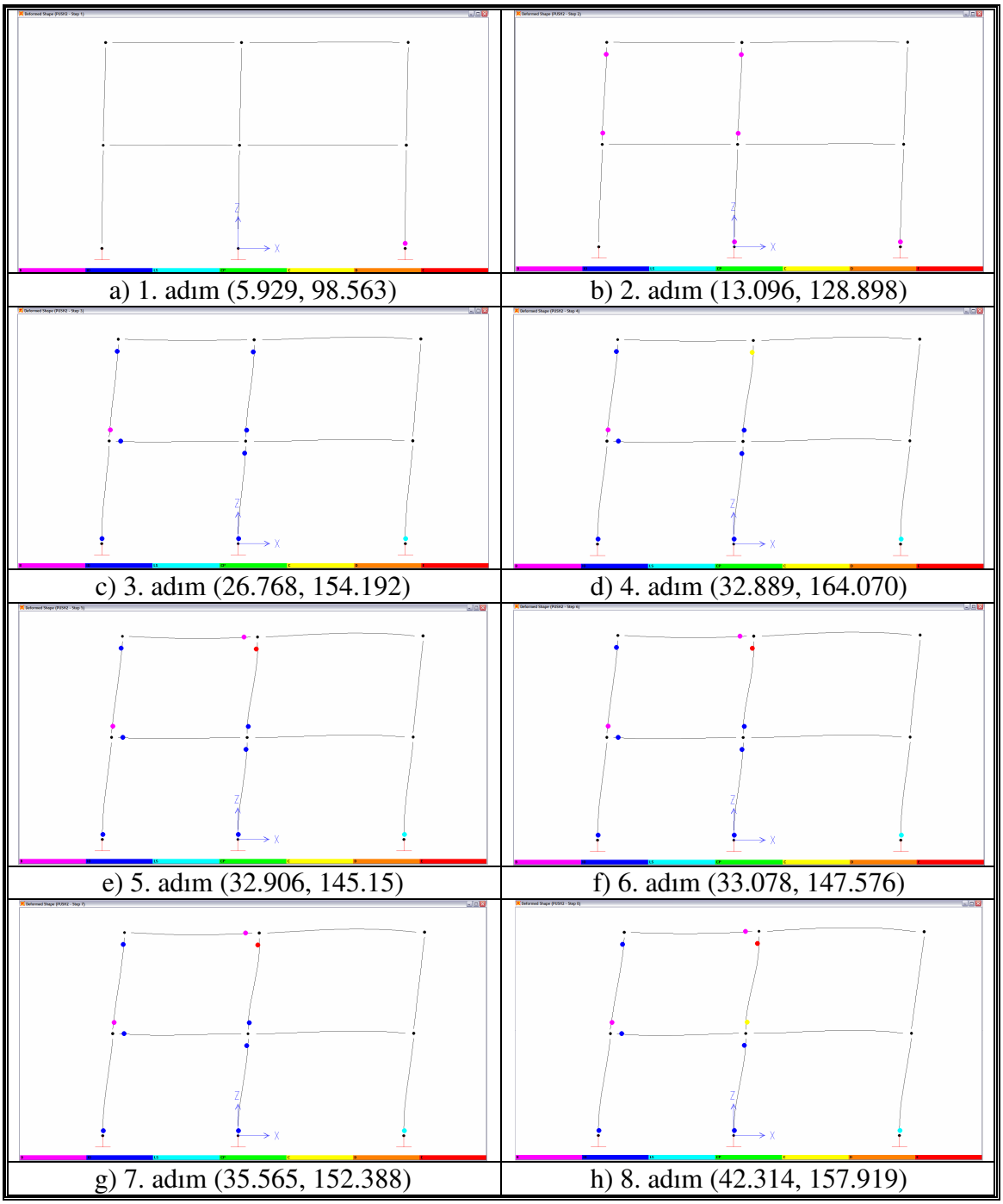


Şekil 7.15. 4 no'lu deney numunesinin SAP2000'de modeli

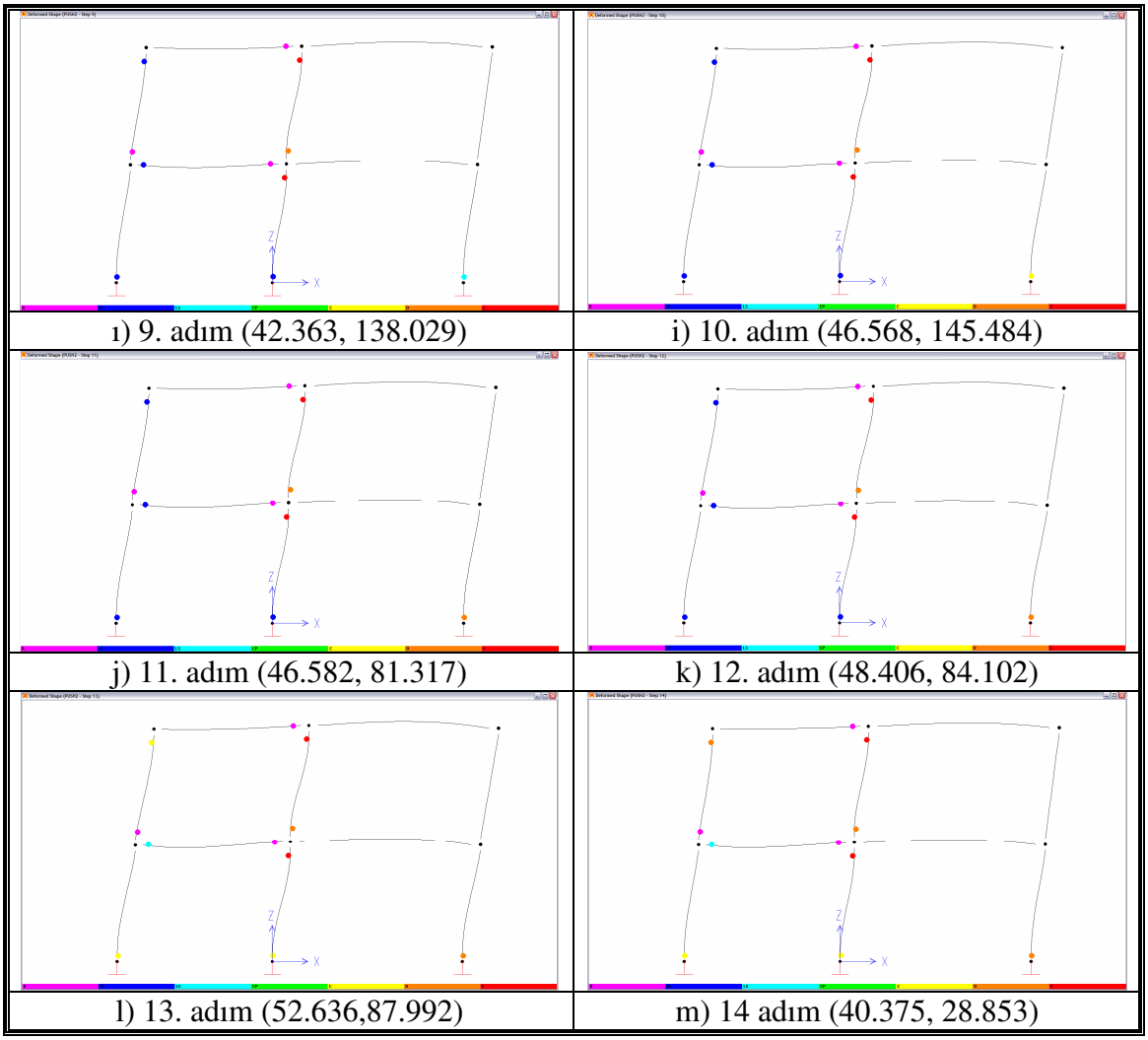


a) Pushover analizle belirlenen b) Deney sonucu

Şekil 7.16. 4 nolu deney numunesinin plastik mafsal oluşum sırası



Şekil 7.17. 4. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

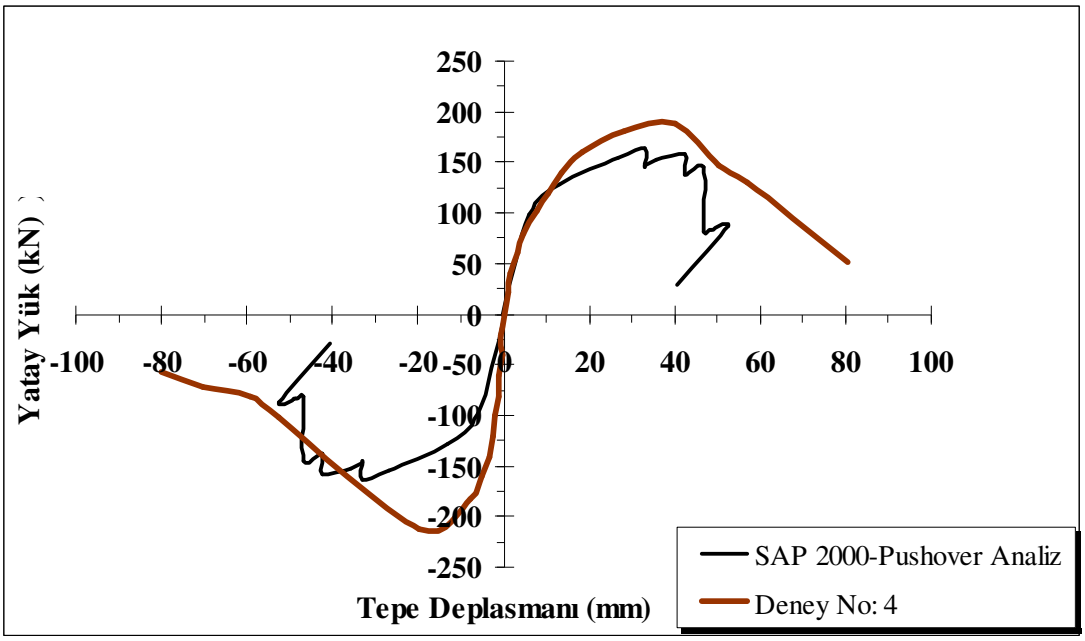


Şekil 7.17. 4. Deney numunesinin statik ime analizinde her adımda oluşan mafsallaşmalar ve deplasman (mm), tepe yükü (kN) değerleri

Çizelge 7.7. Plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları

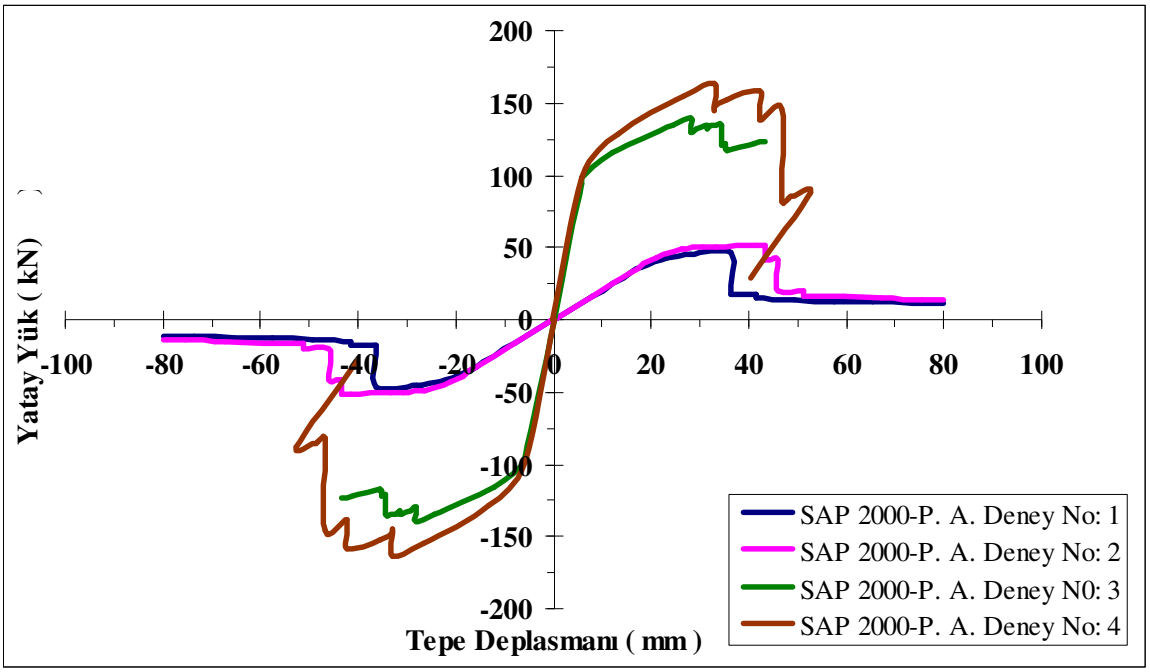
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	16	0	0	0	0	0	0	0
1	15	1	0	0	0	0	0	0
2	10	6	0	0	0	0	0	0
3	7	1	7	1	0	0	0	0
4	7	1	6	1	0	1	0	0
5	6	2	6	1	0	0	0	1
6	6	2	6	1	0	0	0	1
7	6	2	6	1	0	0	0	1
8	6	2	5	1	0	1	0	1
9	5	3	4	1	0	0	1	2
10	5	3	4	0	0	1	1	2
11	5	3	4	0	0	0	2	2
12	5	3	4	0	0	0	2	2
13	5	3	0	1	0	3	2	2
14	5	3	0	1	0	2	3	2

Şekil 7.18'de 4. deney numunesinin deney sonunda elde edilen üst kat kirişi yatay yük-deplasman eğrisi ile SAP2000 bilgisayar programı pushover analiz vasıtasıyla elde edilen yük-deplasman grafiği birlikte verilmiştir.



Şekil 7.18. 4. deney numunesi için elde edilen yük-deplasman eğrisinin SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yük-deplasman grafiği ile karşılaştırması

SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük- tepe deplasmanı eğrileri, dört deney için de Şekil 7.19'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 7.19. Bütün deney elemanlarına ait SAP2000 statik itme analizi yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri

7.4. Dayanım

Çalışmanın bu kısmında, araştırmacılar tarafından geliştirilen denklemlerin deneysel bulgular ile ne düzeyde uyumlu olduğu incelenmiştir. Araştırmacılar betonarme perde duvarlı çerçevelerin dayanım ve tasarımı için analitik yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Dayanım hesaplarında mekaniğin temel ilkeleri ve yönetmeliklerde verilen eşitlikler kullanılmıştır.

7.4.1. İlk eğilme çatlağı yükü

Denklem 7.1'de verilen eşitlik, eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki kirişler için gerilme değerlerinin hesaplanmasında kullanılan en genel denklemdir.

İlk eğilme çatlağı yükü aşağıda denklem 7.1 ve denklem 7.2'de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{cr} = (f_{ctf} - \frac{N}{A}) \times \frac{I}{y} \quad (7.1)$$

$$V_{cfr} = \frac{M_{cr}}{H} \quad (7.2)$$

Denklemlerde,

f_{ctf} : Betonun eğilmede çekme dayanımı $0.7\sqrt{f_c}$, MPa

I : Kesit atalet momenti, mm^4

y : Kesit tarafsız ekseninin dış beton lifine olan uzaklığı, mm

H : Deney numunesi yüksekliği (Yatay yük ve temel üst kotu arası), mm

N : Kesite uygulanan eksenel kuvvet, N

A : Kesit Alanı, mm^2

V_{fcr} : İlk eğilme çatlağı yükü, N

Hesaplamalar yapılırken; f_c = 13.2 MPa, I = 3.17 10^{10} mm^4, y = 1415 mm, H = 2000 mm, N = 175000 N ve A = 29750 mm^2 olarak alınmıştır.

Bu çalışma için 7.1 eşitliği; N/A değeri $0.7\sqrt{f_c}$ değerinden küçük olan durumlar için geçerli olmaktadır. Burada N/A değeri $0.7\sqrt{13.2}$ değerinden büyük olduğundan (eksenel yük seviyesi yüksek), işlem sonucu (-) çıkmakta ve bu yüzden bu çalışmadaki değerler için sağlıklı sonuç vermemektedir. Bu nedenle, bu çalışmadaki deneyler için bu yönde herhangi bir hesaplama yapılmamıştır. Ancak bu denklem, eksenel yük seviyesi düşük olan çerçevelerde deneysel sonuçlara oldukça yakın değerler vermektedir.

7.4.2. Dış perde duvarda oluşan ilk eğilme çatlağı yükü

Denklem 7.1'de verilen eşitlik, dış perde duvarda oluşan ilk eğilme çatlağı yükünün hesaplanmasında da kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda, 3. deney için perde betonu basınç dayanımı f_c = 32.58 MPa, 4. deney için perde betonu basınç dayanımı,

f_c = 29.10 MPa, I = 8.84 10^{10} mm^4, y = 2448.16 mm ve H = 2000 mm olarak alınmıştır. Burada yapılan hesaplamalarda; öncelikle perde duvar ile perdenin ilave edildiği kolonun birlikte çalıştığı düşünülmüş ve toplam perde duvar genişliği, perde duvarın eklendiği kolon genişliği de ilave edilerek l_w = 700 mm alınmıştır. Bu durumda kesit üzerindeki normal kuvvet N = 50000 N ve kesit alanı A = 59500 mm^2 olarak alınmıştır. İkinci hesaplama türünde ise, perde duvar ile perdenin ilave edildiği kolonun ayrı ayrı çalıştıkları düşünülerek perde duvar genişliği l_w = 600 mm alınmıştır. Bu durumda ayrıca perde duvara eksenel yük verilmediği düşünülerek N = 0 ve kesit alanı A = 51000 mm^2 için aynı hesaplar yapılmıştır. Bu değerler ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.8'de verilmiştir. Bu deneylerde, kolonlardaki eksenel yük seviyesi yüksek olduğu için; sonuçlar kolon genişliğinin dikkate alınmadığı durumlarda gerçek değerden çok farklı olmaktadır.

Çizelge 7.8. Dış perde duvarda ilk eğilme çatlağı yükü (kN)

Deney Numunesi No	İlk Eğilme Çatlağı Yükü (kN)		$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{Deneysel}}$
	Hesaplanan	Deneysel	
1	--------	--------	--------
2	--------	--------	--------
3	56.955	80	0.41
4	53.002	60	0.48
3*	72.137	80	0.90
4*	68.175	60	1.13

* N = Dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum.

7.4.3. Dış perde duvarda ilk eğik asal çekme çatlağı yükü

Bu bölümde, betonarme dış perde duvarda oluşan ilk eğik asal çekme çatlağının meydana geldiği yük değeri, deney numuneleri için hesaplanacaktır. Betonarme perdelerin kesme dayanımıyla ilgili eşitlikler, sadece monolitik betonarme perdeleri kapsamaktadır. Deneysel çalışmada 600 mm olarak seçilen perde uzunluğunun yanında, perdenin eklendiği kenar kolonun perde uzun kenarı doğrultusundaki genişliği 100 mm'dir.

Buradaki en önemli husus, perde duvarın eklendiği kolonun perde ile birlikte çalışıp çalışmayacağının belirlenmesidir. Burada yapılan hesaplamalarda; ilk olarak perde duvar ile perdenin ilave edildiği kolonun birlikte çalıştığı düşünülmüş ve toplam perde duvar genişliği, kolon genişliği de ilave edilerek l_w = 700 mm alınmıştır. İkinci durumda ise, perde duvar genişliğine kolon genişliği eklenmeden sadece perde duvar genişliği olan l_w = 600 mm alınarak hesaplar yapılmıştır.

Perde duvardaki ilk kesme çatlağı yükü denklem 7.3'e göre hesaplanacaktır.

$$V_{sh} = 0.7 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \tag{7.3}$$

Burada,

V_{sh} : İlk kesme çatlağı yükü, N

b_w : Perde duvar kalınlığı, mm

l_w : Perde duvar genişliği, mm

d : 0.8 x l_w, mm

f_c : Beton basınç dayanımı, MPa

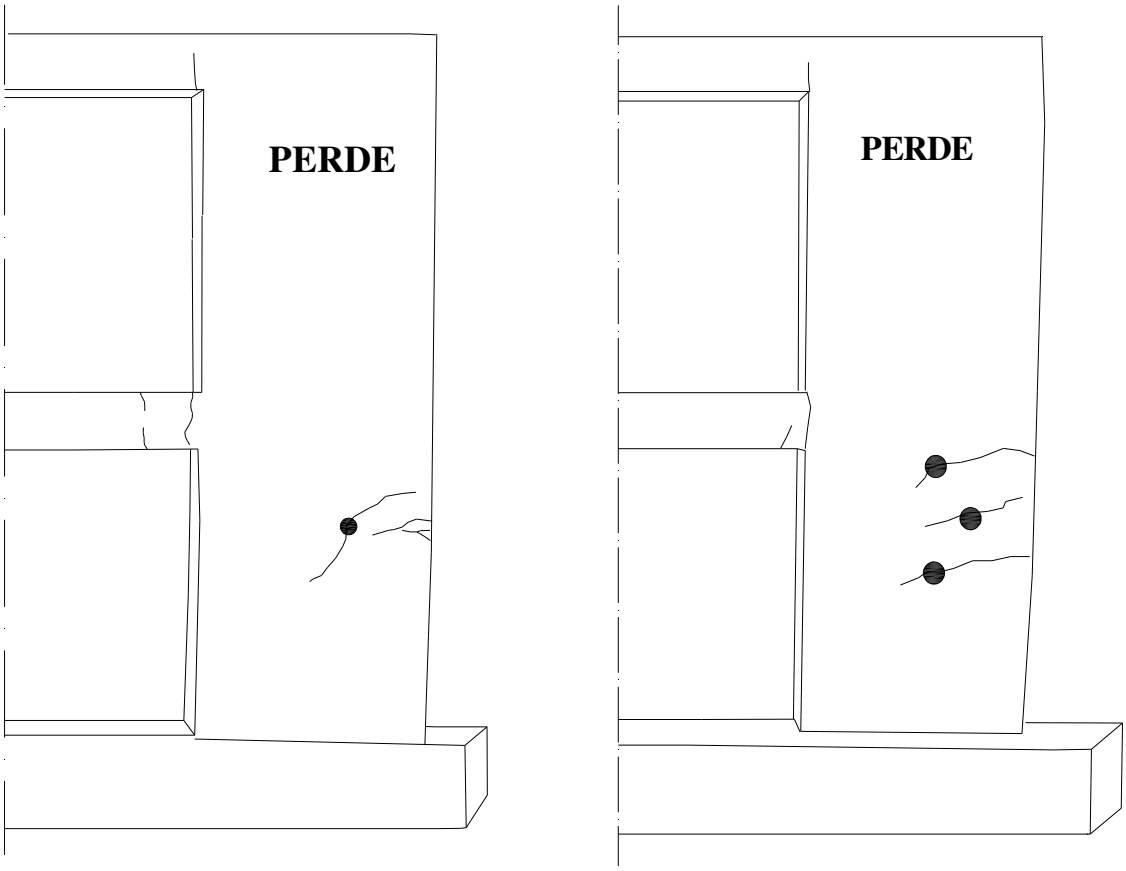
İlk durumda, beton basınç dayanımı için perde ve kolon beton basınç dayanımları boyutları oranında dikkate alınarak ortalama beton basınç dayanımı hesaplanmıştır (Denklem 7.4).

$$f_{c(ort)} = f_{c(perde)} \times \frac{\ell_w}{(\ell_w + h)} + f_{c(çerçeve)} \times \frac{h}{(\ell_w + h)} \tag{7.4}$$

Denklem 7.4'den elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 3. deney için f_c = 29.812 MPa, 4. deney için f_c = 26.829 MPa olarak hesaplanmış ve b_w = 85 mm alınmıştır.

İkinci durumda ise, 3. deney için perde betonu basınç dayanımı f_c = 32.58 MPa, 4. deney için perde betonu basınç dayanımı, f_c = 29.10 MPa, b_w = 85 mm, l_w = 600 mm alınmıştır. Bu yöntemle hesaplanan kesme çatlağı yükü 3. ve 4. deney numunesi için uygulanmış ve elde edilen sonuçlar deneyler sırasında ölçülen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Çizelge 7.9).

Perde duvarlarda oluşabilecek keseme kırılması, eğik asal çekme çatlağı olarak belirir. 3 ve 4 nolu deneyler için Şekil 7.20'de deneyler sırasında gözlenen dış perde duvarda oluşan eğik asal çekme çatlakları, çatlağın başladığı yerler işaretlenerek şematik olarak verilmiştir. Eğilmeden meydana gelen çatlaklar, asal çekme gerilmelerine dik yönde ve perde düşey eksenine dik yönde oluşmuştur. Oluşan eğilme çatlakları belirli bir yük değerinden sonra yön değiştirerek perde düşey eksenine paralel ilerlemeye başlarlar. Bu andan itibaren perde de ilk eğik asal çekme çatlağının oluştuğu kabulü yapılabilir. Dış perde duvarda oluşan ilk eğik asal çekme çatlağı yükü Bölüm 5'de de detaylı olarak bahsedildiği gibi, 3. deney için 160 kN, 4. deney için ise 140 kN olarak tespit edilmiştir.



a) 3. deney numunesi b) 4. deney numunesi

Şekil 7.20. Deney numunelerine ait şematik ilk eğik asal kesme çatlağı

Çizelge 7.9. Perdelerde ilk eğik asal çekme çatlağı yükü (kN)

Deney Numunesi No	Kesme Çatlağı Yükü (kN)		Hesaplanan / Deneysel
	Hesaplanan	Deneysel	
1	--------	--------	--------
2	--------	--------	--------
3	181.928	160	1.137
4	172.587	140	1.233
3*	163.017	160	1.019
4*	154.065	140	1.100

* Dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum.

Çizelge 7.9'un incelenmesinden, mevcut kolon genişliğinin perde duvara ilave edilmediği durumun deneysel sonuçlarla daha uyumlu olduğu gözlenmektedir.

7.4.4. Perde duvarlarda maksimum kesme gerilmesi

Betonarme dış perde duvarda oluşan maksimum kesme gerilmesi, Denklem 7.5'e göre hesaplanmıştır. Betonarme perde duvarın kayma gerilmesinin hesaplanması güçlendirilmiş elemanın yatay yük taşıma kapasitesinden güçlendirilmemiş elemanın yatay yük taşıma kapasitesinin çıkarılması ile hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{V_u}{b_w \times d} \qquad (7.5)$$

Eşitlikte,

τ : Perde duvarın kesme gerilmesi, MPa

b_w : Perde duvar kalınlığı, mm

d : $0.8 \times l_w$

V_u : Maksimum kesme kuvveti, N

Denklem 7.5 kullanılarak deney elemanına uygulanan kesme kuvvetinden dolayı temel kirişi üzerinde oluşan kesme gerilmesi hakkında fikir edinilebilir. Dolgu duvarın kesme kuvveti taşıma kapasitesinin hesaplanmasında maksimum kesme gerilmesi aşağıda verilen Denklem 7.6 ile sınırlandırılmıştır.

$$\tau < 0.83\sqrt{f_c} \tag{7.6}$$

Yapılan hesaplamalarda, 3. deney için perde betonu basınç dayanımı f_c = 32.58 MPa, V_u = (175.88 – 44.15) kN, 4. deney için perde betonu basınç dayanımı, f_c = 29.10 MPa, V_u = (188.21 - 50.57) kN ve her iki deney için b_w = 85 mm, l_w = 600 mm alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Perde duvarı tabanında oluşan maksimum kesme gerilmesi

Deney Numunesi No	f_c (MPa)	τ (Deneysel) (MPa)	$\tau(0.83\times\sqrt{f_c})$ Hesaplanan (MPa)	$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{Deneysel}}$	Kontrol $\tau_{deneysel} < \tau_{\max} = (0.83\times\sqrt{f_c})$
1	------	------	------	------	------
2	------	------	------	------	------
3	32.58	3.228	4.738	1.468	$\tau_{deneysel} < 0.83\times\sqrt{f_c}$
4	29.10	3.373	4.477	1.327	$\tau_{deneysel} < 0.83\times\sqrt{f_c}$

Maksimum kesme gerilmesi 4 nolu deney numunesi için hesaplanmıştır. Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi, deney elemanlarında dolgu duvar için hesaplanmış kesme gerilmesi değerleri, yönetmelikte verilen kesme gerilmesi değerlerinden oldukça küçüktür. Dış perde duvara kolon ilavesi ile yapılacak olan çözümün daha küçük ve daha güvenli çıkacağı ise aşikârdır.

7.5. Yatay Yük Taşıma Kapasitesi

Literatürde dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilen çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerine ilişkin önerilen ampirik denklemler yer almamaktadır. Dolayısıyla bu bölümde, araştırmacıların dolgu duvarlı çerçevelere yönelik önerdikleri yaklaşımlar ve önerilen denklemler kullanılmıştır. Aşağıda araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler kısaca tanımlandıktan sonra, deneysel çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

7.5.1. Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı

Araştırmacılar, tam dolu betonarme perde duvarlı deney elemanlarının eğilme kapasitelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmış ve bazı ampirik denklemeler geliştirmişlerdir. Literatürde özellikle dış perde duvar uygulaması çok yeni bir kavram olduğu için, bu tür bir araştırma ve bu doğrultuda geliştirilen bir denkleme rastlanılmamıştır. Perdenin yerinden bağımsız olarak, perde-çerçeve sistemlerde perde duvarlarının toplam yükün %75'inden daha fazla bir yük taşıdığı bilindiği için, önerilen denklemlerin perdenin konumundan bağımsız olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

Araştırmacılar tarafından geliştirilen denklem, şu şekildedir.

$$M_{max} = (A_{st} \times f_{sy} + \frac{N}{2}) \times d_e \qquad (7.7)$$

Denklemde,

A_{st} : Çerçevenin tek kolonu boyuna donatısının alanı, mm^2

f_{sy} : Kolon boyuna donatısı akma dayanımı, MPa

d_e : Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki açıklık, mm

N : Bir kolona gelen eksenel kuvvet, N

M_{max} : Eğilme kapasitesi

Bu denklemde deney numunesinin beton dayanımı ve perde duvarın donatısı gibi taşıma gücünü etkileyen önemli parametreler yoktur. Dolayısıyla bu denklemin sadece güçlendirilmemiş çerçeveler için uygulanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir. Hesaplamalarda, 1. deney için $A_{st} = 4\phi6$ (112 mm^2), f_{sy} = 450 MPa, d_e = 1365 mm, N = 50000 N; 2. deney için $A_{st} = 4\phi8$ (200 mm^2), f_{sy} = 375 MPa, d_e = 1365 mm, N = 50000 N olarak alınmıştır. Çizelge 7.11'de bulunan sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7.11. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı)

Deney Numunesi No	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{Deneysel}}$
	Hesaplanan	Deneysel	
1	51.461	44.15	1.16
2	68.250	50.57	1.35
3	------	------	------
4	------	------	------

Yine aynı araştırmacılar tarafından perde duvarlı deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar yapılmış ve ampirik bir denklem önerilmiştir.

$$\tau_s = \rho_h \times f_{sy} \tag{7.8}$$

$$\tau_u = \tau_s + \tau_c \tag{7.9}$$

$$V_u = \tau_u \times b_w \times d \tag{7.10}$$

Denklemlerde,

τ_c : Perde duvar betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa

τ_b : Perde duvar donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa

τ_u : Perde duvar tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi, MPa

ρ_h : Perde duvar yatay donatı oranı

A_{sh} : Perde duvar yatay donatı alanı, mm^2

b_w : Perde duvar kalınlığı, mm

l_w : Perde duvar genişliği, mm

d : 0.8 x l_w

f_{sy} : Perde duvar donatısı akma dayanımı, MPa

V_u : Maksimum kesme kuvveti, kN

Önerilen bu denklemlerde, deney numuneleri tarafından taşınan kesme kuvvetinin, perde betonu ve perdenin yatay donatıları tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır. Perde de oluşan ilk kesme çatlağı yük değeri, betonun taşıyabileceği kesme kuvveti olarak hesaplanmıştır. Önerilen denklemlerde kolonların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ihmal edilmiştir. Bununla birlikte, çerçeve ve betonarme dolgu duvarı arasındaki filiz donatısı bağlantısının etkisi ve betonun tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki davranış farklılığı ihmal edilmiştir.

Burada yapılan hesaplamalarda; ilk olarak perde duvar ile perdenin ilave edildiği kolonun birlikte çalıştığı düşünülmüş ve toplam perde duvar genişliği, kolon genişliği de ilave edilerek l_w = 700 mm alınmıştır. İkinci durumda ise, perde duvar genişliğine kolon genişliği eklenmeden sadece perde duvar genişliği olan l_w = 600 mm alınarak hesaplar yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalarda ilk durumda, beton basınç dayanımı için perde ve kolon beton basınç dayanımları boyutları oranında dikkate alınmıştır(Denklem 7.11).

$$f_{c(ort)} = f_{c(perde)} \times \frac{\ell_w}{(\ell_w + h)} + f_{c(çerçeve)} \times \frac{h}{(\ell_w + h)} \qquad (7.11)$$

Denklem 7.4'den elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 3. deney için f_c = 29.812 MPa, 4. deney için f_c = 26.829 MPa'dır. Ayrıca bu kısımdaki

hesaplamalarda $\rho_h = 0.002$, A_{sh}= 10 adet ϕ4 (125.6 mm^2), b_w = 85 mm, f_{sy} = 335 MPa alınmıştır.

İkinci kısımda ise, $\rho_h = 0.002$, A_{sh}= 8 adet ϕ4 (100.5 mm^2), b_w = 85 mm, l_w = 600 mm, f_{sy} = 335 MPa alınmıştır.

Yukarıda verilen denklemler ile hesaplanan değerler Çizelge 7.12'de sunulmuştur. Burada yapılan hesaplamalarda elde edilen değerler deneysel sonuçlarla birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur. Ancak, dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum deneysel sonuçlarla çok daha uyumludur.

Çizelge 7.12. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı)

Deney Numunesi No	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		Hesaplanan / Deneysel
	Hesaplanan	Deneysel	
1	------	------	------
2	------	------	------
3	201.606	175.88	1.14
4	212.323	188.21	1.12
3*	184.755	175.88	1.05
4*	195.709	188.21	1.04

* Dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum.

7.5.2. Barda'nın Yaklaşımı

Araştırmacı, betonarme perdelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında denklem 7.12'i önermiştir.

$$V_u = \left(0.705 \times \sqrt{f_c} + 0.067 \times \rho_v \times f_{sy}\right) \times b_w \times d \qquad (7.12)$$

Denklemde;

f_c : Beton basınç dayanımı, MPa

ρ_v : Perde duvar düşey donatı oranı

b_w : Perde duvar kalınlığı, mm

l_w : Perde duvar genişliği, mm

d : Perde duvar etkili uzunluğu , 0.8 x l_w

V_u : Perde için hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

f_{sy} : Perde duvar donatısı akma dayanımı, MPa

Bu kısımda yapılan hesaplamalarda ilk olarak perde duvarın ilave edildiği kolon genişliği de perde duvar genişliğine eklenerek toplam perde duvar genişliği l_w = 700 mm alınarak hesaplar yapılmıştır. Beton basınç dayanımı için perde ve kolon beton basınç dayanımları boyutları oranında dikkate alınmıştır(Denklem 7.13).

$$f_{c(ort)} = f_{c(perde)} \times \frac{\ell_w}{(\ell_w + h)} + f_{c(çerçeve)} \times \frac{h}{(\ell_w + h)} \tag{7.13}$$

Denklem 7.13'den çerçeve beton basınç dayanımı f_c = 13.2 MPa alınarak elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 3. deney için f_c = 29.812 MPa, 4. deney için f_c = 26.829 MPa ve ρ_v = 0.014, b_w = 85 mm, f_{sy} = 455 MPa değerleri için sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci kısımda ise, perde duvar genişliği l_w = 600 mm alınarak 3. deney için perde duvar beton basınç dayanımı f_c = 32.58 MPa, 4. deney için f_c = 29.10 MPa alınmış ve ρ_v = 0.014, b_w = 85 mm, f_{sy} = 460 MPa değerleri için yatay yük kapasiteleri elde edilmiştir.

Yukarıda verilen denklemler ile hesaplanan değerler, Çizelge 7.13'de sunulmuştur. Burada, her iki durum için de analitik sonuçlar deneysel sonuçlarla uyuşmakla birlikte; kolon genişliğinin perde genişliğine eklendiği durum, deneysel sonuçlara çok daha yakın değerler vermiştir.

Çizelge 7.13. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Barda'nın Yaklaşımı)

Deney Numunesi No	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		Hesaplanan / Deneysel
	Hesaplanan	Deneysel	
1	------	------	------
2	-----	-----	-----
3	203.356	175.88	1.16
4	193.827	188.21	1.03
3*	181.726	175.88	1.03
4*	172.710	188.21	0.92

* Dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum.

7.5.3. Benjamin ve Williams'ın Yaklaşımı

Araştırmacılar tarafından tekdüze yükleme altında test edilen deney numuneleri için önerilen ampirik eşitlik, aşağıda denklem 7.14'de sunulmuştur.

$$V_u = \frac{0.1}{\frac{P}{C} + 0.1} \times C + 2.2 \times P \tag{7.14}$$

Denklem 7.13'de, C; Basınç etkisi altındaki çerçeve kolonu dayanımı, P ise betonarme perde dayanımını ifade etmektedir. Bu katsayılar, aşağıda denklem 7.14 ve denklem 7.15'de verilmiştir.

$$C = A_{st} \times f_c \times \left(15 + 1.9 \times \left(\frac{d_e}{H} \right)^2 \right) \tag{7.15}$$

$$P = f_{sy} \times \rho_v \times b_w \times d \tag{7.16}$$

Eşitliklerde,

ρ_v : Perde duvar düşey donatı oranı

b_w : Perde duvar kalınlığı, mm

d_e : Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık, mm

H : Çerçeve yüksekliği, mm

f_c : Beton basınç dayanımı, MPa

f_{sy} : Perde duvar donatısı akma dayanımı, MPa

A_{st} : Basınç etkisindeki çerçeve kolonu boyuna donatı alanı, mm^2

Bu bölümde yapılan hesaplamalarda, betonarme dış perde duvar tarafından taşınan eksenel yük olmadığı için P = 0 alınmıştır. Bu durumda, 7.14 ifadesi $V_u = C$ şekline dönüşmüştür. Hesaplamalarda, 3. deney için A_{st} =(112+168+112) mm^2, 4. deney için A_{st} =(200+300+200) mm^2 ve f_c = 13.2 MPa, d_e = 2730 mm, H = 2000 mm alınmıştır.

Yukarıda verilen denklemler ile hesaplanan değerler, Çizelge 7.14'de sunulmuştur.

Çizelge 7.14. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (Benjamin ve Williams'ın Yaklaşımı)

Deney Numunesi No	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{Deneysel}}$
	Hesaplanan	Deneysel	
1	------	------	------
2	-----	-----	-----
3	95.934	175.88	0.545
4	171.310	188.21	0.910

Bu yaklaşımda verilen bağıntıda, kolonun dikkate alınması, sonucu değiştirmemektedir.

7.5.4. TS-500 ve TDY-98(2006) Yaklaşımı

Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri, TDY-1998 (ya da TDY-2006) ve TS-500'de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Deney numunelerinde perde duvarın hesaplanan kapasitelerine, çerçeve kolonlarının kesme kuvveti taşıma kapasiteleri de eklenmiştir. Çerçeve kolonlarının kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, TS-500'de verilen ve aşağıda Denklem 7.17 ve Denklem 7.18 ile gösterilen eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$V_c = 0.65 \times f_{ctd} \times b_c \times d_c \tag{7.17}$$

$$V_{etr} = \frac{A_{sw} \times f_{sy} \times d_c}{s} \tag{7.18}$$

$$V_{kolon} = V_{etr} + V_c \tag{7.19}$$

Eşitliklerde,

V_{etr} : Etriye donatısının taşıdığı kesme kuvveti, N

V_c : Kolon betonunun taşıdığı kesme kuvveti, N

V_{kolon} : Kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi, N

b_c : Kesit genişliği, mm

d_c : Kesitin faydalı yüksekliği, mm

s : Etriye donatısı aralığı, mm

f_{ctd} : Kolon betonu çekme dayanımı, $0.35\sqrt{f_c}$ MPa

f_{sy} : Etriye donatısı akma dayanımı, MPa

A_{sw} : Etriye donatısı alanı, mm^2

Betonarme perde duvarın kesme kuvveti taşıma kapasitesi, denkem 7.20'ye göre hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch} \times \left(0.65 \times f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{sy}\right) \tag{7.20}$$

Denklemde,

V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

f_{ctd} : Betonun çekme dayanımı, $0.35\sqrt{f_c}$ MPa

f_{sy} : Perde donatısı akma dayanımı, MPa

ρ_{sh} : Perde duvar yatay donatısı oranı

A_{ch} : Perde duvar enkesit alanı, mm^2

Bu kısımda yapılan hesaplamalarda diğer bölümlerdeki hesaplara benzer şekilde, ilk olarak perde duvarın ilave edildiği kolon genişliği de perde duvar genişliğine eklenerek toplam perde duvar genişliği l_w = 700 mm alınarak hesaplar yapılmıştır. Beton basınç dayanımı için perde ve kolon beton basınç dayanımları boyutları oranında dikkate alınmıştır(Denklem 7.21).

$$f_{c(ort)} = f_{c(perde)} \times \frac{\ell_w}{(\ell_w + h)} + f_{c(çerçeve)} \times \frac{h}{(\ell_w + h)} \qquad (7.21)$$

Denklem 7.21'den elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 3. deney için f_c = 29.812 MPa, 4. deney için f_c = 26.829 MPa ve ρ_v = 0.002, f_{sy} = 335 MPa, A_{ch} = 59500 mm^2 (85 mm x 700 mm) değerleri için sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci kısımda ise, perde duvar genişliği l_w = 600 mm alınarak 3. deney için perde duvar beton basınç dayanımı f_c = 32.58 MPa, 4. deney için f_c = 29.10 MPa alınmış ve ρ_v = 0.002, f_{sy} = 335 MPa, A_{ch} = 51000 mm^2 (85 mm x 600 mm) alınmıştır.

Deney numunelerinin TDY-98 (ya da TDY-2006) ve TS-500'e göre hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri Çizelge 7.15'de verilmiştir.

Çizelge 7.15. Yatay yük taşıma kapasitesi (kN) (TS-500 ve TDY-98 (ya da 2006))

Deney Numunesi No	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		Hesaplanan / Deneysel
	Hesaplanan	Deneysel	
1	------	------	------
2	-----	-----	-----
3	139.857	175.88	0.795
4	136.062	188.21	0.723
3*	126.480	175.88	0.719
4*	122.843	188.21	0.653

* Dış perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum.

Çizelge 7.15'den, her iki hesabın da yeterli yaklaşıklıkta olduğu görülmekle birlikte, kolon ilavesi ile yapılan hesabın deneysel sonuçlara bir miktar daha yakın olduğu gözlemlenmektedir.

7.5.5. Kat Öteleme Oranları

Kat öteleme indeksi, 2 kat arasındaki rölatif deplasmanın kat yüksekliğine bölünmesi olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, kat öteleme oranının, yapısal ve yapısal olmayan hasarı sınırlı tutabilmek için belirli bir limiti aşmasına izin verilmemektedir. Özellikle P-Δ etkilerini sınırlı tutabilmek ve 2. mertebe moment etkilerini azaltabilmek için yönetmelikler yanal ötelenme oranlarına sınır getirmişlerdir.

TDY-98'de yatay ötelenme oranları için aşağıda denklem 7.22 ve denklem 7.23'daki ifadeler verilmiştir.

$$\frac{\Delta_{i\,max}}{H_i} \le 0.0035 \qquad (7.22)$$

$$\frac{\Delta_{i\,max}}{H_i} \le \frac{0.02}{R} \tag{7.23}$$

Denklem 7.22'de belirtilen ifade TDY-2006'dan çıkarılmıştır. Yeni yönetmelikte aşağıda verilen Formül 7.24 ve Formül 7.25'e göre,

$$\delta_i = R\,\Delta_i \tag{7.24}$$

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \le 0.02 \tag{7.25}$$

deplasman kontrolleri yapılmaktadır. Çizelge 7.20'de her kat için ve toplam kat ötelenme oranları verilmiştir.

Bu denklemlerde,

R : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

h_i : Binanın i'inci katının kat yüksekliği, mm

Δ_i : Binanın i'inci katındaki azaltılmış göreli kat ötelemesi, mm

δ_{imax} : Binanın i'inci katındaki maksimum etkin göreli kat ötelemesi, mm

Çizelge 7.16. Kat öteleme oranları (akma yükü için) (TDY-98 (ya da 2006))

Deney Numunesi No	1. kat için Δ_{1max} $(\frac{\Delta_{1\,max}}{h_1})$	2. kat için Δ_{2max} $(\frac{\Delta_{2\,max}}{h_2})$	Toplam Δ_{Tmax} $(\frac{\Delta_{T\,max}}{h})$
1	3.54 (0.00354)	7.736 (0.00736)	0.0056
2	5.4 (0.00540)	6.245 (0.006245)	0.0058
3	3.33 (0.00330)	7.934(0.00793)	0.0056
4	5.53 (0.00553)	18.277(0.01827)	0.0118

Çizelge 7.17. Kat öteleme oranları (maksimum yük için) (TDY-98 (ya da 2006))

Deney Numunesi No	1. kat için Δ_{1max} $(\frac{\Delta_{1\,max}}{h_1})$	2. kat için Δ_{2max} $(\frac{\Delta_{2\,max}}{h_2})$	Toplam Δ_{Tmax} $(\frac{\Delta_{T\,max}}{h})$
1	8.938 (0.00894)	25 (0.025)	0.0169
2	11.681 (0.0117)	30.189 (0.03018)	0.0209
3	9.42 (0.00942)	28.634 (0.02863)	0.0190
4	18.815(0.0188)	40.345 (0.04034)	0.0295

Çizelge 7.18. Kat öteleme oranları (deney sonu için) (TDY-98 (ya da 2006))

Deney Numunesi No	1. kat için Δ_{1max} $(\frac{\Delta_{1\,max}}{h_1})$	2. kat için Δ_{2max} $(\frac{\Delta_{2\,max}}{h_2})$	Toplam Δ_{Tmax} $(\frac{\Delta_{T\,max}}{h})$
1	36.736 (0.0367)	89.841 (0.08984)	0.063
2	25.221 (0.0252)	63.019 (0.06302)	0.044
3	20.29 (0.02029)	50.846 (0.05085)	0.036
4	47.451 (0.0475)	80.414 (0.08041)	0.064

7.5.6. Süneklik Katsayısı

Bu bölümde, denenen çerçevelerin ötelenme süneklik katsayıları, ileri ve geri çevrimler için göçme deplasmanı / akma deplasmanı olarak belirlenmiştir. Süneklik, bir elemanda ya da sistemde, dayanımda önemli bir azalma olmaksızın deformasyon yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Literatürde malzeme, kesit, eleman ve sistem sünekliği alanında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu bölümde incelenecek olan sistem sünekliği, yapısal hesaplama için gerekli en önemli parametrelerden biri olan yapı davranış katsayısı (deprem yükü azaltma katsayısı) R'nin tesbiti için son derece önemli bir kavramdır. Türkiye'de ve dünyadaki deprem yönetmeliklerinde, R

katsayısı, yapıya gelecek olan elastik deprem yüklerinin yapının sünek davranışı kabulü ile azaltılabileceği kabulüne dayanır.

Betonarme yapılarda sistem sünekliği, deplasman sünekliği cinsinden ifade edilir. Yapının, belirli bir noktasında (genellikle son kat döşeme hizasında), limit durumdaki maksimum yanal ötelenmesinin, taşıyıcı sistem akmaya başladığı andaki yanal ötelemesine oranı, sistem sünekliği olarak tanımlanabilir (Denklem 7.26).

$$\mu_\delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \tag{7.26}$$

Burada tanımlanması gereken en önemli parametre; akma ve göçme yüküdür. Kolon donatılarında ilk akmanın meydana gelmesi ile yük-deplasman eğrisi yataylaşmaktadır. Yapılan çalışmalar, akma anındaki yük değerinin, maksimum yük değerinin yaklaşık %75'i kadar olduğunu göstermiştir. Maksimum yükten sonra ise eğrinin yönü değişmekte ve sistem bir süre sonra göçmektedir. Sistemin göçme yük değeri ise, maksimum yükün yaklaşık %85'i olarak kabul edilebilir. Burada iki yaklaşım yapılacaktır. Bunlardan ilki, akma yükünün deney anında yapılan gözlemlere göre belirlendiği 1. yaklaşım ve diğeri ise akma yükünün maksimum yükün %75'i olarak alındığı 2. yaklaşımdır.

Çizelge 7.19 ve Çizelge 7.20'de deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları 1. yaklaşıma göre bulunarak verilmiştir. Çizelge 7.21 ve Çizelge 7.22'de ise deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları 2. yaklaşıma göre bulunarak verilmiştir.

Çizelge 7.19. 1. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (ileri çevrim)

Deney No	Akma		Maksimum		Göçme		Süneklik Katsayısı
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	
1	30.09	7.736	44.15	25.094	35.06	37.50	4.847
2	36.01	10.166	50.57	30.189	40.46	45.00	4.426
3	147.5	14.130	175.88	28.634	143.32	50.846	3.598
4	138.88	13.486	188.21	40.345	150.57	50.362	3.707

Çizelge 7.20. 1. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (geri çevrim)

Deney No	Akma		Maksimum		Göçme		Süneklik Katsayısı
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	
1	30.09	4.151	46.37	19.057	37.00	30.00	7.227
2	35.27	6.792	49.83	25.245	43.91	36.83	5.422
3	120.13	3.802	190.92	15.207	152	19.34	5.086
4	172.23	7.564	211.89	19.725	170	32.21	4.258

Çizelge 7.21. 2. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (ileri çevrim)

Deney No	Akma (0.75 F_{max})		Maksimum		Göçme		Süneklik Katsayısı
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	
1	33.11	11.00	44.15	25.094	35.06	37.50	3.40
2	37.93	12.677	50.57	30.189	40.46	45.00	3.54
3	131.91	10.372	175.88	28.634	143.32	50.846	4.90
4	141.00	13.486	188.21	40.345	150.57	50.362	3.73

Çizelge 7.22. 2. yaklaşıma göre deney numunelerinin ötelenme (deplasman) süneklik katsayıları (geri çevrim)

Deney No	Akma(0.75 F_{max})		Maksimum		Göçme		Süneklik Katsayısı
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	
1	34.78	4.50	46.37	19.057	37.00	30.00	6.67
2	37.37	8.745	49.83	25.245	43.91	36.83	4.21
3	142.5	6.133	190.92	15.207	152	19.34	3.15
4	158.25	6.055	211.89	19.725	170	32.21	5.31

7.6. Kolon Tabanlarında Moment-Eğrilik İlişkisi

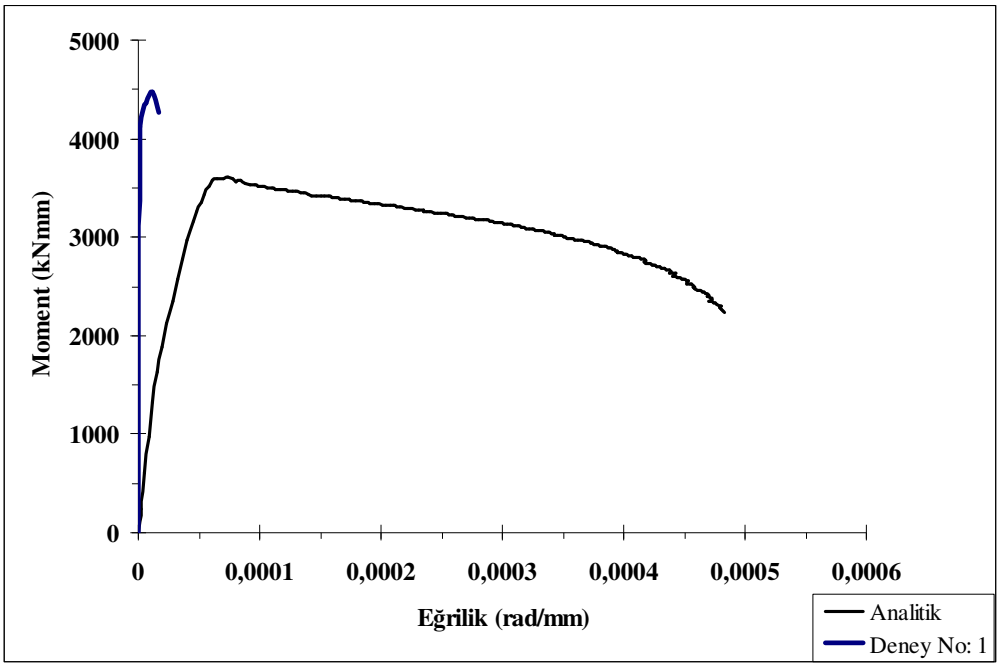
Betonarme elemanların tasarımını yapan kişiler için, betonarmenin davranışının iyi bilinmesi ve bu davranışı etkileyen parametrelerin etkisinin anlaşılması son derece önemlidir. Betonarme elemanın davranışı, moment-eğrilik ilişkisinden izlenilebilir (Kaltakcı ve ark, 2001). Betonarme elemanların kesitlerinin moment-eğrilik ilişkileri gerçekçi malzeme modellerine dayanan bilgisayar programları ile elde edilebilir. Kullanılacak analitik yöntemin gerçeği yansıtması, kullanılan malzeme modellerinin doğruluğuna bağlıdır. Geliştirilen analitik yöntemin geçerliliği deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ispatlanmalıdır.

Çalışmanın bu bölümünde, ilk olarak ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim üyelerinden Prof. Dr. Uğur ERSOY ve Prof. Dr. Güney ÖZCEBE tarafından hazırlanan, kolon ve kirişlerin moment-eğrilik ilişkisini Excel programı vasıtasıyla çözebilen bir program ile kolonlar için moment-eğrilik ilişkisi bulunmuştur. Bulunan bu ilişki, deneylerden elde edilen ve 5. Bölüm'de detaylı olarak verilen moment-eğrilik grafikleri ile karşılaştırılmıştır.

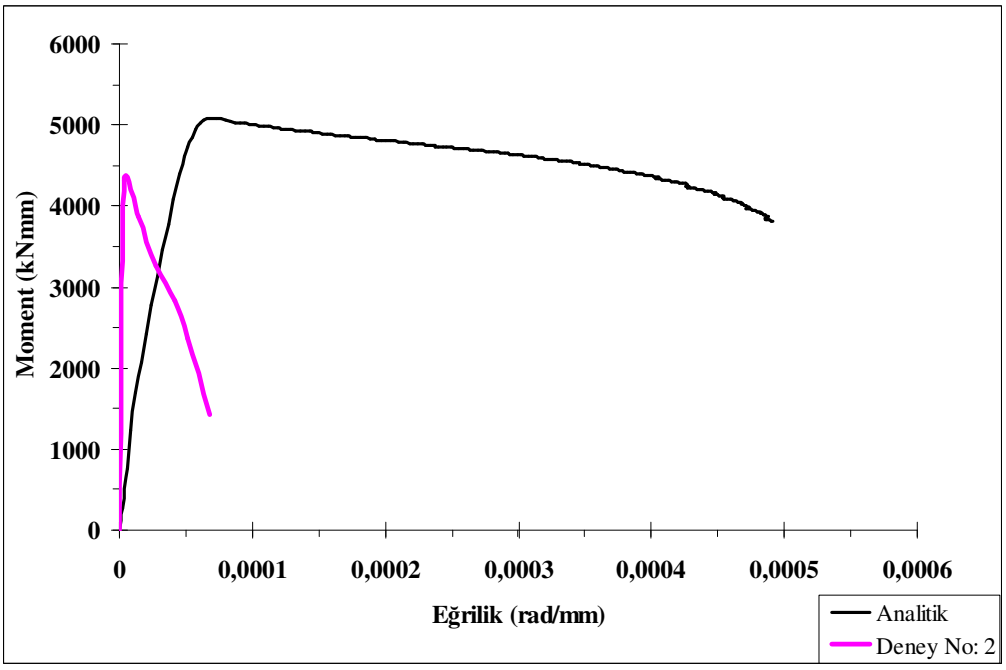
Çerçeve sisteminin 3 kolonu, S101, S102 ve S103 için moment-eğrilik ilişkisi aşağıda Bölüm 7.5.1, Bölüm 7.5.2 ve Bölüm 7.5.3'de verilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen kolonlara ait moment-eğrilik kapalı çevrimsel eğrilerinin tepe noktaları belirlenerek, kolonlara ait moment-eğrilik zarf eğrileri elde edilmiştir.

7.6.1. S101 Kolonu İçin Moment-Eğrilik İlişkisi

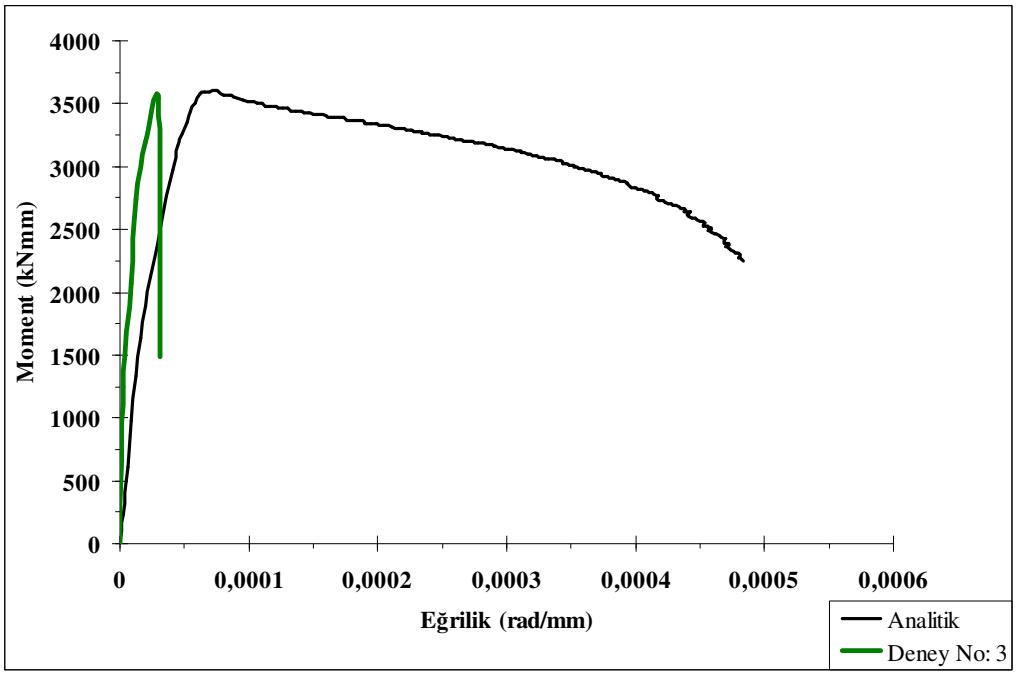
Aşağıda; Şekil 7.21-Şekil 7.24'de verilen eğriler S101 kolonu için, Şekil 7.25 – Şekil 7.28'de verilen eğriler S102 kolonu için, Şekil 7.29 ve Şekil 7.30'da verilen eğriler ise S103 kolonu içindir.



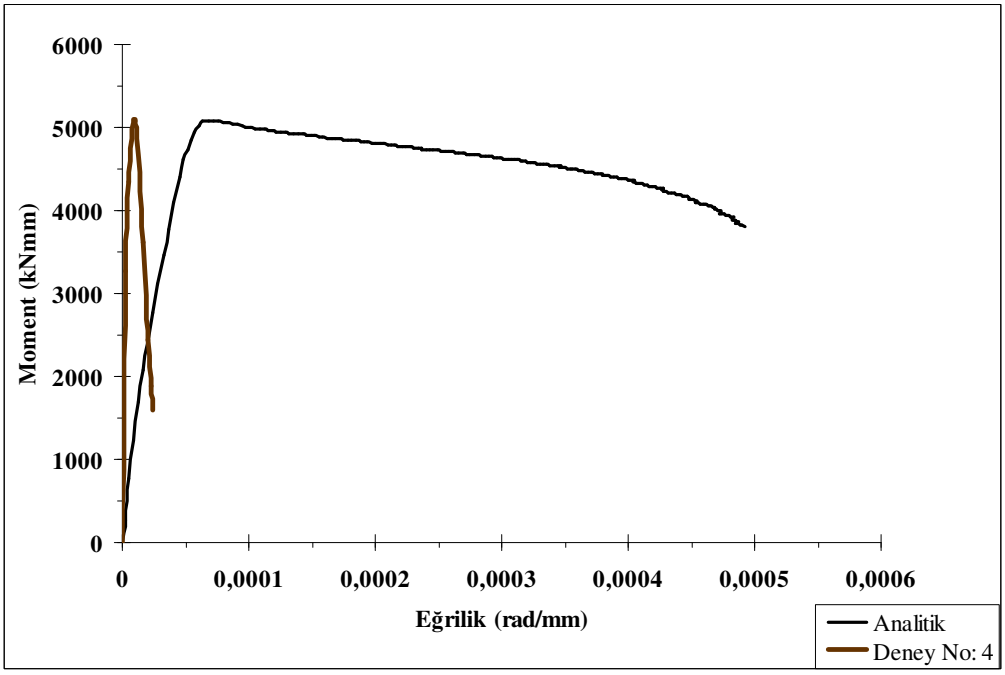
Şekil 7.21. S101 kolonu için 1. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması



Şekil 7.22. S101 kolonu için 2. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

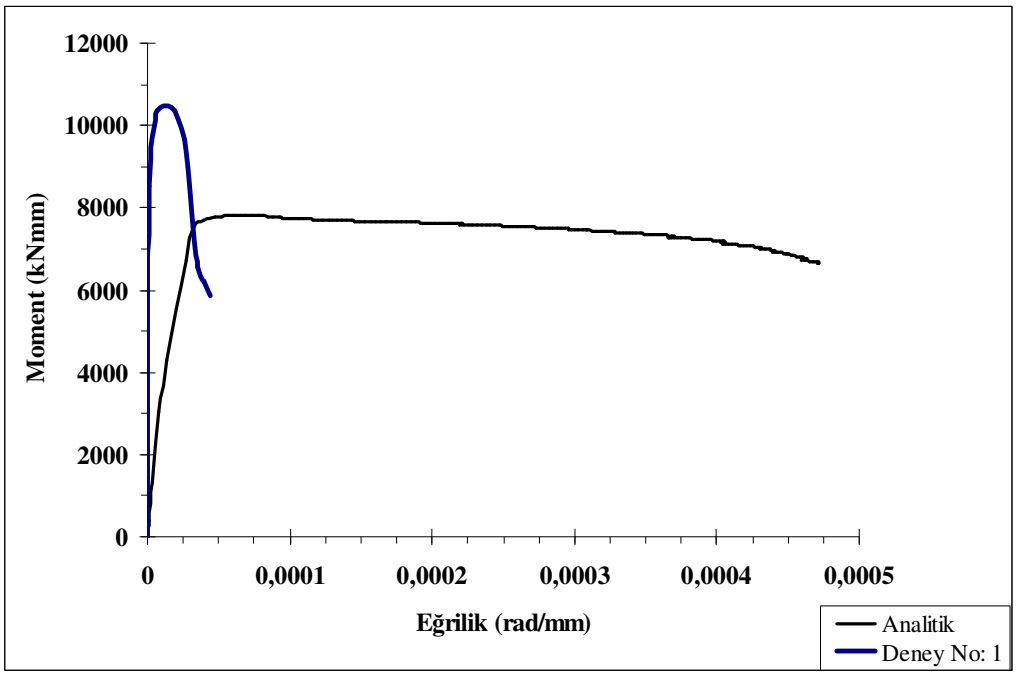


Şekil 7.23. S101 kolonu için 3. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

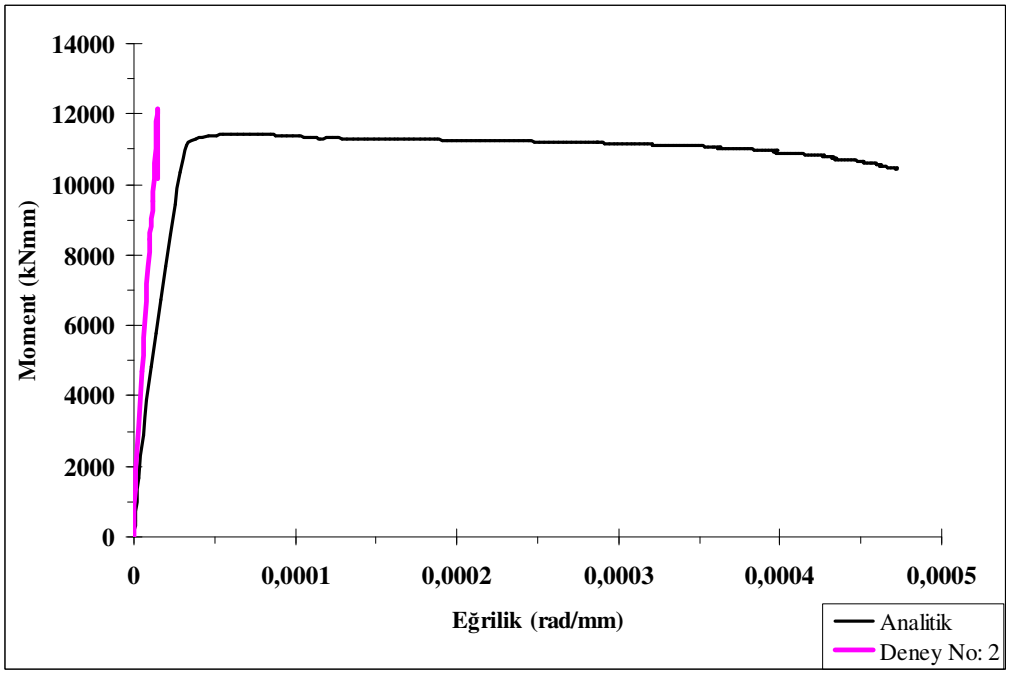


Şekil 7.24. S101 kolonu için 4. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

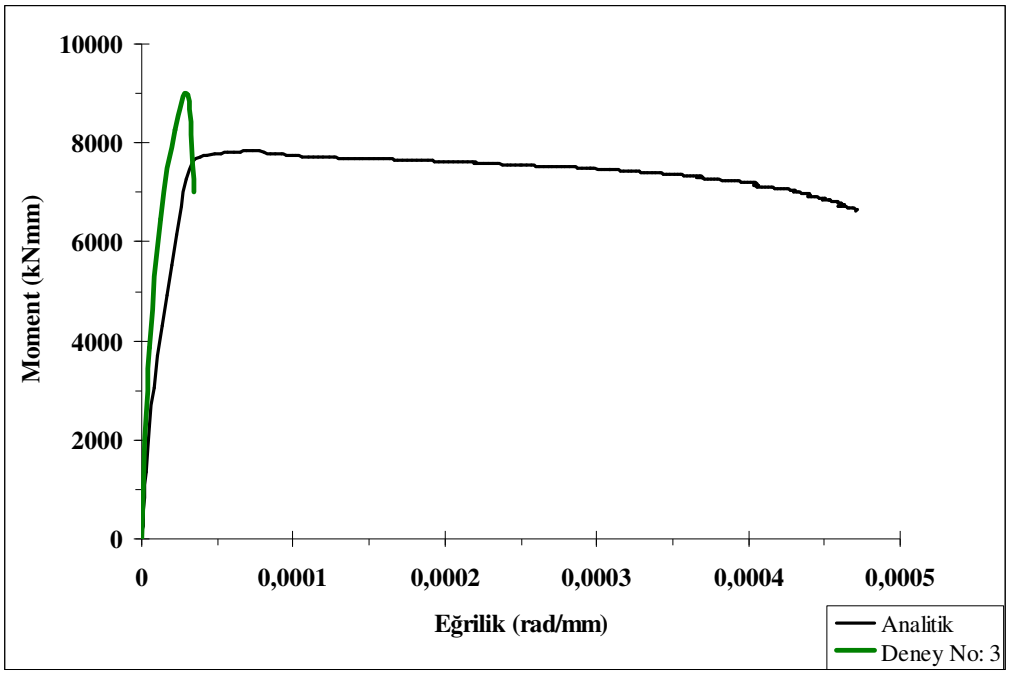
7.5.2. S102 Kolonu İçin Moment-Eğrilik İlişkisi



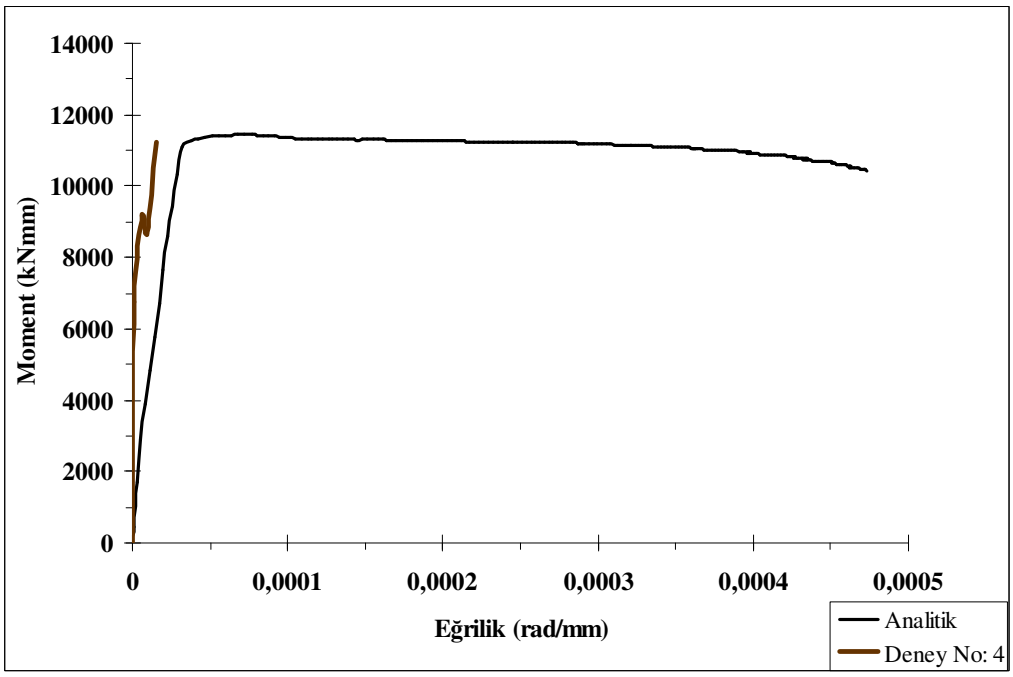
Şekil 7.25. S102 kolonu için 1. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması



Şekil 7.26. S102 kolonu için 2. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

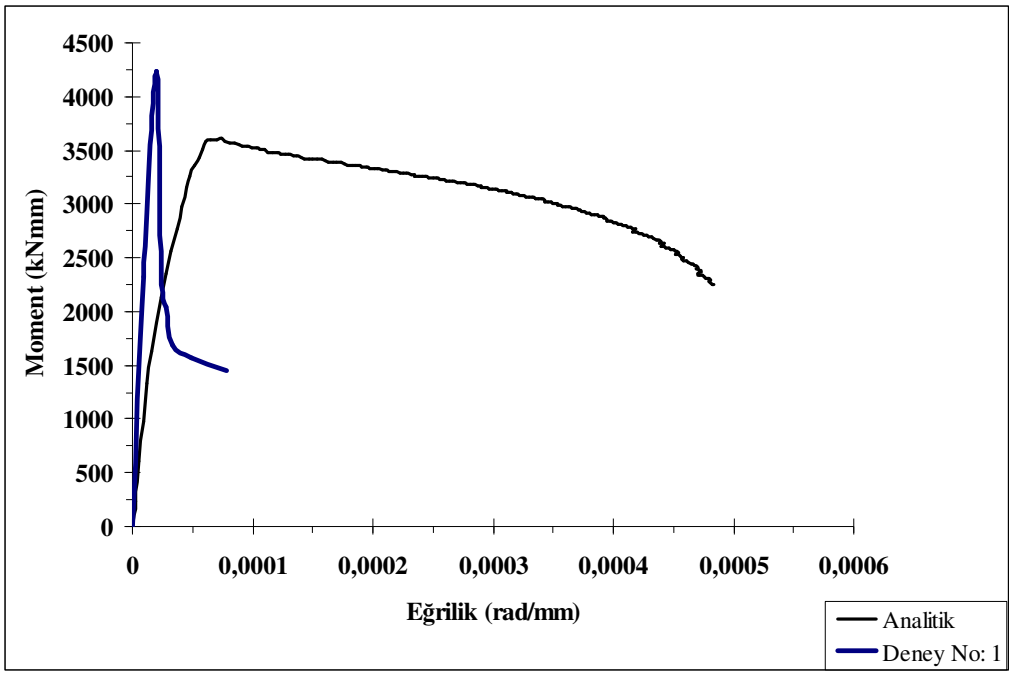


Şekil 7.27. S102 kolonu için 3. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

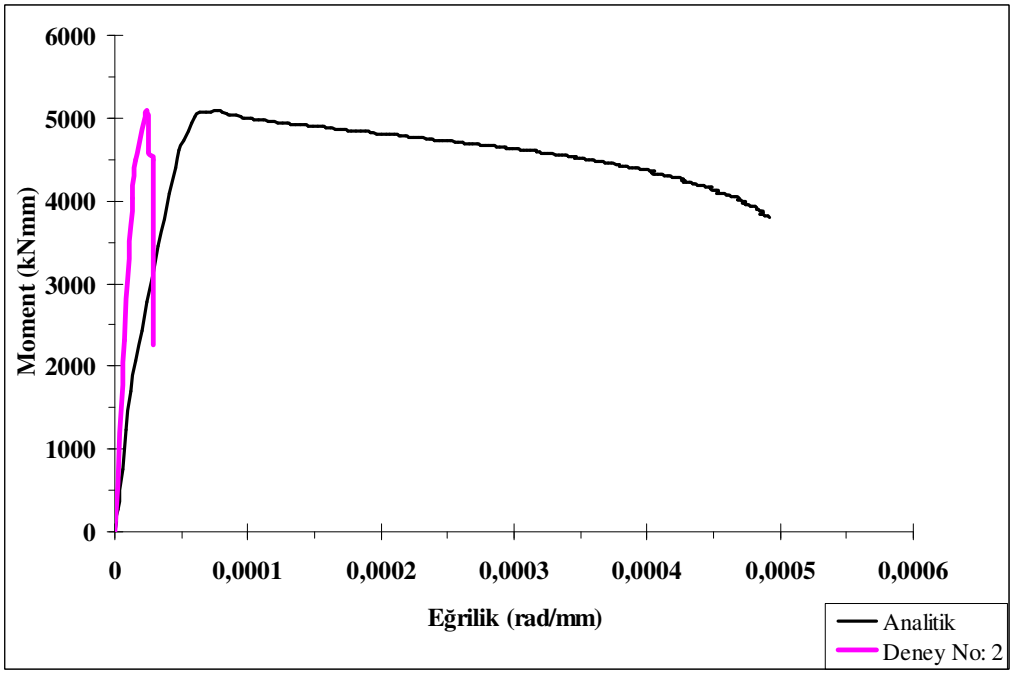


Şekil 7.28. S102 kolonu için 4. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

7.5.3. S103 Kolonu İçin Moment-Eğrilik İlişkisi



Şekil 7.29. S103 kolonu için 1. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması



Şekil 7.30. S103 kolonu için 2. deney sonuçlarının analitik yöntemle karşılaştırılması

Şekil 7.21-Şekil 7.30 arasındaki grafiklerin incelenmesinden genel olarak deneysel moment-eğrilik grafiklerinin analitik yöntemle bulunan grafiklerin tepe noktalarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Deneysel olarak elde edilen eğrilik değerleri ise, analitik olarak bulunan değerlerden çok küçüktür. Bu durumun analitik yöntem için kullanılan programdaki bazı kabullerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

8.1. Giriş

Dünyada birçok ülkede ve Türkiye'mizde halen kullanılmakta olan yapıların önemli bir çoğunluğu, tasarım ve/veya yapım aşamasında yapılan çeşitli hatalar ve eksikliklerden dolayı, yeterli deprem dayanımına ve güvenliğine sahip değildir. Bu nedenle, günümüzde yeterli deprem dayanımı olmayan yapıları depreme dayanıklı ve güvenli duruma getirmek amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemi kullanılmakta ve uygulanmaktadır. Bütün güçlendirme yöntemleri, mevcut yapının zayıf olan dayanım, süneklik ve rijitliğini gerekli düzeylere getirmeyi hedefler. Ancak; mevcut hiçbir güçlendirme yöntemi, yapının kullanımını aksatmadan ya da yapı kısmen veya tamamen boşaltılmadan uygulanamaz. Ülkemizdeki binaların, özellikle de kamu binalarının (hastane, okul, v.d.) durumu ve kullanımda olmayacağı dikkate alındığı zaman uygulamadaki mevcut güçlendirme yöntemlerinin pratik ve ekonomik olmadığı açıktır. Aynı zamanda mevcut güçlendirme yöntemlerinin, güçlendirme sonrası neden oldukları ilave ince işler (sıva, boya v.b.) fazladan bir ekonomik yükü de beraberinde getirmektedir. İşte bu şartlar altında mevcut binaların dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi yöntemi, uygulama kolaylığı ve sağladığı ekonomik avantajları ile mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden daha etkili ve ekonomik bir çözümleme olacaktır. Bu amaçla; bu tez kapsamında yapılan çalışmada, ülkemizdeki deprem güvenliği yetersiz betonarme binaların çoğunluğunun kusurlu durumlarını temsil eden betonarme çerçevelerin, dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi yöntemi deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır.

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneysel çalışmada, deprem davranışı zayıf betonarme yapıyı temsil eden iki katlı iki açıklıklı betonarme çerçevelere yapılan dış perde duvar ilavesinin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında, sistemin deprem davranışına, yatay yük

kapasitesine, rijitliğine ve sünekliğine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ülkemizdeki betonarme binaların çoğunluğunun durumunu temsil etmek üzere; 2 katlı 2 açıklıklı ve 1/3 geometrik ölçekli, deprem davranışı zayıf, düşük beton kalitesine sahip, donatıları düz yüzeyli, kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması olmayan, kolon boyuna donatıları kat seviyesinde yetersiz bindirmeli ek şeklinde yapılmış, 4 adet betonarme çerçeve numunesi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Bu deney çerçevelerinden 2 adedi zayıf kolon-kuvvetli kiriş ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan boş çerçeve numune, 2 adedi ise bu çerçevelerle özdeş özellikteki çerçevelere dış perde duvar ilave edilmiş olan numunelerdir. Burada, deney numunelerine önceden hasar verilmemiş, dış perde duvar ilavesi hasarsız çerçevenin güçlendirilmesinde kullanılmıştır. Güçlendirme için kullanılan betonarme dış perde duvarlar, TDY-98 ve TDY-2006'da verilen esaslara uygun olarak yüksek dayanımlı betondan ve boş çerçeve deney düzeneğine yerleştirildikten sonra düşey konumda üretilmiştir. Dış perde duvarın betonu, gerçek uygulamadakine benzer şekilde temel 1. ve 2. kat olmak üzere farklı zamanlarda kademeli olarak dökülmüştür.

Deneysel çalışmalardan elde edilen, yükleme geçmişi, yük-deplasman ilişkisi, dayanım zarfı rijitlik değişimi, enerji tüketme kapasitesi, kolon ve perde duvar tabanlarındaki moment-eğrilik ilişkisi ve perde duvarların kesme kuvveti-kesme deformasyonu ilişkisine ait özellik ve grafikler, bütün deneyler için 5. Bölümde ayrı ayrı verilmişti. 6. Bölümde, deney sonuçları 5 farklı biçimde karşılaştırılmış ve değerlendirilmişti. 7. Bölümde ise, yapılan analitik çalışmalar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırması sunulmuştu. Bu amaçla, SAP2000 bilgisayar programında deney numunelerinin gerçek beton ve donatı dayanımı değerleri kullanılarak elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri ile çerçeve elemanlarındaki mafsal oluşum sıraları ve yerleri belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar, deneysel çalışmalardan elde edilen değerler ve gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Bütün deney numuneleri için, eğilme çatlama dayanımı, kesme çatlama dayanımı ve ötelenme süneklik oranları da hesaplanmış ve yine deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, analitik çalışma ile kolonlara ait moment-eğrilik ilişkisi belirlenmiş ve deneylerde kolonlarda ölçülen değerlere göre belirlenen moment-eğrilik ilişkisiyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

8.2. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu bölümde, boş ve dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmiş 4 adet betonarme çerçeve numunesinden elde edilen önemli sonuçlar bir arada özetlenerek sunulmuştur. Bu çalışmada sınırlı sayıda yapılmış olan deney numunelerinin gösterdikleri davranış özellikleri ve elde edilen sonuçlar ile gerçek bir yapının davranışı için kesin yargı ve sonuç çıkarmanın ve genelleştirme yapmanın boyut etkisi, işçilik ve deneysel hatalar göz önüne alındığında sakıncalı olduğu söylenebilirse de, bu bilgi ve sonuçların önemli bir aşama olduğu ve belli kanaatlere ulaştırdığı açıktır. Bu nedenle, sunulan sonuçlar değerlendirilirken yukarıdaki nedenleri dikkate alan bir değerlendirme de yapılmalıdır. Bu değerlendirmeler ışığında, bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel ve analitik çalışmaların desteğiyle elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

8.2.1. Deneysel çalışmalardan ulaşılan sonuçlar

8.2.1.1. Dayanım özellikleri

Betonarme dış perde duvar ilavesi, kolonları basınç kırılması gösteren sünek olmayan boş betonarme çerçeve sisteminin yatay yük taşıma kapasitesini önemli oranda artırmaktadır. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre;

- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve ile kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve deney numuneleri karşılaştırıldığında; 2. grup boş çerçeve numunesi 2-BK-KK'nın, 1. grup boş çerçeve numunesi 1-BK-ZK'ya göre 1.14 kat daha fazla yatay yük taşımaktadır.
- Aynı özellikteki (1. grup) 1. deney numunesi 1-BK-ZK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilmiş güçlendirilmiş çerçeve olan 3-BK-ZK PERDELİ 3. deney numunesi 3.98 kat daha fazla yatay yük taşımaktadır.

- Aynı özellikteki (2. grup) 2. deney numunesi 2-BK-KK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilmiş güçlendirilmiş çerçeve olan 4-BK-KK PERDELİ 4. deney numunesi 3.72 kat daha fazla yatay yük taşımaktadır.
- 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numunelerinde ise, 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ sisteme göre, 4. deney numunesi olan 4-BK-KK PERDELİ sistem 1.07 kat daha fazla yatay yük taşımaktadır. Bu sonuçlar, yatay yük etkisini karşılamada donatı özelliklerinin önemli bir etken olduğunu göstermektedir.
- Bütün deney numuneleri için; en düşük yatay yük taşıma değerine sahip ve kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.14 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.98 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 4.26 kat daha fazla yatay yük taşımaktadır.

8.2.1.2. Rijitlik özellikleri

Betonarme dış perde duvar ilavesi, kolonları basınç kırılması gösteren ve dayanımı yetersiz boş betonarme çerçeve sisteminin yatay rijitliğini önemli oranda artırmaktadır.

a) Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, 2. kat δ / H oranları dikkate alındığında;

- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup deney numunesi olan boş çerçeve ile kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve deney numuneleri karşılaştırıldığında; 2. grup boş çerçeve numunesi 2-BK-KK'nın 1. grup boş çerçeve numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında 1.09 kat daha fazla 1. çevrim rijitlik değerine sahiptir.
- Aynı özellikteki (1. grup) 1. deney numunesi 1-BK-ZK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 4.96 kat daha fazla 1. çevrim rijitlik değerine sahiptir.
- Aynı özellikteki (2. grup) 2. deney numunesi 2-BK-KK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 5 kat daha fazla 1. çevrim rijitlik değerine sahiptir.
- 1. ve 2. grup güçlendirilmiş çerçeve numuneleri arasında ise, 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ sistemine göre, 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ'nin 1. çevrim rijitlik değeri oranı 1.1 olmuştur.
- Bütün deney numuneleri için; en düşük yatay yük taşıma değerine sahip ve kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.09 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 4.96 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 5.49 kat daha fazla 1. çevrim rijitlik değerine sahiptir.
- Bütün deney numuneleri için maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik oranları, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan zayıf kolon-

kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.02 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.35 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 5.68 kat olmuştur.

- Bütün deney numuneleri için göçme yüküne ($0.85.F_{max}$) karşılık gelen çevrimler için, 2. kat rijitlik oranları kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.08 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.71 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 2 kat olmuştur.

b) Bütün numunelerin ileri çevrim rijitlik değerleri karşılaştırıldığında ise,

- Bütün deney numuneleri için 1. çevrim 2. kat rijitlik oranları, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1. numune ile aynı başlangıç rijitliğine sahip iken; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli

kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 8.14 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 6.51 kat olmuştur.

- Bütün deney numuneleri için maksimum yük seviyesindeki 2. kat rijitlik oranları kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.02 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.33 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 3.58 kat olmuştur.
- Bütün deney numuneleri için göçme yükü ($0.85.F_{max}$) seviyesinde ileri çevrimdeki 2. kat rijitlik oranları, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 0.88 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.13 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 3.48 kat olmuştur.

8.2.1.3. Enerji tüketimi özellikleri

Betonarme dış perde duvar ilavesi, kolonları basınç kırılması gösteren ve sünek olmayan boş betonarme çerçeve sisteminin enerji tüketme kapasitesini de önemli oranda artırmaktadır. Enerji tüketimi ile ilgili karşılaştırmalar 6. Bölüm'de de belirtildiği gibi, deney numunelerinin bazılarında deney düzeneğinin ve deney numunesinin tehlikeli bir konuma gelmesinden dolayı, bazı deneylerde yatay deplasman değerleri belli bir sınırın üzerine çıkartılamamıştır. Bu nedenle, toplam rölatif deplasman/kat yüksekliği oranının belli bir sabit değeri için karşılaştırma yapılması, enerji tüketme kapasitelerinin değerlendirilmesi bakımından daha anlamlı olacaktır. Bu amaçla, tüketilen enerji değerleri, en küçük toplam kat ötelenme oranı için karşılaştırılmıştır.

a) Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, 2. kat $\Sigma\ \delta\ /\ H$ oranları dikkate alındığında;

- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup deney numunesi olan boş çerçeve ile kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve deney numuneleri, $\delta\ /\ H=0.505$ değerinde karşılaştırıldığında; 2. grup boş çerçeve numunesi 2-BK-KK'nın, 1. grup boş çerçeve numunesi 1-BK-ZK' ya göre 1.194 kat daha fazla enerji tüketmektedir.
- Aynı özellikteki (1. grup) 1. deney numunesi 1-BK-ZK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, $\delta\ /\ H=0.168$ değerinde 3.99 kat daha fazla enerji tüketmektedir.
- Aynı özellikteki (2. grup) 2. deney numunesi 2-BK-KK betonarme boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeve 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, $\delta\ /\ H=0.309$ değerinde, 4.76 kat daha fazla enerji tüketmektedir.

- Bütün deney numuneleri için; en düşük yatay yük taşıma değerine sahip ve kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında; δ / H=0.168 değerinde, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK, 1.06 kat, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 3.99 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 7.3 kat daha fazla enerji tüketmektedir.
- Bütün deney numuneleri için maksimum yük seviyesinde, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK 1.54 kat, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 5.02 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 6.96 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

b) Bütün numunelerin ileri çevrimlere göre enerji tüketme özelliklerinin karşılaştırılması;

- Bütün deney numuneleri 1. çevrimde, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında;

kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK 1.17 kat, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 4.48 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 5.84 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

- Bütün deney numuneleri için ileri çevrim durumunda maksimum yük seviyesinde, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK 1.21 kat, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 4.6 kat; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 6.38 kat daha fazla enerji tüketmiştir.
- Bütün deney numuneleri için ileri çevrim durumunda göçme yüküne kadar ($0.85.F_{max}$), kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK referans numune olarak alındığında; kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK 1.46 kat, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.013 olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ, 4.06 ka;, kolonlarının boyuna donatı oranı ρ_t = 0.023 olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile

güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ, 5.59 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

8.2.1.4. Süneklik özellikleri

İleri çevrimlere göre hesaplanan süneklik katsayısı değerleri; kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK için 4.847, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK için 4.426, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ için 3.598, kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ için 3.707'dir.

8.2.1.5. Davranış özellikleri

- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup boş çerçeve 1. deney numunesi 1-BK-ZK'da kolon ve kiriş uç bölgelerinde çok ağır hasarlar oluşmuş ve 2. kat kirişlerinde derin çatlaklar meydana gelmiştir. 1. kat kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye bulunmamasından dolayı, düğümde belirgin kesme çatlakları meydana gelmiştir. Çerçeve, 1. kat sağ kenar düğümünde oluşan çok ani bir kırılma sergilemiştir. Bu kırılmanın nedeni, kesme çatlaklarıyla zayıflayan düğüm bölgesinin, eksenel yükün de etkisiyle parçalanmasıdır. Bu durumun da gösterdiği gibi, özellikle kenar kolonlarda etriyenin kolon boyunca devam ettirilmesi önemlidir.
- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup boş çerçeve 2. deney numunesi 2-BK-KK'da da benzer kesme çatlakları daha az da olsa görülmüştür. 2. kat kirişlerinde çatlak oluşmamış ve kolon ve kiriş uç bölgelerinde ilk deneye numunesine

oranla daha az çatlak meydana gelmiştir. İlk deneyde gözlenen ani kırılma bu deneyde görülmemiştir. İlk deneyden farklı olarak 2. kat kolonlarının üst uçlarında belirgin basınç ezilmeleri ve daha sonra bu noktalarda kırılma meydana gelmiştir.

- 1. deney numunesi 1-BK-ZK ve 2. deney numunesi 2-BK-KK'nın alt kat kolonlarında, maksimum yük seviyesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Kolonlarda oluşan plastik mafsallar tabandan ~100 mm yukarıda belirginleşmiştir.
- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.013$ olan ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan 1. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 3. deney numunesi 3-BK-ZK PERDELİ'de, perdede deney sonuna doğru kesme çatlakları görülmüştür. Perdede oluşan eğilme çatlakları, temel üstünden 1. kat hizasına kadar meydana gelmiştir. Aynı zamanda ilerleyen çevrimlerde dış perde duvar temelinde az sayıda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Kiriş ve kolon uçlarında da az miktarda çatlaklar ve hasar oluşmuştur. Deney sırasında üst kat kolon uçlarında oluşan ezilme ve daha sonra da kırılma bunun bir örneğidir.
- Kolonlarının boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.023$ olan ve kuvvetli kolon-zayıf kiriş özelliği taşıyan 2. grup dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiş olan 4. deney numunesi 4-BK-KK PERDELİ'de perdede kesme çatlakları görülmezken, 3. deney numunesine oranla daha az çatlak oluşmuştur. Temelde çok az çatlak oluşumu izlenmiştir. Kiriş ve kolon uçlarında hasar oluşmamış ve çatlak sayısı da oldukça az olmuştur. Ayrıca, diğer numunelerde görülen ani bir kırılma da oluşmamıştır. Deneyler sırasında gözlenen bu farklılıklar, kuvvetli kolon-zayıf kiriş durumunun ne kadar belirleyici bir özellik olduğunun göstergesidir.
- Bütün deney numunelerinin davranış ve hasar durumları karşılaştırıldığında, dış perde duvar ilavesinin boş çerçeve deney numunesinin yetersizliklerini telafi ettiğini söylemek mümkündür. Dış perde duvar ilavesi, kolon ve kiriş uçlarında oluşan çatlakları, kolon uçlarında meydana gelen ezilmeleri azaltıp, ani kırılmaları önlemiştir.

- Güçlendirilmemiş çerçeve numunelerinin alt kat kiriş uçlarında pilye büküm bölgelerinde (mesnetten 160-170 mm içeride) düşey çatlaklar oluşmuş; üst kat kirişlerinde ise, bu hasarlar gözlenmemiştir. Ancak, güçlendirilmiş numunelerde alt kat ve üst kat kirişlerinin perde ile birleştiği bölgede plastik mafsallar oluşmuş ve önemli derecede hasarlar meydana gelmiştir.
- Dış betonarme perde duvar ilavesinde temelde veya kolonda herhangi bir ankraj sorunu yaşanmamıştır. Bu durum bize birleşim detaylandırmasının yeterli ve uygun olduğunu göstermektedir.
- Deney numunelerinin temelinde herhangi bir önemli hasar oluşmamıştır. Deney sonuna doğru dış perde duvar temeli ile mevcut temelde bazı kılcal çatlaklar oluşmuştur.
- Bütün deneylerde, yük kontrollü durumda, ileri çevrimlerde, aynı yük seviyesinde geri çevrimlere oranla bir miktar daha fazla yatay deplasman ölçülmüştür. Bunun, geri çevrimde hasar görmüş çerçevenin bir sonraki ileri çevrimde yüklenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

8.2.2. Analitik çalışmalardan ulaşılan sonuçlar

- SAP2000'de gerçekleştirilen pushover analizle belirlenen maksimum deplasmanlar, deneysel verilerden yaklaşık 2 kat daha fazladır. Ancak, pushover analizle bulunan yatay yük kapasiteleri, deneysel sonuçlara yakın değerlerde olmuştur. Bu duruma neden olarak, SAP2000 programının mafsal tanımlama kısmında ATC-40 ve FEMA-273/356'ya göre yaptığı kabuller nedeniyle, lineer olmayan yönteme göre sistemin 0.02 mertebesinde ötelenme yapması gösterilebilir.
- Analitik hesaplamalarda kullanılan pushover analiz sonucunda bulunan yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine kadar deneylerden elde edilen değerlere yakındır. Pushover analizle belirlenen mafsal oluşum yerleri, deneysel gözlemlerle hemen hemen aynı olmasına karşın; mafsal oluşum sırası farklılık göstermektedir.

- Deneylerde, çerçeve numunelerinin elemanlarındaki yük dağılımı özel yük ölçerler kullanılarak ölçülmediği için, düşey elemanların moment-eğrilik değerleri, sisteme uygulanan her adımdaki yatay yükün, kolonlarda oluşturduğu değişken moment değerleri ile bir oran kurularak, deneyden elde edilen LVDT okumaları bu oran ile çarpılmış ve kolonlar için moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bilgisayar programında belirlenen moment değerleri ile deneysel sonuçlar uyum gösterirken eğrilik değerleri arasında büyük farklar görülmüştür. Bu durumun hesaplama yöntemlerinde bazı kabullerin ihmal edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Mevcut çalışmalarda, betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilen çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerine yönelik ampirik denklemler yer almamaktadır. Bu nedenle, burada yapılan incelemelerde dolgu duvarlı (iç perde duvarlı) çerçeveler için önerilen denklemler kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar, dış perde duvar genişliğine kenar kolon genişliğinin dahil edildiği (l_w = 700 mm) ve edilmediği (l_w = 600 mm) her iki durum için de ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilere en yakın sonuçları "Vallenas, Bertero ve Popov'un Yaklaşımı" vermiştir. Perde genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum için yapılan hesaplamalar, deneysel sonuçlara %95 oranında yaklaşmıştır. Perde genişliğine kolon genişliğinin eklendiği durumda yapılan hesaplamalarda ise, bu uyum %85 civarında olmuştur. Burada, iç perde duvarlar için verilen bu yaklaşımın dış perde duvar için de yeterli yaklaşıklıkla kullanılabileceği görülmektedir.

  Yatay yük taşıma kapasitelerine yönelik analitik çalışmalardan "Barda'nın Yaklaşımı"nda ise, her iki durum için de analitik sonuçlar deneysel sonuçlarla uyuşmakla birlikte; kolon genişliğinin perde genişliğine eklendiği durum, deneysel sonuçlara çok daha yakın değerler vermiştir.

  TS-500 ve TDY-98(2006)'e göre ise, her iki hesabın da yeterli yaklaşıklıkta olduğu görülmekle birlikte, kolon ilavesi ile yapılan hesabın deneysel sonuçlara bir miktar daha yakın olduğu gözlemlenmektedir.
- Dış perde duvarda oluşan ilk eğik asal çekme çatlağı yükü, kolon genişliğinin perde genişliğine ilave edildiği ampirik yöntemde deneysel sonuçlarla %81 ile %88 aralığında uyumlu olurken; kolon genişliğinin perde

genişliğine dahil edilmediği durumda ise, bu uyum %90 ile %98 arasında olmuştur.

- Analitik çalışmalarda, maksimum kesme gerilmesi 4 nolu deney numunesi için hesaplanmıştır. Deney elemanlarında dolgu duvar için hesaplanmış kesme gerilmesi değerleri, yönetmelikte verilen kesme gerilmesi değerlerinden oldukça küçüktür.

8.3. Yorum ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında yapılan sınırlı sayıdaki deneyler ve bunlarla ilgili analitik çalışmanın sonucunda, betonarme dış perde duvar ilavesi ile yapılan güçlendirme yönteminin mevcut çerçeve sistemin yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesini önemli oranda artırdığı, sünekliğin de kabul edilebilir düzeyde kaldığı görülmüştür. Ayrıca, betonarme dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilen çerçevelerde, maksimum yük seviyesinde çerçeve elemanlarında önemli bir hasar gözlenmemiştir. Bu durum, bize mevcut sistemin düşey yük açısından herhangi bir sorunu yok ise, mevcut sistemin diğer elemanlarında herhangi bir güçlendirmeye gerek kalmadan, depreme karşı sadece betonarme dış perde duvar ilavesi ile güçlendirilmesinin yeterli olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak; kesin bir yargı için daha çok sayıda ve daha büyük ölçekte deneylere ihtiyaç duyulmakla birlikte, dış perde duvar uygulamasının güçlendirme gereken betonarme binalarda önemli bir seçenek olabileceği kanaatine varılmıştır.

Benzer yükleme düzeneği ve ölçüm teknikleri kullanılarak, ileride yapılacak araştırmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur:

- Kolonlara uygulanan eksenel yükün daha sağlıklı ve güvenli bir şekilde aktarılması ve aynı zamanda deney süresince değişiminin engellenebilmesi için bu yük rijit bir eleman yardımıyla aktarılabilir.
- Kolon ve perde duvar tabanındaki eğrilik ölçümleri için yerleştirilen LVDT ve komparametrelerin 100 mm'den daha az bir mesafeden ölçülmesi ile, değişiklikler belirlenebilir.

- Deneyler sırasında sadece üst kat kirişi aksından uygulanan yatay yük, gerçek davranışı yansıtabilmek açısından her iki kattan farklı yük seviyelerinde uygulanabilir.
- Gerçek yapı ile deney numuneleri arasındaki bağlantının daha da sağlıklı kurulabilmesi için, deneyler daha büyük ölçekli ve 3 boyutlu olarak yapılabilir.

9. KAYNAKLAR

Achyutha, H., Jagadish, R., Rao, P.S., and Rahman, S.S., 1986. "Finite Element Simulation of the Elastic Behaviour of Infilled Frames with Openings", Computers and Structures, Vol.23, No.5, pp.685-696.

Akın, S.K., 2006. "Betonarme Çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Akyüz, U., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Karadoğan, F., İlki, A., Özden, Ş., Baran, M., 2001. "Mevcut hasar Görmemiş Binalar için Güçlendirme Yöntemleri Geliştirilmesi", Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı, TÜBİTAK İÇTAG, 5-6 Kasım, Ankara.

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.

Anıl, Ö., 2002. "Betonarme Çerçevelerin Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Aoyama, H., Kato, D., Katsumata, H., Hosokawa, Y., 1984. "Strength and Behavior of Postcast Shear Walls for Strengthening of Existing R/C Buildings", 8th World Conference on Earthquake Engineering, July, San Francisco CA, volume 1, page 485-492.

Aras F., 2001. "Nonlinear Response Analysis of the Retrofitted Structures by Different Strategies", Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Aristizabal-Ochoa, J.D., 1987. “Seismic Behavior of Slender Coupled Wall Systems”, Journal of Structural Engineering, Volume.113, no. 10, pp. 2221-2235.

Atımtay, E. 2000. “Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar)”, Bizim Büro Yayınevi, Ankara.

Aydoğan, M., 2001. “Betonarme Binalarda Onarım ve Güçlendirme Sistemleri ve Tasarımı Seminer Notları”, K.T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, Mart 2001, Lefkoşa.

Aydoğan, M., Öztürk, T., 2002. “Betonarme Yapılarda Güçlendirme Uygulamaları”, Prof.Dr. Kemal Özden'i, Anma Semineri, 10 Mayıs 2002, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, sayfa: 39-69.

Bağcı, M., Atımtay, E., 1999. “Depreme Maruz Karma Sistemlerin Bilgisayar Modeli“, Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, 24-25-26 Kasim, Ankara, sayfa: 321-336.

Bakır, P.G., Boduroğlu, H.M., 2001. “Betonarme Kolon Kiriş Birleşimlerinin Kesme Kuvveti için Modellenmesi”, XII. Ulusal Mekanik Kongresi, 10-14 Ey1ü1 2001, Konya, sayfa: 139-146.

Bakır, P.G., Boduroğlu, H.M., 1999. “Evaluation of the Exterior Beam-Column Joints Designed According to Turkish Earthquake Resistant Design Code”, Uğur Ersoy Symposium on Structural Engineering, page: 335-349, Middle East Technical University Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey.

Bayülke, N., 1995. "Depremlerde Hasar Gören Yapılarırı Onarım ve Güçlendirilmesi, Genişletilmiş 3. Baskı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, 256 sayfa, İzmir.

Benjamin, J. R., and Williams, H A., May 1957. "The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls", ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 83, No. ST3, paper 1254.

Benjamin, J. R., and Williams, H.A., July 1958. "The Behaviour of One-Story Brick Shear Walls", ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 84, No.ST4, paper 1723.

Beyli E., 2002. "Betonarme Binalara Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Bing, L., Hui, W., 2003. "Seismic Behaviours of Reinforced Concrete Walls with Irregular Openings", Civil Engineering Research, Construction, page: 14-16, January.

Broken, S.T., and Bertero, V.V., October 1981. "Studies on Effects of Infills in Seismic Resistant Reinforced Concrete Construction", Report No.UCB/EERC81/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Budak, A., Uzman, Ü., 1999. "Dolgu Duvar Boşluklarının Dolgu Duvarlı Çerçeve Davranışı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", X. Mühendislik Sempozyumu İnşaat Mühendisliği 99, 2-3 Haziran, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, s. 255-264.

Buonopane, S.G., White, R.N., June 1999. "Pseudodynamic Testing of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 125,N0. 6, pp. 578-589.

Canbay, E., Sucuoğlu, H., 1998. "Seismic Assesment of Damaged/Strengthened Reinforced Concrete Buildings", Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: i32-151, February, Istanbul, Turkey

Canbay, E., 2001. "Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural Systems" A Doctor of Philiosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, December.

Canbay, E., Ersoy, U., Tankut, T., 2004. "A Three Component Force Transducer for Reinforced Concrete Structural Testing", Engineering Structures, Volume: 26, page: 257-265, 2004.

Çakıroğlıı, A., Karadoğan, F., Özer, E., 1998. "Upgrading and Strengthening Philosophy of Reinforced Concrete Low Rise Buildings, Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 1-10, February 1998, Istanbul, Turkey.

Çamlıbel, N., 2000. "Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi", Birsen Yayınevi, İstanbul.

Çatal, H.H., Düzgün, M., 1999. "Perde Çerçeve Sistemlerin Bilgisayar ile Çözüm Modellerinin Kıyaslanması", Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, 24-25-26 Kasım, Ankara, sayfa: 352-367.

Chai, Y.H., Hutchinson, T.C., 2001. "Reversed Cyclic Lateral Response of Ligthweight Concrete Precast Wall Panel Tests", University of California, Davis, ZFA Structural Engineers, Sacremento, California.

Chaker, A.A., Cherifati, A., 1999. "Influence of Masonry Infill Panels on the Vibration and Stiffness Characteristics of R/C Frame Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume. 28, pp. 1061-1065.

Chan, C.M., King, F., Mickleborough, N.C., 2000. "Lateral Stiffness Characteristics of Tall Reinforced Concrete Buildings under Service Loads", The Structural Design of Tall Buildings. Volume. 9, pp. 365-383.

Dörttepe U., 2001. "Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ergin, C., 1998. "Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirme Teknikleri ve Çok Katlı Bir Yapıya Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971. "The Behavior and Strength of Infılled Frames", Report No. MAG-205 TUBİTAK, Ankara, Türkiye

Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998. "Behavior of Reinforced Concrete Infılled Frames An Experimental Study", Second JapanTurkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 292-308, February 1998, Istanbul, Turkey.

Fukuyama, H., Sugano, S., 2000. "Japanese Seismic Rahabilitation of Concrete Buildings After the Hyogoken-Nanbu Earthquake, Cement and Concrete Composites", Volume: 22, page: 59-79.

Ghobarah, A., 2000. "Seismic Assesment of Existing RC Structures", Structural Engineering Materials, volume: 2, page: 60-71.

Ghobarah, A., Said, A., 2002. "Shear Strengthening of Beam-Column Joints", Engineering Structures, volume: 24, page: 881-888.

Hayashi, T., Niwa, N., and Fukuhara, M., September 1980. "The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceeding of the 7th WCEE, Vol. 4, Istanbul, Turkey, pp. 89-96.

Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1982. "Effects on Behaviors of Reinforced Concrete Frames by Adding Shear Walls", Proceedings of the Third Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, May.

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 l, page 477-484.

Higashi, Y., Kokusho, S., 1975. "The Strengthening Method of Existing Reinforced Concrete Buildings", US-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering, Honolulu HI.

Ignatiev, N., 1998. "Some Problems of Existing Buildings with New Structural Components", Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second JapanTurkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 11-42, February, Istanbul, Turkey.

İlgün, A., 2003. "Çok Katlı Betonarme Panel Yapılarm Yatay Yük Altında Davranışı: Teorik ve Deneysel Araştırına", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

İlki, A., 1994. "Betonarme Çerçevelerin Tekrarlı Yükler Altında Taşıma Gücü", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kahn, L.F., Hanson, R., 1979. „Infilled Walls for Earthquake Strengthening", Jornal of the Structural Division, Volume: 5, page: 283-296.

Kaldjian, M.J., and Yüzügüllü, 0., 1984. "Efficiency of Bolt Connected Reinforced Concrete Shear Panels to Repair and Strengthen Building Structures", Presented in Jordan.

Kargı, Y., 1999. "Perde Etkisi Oluşturan Bölme Duvarları", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S., Aoyama, H., July-August 1995" "Earthquake Resistant Design of Shear Walls with One Opening", ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 4, pp. 495-500.

Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., September 1999. "Strength and Deformation Capacity of Cantilever Structural Walls with Openings", PEER Report 1999/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Maui, Hawaii, pp. 311-322

Klingner, R.E., and Bertero, V.V., 1976. "Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction", Report No. UCB/EERC-76/32, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Klingner, RE., Bertero, V.V., 1978. "Earthquake Resistance of Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Volume: 104, page: 973-989.

Köken, A., 2003, "Tersinir Yükleme Altmdaki Çok Katlı ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Krawinkler, H., Wallace, 1985. "Small-Scale Model Test of a Frame-Shear Wall Structure", Design of Concrete Structures The Use of Model Analysis, page: 300-310, 1985, UK.

.

Kwan, A.K.H., Xia, J.Q., 1995. "Shake Table Tests of Large-Scale Shear Walls and Infilled Frame Models", Proceedings of Institution of Civil Engineers, Structure and Buildings, Volume. 115, pp. 66-77.

Liauw, T.C., Lee, S.W., 1977. "On the Behaviour and the Analysis of Multistorey Infilled frames Subject to Lateral Loading", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Volume. 63, pp. 641-656.

Liauw, T.C., April 1979. "Test on Multistory Infılled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading", ACI Journal, pp. 551-563.

Liauw, T.C., September 1980. "An Effective Structural System Againts Earthquakes-Infilled Frames", Proceeding of the 7th WCEE, Vol. 4, Istanbul, Turkey, pp. 481-185.

Liauw, T.C., Kwan, K.H., July 1985, Unified Plastic Analysis for Inf Iled Frames, ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 111, No. 7, pp.1427-1448.

Liauw, T.C., Kwan, K.H., 1985. "Static and Cyclic Behaviours of Multistorey Infilled Frames with Different Interface Conditions", Journal of Sound and Vibration, Volume. 99, No. 2, pp. 275-283.

Macleod, LA., Hosny, H.M., 1977. “Frame Analysis of Shear Wall Cores”, Journal of the Structural Division, Volume. 103, No. ST 10, pp. 2037-2047.

May, LM., Ma, S.Y.A., 1985. “A Rigid Plastic Method for the Determination of Collapse Loads of Infilled Panels with Openings”, Journal of Strain Analysis, Volume. 20, No. 1, pp. 41-52.

Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L., 1996. “Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames”, Journal of Structural Engineering, Volume. 122, No. 3, pp. 228-237.

Miller, J.T., Reaveley, L.D., 1996. “Historical Hotel Utah Remodel and Seismic Upgrade”, SP. 160-5.

Morgan, B.J., Hiraishi, H., Corley, W.G., 1985. “Comparisons of Tests of Medium-Scale Wall Assemblies and a Full-Scale Building”, Design of Concrete Structures The Use of Model Analysis, page 129-137, 1985, UK.

Mourtaja, W., Yüksel, E., İlki, A., Karadoğan, H.F., 1998. “Strengthening and/or Upgrading the R.C. Frames by Means of Special Shotcreted Diaphragms”, Proceedings of Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, February 23-25, Istanbul, Turkey.

Nakano, Y., 1995. “Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan”, Report on the January 17, 1995 Kobe Earthquake, INCEDE Report 10(joint with ERS and KOBEnet), IIS University of Tokyo, sayfa: 233-247.

Özbalaban, G., 2002. “Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özcebe, G., 2004. "Deprem Güvenliğinin Saptanması için Yöntemler Geliştirilmesi", TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ1574 Numaralı Araştırma Projesi, Ocak, Ankara.

Özden, K., 1998. "Connectors for Repair and Strengthening", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 218-235, February 1998, Istanbul, Turkey.

Pakdamar, F., 2001. "Performans Metodunun Mevcut Betonarme Binaların İncelenmesi için Kullanılması ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Park, R., Paulay, T., 1975. Reinforced Concrete Structures, John Wiley.

Phan, L.T, Cheok, G.S., Todd, D.R., 1995. "Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening with Infill Walls", Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5682, July.

Saatçioğlu, M., Nisan 1990, Betonarme Kısa Perdelerin Kayma Davranışı, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 1, Sayı 2, sf. 121-132.

Sonuvar, M.O., 2001. "Hysteretic Rsponse of Reinforced Concrete Frames repaired by Means of reinforced Concrete Infılls", A Doctor of Philiosophy Thesis in Civil Engineering", Middle East Technical University, June.

Singh, H., Paul, D.K., Sastry, V.V., 1998. "Inelastic Dynamic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames", Computers and Structures, Volume. 69, pp. 685-693.

Sitipunt, C., Wood, S.L., 1995. “Improving the Cyclic Reponse of Selender Structural Walls by Changing the Orientation of the Web Reinforcement”, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 6, pp. 745-767.

Smith, B.S., December 1962. “Lateral Stiffness of Infilled Frames”, ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 88, ST6, pp. 183-199.

Smith, B.S., February 1966, Behaviour of Square Infilled Frames, ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 92, ST1.

Smith, B.S., 1967, Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-Story Infilled Fames" Building Science, Vol. 2, pp. 247-257.

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

Smith, B.S., Carter, C., Sept. 1969, A Method of Analysis for Infilled Frames, Proc. ICE, Vol. 44, pp. 31-48.

Sugano, S., Fujimura, M., 1980. “Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings”, Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Volume 6, Istanbul, Turkey.

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.

Tankut, T., 1998. “Structural Rehabilitation of Reinforced Concrete Members”, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 337-354, February, Istanbul, Turkey.

Taylor, C.P., Cote, P.A., Wallace, J.W., July-August 1998. “Design of Selender Reinforced Concrete Walls with Openings”, ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 4, pp. 420-433.

Tezcan, S.S, İkizoğulları, S., 1998. “Stresses along the Periphery of the Infılled Shear Walls in Retrofitted Frames”, Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 199-209, February, Istanbul, Turkey.

Türk, A.M., 1998. “Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infıll Walls”, A Doctor of Philisophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University.

Türker LY., 2003. “Perde-Çerçeve Sistemler ve Boşluklu Perdelerin Yatay Yükler İçin Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Universitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

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.

Yavuz, G., 2005. “Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Zayıf Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışı”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yılmaz M.K., 1998. “Betonarme Yapılarda Deprem Sonucunda Oluşan Hasarlar ve Onarım Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yoichi, H., Toneo, E., Masamichi, 0., September 1980. "Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall", Proceeding of the 7`h WCEE, Vol. 7, Istanbul, Turkey, pp. 173-180.

Yüksel, E., Karadoğan, H.F., 1998. "Earthquake Behaviour of Frames Strengthened by Added Shear Walls", Proceedings of Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, February 23-25, Istanbul, Turkey.

Yüzügüllü, 0., Nov. 1979. "Repair of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Precast Panels", TUBITAK, Report No. MAG-494.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Ankara.

ACI 318-99, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute Standard.

ATC-40, FEMA Reports "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings" Applied Technology Council, November 1996, , Cilt I ve II, Redwood City, California, USA.

CEB-FIP Model Code, Thomas Telford Services Ltd., for Comite Eııro-International du Beton, Lausanne, 1993, 437 page.

Türkiye İstatistik Yıllığı, DİE 2000, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 2000.

FEMA 2731356, Federal Emergency Management Agency, 1996 a. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I, Redwood City, California, USA.

SAP2000, version 7.40, CSI Company, Berkeley, California, USA.

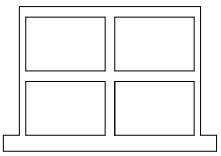
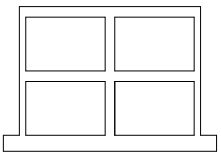
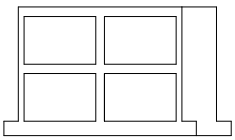
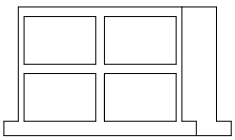
TS500-2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara.

www.imoistanbul.org.tr/worddosya/kursnotlari/yapitasarimi/YapisalRiskler, 2002.

10. EK

Bu çalışmada, Çizelge 3.1'de verilen deneylerin haricinde, araştırma projesinin yürütülmekte olan diğer bir bölümünde ise, yine aynı özellikteki 4 deney numunesi, çerçeve kolonlarda çekme kırılması oluşacak seviyede normal kuvvetle ($N=0.15\sim0.20 \times b \times h \times f_c$) yüklenmiştir. Aşağıda, Çizelge 10.1'de, deney numunelerinin genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 10.1. Deney numunelerinin genel özellikleri

Deney Numunesi No	Deney Numunesinin Özelliği	Deney Numunesi Resmi
1. Deney (1-ÇK-ZK)	Boş çerçeve (ρ_t=0.013, kuvvetli kolon-zayıf kiriş)	
2. Deney (2-ÇK-KK)	Boş çerçeve (ρ_t=0.023, zayıf kolon-kuvvetli kiriş)	
3. Deney (1-ÇK-ZK-PERDELİ)	Perdeli çerçeve (ρ_t=0.013, kuvvetli kolon-zayıf kiriş)	
4. Deney (2-ÇK-KK-PERDELİ)	Perdeli çerçeve (ρ_t=0.023, zayıf kolon-kuvvetli kiriş)	

Bu deney numunelerinden alınan 3'er adet silindir numunesinin 3, 7 ve 28 günlük beton basınç dayanım değerleri (Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında 3000 kN kapasiteli dijital pres makinesi ile kırılması sonucunda elde edilen değerler) Çizelge 10.2'de verilmiştir.

Çizelge 10.2. Deney numunelerinde ortalama beton basınç dayanımları

Numune No	$f_{c,\ 3gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 3gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 7gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 7gün}$ Ortalama (MPa)	$f_{c,\ 28\ gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 28gün}$ Ortalama (MPa)
1-ÇK-ZK	6.515	7.167	8.155	8.621	13.255	13.20
2-ÇK-KK	7.219		8.710		12.90	
1-ÇK-ZK-PERDELİ	6.780		9.175		12.20	
2-ÇK-KK-PERDELİ	8.155		8.443		14.50	

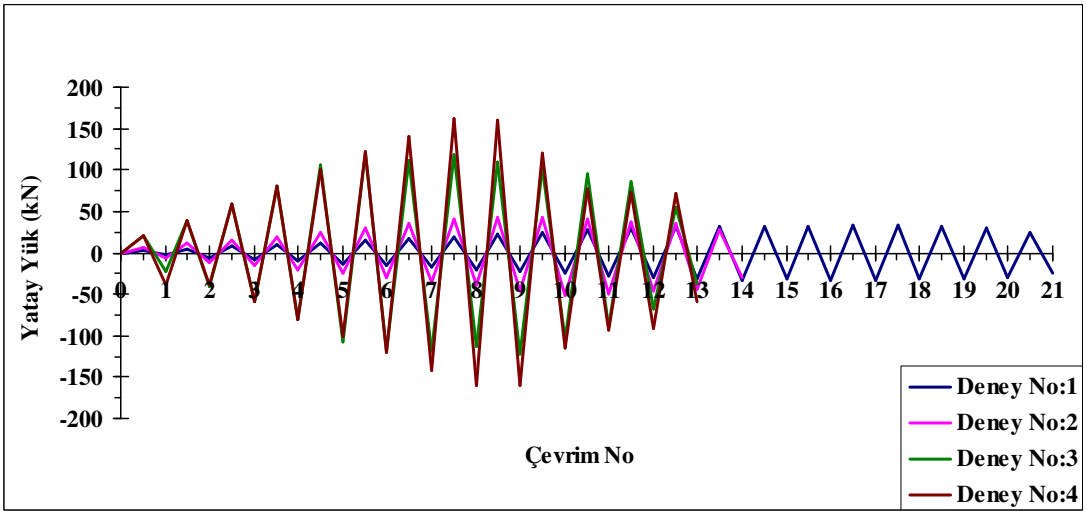
1-ÇK-ZK-PERDELİ ve 2-ÇK-KK-PERDELİ numunelerinde perde imalatı yapılmıştır. Her kattan ve temelden 4'er adet standart silindir numuneleri alınmıştır. Alınan bu numuneler 3, 7 ve 28 gün sonra test edilmiş ve her bir numunenin beton basınç dayanımı tespit edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 10.3'de verilmiştir.

Çizelge 10.3. Perde duvarda kullanılan betonun basınç dayanımları

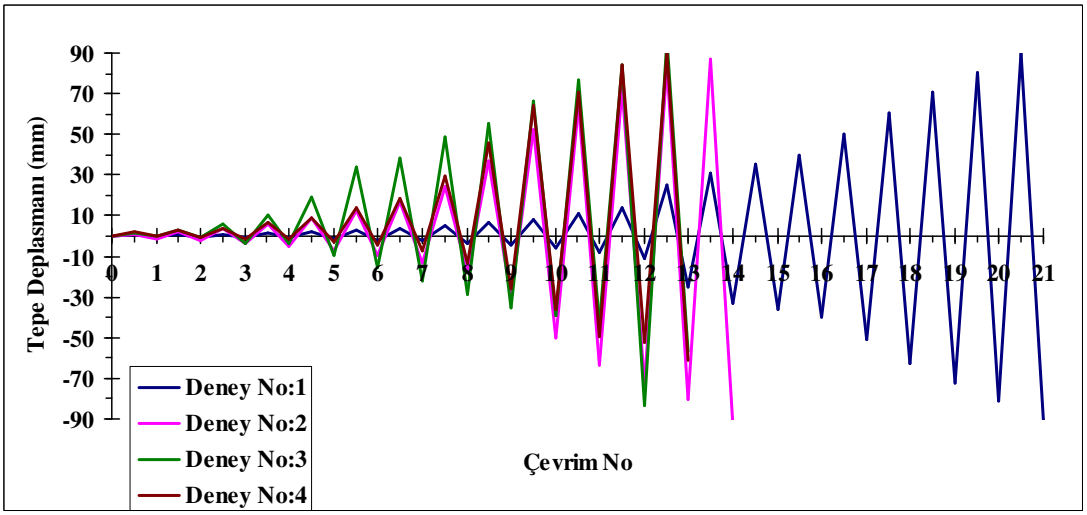
Numune No	$f_{c,\ 3gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 3gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 7gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 7gün}$ Ortalama (MPa)	$f_{c,\ 28\ gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 28gün}$ Ortalama (MPa)
1-ÇK-ZK-PERDELİ	----- -----	------	17.2	18.3	24.2	29.73
					33.6	
					31.5	
2-ÇK-KK-PERDELİ	----- -----	------	19.3		27.8	
					32.1	
					29.2	

10.1. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Dört deney numunesinin yükleme geçmişi, birlikte aynı grafik üzerinde Şekil 10.1 ve 10.2'de verilmiştir. Şekil 10.1; deney numunelerinin yatay yüke göre yükleme geçmişleri; Şekil 10.2 ise, yatay tepe deplasmana göre yükleme geçmişleridir.



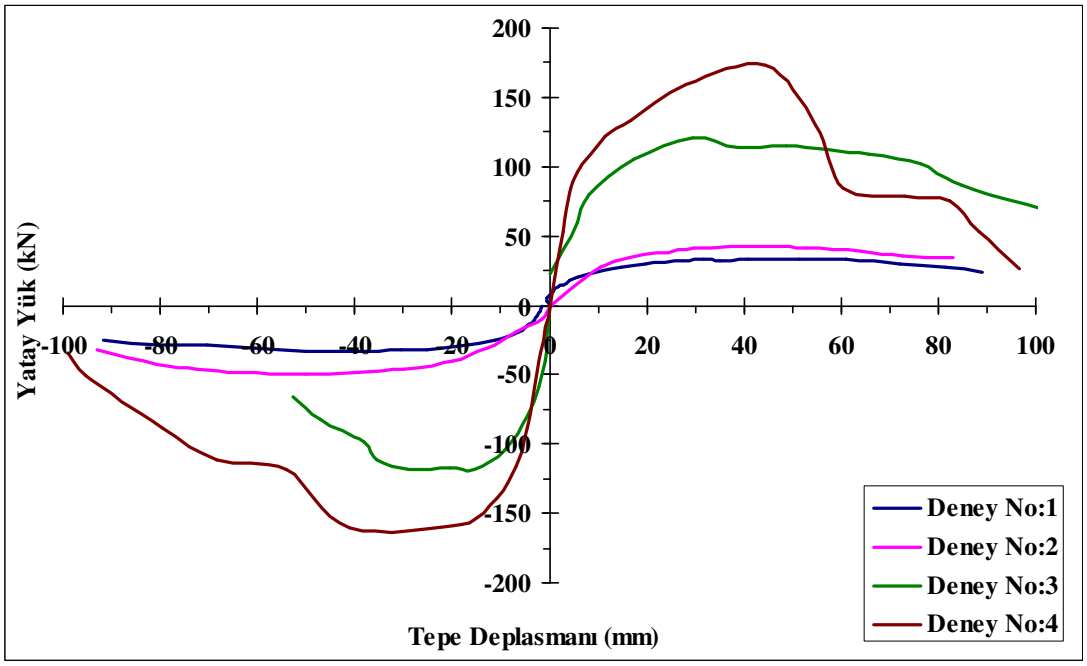
Şekil 10.1. 1. 2. 3. ve 4. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)



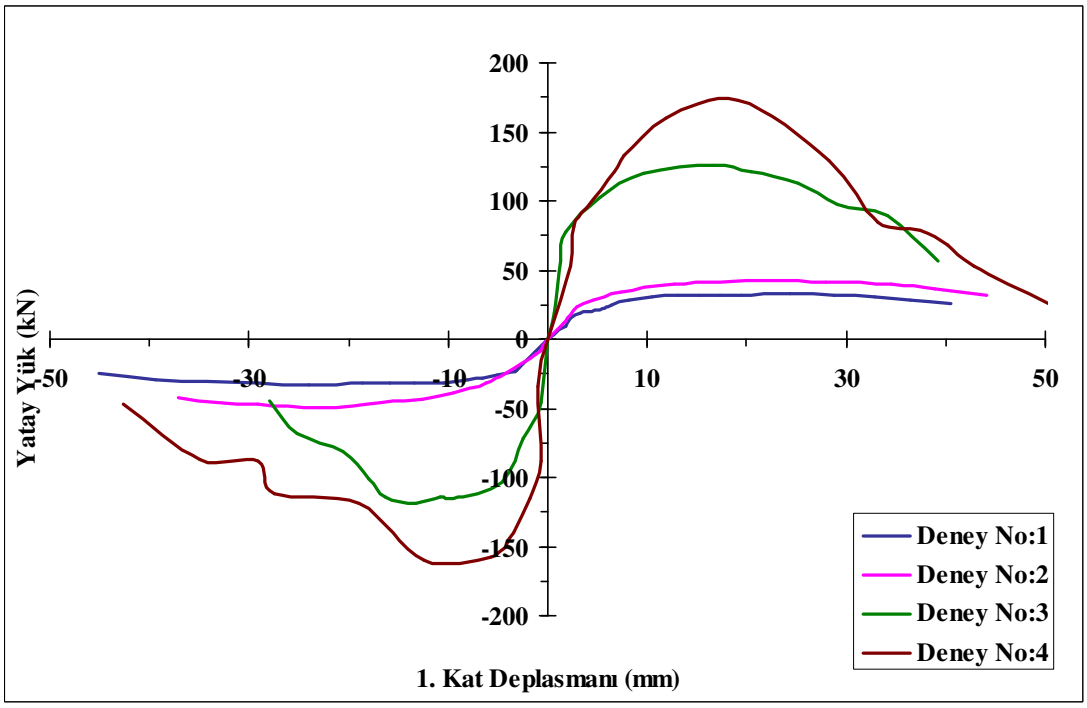
Şekil 10.2. 1. 2. 3. ve 4. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

Dört deney numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı ve yatay yük - 1. kat deplasmanı grafikleri Şekil 10.3 ve Şekil 10.4'de ayrı ayrı gösterilmiştir. Deneysel sonuçlardan yatay yüke bağlı olan değerler bütün deney numuneleri için düzenlenmiş

olan Çizelge 10.4 ve 10.5'de gösterilmiştir. Çizelge 10.4'de referans yük olarak 1. Deney, Çizelge 10.5'de ise referans yük olarak 2. Deney numunesi alınmıştır.



Şekil 10.3. 1. 2. 3. ve 4. deney numunelerinin yatay yük – tepe deplasmanı zarf eğrileri



Şekil 10.4. 1. 2. 3. ve 4. deney numunelerinin yatay yük – 1. kat deplasmanı zarf eğrileri

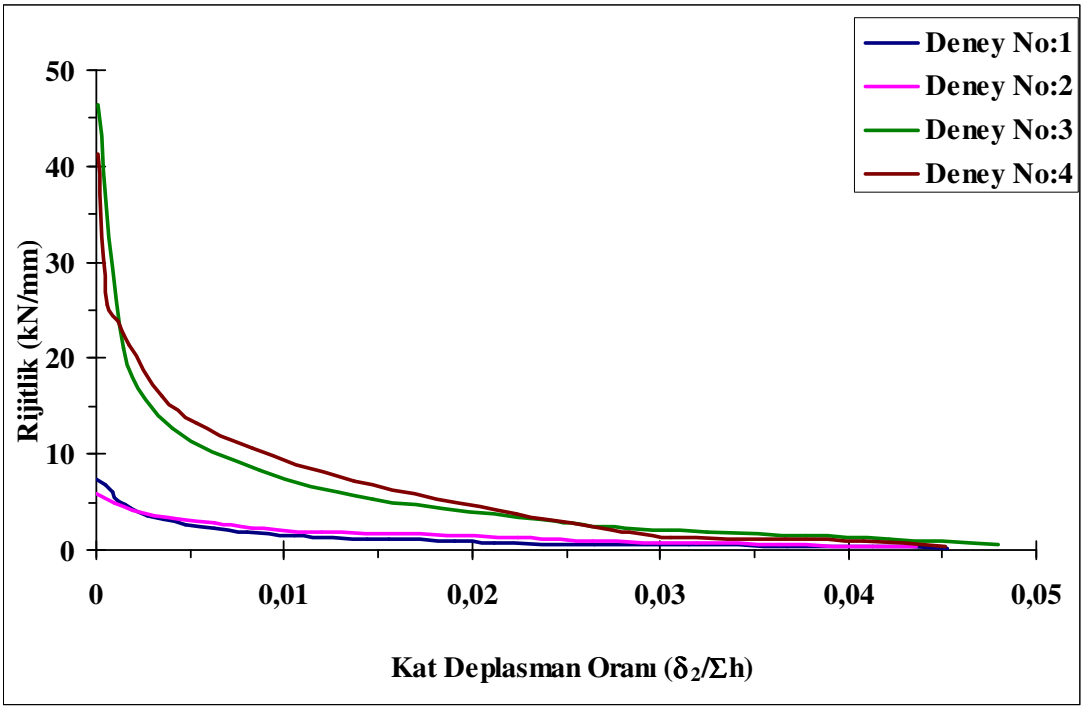
Çizelge 10.4. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitesi ile ilgili deneysel sonuçlar (1. Deney numunesine göre)

Deney Numunesi	En Büyük Yatay Yük Anında Yük, Çevrim ve Tepe Deplasmanı Oranı Değerleri			En Büyük Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	Çevrim	(δ/h)	
Deney-1	**33.300**	17	0.0258	**1.000**
Deney-2	45.476	9	0.0220	1.365
Deney-3	124.800	8	0.0233	3.747
Deney-4	173.410	9	0.0222	5.207

Çizelge 10.5. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitesi ile ilgili deneysel sonuçlar (2. Deney numunesine göre)

Deney Numunesi	En Büyük Yatay Yük Anında Yük, Çevrim ve Tepe Deplasmanı Oranı Değerleri			En Büyük Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	Çevrim	(δ/h)	
Deney-1	33.300	17	0.0258	0.732
Deney-2	**45.476**	9	0.0220	**1.000**
Deney-3	124.800	8	0.0233	2.744
Deney-4	173.410	9	0.0222	3.810

Dört deney numunesinin rijitlik azalım eğrileri Şekil 10.5'de gösterilmiştir. Deneysel sonuçlardan başlangıç rijitliği ve son rijitlik ile ilgili olan değerler, bütün deney numuneleri için düzenlenerek en büyük yatay yükteki rijitlik Çizelge 10.6 ve Çizelge 10.7'de verilmiştir. Çizelgelerden de görülebileceği gibi, 3. ve 4. deney numunelerinin hem maksimum hem de son çevrim rijitlikleri 1. ve 2. deney numunelerine göre fazladır. 3. deney numunesinin rijitliği, 1. deney numunesine göre maksimum yükte %516.1, son çevrimde ise %249.6 daha fazladır. 4. deney numunesinin rijitliği 2. deney numunesine göre ise maksimum yükte %310.5, son çevrimde ise %128.8 daha fazladır.



Şekil 10.5. 1. 2. 3. ve 4. deney elemanlarının rijitlik azalım eğrileri

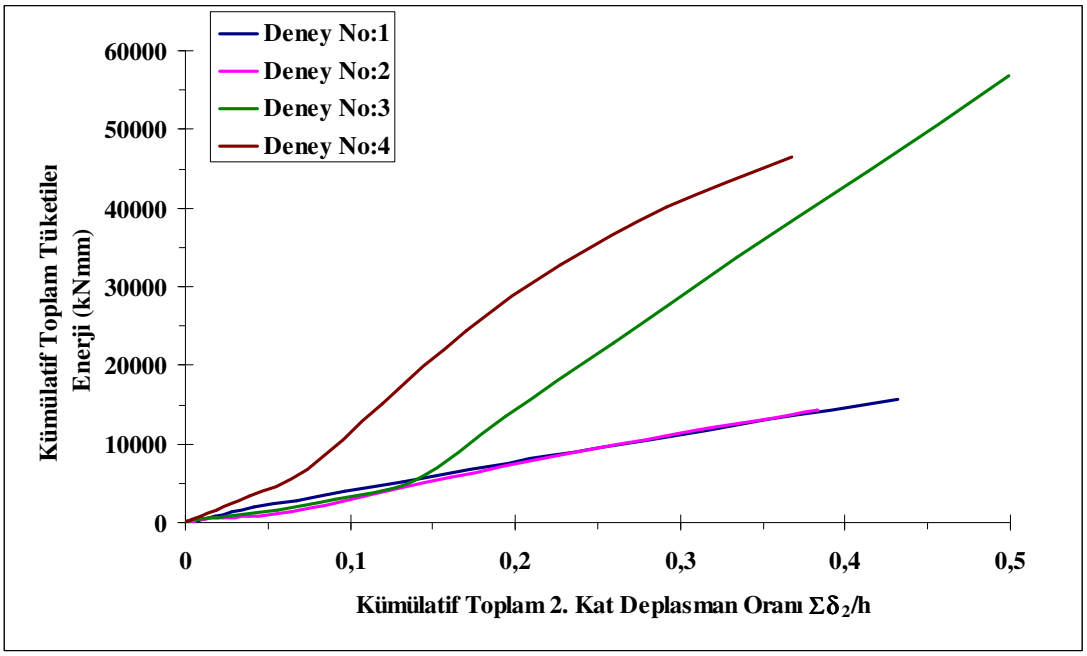
Çizelge 10.6. Deney numunelerinin rijitlikleri ile ilgili deneysel sonuçlar (1. Deney numunesine göre)

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)			Deplasman Oranları (δ/h)		1. Çevrim Rijitliklerinin Oranı	Maksimum Yük Rijitliklerinin Oranı
	1.Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim		
Deney-1	**7.470**	**0.621**	0.262	0.0258	0.045	**1.000**	**1.000**
Deney-2	5.900	1.240	0.351	0.0220	0.044	0.789	1.997
Deney-3	46.410	3.205	0.654	0.0233	0.048	6.212	5.161
Deney-4	41.366	3.851	0.452	0.0222	0.045	5.537	6.201

Çizelge 10.7. Deney numunelerinin rijitlikleri ile ilgili deneysel sonuçlar (2. Deney numunesine göre)

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)			Deplasman Oranları (δ/h)		1. Çevrim Rijitliklerinin Oranı	Maksimum Yük Rijitliklerinin Oranı
	1.Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim		
Deney-1	7.470	0.621	0.262	0.0258	0.045	1.266	0.500
Deney-2	**5.900**	**1.240**	0.351	0.0220	0.044	**1.000**	**1.000**
Deney-3	46.410	3.205	0.654	0.0233	0.048	7.866	2.585
Deney-4	41.366	3.851	0.452	0.0222	0.045	7.001	3.105

Dört deney numunesinin tüketilen enerji-tepe deplasman oranı grafikleri Şekil 10.6'da gösterilmiştir. Deneysel tüketilen enerji ile ilgili değerleri içeren ve bütün deney numuneleri için düzenlenerek Çizelge 10.8 ve 10.9'da verilmiştir.



Şekil 10.6. 1.2.3. ve 4. deneylerin kümülatif toplam tüketilen enerji – kümülatif toplam deplasman grafikleri

Çizelge 10.8 ve Çizelge 10.9'da verildiği gibi, 3. ve 4. deney numunelerinin hem maksimum hem de deney sonunda kümülatif enerji tüketme kapasitesi, 1. ve 2. deney numunelerine göre fazladır. 3. deney numunesinin kümülatif enerji tüketme kapasitesi, 1. deney numunesine göre maksimum yük seviyesinde %158, deney sonunda ise %397.6 daha fazladır. 4. deney numunesinin kümülatif enerji tüketme kapasitesi, 2. deney numunesine göre maksimum yük seviyesinde %437.8, deney sonunda ise %296.4 daha fazladır.

Çizelge 10.8. Deney numunelerinin kümülatif tüketilen ile ilgili deneysel sonuçlar (1. Deney numunesine göre)

	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Toplam Deplasman Değerleri		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda
Deney-1	**8543**	**14297**	0.222	0.383	**1.000**	**1.000**
Deney-2	3460	15692	0.109	0.432	0.405	1.097
Deney-3	13502	56850	0.194	0.499	1.580	3.976
Deney-4	15151	46511	0.119	0.367	1.773	3.253

Çizelge 10.9. Deney numunelerinin kümülatif tüketilen ile ilgili deneysel sonuçlar (2. Deney numunesine göre)

	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Toplam Deplasman Değerleri		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda	Maksimum Yük'de	Deney Sonunda
Deney-1	8543	14297	0.222	0.383	2.490	0.911
Deney-2	**3460**	**15692**	0.109	0.432	**1.000**	**1.000**
Deney-3	13502	56850	0.194	0.499	3.902	3.622
Deney-4	15151	46511	0.119	0.367	4.378	2.964