



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN, BİNA DIŞINDAN UYGULANAN BETONARME PREFABRİK PANELLER İLE ARTTIRILMASI

Nebi ÖZDÖNER

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart – 2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nebi ÖZDÖNER tarafından hazırlanan "**BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN, BİNA DIŞINDAN UYGULANAN BETONARME PREFABRİK PANELLER İLE ARTTIRILMASI** " adlı tez çalışması 18/03/2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI	.....
Danışman Yrd. Doç. Dr. Nail KARA	.....
Üye Prof. Dr. Kerim ÇINAR	.....
Üye Prof. Dr. Kadir GÜLER	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 08101001 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.



Nebi ÖZDÖNER

18.03.2011

ÖZET

Doktora Tezi

BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN, BİNA DIŞINDAN UYGULANAN BETONARME PREFABRİK PANELLER İLE ARTTIRILMASI

Nebi ÖZDÖNER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

2011, 200 sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Nail KARA
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Prof. Dr. Kerim ÇINAR
Prof. Dr. Kadir GÜLER
Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER

Ülkemizde son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçları yapıların büyük bir kısmının yeterli deprem dayanımına sahip olmadıklarını göstermiştir. Bu nedenle daha önce yaşanan depremlerde görülen son derece acı ve olumsuz sonuçların, olası yeni depremlerde en aza indirilebilmesi için, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem dayanımlarının belirlenmesi ve ekonomik görüldüğü takdirde, yeterli dayanıma sahip olmayan binaların güçlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Mevcut güçlendirme yöntemlerinin bir çoğunda kullanıcının binayı boşaltması gerekliliği nedeniyle yapı sahipleri bu yöntemlerin yapısında uygulanmasını istememektedir. Bundan dolayı kullanımda olan binaların güçlendirilebilmesinde, binanın boşaltılmasını gerektirmeyen 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 betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen ⅓ ölçekli, deprem dayanımı yetersiz, iki açıklıklı ve iki katlı bir adet güçlendirilmemiş betonarme çerçeve ve iki adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye farklı prefabrike dış paneller ilave edilmesi ile güçlendirilmiş / iyileştirilmiş sistem, deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, 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, prefabrike dış paneller eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi / güçlendirmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar, irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, prefabrike panel, güçlendirme, deprem etkisi.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

IMPROVING THE EARTHQUAKE SAFETY OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH PREFABRICATED OUTDOOR REINFORCED CONCRETE PANELS

Nebi ÖZDÖNER

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nail KARA

2011, 200 pages

Jury
Assist. Prof. Dr. Nail KARA
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Prof. Dr. Kerim ÇINAR
Prof. Dr. Kadir GÜLER
Assist. Prof. Dr. Rıfat SEZER

The investigations and researches performed after the earthquakes encountered in recent years in Turkey proved that some of the buildings did not have sufficient resistance against earthquakes. Therefore, in order to reduce the painful results observed in former earthquakes to the minimum level, the determination of the seismic performances of the buildings existing in the seismic zones and the application of strengthening process for insufficient buildings (if it's necessary and economic) become inevitable.

Although most of the strengthening methods require the users to vacate their buildings, the building owners do not want these methods to be applied on their buildings. Therefore, it is required to develop strengthening methods that will not require the buildings to be vacated.

In this study, a strengthening method that will differ from the others due to its outdoor application and not requiring the vacation of the building was investigated. For this purpose, an unstrenghtened reinforced concrete frame was produced with two bays and two floors without having sufficient seismic resistance, and additionally two existing reinforced concrete frames were strengthened / improved with two different types of prefabricated outdoor panels. In this context, the behaviors of these reinforced concrete frames prepared in 1/3 scale with the mistakes commonly encountered in existing buildings of Turkey was researched experimentally under reversed-cyclic lateral loading conditions. The characteristics such as strength, stiffness, energy consumption capacities of the multi-storey and multi-span brittle reinforced concrete frames of insufficient seismic resistance were obtained at the end of the tests and they were compared with the results obtained for the strengthened/improved systems formed by the addition of prefabricated outdoor panels to the existing reinforced concrete building having identical characteristics with the test specimens.

In the analytical part of the study, the results of the pushover analysis performed by using finite elements method were compared with the experimental results. In the last section, the experimental and analytical results were evaluated in detail and there were made suggestions.

Keywords: Reinforced concrete frame, prefabricated panel, strengthening, seismic effect.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, deprem açısından yeterli güvenlikte olmayan bir binanın, bina dışından uygulanacak olan prefabrike paneller yardımı ile yatay yük taşıma kapasitesinin arttırılması yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, 1/3 ölçekli, deprem dayanımı yetersiz, iki açıklıklı ve iki katlı üç adet betonarme deney çerçevesi hazırlanmıştır. Deney çerçevelerinin bir tanesi güçlendirilmemiş olarak ve iki tanesi de birbirinden farklı prefabrike dış paneller ile güçlendirilerek hazırlanmıştır. Deney elemanlarının deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sırasında her türlü yardımı esirgemeyerek yetişmemizi sağlayan başta İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mevlüt Yaşar KALTAKCI'ya, ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nail KARA'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca beni teşvik ederek çalışmalarımda bana destek olan Prof. Dr. Kerim ÇINAR, Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER, Doç. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ, Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN, Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN, Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN, Yrd. Doç. Dr. Ülkü Sultan YILMAZ, Yrd. Doç. Dr. Murat OLGUN, Arş. Gör. İ.Hakkı ERKAN, Arş. Gör. Mehmet Alpaslan KÖROĞLU, Arş. Gör. Arife AKIN, Arş. Gör. Alptuğ ÜNAL ve Tekniker Yüksel ÇİFTÇİ ile bana yardımcı olan diğer tüm hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca deneylerde kullanılan prefabrik panellerin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı PRESAN Prefabrik firması yetkililerine de teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca, benden desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım süresince yanımda olan başta eşim olmak üzere tüm aileme de şükranlarımı sunarım.

Nebi ÖZDÖNER

KONYA – 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Genel **1**
1.2. Betonarme Yapılarda Hasar **2**
1.2.1. Betonarme yapılarda hasar tespit çalışmaları **2**
1.2.2. Betonarme yapılarda hasar biçimleri **4**
1.2.1.1. Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında çatlak ve hasar biçimleri **4**
1.2.1.2. Taşıyıcı olan yapı elemanlarında çatlak ve hasar biçimleri **6**
1.3. Betonarme Binalarda Depremden Sonra Gözlenen Hasar Biçimleri **10**
1.3.1. Onarım ve güçlendirme **14**
1.3.2. Mevcut binaların değerlendirilmesi **15**
1.3.3. Sismik iyileştirme stratejileri **16**
1.3.4. Onarın ve güçlendirme malzemeleri **17**
1.3.5. Mevcut elemanların güçlendirilmesi **18**
1.3.6. Taşıyıcı sistemin yeni elemanlarla güçlendirilmesi **19**
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsam **23**
1.5. Çalışmanın Önemi **25**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **26**

3. MATERYAL VE METOT **60**

3.1. Deney Numuneleri **62**
3.1.1. Deney numunelerinin boyutları **63**
3.1.2. Deney numunelerinin detayları **64**
3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri **68**
3.1.3.1. Çerçeve betonu **68**
3.1.3.2. Donatı **72**
3.1.4. Ankraj donatıları **73**
3.1.4.1. Ankrajlarda görülen kırılma türleri **73**
3.1.4.2. Ankraj kapasitesine etki eden faktörler **76**
3.1.4.3. Ankraj detaylandırılması için yapılan çalışmalar **79**
3.2. Prefabrike Panellerin Hazırlanması **81**
3.2.1. Prefabrike panel kalınlığı **82**
3.2.2. Prefabrike panel donatıları **82**
3.2.3. Prefabrike panel betonu **86**

4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ **88**

4.1. Giriş **88**
4.2. Deney Düzeneği **88**
4.3. Ölçme Tekniği **90**
4.3.1. Yük ölçümleri **91**
4.3.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi **91**
4.3.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması **92**
4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği **93**
4.5. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı **97**
4.5.1. Deneylerdeki yükleme programları **98**
4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi **101**
4.6.1. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi **102**
4.6.2. Yatay yük – kat yer değiştirmesi ve moment – eğrilik grafiklerinin çizilmesi **102**
4.6.3. Dayanım zarfı grafiklerinin çizilmesi **104**
4.6.4. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi **104**
4.6.5. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi **106**

5. DENEY SONUÇLARI **108**

5.1. 1 Nolu Deney (DN1) **109**
5.2. 2 Nolu Deney (DN2-1PP) **122**
5.3. 3 Nolu Deney (DN3-2PP) **141**

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI **155**

6.1. Güçlendirilmemiş Numune ile Prefabrike Paneller (5 sıra) Kullanılarak Güçlendirilmiş Numunenin (1. ve 2. Deneyler) Karşılaştırılması **156**
6.2. Güçlendirilmemiş Numune ile Prefabrike Paneller (6 sıra) Kullanılarak Güçlendirilmiş Numunenin (1. ve 3. Deneyler) Karşılaştırılması **161**
6.3. Tüm Deney Numunelerinin (1., 2. ve 3. Deneyler) Birlikte Karşılaştırılması **165**

7. ANALİTİK ÇALIŞMA **170**

7.1. Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri **170**
7.1.1. SAP2000 – Statik itme analizi **171**
7.2. Deney Numunelerinin SAP2000 Programında Modellenmesi **174**

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME **184**

8.1. Giriş **184**
8.2. Sonuçlar **185**
8.3. Öneriler **190**

9. KAYNAKLAR **191**

ÖZGEÇMİŞ **200**

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	:	Kesit alanı, mm^2
A_{ch}	:	Perde duvarı enkesit alanı, mm^2
A_s	:	Boyuna donatı alanı, mm^2
A_{sh}	:	Perde duvarı yatay donatı oranı
A_{st}	:	Kolon boyuna donatı alanı, mm^2
b_c	:	Kolon kesit genişliği, mm
b_w	:	Kiriş veya perde duvarı kalınlığı, mm
c_1	:	Ankraj donatısının kenar mesafesi, mm
d	:	Kiriş ya da perde duvar faydalı yüksekliği ($0.8 \times l_w$), mm
d_c	:	Kesitin faydalı yüksekliği, mm
d_0	:	Ankraj donatısının çapı, mm
f_c	:	Beton basınç dayanımı, MPa
$f_{c(ort)}$	:	Çerçeve ve perdenin ortalama beton basınç dayanımı, MPa
$f_{c,\ 3gün}$	:	3 günlük beton basınç dayanımı, MPa
$f_{c,\ 7gün}$	:	7 günlük beton basınç dayanımı, MPa
$f_{c,\ 28gün}$	:	28 günlük beton basınç dayanımı, MPa
f_{ct}	:	Betonun eksenel çekme dayanımı, $0.35\sqrt{f_c}$, MPa
f_{ctf}	:	Betonun eğilmede çekme dayanımı, $0.70\sqrt{f_c}$,MPa
f_{sy}	:	Boyuna donatı akma dayanımı, MPa
$f_{sy,ort}$	:	Boyuna donatı ortalama akma dayanımı, MPa
f_{swy}	:	Etriye donatısı akma dayanımı, MPa
f_{su}	:	Donatı çeliğinin maksimum çekme dayanımı, MPa
f_{ut}	:	Ankraj çeliğinin çekme dayanımı, MPa
E_c	:	Beton elastisite modülü, MPa
H	:	Çerçeve yüksekliği, mm
H_{cr}	:	Kritik perde yüksekliği, mm
h	:	Kat ve perde duvarı yüksekliği, mm
h_{ef}	:	Ankraj derinliği, mm
h_i	:	Binanın i'inci katının kat yüksekliği, mm
I	:	Kesit atalet momenti, mm^2
l_w	:	Perde duvarı genişliği, mm

M	:	Moment, Nmm
M_{max}	:	Maksimum moment, Nmm
N	:	Deney elemanlarına uygulanan eksenel kuvvet, N
N_b	:	Tek bir ankrajın çekme dayanımı, N
N_{cb}	:	Ankraj grubunun çekme dayanımı, N
P	:	Deney elemanlarına uygulanan yatay kuvvet, N
s	:	Etriye donatısı aralığı, mm
V_c	:	Kolonda betonun taşıdığı kesme kuvveti, N
V_{cfr}	:	İlk eğilme çatlağı yükü, N
V_{etr}	:	Kolonda etriye donatısının taşıdığı kesme kuvveti, N
V_{kolon}	:	Kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi, N
V_r	:	Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N
V_{sh}	:	İlk kesme çatlağı yükü, N
V_u	:	Maksimum kesme kuvveti, N
$V_{u,\ perde}$	:	Perde duvarı tarafından karşılanan maksimum kesme kuvveti, N
y	:	Kesit tarafsız ekseninin dış beton lifine olan uzaklığı, mm
τ	:	Perde duvarında kesme gerilmesi, MPa
τ_c	:	Perde duvarı betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa
τ_b	:	Perde duvarı donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa
τ_u	:	Perde duvarı tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi, MPa
ρ	:	Kiriş ya da perde duvarı yatay donatı oranı
ρ_{min}	:	Minimum donatı oranı
ρ_t	:	Kolon boyuna donatı oranı
ρ_v	:	Perde duvarı düşey donatı oranı
R	:	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Δ_{max}	:	Maksimum kat ötelenmesi, mm
δ	:	Yatay yer değiştirme, mm
δ/h	:	Kat ötelenme oranı
$\Sigma\ l_w$	:	Toplam perde uzunluğu (kolon + perde uzunluğu), mm
ε_{cu}	:	Betonun ezilme birim şekil değiştirmesi
Φ	:	Nervürlü donatı çapı, mm
Ψ_2	:	Ankrajın beton serbest yüzüne olan mesafesine bağlı katsayı
Ψ_3	:	Donatının ankraj yapıldığı betondaki çatlak durumuna bağlı katsayı

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi çok çeşitli nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapılar ömürleri boyunca beklenmedik dış etkilere maruz kalabilmekte ve taşıma kapasitelerinin arttırılması gereği ortaya çıkabilmektedir. Betonarme bir yapının taşıyıcı sisteminde, proje veya yapım aşamasındaki hata ve kusurlar yapının yük taşıma kapasitesini önemli oranda azaltabilmektedir.

2007 yılında güncellenen, 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile taşıyıcı sistemde dikkate alınacak deprem kuvvetleri arttırılmış ve deprem performans kriterleri yeniden düzenlenmiştir. Yeterli proje ve inşaat denetiminin yapılamaması nedeniyle yurdumuzdaki mevcut yapı stokunda, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uymayan önemli miktarda yapı mevcuttur. Bu binalardan birçoğu sadece deprem güvenliği açısından değil aynı zamanda kendi ağırlığı altındaki güvenliği sorunlu durumdadır. Bu yapıların Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik usullerine göre değerlendirilmesi ve gerekiyorsa güçlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Depreme karşı yetersiz yapıların tamamının yenilenmesi pratik olarak mümkün olmamakla birlikte bu durumun düzeltilmesi de önemli maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle yapısal güçlendirme ve onarım yöntemlerine verilen önem son yıllarda oldukça artmıştır. Bu yöntemlerde temel amaç yapıların yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri ve elastik ötesi şekil değiştirmelerini arttırmaktır.

Deprem yönetmeliklerinin temel felsefesi, hafif şiddetteki depremlerde binalarda yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir zarar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise binaların kısmen veya tamamen göçmesinin ve can kaybının önlenmesi üzerine kurulmuştur. Herhangi bir nedenle hasar görmüş binaların emniyetli duruma getirilmesi için onarılması, güçlendirilmesi ya da iyileştirilmesi gerekmektedir. Güçlendirilen ya da onarılan binalarda temel hedef, binayı yönetmelik koşullarını sağlayacak deprem güvenliği seviyesine getirebilmektir.

Onarım ve güçlendirme yapının ilk tasarımından daha ayrıntılı hesap ve inceleme gerektirmektedir. Bu işlemler sırasında yapılan harcamaların önemli bir

bölümü mühendislik hizmetlerine ve uygulamada gereken özenli işçiliğe gitmektedir. Ayrıca kullanılan malzemenin de kaliteli olması gerekmektedir.

Son yıllarda yapılan araştırma ve deneysel çalışmalarla çok sayıda güçlendirme tekniği geliştirilmiş olmasına karşın, bu yöntemlerin birçoğunun pratik olarak uygulanması zor gözükmektedir. Bu nedenle günümüzde pratik, ekonomik ve bina kullanıcısını çok rahatsız etmeyen yöntemler üzerinde yoğunlaşılmıştır.

1.2. Betonarme Yapılarda Hasar

1.2.1. Betonarme yapılarda hasar tespit çalışmaları

Betonarme yapılarda hasar genellikle projede yapılan hatalar, malzemenin yetersiz olması ya da imalatta kusurların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Hasar bulunan binada onarım ve güçlendirme işlemine geçilebilmesi için, öncelikle proje üzerinde ve yapı yerinde yapılacak inceleme ve araştırmaların ayrıntılı olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Hasarlı olduğu belirlenen yapının projesi incelendikten sonra yapı yerinde hasar belirleme çalışmaları yapılmalıdır. Yapı henüz tamamlanmamış ise yapımında çalışan işçilerin can güvenliği sağlanmalı, bunun için de gerekiyorsa yapım işlemi durdurulmalıdır. Yapı tamamlanmış ve kullanıma açılmış ise kullanılıcıların güvenliği sağlanmalı, gerekiyorsa yapı boşaltılmalıdır.

Yapının hasar belirleme çalışmaları yapı projesi üzerinde ve yapı yerinde olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

- Yapı projesinde yapılacak incelemelerle;
  - Yapının mimari ve statik – betonarme projelerinin birbiriyle uyumlu olup olmadığı (projeler onaylı olmalı),
  - Taşıyıcı sistemin uygun ve doğru seçilip seçilmediği,
  - Statik – betonarme projesinin hesap ve çizimlerinin standart ve yönetmeliklere uygun olup olmadığı,
  - Tadilat yapılmış ise tadilat projesinin mevcut olup olmadığı,
  - Projede birtakım kusur ve hatalar varsa, bunların düzeltilmemesi sonucunda uygulamada meydana getireceği tehlikenin derecesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

- Yapı yerinde yapılacak incelemeler ve araştırmalarla ise;
  - Yapının hasar düzeyi ve hasarın nedenlerinin belirlenmesi,
  - Hasarın onarılması için uygulanacak onarım veya güçlendirme yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Yapının hasar düzeyinin, onarılması veya güçlendirilmesi mümkün olan bir seviyede olması durumunda bir araştırma programı hazırlanır. Bu programa uygun olarak aşağıda yer alan hususlar belirlenmeye çalışılmalıdır.

- Gözlem ile yapılan tespitler ve bunun sonucunda güvenliğin sağlanması amacıyla, yapının boşaltılması ya da askıya alınması gibi hemen alınması gereken tedbirler.
- Yapının projesiyle, imalatının uyumlu olup olmadığının kontrol edilmesi, farklı durumların not alınması ve boyutlarda uyuşmazlık varsa gerçek kesit boyutlarının ölçülerek belirlenmesi.
- Taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarın fotoğraf veya kroki olarak belgelenmesi. Hasar şüphesi olan elemanların üzerinde bulunan sıva, ahşap vb. kaplamaların kaldırılması.
- Taşıyıcı elemanlardaki kalıcı yer değiştirmelerin, şekil değiştirme ve sehimlerin belirlenmesi.
- Yapıdan malzeme numuneleri alınması ve bunların fiziksel özelliklerinin gerekli deneylerle tespit edilmesi.
- Gerektiğinde betonarme yapıda donatıların üstündeki beton örtü kaldırılarak donatının sınıfının ve miktarının belirlenmesi.
- Yapı çevresindeki zeminin özelliklerinin tespiti, bunun için gerekirse sondaj, ölçme ve benzeri işlemlerin yapılması.
- Yapı yerinde özel durumlar varsa bununla ilgili yapılacak işlemlerin belirlenmesi.

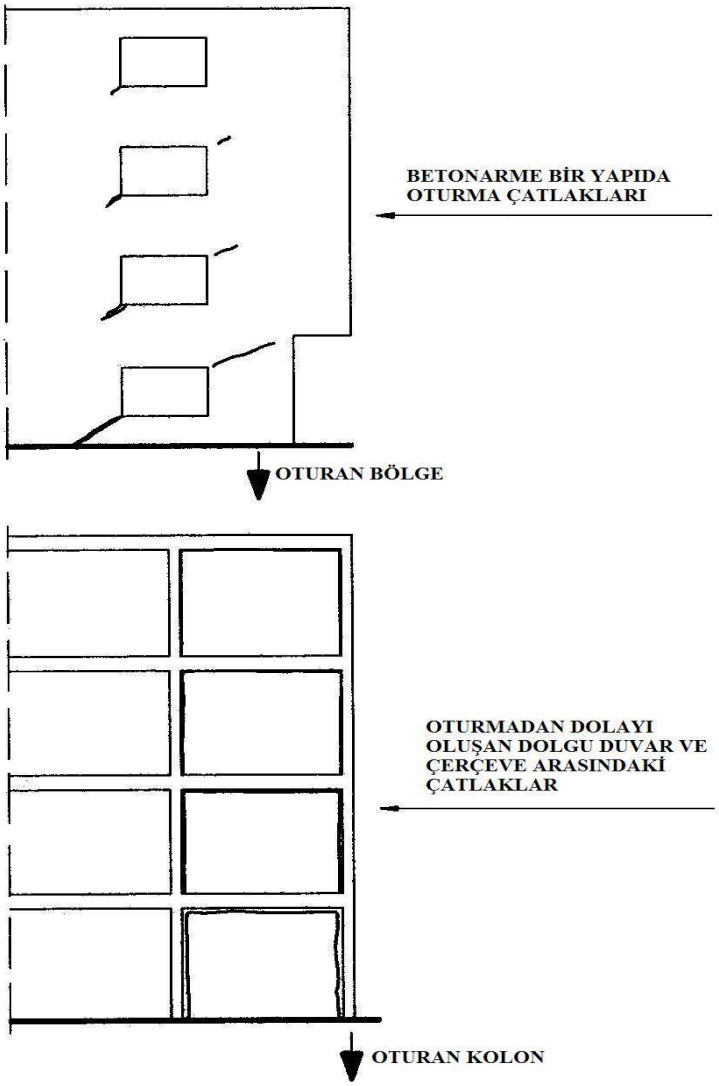
1.2.2. Betonarme yapılarda hasar biçimleri

1.2.2.1. Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında çatlak ve hasar biçimleri

Yapılardaki hasarın belirtisi genellikle sehim ve çatlak olup bazen de titreşimdir. Taşıyıcı bir elemanda öncelikle sehim meydana gelebilir. Sehim meydana gelen elemanda ilk aşamada çatlak oluşmasa da taşıdığı elemanda çatlak oluşabilir. Daha sonra sehimin artmasıyla taşıyıcı elemanda da çatlak oluşmaktadır.

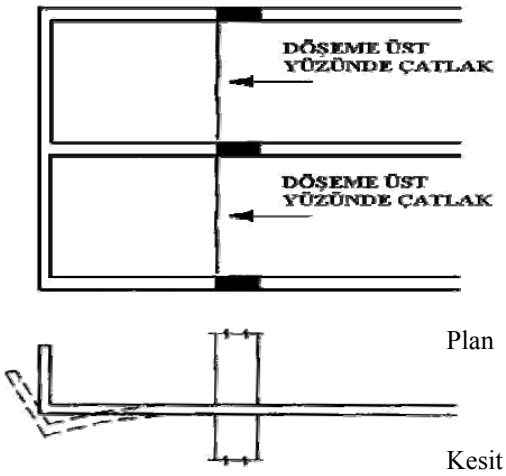
Taşıyıcı elemanlarda belirgin olarak şekil değiştirme meydana gelmesi o elemanın elastik yük taşıma limitinin üzerinde zorlandığını göstermektedir. Eğilme etkisinde de çatlak oluşur. Bunun yanında eleman basınç kuvveti etkisi altında ise oluşan deformasyon bu kez ezilme şeklinde olmaktadır. Beton yapı malzemesinin basınç dayanımının çekme dayanımından çok yüksek olduğu için yapıda öncelikle çekme çatlakları gözlenmektedir. Taşıyıcı elemanda deformasyon meydana getirebilecek diğer bir etki ise kesme kuvveti etkisidir. Kesme çatlakları ise betonarme elemanda 45° eğimli çatlaklar olarak kendisini göstermektedir.

Bölme duvarlarındaki hasarın bir diğer nedeni temellerdeki oturmalar ve elemanlardaki sehimdir. Betonarme yapılarda temellerdeki aşırı oturmalardan dolayı, özellikle oturan çerçevelerin içinde yer alan dolgu duvarların dört kenarında çerçeveden ayrılmalar olur ve pencere kenarlarında eğik çatlaklar oluşur. Yapıdaki oturmadan kaynaklanan bu tür hasarlar üst katlara gidildikçe azalır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Betonarme yapılardaki oturmalardan dolayı oluşan çatlaklar.

Betonarme yapılarda en çok görülen hasar türlerinden bir tanesi de, konsol (kapalı) çıkmaların aşırı uç sehimleri sonucu dış cephe duvarlarında görülen çatlaklardır. Konsollardaki aşırı sehimler, bu konsolun ucuna oturan dış cephe duvarlarında pencerelerin alt ya da üst seviyelerinde boydan boya uzanan çatlaklar oluştururken, yan duvarlarda da eğik çekme çatlakları meydana gelir. Bu tür hasarın daha kritik ileri aşamalarında konsol çıkmanın mesnedinde üst yüzeyde kalıcı çatlak oluşur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Konsoldaki aşırı sehim sonucu döşemede oluşan çatlaklar.

1.2.2.2. Taşıyıcı olan yapı elemanlarında hasar biçimleri

a) Betonarme döşemelerde hasar biçimleri

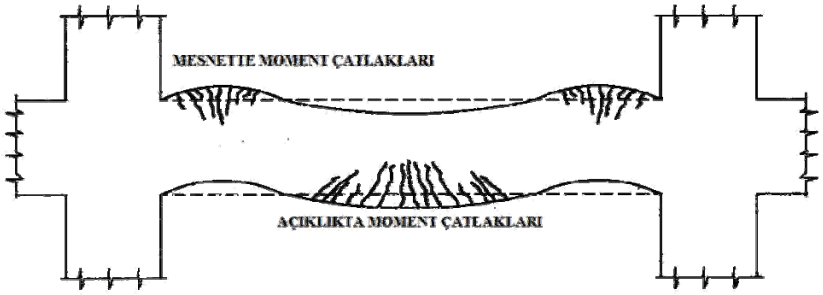
Döşemelerde gözlenen hasar çoğunlukla döşeme ortasında aşırı sehim ve döşemenin kenarlarında, kirişle birleştiği yerde, üst yüzeyde çatlak olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca döşemenin üzerinde dolaşırken aşırı titreşim yapması zayıflığının bir kanıtıdır. Bu belirtiler döşemenin açıklığına göre kalınlığının az olması, betonun tam sertleşmeden yüklenmesi yani kalıpların erken sökülmesi veya döşeme beton dayanımının projede öngörülen dayanımdan düşük olması gibi sebeplerden kaynaklanabilir. Depremlerde perde duvarlı yapılardaki döşeme hasarı, perdelerin yatay yükler altında dönmesi ile döşemeye ek momentlerin aktarılması sonucu oluşmaktadır.

Döşemelerde meydana gelebilecek hasarın nedenlerinden biride “zımbalama” dır. Kirişsiz döşemeli yapılarda döşemeden kolona kesme kuvveti aktaran alanın az oluşu sonucu son derece gevrek gelişen “ zımbalama kırılması ” oluşur. Döşemeler kolonların çevresinden kesilerek üst üste yığılırlar. Kesme kırılması başlangıcı, kolon çevresindeki döşemede örümcek ağı biçiminde çatlaklarla kendini gösterir (Bayülke, 1995).

b) Betonarme kirişlerde hasar biçimleri

Betonarme kirişlerde en çok meydana gelen hasar şekli açıklıkta meydana gelen eğilme çatlaklarıdır. Kirişlerde boyuna donatıların yetersiz miktarda oluşu nedeniyle oluşan bu güç tükenmesi çekme bölgesindeki çatlaklarla belirlenmektedir. Düşey yükler altında kirişin ankastre uç momentleri daha büyük olmasına rağmen bu bölgede döşemeden gelen donatıların bulunması ve kesitin daha geniş olması nedeniyle kirişin üst yüzeyinde çekme çatlakları ile beliren eğilme güç tükenmesi pek görülmemektedir.

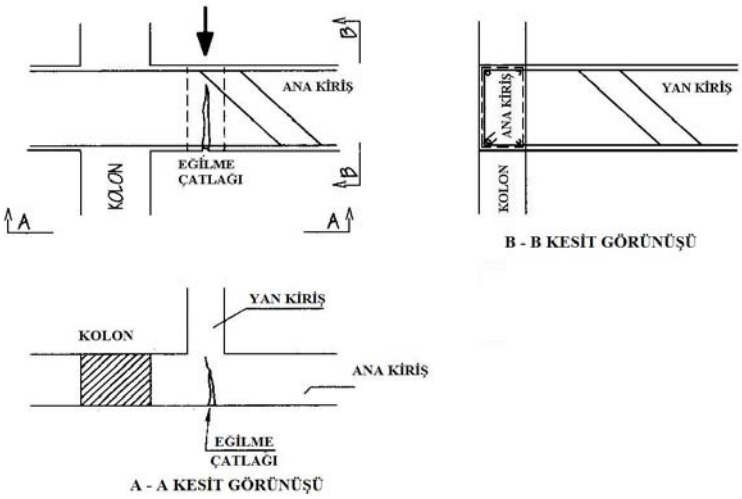
Betonarme kirişlerde düşey yüklerden dolayı en çok görülen hasar şekli, açıklıkta eğilme güç tükenmesidir. Bu güç tükenme, kirişte boyuna donatının yetersiz miktarda oluşu sonucu kiriş ortasında çekme bölgesinde oluşan çatlakla kendini belli etmektedir (Şekil 1.3).



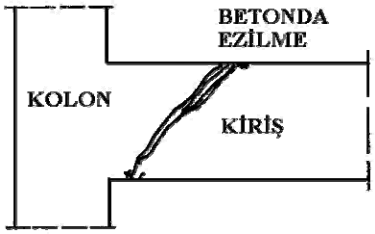
Şekil 1.3. Açıklıkta ve mesnette eğilme çatlakları (Düşey yükler altında).

Şekil 1.4’ de bir başka kirişin saplandığı yerde momentten dolayı betonda oluşan çatlak görülmektedir. Bu hasarın nedeni kirişin uç bölümüne yakın yere saplanan diğer kirişin mesnet reaksiyonunun ana kirişe tekil yük olarak etkimesi ve ana kirişte bu noktada önemli miktarda pozitif moment oluşmasıdır.

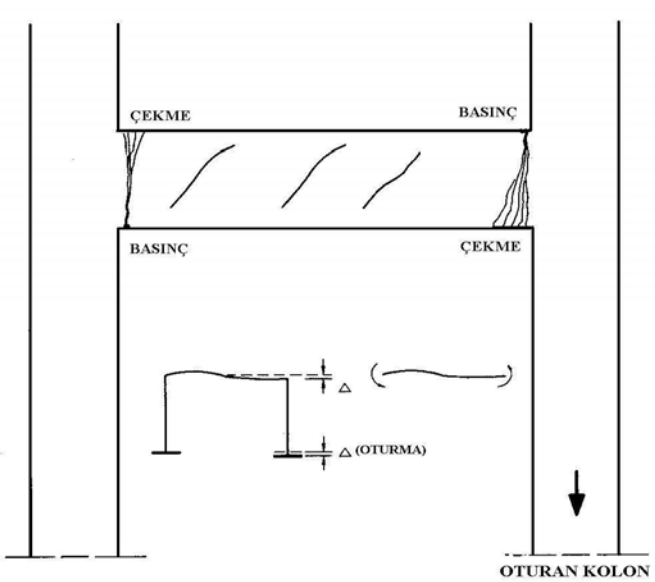
Kirişlerde tehlikeli olan ve gevrek bir kırılmaya yol açan hasar türlerinden biri de eğik çekme çatlaklarının oluşumudur. Bu çatlaklar kirişin kesme kuvveti taşıma gücünün yetersiz olduğunu gösterir. Şekil 1.5’ de eğik çekme çatlaklarının görünüşü verilmektedir. Ayrıca kirişlerdeki bu tür çatlaklar kolonlardaki oturmalardan dolayı da oluşabilmektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.4. Dolaylı mesnetlenen kiriş nedeniyle ana kirişte oluşan çatlak.



Şekil 1.5. Kirişte eğik çekme çatlakları.



Şekil 1.6. Kolondaki oturma nedeniyle kirişte oluşan eğik çekme çatlakları.

Kirişlerde diğer bir hasar şekli ise tali kirişin ana kirişin uç bölgesine yakın bir yerde saplanması sonucunda meydana gelmektedir. Tali kiriş mesnet reaksiyonunun ana kirişe tekil yük olarak etki etmesinden dolayı bu noktada önemli ölçüde pozitif moment oluşmaktadır. Bu noktada ana kirişin pilyelerinin bulunması nedeniyle moment kolu kısalmakta, dolayısıyla da moment taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bunun sonucunda kirişte çatlak meydana gelmektedir. Ayrıca beton kalitesinin iyi olmaması nedeniyle de kirişlerde hasar meydana gelebilmektedir.

c) Betonarme kolonlarda hasar biçimleri

Betonarme kolonlarda eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve momentten dolayı değişik şekillerde hasar meydana gelmektedir. Kolona etki eden bu kuvvetlerin kolon taşıma kapasitesinden fazla olması durumunda hasar ortaya çıkmaktadır.

Kolon eksenel yükünün aşırı olması yada kolonun beton basınç dayanımının projesinde öngörülen dayanımdan çok daha düşük olması sonucunda kolonda basınç kırılması hasarı meydana gelmektedir. Bu hasar kolon boyuna donatısının akma gerilmesine ulaşmadan betonun ezilerek çatlaması biçiminde gelişir. İlk belirtileri kolon dış yüzeyinde oluşan düşey çatlaklardır. Daha sonra ise kolon boyuna donatıları dışarıya doğru burkulmaktadır. Acil olarak hasarlı kolona yük aktaran elemanların askıya alınması ve kolonun onarılması gerekmektedir.

Kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesinin az olması durumunda yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları oluşmaktadır. Bu hasar beton dayanımının iyi olmaması, enine donatıların yeteri sıklıkta yerleştirilmemesi ve beton ile donatı arasında yeterli aderansın bulunmaması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aderansın yetersizliğinden dolayı beton ile donatı birlikte çalışmamakta dolayısıyla da hasar meydana gelmektedir.

Kolonlarda meydana gelen diğer bir hasar biçimi de burulma momenti etkisi ile oluşan hasardır. Bu hasar sonucunda kolonun bir tarafında diyagonal çatlaklar oluşur ve betonda dökülmeler oluşurken, diğer tarafında da yine diyagonal doğrultuda betonda basınç ezilmesi oluşur.

d) Betonarme perdelerde hasar biçimleri

Perde duvarlardaki hasar yapının kat sayısına göre değişmektedir. Az katlı yapılarda, yatay yüklerden oluşan eğilme momentleri, perde duvarın moment taşıma

kapasitesinden az olduğu için eğilme kırılması oluşmaz ve kesme çatlakları oluşur. Çatlaklar yatay ve düşey ile yaklaşık 45° lik açı yaparlar. Çok katlı perde duvarlı yapılarda ise zemin ve zemine yakın katlarda eğilme çatlakları oluşur. Uç elemanları kolonlar olan perdelerde ise elemanlarda oluşabilecek hasarlar, elemanların göreceli dayanımlarına göre değişmektedir. Eğer perdeler zayıf, kolonlar güçlü ise gövdede kesme kırılması oluşur. Eğer kolonlar zayıf ve etriye sıklaştırması yoksa kolonlarda perdenin dönmesi ile oluşan büyük basınç kuvvetleri boyuna donatıların burkulmasına ve betonun basınçtan ezilmesine neden olur. Ayrıca perde duvarların yapı içinde simetrik bir konumda bulunmamaları, deprem sırasında burulma etkilerine maruz kalmalarına yol açar. Burulma momenti düşey elemanlarda ek kesme kuvveti oluşturur.

e) Betonarme yapılarda korozyon hasarı

Beton elemanın çekme ve eğilme gerilmeleri karşısında çatlayıp kırılmasını önlemek amacıyla, çekme gerilmelerine maruz kalacak bölgelere yerleştirilen donatılarda zamanla, klorürlerin betona nüfuz etmesi veya karbonatlaşmanın oluşmasıyla paslanma da denilen "korozyon" olayı meydana gelebilmektedir. Betonun içindeki çelik çubukların korozyonu iki sakıncalı durumun oluşmasına yol açmaktadır:

- Korozyona uğrayan donatının kesitinde azalma olduğu için, belirli bir çekme kuvveti, etkisinde oluşan gerilme artmaktadır. Böylece donatı, daha az yük taşıyabilir bir duruma gelmekte ve betonda çatlamalar, kırılmalar oluşmaktadır (Erdoğan, 2003).
- Tepkime sonucu ortaya çıkan korozyon nedeniyle hacim artışı meydana gelir. Bu ürünler çelik çubukların yüzeyine yerleştiği için, sertleşmiş betonun içerisinde büyük gerilmeler oluştururlar ve betonda çatlamalar, daha ileri aşamada ise betonda kabuk atma meydana gelir.

1.3. Betonarme Binalarda Depremlerden Sonra Gözlemlenen Hasar Biçimleri

Türkiye nüfusunun %98'i aktif deprem bölgelerinde bulunmakla beraber deprem konusu 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nden sonra gündemde çok daha fazla yer almaya başlamıştır. Deprem halen ülkemizde önemli doğal afetlerden birisi olma özelliğini korumaktadır. Türkiye'de son yıllar içinde yüz binlerce bina, depremlerin etkisiyle tamamen yıkılmıştır. Ülke ekonomisinin sadece yıkılan binalar açısından

uğradığı ortalama zarar miktarı Çizelge 1.1 ’de gösterilmektedir. Büyüklüğü 7 (M_s)’den fazla olan depremlerin listesi ise Çizelge 1.2 ’de verilmiştir. Depremlerde hasar gören ya da tamamen yıkılmış binaların büyük çoğunluğu betonarme binalardan oluşturmaktadır. Betonarme binalarda bu kadar fazla hasar meydana gelmesinin altında yatan nedenler ise, aşağıda kısa başlıklar halinde özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye’de depremlerde yıkılan binalar açısından ekonomik kayıplar (Doğangün, 2004).

Bir Apartmanın Yaklaşık Oturum Alanı (m^2)	Ortalama Kat Sayısı	Maliyet (TL/m^2)	Yıkılan ya da ağır hasar gören bina sayısı	Toplam maliyet (USD)
200	3	260	500.000	78×10^9

Çizelge 1.2. Türkiye’de son 100 yıl içinde olan depremler (Çağatay, 2005).

G/A/Y	Ms	Yer	Ölü Sayısı	Ağır Hasarlı Binalar	N	E	Derinlik (km)
09.08.1912	7.3	Mürefte	216	5540	40.6	27.2	16
31.03.1928	7	İzmir-Torbalı	50	2100	38.18	27.8	10
06.05.1930	7.2	Hakkari	2514	3000	37.98	44.48	70
22.09.1939	7.1	İzmir-Dikili	60	1235	39.07	26.94	10
26.12.1939	7.9	Erzincan	32962	116720	39.8	39.51	20
20.12.1942	7	Niksar-Erbaa	3000	32000	40.87	36.47	10
26.11.1943	7.2	Tosya-Ladik	2824	25000	41.05	33.72	10
01.02.1944	7.2	Bolu-Gerede	3959	20865	41.41	32.69	10
06.10.1944	7	Ayvalık-Edremit	27	1158	39.48	26.56	40
23.07.1949	7	İzmir-Karaburun	1	824	38.57	26.29	10
17.08.1949	7	Karlıova	450	3000	39.6	40.6	40
18.03.1953	7.4	Yenice-Gönen	265	9670	39.99	27.36	10
16.07.1955	7	Aydın-Söke	23	470	37.65	27.26	40
25.04.1957	7.1	Fethiye	67	3100	36.42	28.68	80
26.05.1957	7.1	Bolu-Abant	52	4201	40.67	31	10
06.10.1964	7	Manyas	23	5398	40.3	28.23	24
22.07.1967	7.2	Adapazarı	89	5569	40.67	30.69	33
28.03.1970	7.2.	Gediz	1086	9452	39.21	29.51	18
24.11.1976	7.2	Çaldıran-Muradiye	3840	9552	39.12	44.16	10
17.08.1999	7.4	Kocaeli	22000	50000	40.7	29.91	20
12.12.1999	7.3	Düzce	550	3000	40.79	31.21	11

a) Mimari tasarım hataları

Depremde hasar gören yapılarda göze çarpan en önemli kusur, yanlış mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı ile ilgili yapılan hatalardır. Deprem açısından sakıncalı bir mimari tasarımı inşaat mühendisinin depreme dayanıklı hale getirmesi çok zor ve bazen imkânsızdır. Bazı mimarlar tarafından öne sürülen kolaycı yaklaşım ise, depreme dayanıklı yapı felsefesinin mimari yaratıcılığı kısıtladığı yönündedir.

b) Yumuşak kat ve/veya zayıf kat oluşumu

Çoğu binada özellikle zemin katların, nadiren de ara katların dükkan ve galeri yapılması amacıyla dolgu duvarların kaldırılması ile bu elemanların sağlayacağı ekstra rijitlik ortadan kalkmış olacak ve bu katlarda üst katlara göre yanal ötelenme daha fazla olacaktır.

c) Yüksek miktarda burulma

Deprem yönetmeliğinde önerilen, özellikle taşıyıcı sistemin hem planda hem de düşey doğrultuda simetrik ve basit olmasıdır. Böylece yapı elemanlarının maruz kalabileceği burulma momenti en aza indirilmiş olacaktır.

d) Yapı ağırlığının gereksiz yere arttırılması

Depremde yapıya gelen kuvvetler yapı ağırlığı ile doğru orantılı olduğu için fonksiyonların yerine getirilmesi açısından bir zorunluluk olmadıkça gereksiz ağırlıklardan kaçınılmalıdır.

e) Kısa kolon oluşturulması

Özellikle okul ve hastane gibi yapıların koridorlarında kolondan kolona yapılan ve genellikle statik projede varlığı dikkate alınmayan bant pencereler ile merdivenlerdeki ara kat sahanlığı kolonlarda gevrek kırılmaya neden olabilmektedir.

f) Binalar arası derzlerin yetersizliği

Birbirlerine bitişik olarak inşa edilen, fakat aralarında yeterli deprem derzi bulunmayan binalar, deprem titreşimleri sırasında özellikle tabliye seviyeleri farklı olan binaların birbirlerine çarparak ağır hasara uğramalarına neden olabilir.

g) Yeterli yanal rijitliğin sağlanmaması

İkinci mertebe etkilerin azaltılması ve taşıyıcı olmayan eleman hasarlarının önlenmesi için yapının yanal ötelenmesi, yönetmelikte verilen maksimum değerlerin altına çekilmelidir. Yapılarda oluşabilecek fazla ötelenme, her iki doğrultuda yerleştirilecek perde duvarlarla önlenebilir.

h) Malzemenin etkin olmayan kullanımı

Yapı üretiminde inşaat mühendisinin sorumluluğu zemin etüdü, taşıyıcı sistem seçimi, proje tasarımı, inşaat süresince kontrol ile sınırlı kalmaz; malzeme seçimi ve denetimi de bu süreç içinde önemli yer tutar. Türkiye'de uygulamada kaliteli yapı malzemesi üretimi ve daha çok kullanımı konusunda yetersizlik bulunduğu aşikârdır. Depremde hasar gören ve göçen binalarda bu yetersizliğin payı büyüktür. Düşey yükler altında yeterli gibi görünen düşük kalitedeki beton, özellikle deprem sırasında büyük hasarların kaynağı olabilir. Deprem sonrası yapılan gözlemlerde betonun donatıları sarmadığı, toz gibi dağıldığı, ufalandığı görülmüştür. Betonun sadece basınç dayanımına bakılarak kalitesinin tanımlanması ve böylece dayanıklılık testlerinin göz ardı edilmesi, ortaya çıkabilecek hasarların diğer bir sebebidir.

i) Detaylandırmadaki kusurlar

Deprem sonrasında yapı sistemlerinin ayakta kalabilmesi, yeterli enerji tüketimleriyle mümkündür. Enerji tüketimini sünekliğe, sünekliği ise büyük ölçüde yeterli dayanıma ve sargı etkisine bağlayabiliriz. Özellikle potansiyel mafsal oluşma bölgeleri olan kiriş ve kolon uçlarında (mafsalların kiriş uçlarında oluşması tercih edilmektedir), detaylandırma hataları sonucunda yeterli süneklik oluşmazsa yada betonarme elemanların uç noktalarında dönme kapasiteleri sağlanamazsa, istenen

süneklik oluşamaz. Betonarme yapılarda kolon ve kirişlerin mesnetlere yakın bölgelerinde etriyelerin sıklaştırılması ve çekme donatısının belirli sınırları aşmaması gibi önlemlerin birçok yapıyı genel göçme tehlikesinden kurtardığı gözlenmiştir. Donatı bindirme boylarının yetersiz olması, donatı bindirmesinin tümünün kritik kesitte yapılması, kolonlarda kesme kırılmasına dolayısıyla gevrek davranışa neden olmaktadır. Özellikle hasar görmüş binalarda gözlenen bazı detaylandırma kusurları şu şekilde özetlenebilir;

- Kolon ve kiriş uçlarının yeterli sarılmaması,
- Minimum ve maksimum donatı oranlarına uyulmaması,
- Bindirme boylarının yetersiz olması,
- Kolon – kiriş birleşim bölgesinde kolonda sargı donatısının bulunmaması,
- Yetersiz kenetlenme (Arslan, 2007).

j) Deprem etkisi altındaki zeminin davranışı

Depremlerde oluşan hasarlar, bir noktadan diğerine ve yerel zemin özelliklerine bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Zemin tabakalarının tür, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde yapılmış aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasar oluşmasına yol açmaktadır. Zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkileri;

- Zemin tabakalarının sıvılaşması,
- Zemin tabakalarında göçmeler ve oturmalar,
- Zemin koşullarının deprem özelliklerini büyütmesi,

olarak özetlenebilir. Yerel zemin farklılıkları, yapının projelendirme ve üretim aşamasında göz önüne alınmalıdır.

1.3.1. Onarım ve güçlendirme

Güçlendirme, yapı veya yapı elemanları kapasitelerinin artırılarak istenilen veya mevcut kapasitesinin üzerine çıkartılması; onarım ise, hasar görmüş yapı veya yapı elemanlarının kapasitelerinin hasar öncesi düzeyine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Güçlendirme, yeterli deprem güvenliği bulunmayan veya yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı hasar görmüş olan yapıların iyileştirilmesi için gereklidir.

Uluslararası literatürde sismik rehabilitasyon olarak da anılan güçlendirme/iyileştirme işlemleri, çeşitli amaçlar için ve çeşitli yöntemlerle uygulanmaktadır. Yapılarda deprem öncesi hasarsız durumdayken güçlendirme; deprem sonrası hasar görmüş yapıda ise, onarım ve/veya güçlendirme (sismik rehabilitasyon / iyileştirme) yapılabilmektedir. Deprem öncesinde ve sonrasında uygulanacak iyileştirme teknikleri ile ilgili literatürde çok sayıda araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar 2. Bölüm'de özetlenmiştir. Araştırmalar, mevcut çerçevelerinin boşluklarının dolgulu hale getirilmesi, çapraz çelik profiller ile perde davranışına yakın bir davranışın elde edilmesi, dayanım ve sünekliği artırıcı malzeme ya da tekniklerin kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu işlemler yetersiz olan yapıda, yerine göre yapı taşıyıcı sisteminde güçlendirme / onarım olarak yapılabildiği gibi, yapıda mevcut elemanlar için tek tek de uygulanabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, yalnız eleman düzeyinde bir güçlendirme / onarım için;

a) güçlendirilecek / onarılacak elemanların yeterli sünekliğe sahip olmaları,
b) bu elemanların yapı içinde sayılarının sınırlı olması,
c) deprem yönetmeliklerinin vermiş olduğu katlar arası rölatif ötelenme oranlarının sınırlanmış olması,

şartlarının sağlanması gerekmektedir. Yapıda rijitlik sorunu varsa ya da güçlendirilecek eleman sayısı çok fazla ise, yapıya betonarme perdeler ekleyerek güçlendirme ve yanal rijitliği artırma pratik bir çözümdür.

Onarım, güçlendirme ya da iyileştirme işlemlerine karar vermeden önce mevcut binaların değerlendirmelerinin nasıl yapıldığı ve onarım, güçlendirme ve iyileştirme yöntemleri türlerine göre ayrılarak kısaca tanıtımı aşağıda verilmiştir.

1.3.2. Mevcut binaların değerlendirilmesi

Türkiye'de özellikle 1992 Erzincan Depremi'nden sonra hız kazanan güçlendirme işlemleri günümüze kadar geleneksel yöntemlerle yapıla gelmiştir. Mevcut durumda konu ile ilgili yürürlükte olan herhangi bir yönetmeliğin olmaması (2007 deprem yönetmeliği ile giderilmeye çalışılmıştır.) ve binalardaki çeşitlilik, çoğu zaman güçlendirme işlemlerini daha da zorlaştırmaktadır. Binada mevcut durumun değerlendirilmesi ve taşıyıcı sistemin belirlenmesi için gerekli adımlar aşağıda özetlenmiştir (Celep, 1999):

1. Binanın mimari rölevesinin hazırlanması.
2. Binanın taşıyıcı sistem rölevesinin hazırlanması.

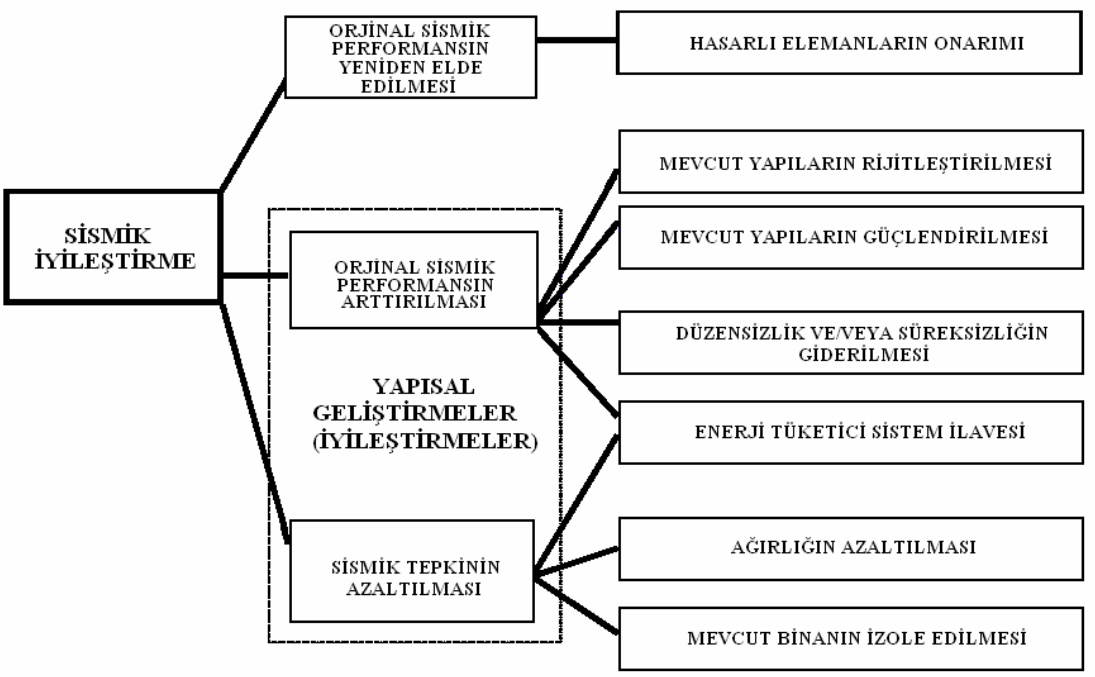
3. Binada beton kalitesinin belirlenmesi.
4. Binada donatı kalite ve düzeninin belirlenmesi.
5. Geoteknik bilgilerin belirlenmesi.

Yapılan çalışmaların sonuçları, bina için hazırlanan bir güvenlik raporunda özetlenmelidir. Güvenlik incelemesi sonucu taşıyıcı sistemdeki bazı olumsuzlukların düzeltilmesi için, güçlendirme ve onarım yapılmaktadır. Betonarme yapı elemanlar için günümüzde de kullanılan çeşitli güçlendirme malzemeleri mevcuttur (Celep, 1999).

1.3.3. Sismik iyileştirme stratejileri

Sismik iyileştirmede amacı; yapının hasar görmeden önceki performansına ulaşması, yapının taşıma gücünün mevcut değerinin üstüne çıkarılması, binanın depremden hasar görmesinin ve sismik tepkinin azaltılmasının minimuma indirilmesidir.

Yapının hasar görmeden önceki performansının veya daha yüksek kapasiteye yükseltilmesi için kullanılan genel yaklaşım, şematik olarak Şekil 1.7'de verilmiştir. Burada gösterilen yaklaşımlarla, mevcut dayanım, süneklik ya da hem dayanım hem de süneklik beraber olarak artırılmaktadır (Arslan, 2007).



Şekil 1.7. Sismik iyileştirme stratejisi (Arslan, 2007).

1.3.4. Onarım ve güçlendirme malzemeleri

Taşıyıcı elemanların onarım ve güçlendirilmesinde uygulamada en çok tercih malzemeler şunlardır;

a) Tamir harcı

Kiriş, kolon, perde ve döşemelerde, korozyon ve yapım kusurları sebebiyle beton dökülmesi meydana gelmiş, donatı ortaya çıkmış ise, hazır tamir harcı kullanılabilir.

b) Püskürtme beton

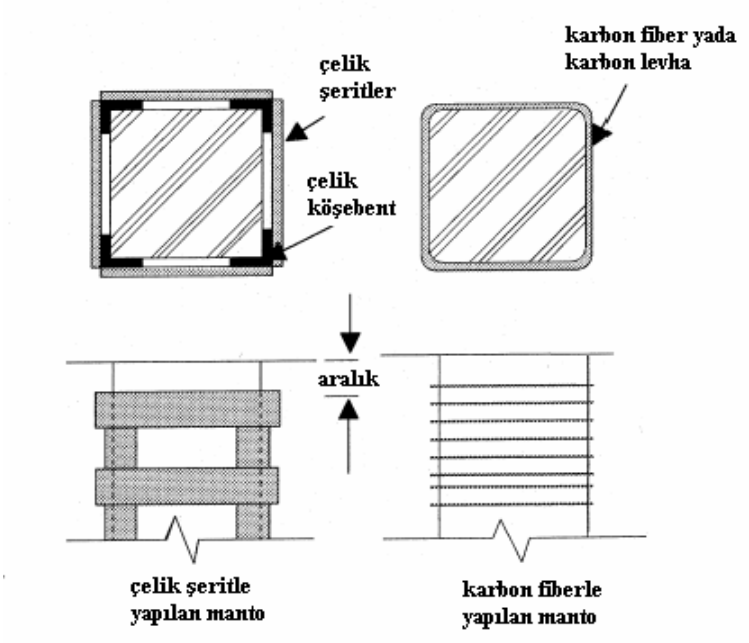
Püskürtme beton, betonarme ve yığma yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde geniş bir kullanım alanı bulur.

c) Epoksi reçinesi

Bir elemanı ya da bir bölgeyi güçlendirmek için genellikle tek başlarına kullanılmaz. Yangına karşı dayanıksızdır. Çatlak enjeksiyonu, çelik plaka ya da lifli polimerlerin (LP) tespitinde kullanılır.

d) Çelik şeritler ve lif takviyeli plastik levhalar

Betonarme elemanlar enine ve boyuna doğrultuda çelik şeritler kullanılarak güçlendirilebilirler. Epoksi reçineleri ile beraber kullanılırlar. Şerit uygulaması ile elemanın rijitliğinde bir değişiklik olmazken, eleman kesitlerinde eğilme momenti ve kesme kuvveti kapasiteleri arttırılarak, sarılan çelik şeritler bu bölgede enine basınç oluşturarak, deprem etkisi durumunda betonun dolayısıyla elemanın sünekliğini arttırır. Lif takviyeli polimer levhaların ise, çelik şerit yapıştırma işine benzer bir uygulaması vardır. Hafif olması, korozyon tehlikesinin bulunmaması, köşelerde bükülebilmesi ve büyük boyutlarda bulunması üstün yönüdür. Şekil 1.8'de bu malzeme ile onarılmış bir kolonun şematik resmi görülmektedir.



Şekil 1.8. Kolon kesme kapasitesini artırmaya yönelik olarak çelik şerit ve lif takviyeli elemanlarla yapılan güçlendirme.

1.3.5. Mevcut elemanların güçlendirilmesi

Mevcut bir betonarme binanın güçlendirilmesi, genel olarak betonarme perde ilave edilerek gerçekleştirilir. Taşıyıcı sistem bir bütün olarak güçlendirilirken, bazı elemanlarda kapasite eksikliği görülebilir ve bunların ayrıca güçlendirilmesi yoluna gidilir.

a) Kirişlerin güçlendirilmesi

Dayanımı yeterli olmayan kirişler değişik şekillerde güçlendirilirler. Bu durumda, komşu kolonlar da dikkate alınarak kolona göre daha güçlü kiriş türünden bir birleşim bölgesinin meydana getirilmemesine özen gösterilmelidir.

b) Kolonların güçlendirilmesi

Kapasitesi yetersiz bir kolonun taşıma kapasitesi, kesit alanının büyütülmesiyle ve yeni boyuna donatılar ilave edilerek artırılabilir. Buna karşılık, kesme kapasitesi dayanımı ve sünekliği, enine donatının sıklaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Kolonun

taşıma gücü çelik şeritler kullanılarak arttırılsa da; yaygın olarak kullanılan yöntem, kolonun betonarme mantolanmasıdır.

c) Perdelerin güçlendirilmesi

Perdelerin içinde eğer varsa kapı, pencere boşluklarının doldurulması, betonda ezilme olmadığı durumlarda epoksi enjeksiyonu, perdelerde güçlendirme işinde yaygın olarak kullanılır. Perdelerde beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da kullanılabilir.

d) Temelin güçlendirilmesi

Temel sisteminin güçlendirilmesinde, mevcut temele ilave yapıldığı gibi, yeni temel düzenlenebilir veya temel zemini iyileştirilebilir.

e) Döşemenin güçlendirilmesi

Döşemelerde meydana gelen yerel çatlak ve hasarlar, epoksi, çimento şerbeti veya püskürtme betonu ile onarılabilir. Bununla beraber, üstten döşeme kalınlığı artırılabilir.

1.3.6. Taşıyıcı sistemin yeni elemanlarla güçlendirilmesi

Mevcut yapının rijitliğini ve yanal yük taşıma kapasitesini artırmanın en etkili yöntemi, mevcut yapı sistemine yeni elemanların eklenmesi üzerine kurulmuştur. Bu elemanların eklenmesiyle, taşıyıcı sistem yeterli rijitlik ve dayanım düzeyine erişebilir. İlave elemanlar yatay yükün %70 – %80'ini karşılarsa, diğer elemanlara etki eden yatay yükler azalır. Taşıyıcı sistemin depreme karşı güçlendirilmesinde yeni perdelerin ilave edilmesi (taşıyıcı sistem aksları içinde bina içinden) özellikle 1992 Erzincan Depremi'nden sonra en çok tercih edilen iyileştirme yöntemidir. Özellikle perdelerin yerinin ve miktarının seçimi, zaten zayıf olan mevcut sistemin daha fazla zorlanmaması için çok önemlidir. Burada üç önemli husus vardır;

a) Perdelerin yerlerinin seçiminde, deprem yükleri altında ek burulma momenti meydana getirilmemesine ve planda kütle ve rijitlik merkezlerinin mümkün olduğunca yakınlaştırılmasına dikkat edilmelidir.

b) Perde ile mevcut sistemin beraber çalışmasının tam olarak sağlanması gerekmektedir.

c) Eklenen perdelerin altında yer alacak olan temellerin mevcutla beraber çalışması ve perdenin ana donatılarının mevcut temelle olan bağlantısının tam olarak sağlanması gerekmektedir.

Güçlendirme perdeleri plandaki durumlarına göre değişik durumlarda ortaya çıkabilirler. Bunlar, sırasıyla aşağıda özetlenmiştir. Şekil 1.9 da ise betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde uygulanmakta olan seçenekler yer almaktadır.

a) İç betonarme perdeler

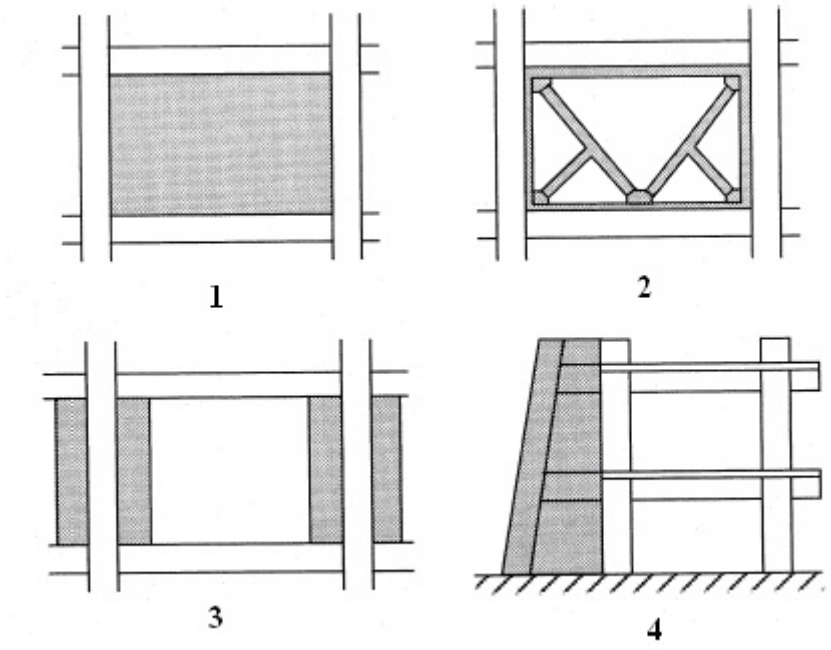
İç perdeleri, planda binanın iç kısmında bulunurlar. Genellikle iki uçtaki kolonlar mantolanarak mevcut sistemle bütünleşirler. Bu işlem özellikle perdelerin uç bölgelerinde oluşan çekme kuvvetlerinin kolon basınç kuvvetleri ile dengelenmesi ya da azaltılması ve sonuç olarak temele gelecek olan eksenel yük seviyesinin düşürülmesine sebep olacağı için önemlidir. Özel durumlarda orta kolonların iki yanına ya da kenar kolonun bina içine bakan kısmına eklenen parça perde duvar uygulaması da mevcuttur. Bu yöntemlerin mimari fonksiyonlar ve uygulanabilirlik yönünden bazı sıkıntıları mevcuttur. Özellikle, kullanılan mekânlarda yapılan bu iyileştirme yöntemleri, mimari fonksiyonun çoğu zaman değişmesine sebep olmaktadır. Diğer bir olumsuz yönü ise, gerek kamu binalarında ve gerekse konutlarda uygulanması durumunda, bina kullanımının uzun bir süre durmasıdır.

b) Eksenel betonarme perdeler

Kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve gözlerindeki bölme duvarları perdeye dönüştürülerek iyileştirme yapılabilir. Kolon ve kiriş eksenleri arasında kaldıkları ve mimari düzeni en az rahatsız ettikleri için tercih edilebilirler.

c) Dışmerkez (diyafram) betonarme perdeler

Bina yüksekliğinin artması ile büyüyen deprem kuvvetlerinin karşılanmasında güçlendirme perdesinin katlar arası sürekliliği daha da önem kazanır. Bunun gibi mevcut taşıyıcı sistemdeki kolon ve kirişlerin hasarlı olması veya kesit, donatı ya da beton kalitesinde belirsizlikler bulunması, perdelerin kiriş eksenlerine göre dışmerkez olarak yerleştirilerek döşemedeki deliklerle sürekliliğin sağlanmasını gerektirebilir. Bu durumda da komşu kolonların perdelerle bütünleşecek şekilde mantolanması uygundur (Celep, 1999). Şekil 1.9'da betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ya da iyileştirilmesinde uygulanan yöntemler, sembolik olarak gösterilmiştir. Burada 1 ile gösterilen perde dolgu duvar, 2 ile gösterilen çelik çaprazlama, 3 ile gösterilen parçalı dolgu duvar (kanat duvar) ve 4 ile gösterilen dış perde duvar uygulamasıdır. Dış perde ile güçlendirme metodunun uygulaması Şekil 1.10'da verilmiştir.

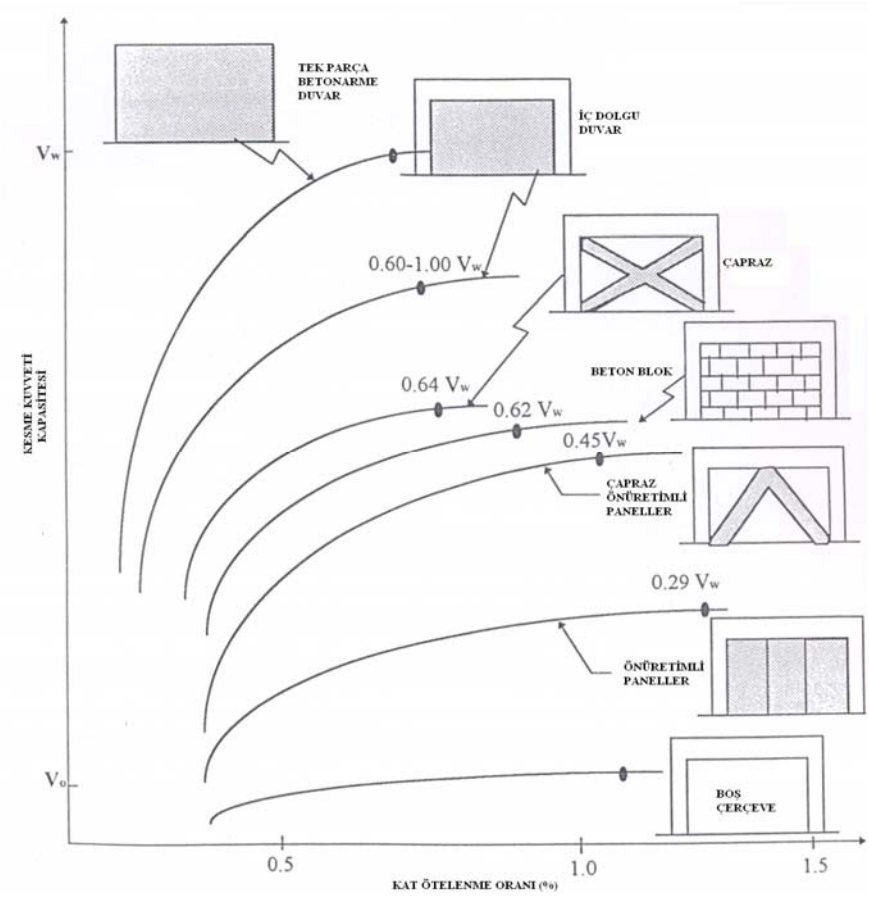


Şekil 1.9. Betonarme çerçevelerin yeni elemanlar ile güçlendirilmesi.

Güçlendirme ya da iyileştirme işlemlerinde önemli olan, yeterli deprem güvenliği bulunmayan yapıları güçlendirmek için kullanılan yöntemlerin çerçeveye etkiyen deprem kuvvetlerini azaltmasıdır. Günümüze kadar yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulara göre çok genel karşılaştırma eğrileri Şekil 1.11'de verilmiştir. Şekil üzerinden, betonarme çerçeveler üzerinde yapılmış çeşitli güçlendirme tekniklerinin kesme kuvveti taşıma kapasitesi açısından karşılaştırılması izlenebilmektedir.



Şekil 1.10. Dış perde duvar uygulaması, Pendik – İstanbul (SGM) (Arslan, 2007).

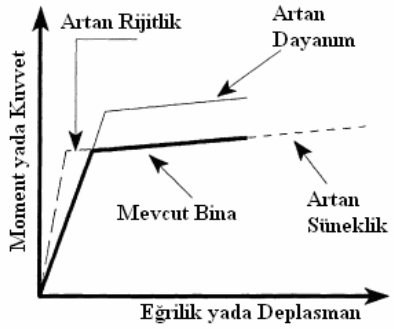


Şekil 1.11. Çerçeveler üzerinde yapılmış çeşitli güçlendirme tekniklerinin kesme kuvveti taşıma kapasitesi açısından karşılaştırılması.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, Türkiye'deki yapıların önemli bir kısmının TDY – 2007'nin şartlarını sağlamadığı dikkate alınarak, betonarme binaların güçlendirilmesinde binaya dışarıdan prefabrike paneller ilave edilmesi ile güçlendirme yönteminin etkinlikleri araştırılmıştır. Binayı oluşturan dış çerçevelerin perde davranışı sergilemesi amacıyla bu çerçevelerin bina dışından prefabrike panel ilavesiyle güçlendirilmesi düşünülmüştür. Çalışmanın ana fikri, binaların, terk edilmesine gerek kalmadan ve bina içinde ilave ince işler (sıva, boya, kaplama vb.) ortaya çıkmadan güçlendirilmesidir. Özellikle hastane ve okul binalarında hizmetin aksatılmaması düşünüldüğünde binaların boşaltılmasına gerek kalmadan uygulanabilecek bu yöntem tercih edilebilir özellikte olmaktadır. Yatay yük taşıma kapasitesi yetersiz olan binaların güçlendirilmesinde bina içerisine girilmeden tamamen bina dışından uygulanacak olan prefabrike paneller ile güçlendirme yöntemi mevcut binada en az işlemle yapılacak uygulanabilirliği yüksek ve ekonomik bir güçlendirme yöntemi olduğu düşünülmektedir.

Bütün güçlendirme yöntemlerinde olduğu gibi, bu yöntemle de yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesinin önemli ölçüde artması beklenmektedir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. İyileştirme ile yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitlikdeki değişim.

Buna göre yapılan bu çalışmanın amacı;

1) Dış prefabrike panel ilavesinin mevcut zayıf deprem dayanımlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısının irdelenmesi,

2) Dış prefabrike panel ilavesinin mevcut zayıf deprem dayanımlı betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki rijitliğine olan katkısının araştırılması,

3) İlave edilen prefabrike paneller ile mevcut sistemin enerji tüketme kapasitesindeki artışın araştırılması,

4) Mevcut çerçevenin ve güçlendirilmiş çerçevenin davranışının, hasar seviyelerinin, göçme durumlarının ve göçmeye sebep olacak plastik mafsal yerlerinin ve sırasının araştırılması,

5) İki farklı şekilde hazırlanmış olan dış prefabrike panellerin dayanımı arttırmaya olan etkilerinin araştırılması,

6) Dış prefabrike paneller ile mevcut betonarme çerçevenin ankraj demirleri ile birleştirildiği temelde herhangi bir ankraj sıyrılmasının olup olmayacağının araştırılması,

7) Panel altı temelinde herhangi bir dönme olup olmadığının tespit edilmesi,

8) Prefabrike paneller ile mevcut betonarme çerçevenin birleştiği bölgelerde uygun ankraj detaylandırmasının yapılması ve herhangi bir ankraj sıyrılmasının olup olmayacağının araştırılması vb..

Hedeflenen amaçlara ulaşabilmek için, bu tez kapsamında 1 / 3 ölçekli, bir adet güçlendirilmemiş çerçeve ve iki adet dıştan prefabrike paneller ile güçlendirilip iyileştirilmiş çerçeve deneyleri yapılmıştır. Çerçeveler ve prefabrike paneller yatay konumda üretilmiştir. Deneyler düşey konumda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çerçeveye uygulanan yatay yük, depremi benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme türüdür (quasi – static). Deneylerde kolonların boyuna donatı oranları ρ_t=0.014 olarak alınmıştır.

1.5. Çalışmanın Önemi

Ülkemiz topraklarının büyük kısmı deprem etkilerine maruz bölgelerde bulunmaktadır. Özellikle deprem riski taşıyan bölgelerde nüfusun ve ekonomik değerlerin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri az hasarla ya da hasar görmeden atlatan binalar olmakla birlikte, gerekli denetimin sağlanamadığı yeni yapılan yapılarda bulunmaktadır. Tüm bu yapıların yeni bir depremde hasar görme ihtimalleri bulunmaktadır. Deprem etkisine karşı güçlendirilmesi gereken bu binalarda kullanılacak yöntem, emniyetli ve ekonomik olmalıdır. Ayrıca özellikle hastane, okul ve benzeri binaların kullanımını aksatmadan uygulanabilmelidir.

Ülkemizde son yıllarda yaşanan depremler sonrasında birçok güçlendirme projesi uygulanmış yapı bulunmaktadır. Bu yöntemlerin uygulandığı çok katlı betonarme binalar incelendiğinde, güçlendirme işlemlerinin oldukça uzun sürdüğü ve binayı kullananları yorduğu açıkça görülmektedir. Birçok binada güçlendirilmenin çok acil ve önemli olmasının belirlenmesine rağmen güçlendirme yönteminin binanın etkin olarak kullanımına engel olması nedeniyle binanın güçlendirilmesinden vazgeçildiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, güçlendirilecek binaların kullanımına engel olmadan, tamamen bina dışından uygulanabilecek ve ekonomik olduğu düşünülen bir yöntem önerilmekte ve araştırılmaktadır. Bu modelde, diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, bina kullanıcılarının imalat sırasında binayı terk etmeden, bina içerisindeki ince işçiliğe zarar vermeden binanın dışından yapılabilecek sistem iyileştirme yöntemi araştırılmıştır. Bu yöntemin ülkemizde yoğun olarak kullanılan ve kullanımına ara verilmesi istenilmeyen hastane, sağlık ocakları ve okul benzeri binalar için büyük önem taşıyan bir yöntem olacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Betonarme çerçevelerin ve betonarme yapı elemanlarının yatay yük etkisi altındaki davranışıyla ilgili çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Benjamin ve Williams (1957), yaptıkları çalışmalarda tek katlı, tek açıklıklı 45 adet betonarme 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 yaklaşık olarak aynı kesme gerilmesi 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 taşıma mekanizmasının yükün geliş yönüne göre diyagonal bir basınç çubuğu ile modellenebileceğini ortaya koymuştur. Dolgunun türüne ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayına bağlı olarak bu diyagonal 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 denemişlerdir. Deneylerde değişken olarak dolgu kalınlığı, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, yatay yükteki

değişim, kiriş ve kolon rijitliklerinin oranındaki değişim kullanılmıştır. Bunun sonucunda, dolguların yatay yük taşıma kapasitesini % 70 artırdığını görmüşlerdir. 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, bağlantısız dolgulu çerçeveler için; diğeri ise, bağlantılı dolgulu çerçeveler içindir. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmakta ve bağlantıların 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 uygulanabilen bir yöntemdir. 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 tasarlanmış 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. İmalatı yapılan dolgu çerçeveler, paneldeki çatlamanın yerleştirilen yatay ve düşey donatılar boyunca dağılmasını sağlamak ve çerçeve elemanlarında kesme kırılması oluşumunu önlemek veya geciktirmek amaçlarıyla üretilmiştir. 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 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 elemanlar kullanmıştır. Deney elemanlarında boşluk alanı etkisi, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı detayı ve çerçevenin yükseklik/genişlik oranın etkileri incelenmiştir. Deneyler sonunda boşluk olan bağlantısız 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 yapmışlardır. 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 rijitlikte 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 görülmüştür. Ayrıca 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 açmışlardır. 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.

Canbay ve Sucuoğlu (1998), çalışmalarında, Dinar depreminde orta dereceli hasar görmüş ve daha sonra onarılmış olan betonarme iki adet yapıyı incelemişlerdir. Bu binaların onarılmadan önceki ve onarıldıktan sonraki durumları için, iki boyutlu modeller kullanarak lineer olmayan statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak statik itme analizi (pushover analiz) kullanılarak yatay yük-yatay deplasman eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra Dinar depremi kayıtları dikkate alınarak zaman tanım alanında (time history) lineer olmayan analiz yapılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Güçlendirme ve onarım sonrası her iki yapının da artan rijitlik ve dayanım değerleri 1975 ve 1997 Türk Deprem Yönetmeliği şartları bakımından başlangıçtaki ve deprem öncesi durumlarıyla karşılaştırılmıştır. Tuğla dolgu duvarlar, mevcut duvarların yatay dayanım ve rijitliğini temsil edecek şekilde diyagonal kuşak elemanlarla modellenmiştir ki, bu modelin doğruluğu laboratuar deneyleriyle kanıtlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, onarılan sistemlerin gelecekte beklenen şiddetli depremler etkisi altında bir hasar riski taşımasına rağmen, kullanılan onarım ve

güçlendirme yönteminin etkinliğini göstermektedir. Bu çalışmada temel güçlendirme yöntemi olarak, hasarlı yapıların dayanım, rijitlik ve deformasyon kapasitesini arttırmak için kullanılan perde duvar ilavesi seçilmiştir. Çerçeve elemanlarıyla perde duvarları birbirine bağlayan kirişler yüksek miktarda kesme kuvvetini almakta ve sismik hareket esnasında erken akmaktadır. Bu kirişlerin kapasiteleri kontrol edildiğinde eğilmeden dolayı mafsallaşma olması için yeterli kesme kapasitesine sahip oldukları görülmüştür. Bundan dolayı, 1995 Dinar depreminin yer hareketi büyüklüğündeki bir depremde, güçlendirilen bu binalarda yapısal olmayan ve sınırlı yapısal hasar meydana gelmesi beklenmektedir.

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 ve 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.

Celep (1999), 17 Ağustos 1999 depreminden sonra hazırlamış olduğu güçlendirme ve onarım rehberinde, yurdumuzda deprem hasarlarının ana sebeplerini önem sırasına göre şu şekilde özetlemektedir,

- Beton kalitesinin düşük olması hasarın en önemli nedeni olarak görülebilir. Betonun elastisite modülünün düşük olması büyük yatay şekil değiştirmelerine sebep olacağı için, bölme duvarlarda ve mimari elemanlarda büyük hasar meydana gelir. Bunun yanında düşük kaliteli beton, kesitlerde dayanımının düşmesine neden olur.
- Kolon başlarında kesmeden meydana gelen hasarların en önemli sebebi, bu bölgelerdeki donatı detaylarına gerekli özenin gösterilmemiş olması ve iş derzlerindeki beton yüzeylerinin bütünleşmesinin sağlanmamış olmasıdır.
- Taşıyıcı sistemin planda ve düşey kesitte düzgün ve sürekli çerçevelerden oluşturulmaması da hasarın artmasına neden olur.

- Betonarme perdelerin bulunmaması, yatay yerdeğiştirmelerin artmasına neden olur. Bunun sonucu olarak ikinci mertebe etkileri artar ve mimari elemanlarda büyük hasarlar meydana gelir.
- Merdiven ve sahanlık civarındaki hasarların en önemli sebepleri, donatı düzenindeki yanlışlıklardır.
- Temellerin yüzeye yakın olması, deprem yüklerinin yapıya olan etkilerinin ve hasarın artmasına neden olur.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye kullanılmaması da hasarın diğer bir önemli nedenidir.

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 çalışılmıştır. 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 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. Karşılaştırma sonucunda, 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.

Aras (2002), Türkiye'de 1. derece deprem bölgesinde yapılmış betonarme çok katlı bir yapının performansının değerlendirmesini yapmıştır. Bina performansının değerlendirmesini FEMA-356 kabullerine göre DRAIN-2DX ve SAP2000 programlarını kullanarak yapmıştır. Yapılan analizlere göre, eski deprem yönetmeliğine göre yapılan binanın yetersiz olduğu görülmüş ve bina çeşitli güçlendirme işlemlerine tabi tutulmuştur. Bu güçlendirme yöntemleri çelik plakalar ve betonarme perde olarak sınıflandırılmıştır. Güçlendirilen binanın lineer olmayan analiz sonuçları değerlendirilerek güçlendirme yöntemleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Özellikle perde ile yapılan güçlendirmenin çok etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca her bir güçlendirme yönteminin yapı davranış katsayısı R'nin değişimine nasıl katkı yaptığı irdelenmiştir. Çalışmada güçlendirme maliyetleri üzerinde de kısaca durulmuştur.

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 artırmakta 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.

Mwafy ve Elnashai (2002), yaptıkları kapsamlı çalışmada, bütün dünya yönetmeliklerinde yer alan deprem yükü azaltma katsayısı R'nin hesaplanmasına

yönelik bir dizi öneriler getirmektedirler. Çalışmada 12 farklı özellikte betonarme bina lineer olmayan statik analiz (pushover analiz) ve 8 adet deprem kaydının kullanıldığı lineer olmayan zaman artımı yöntemi ile çözülmüştür. 1500'den fazla sonuç elde edilmiştir. Çalışmanın sonunda şu bilgilere ulaşılmıştır;

- Düşük sünekliğe sahip çerçeve türü binalarda kesmeden meydana gelen göçme ve kırılma, zemin hareketinin şiddetini tanımlayan kontrol parametresidir.
- Perde-çerçeveli (dual) sistemlerin yanal ötelenme oranını önemli ölçüde düşürdüğü, bu çalışmada da gözlemlenmiştir.
- Katlar arası ötelenme oranı, modern deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış binaların davranışını kontrol eden bir parametredir.
- En düşük deprem yükü azaltma katsayısı, perde-çerçeve sistemlerde gözlemlenmiştir.

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.

Sezer ve ark. (2003), Türkiye'de 17 Ağustos 1999 depreminde betonarme yapıların performansını irdeledikleri bu çalışmada deprem hasarlarının sebeplerini şu şekilde özetlemektedirler,

- Detaylandırma hataları ya da yeterli sismik detaylarının olmaması,
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sargı donatısının olmaması,
- Etriyelerde kullanılan 90^{o}'lik kancalar,
- Kolon kesitlerinin yetersiz olması,
- Yanal ötelenmeyi önleyecek perde gibi elemanların çerçeve sistem içinde kullanılmaması,
- Yumuşak kat ve zayıf kat mekanizması,
- Düşük beton dayanımı,
- Yetersiz kenetlenme boyu,
- Kuvvetli kiriş zayıf kolon etkileşimi,
- Kötü zemin parametreleridir.

Bu hususlarla beraber perde duvar olan çoğu binada hasar düzeyleri çok az olmuştur.

Sucuoğlu ve ark. (2004), Dinar'da hasar gören iki bina üzerinde yaptıkları analitik çalışmalar sonucunda,

- Lineer olmayan dinamik (time history) analiz ile lineer olmayan statik analiz, birbirleri ile büyük uyum içindedirler.
- Kapasite spektrumu yöntemi performans noktasındaki deplasmanı tahmin edebilmekte ve göçme noktasını gösterebilmektedir.

- İki binada da görülen birinci kat hasarlarının dağılımı hesaplar sonucunda ortaya çıkan dağılım ile aynıdır.

Balkaya ve ark. (2004), çalışmalarında Türkiye'de yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) den 1. derece ve Z4 yerel zemini için üç katlı üç açıklıklı çerçevelerden oluşan yapı grubuna lineer olmayan statik itme analiz uygulamışlardır. Çerçeveler düzenli ve düzensiz olarak sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak;

- Düzenli yapı ile çaprazlarla rijitleştirilmiş yapılar arasında çok büyük farklar ortaya çıkmıştır.
- Çaprazlar çerçeve rijitliğini önemli ölçüde artırmaktadır.
- Özellikle X çaprazlı çerçevelerde bu durum daha belirgindir.
- Zayıf cepheli düzensiz yapıların, kat planlarındaki rijitliğin düzenli (aynı) olması sebebiyle, düzensiz diğer yapılara göre yapının deprem performansının daha iyi olduğu görülmüştür.
- Yumuşak katlı yapıların, mafsallaşma ile kısa sürede performans kaybettikleri gözlemlenmiştir.

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.

Ahmedizadeh ve Shakip (2004), 2003 Bam-İran depreminde hasar gören yapılara yönelik yaptıkları çalışmada, İran'daki yapım kalitesinin genellikle zayıf olduğundan bahsetmişler ve deprem hasarlarını şu şekilde özetlemişlerdir,

- Geleneksel binalarda meydana gelen hasarlar: Bu tür binalar genellikle, ahşap, kerpiç gibi malzemelerden yapılmış çok eski binalardır. Hemen hemen hiçbir mühendislik hizmeti görmemişlerdir. Çatı katmanları çok kalındır ve bu durum, etkin deprem kuvvetinin artmasına neden olmaktadır. Çatı ve duvar arasında sürekliliği

sağlayacak bir elemanın olmaması duvarların düzlem dışı davranışına sebep olmaktadır. Duvarların haricinde çatıyı taşıyan başka bir eleman da yoktur. Dolayısıyla duvarların düzlem dışı hareketi halinde çatı boşa çıkmakta ve göçmektedir.

- Yığma binalar da meydana gelen hasarlar: Bu tür binalar tuğla ya da benzeri elemanların katlar arasına örülmesinden oluşmuştur. İran deprem yönetmeliğinde (Standart no:2800) bu tür binalara ait bilgiler yer almaktadır. Bu binalarda hasar sebepleri, hatıllarda düşük beton dayanımı, hatıl donatılarında bindirme boyu yetersizliği, hatılların süreksizliği, büyük ölçekli açılmış kapı veya pencere boşlukları olarak sıralanmaktadır.
- Betonarme binalarda meydana gelen hasarlar: Son yıllarda yapılan binaların çoğu betonarme inşaat teknolojisi ile üretilmiştir. Bu yapılarda tasarım ve yapım kalitesi çok düşüktür. Özellikle kolonlar içinde etriyenin çok az kullanıldığı durumlar bile mevcuttur. Bazı durumlarda kolonlarda süreksizlikler mevcuttur. Yetersiz boyuna donatı ve kenetlenme boyu kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasarların en önemli sebeplerindendir. Kolonların kirişlere göre çok zayıf olması plastik mafsalların kolon uçlarında oluşmasına ve binanın daha çok yatay öteleme yapıp göçmesine neden olmaktadır.
- Çelik binalar bu bölgede son yıllarda çoğunlukla uygulanmaya başlanmıştır. Bu tür binalarda gözlenen hasarların ana sebepleri ise yatay taşıyıcı çapraz ya da duvarların olmaması, zayıf kesitlerden dolayı oluşan burkulma, birleşim bölgesinin yetersiz elemanlarla oluşturulması, kolon temel birleşimin sağlayan ankraj elemanlarının yeterli olmaması olarak sınıflandırılabilir.

Yüksel (2005), süneklik kavramını kısaca açıklamış, sünek davranışın önemini vurgulayıp, sistem sünekliği ile performansı arasında bağ kurmuştur. Burada sistem akma deplasmanı klasik yaklaşımlardan farklı bir yaklaşımla bulunmuştur. Performans değerlendirmeleri örnek olarak seçilen çerçeve sistemler üzerinden açıklanmaktadır. Bunun için, seçilen, tipik perdeli ve perdesiz çerçeve sistemlerinin statik itme (pushover) analizlerini yapmıştır. Analiz sonuçlarından sistem akma deplasmanı, süneklik kapasitesi gibi davranışı temsil eden değişkenleri hesaplamıştır. Kapasite spektrumu yöntemiyle sistemin performans noktasını tespit etmiş, bu noktanın sistem süneklik düzeyine göre performans limitleri arasındaki konumunu incelemiştir. Böylece, sistem süneklik kapasitesi ile performans düzeyleri ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Örnek sistemlerden elde edilen sonuçlar, sistem süneklik kapasitesi ile

performansı arasında yakın ilişki olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçlarına göre, süneklik düzeyi yüksek sistemlerin performans noktası, hemen kullanım performans düzeyinde yer almaktadır.

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), yapmış olduğu, 1 / 5 ölçekli üç katlı üç açıklıklı betonarme sistem deneylerinde yeni bir güçlendirme metodunun araştırmasını yapmıştır. Önerilen modelde kolon kiriş birleşim bölgesine epoksi yardımıyla ankraj yapılan, burkulma etkisinin önemli olmadığı, çekmeye çalışan çapraz çubuklar yardımıyla yanal ötelenmenin azaltılması, rijitliğin artırılması ve dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada çekmeye çalışan çapraz çubuklar (inşaat demiri) kolon – kiriş birleşim bölgelerine basitçe ankre edilmektedir. Bu çalışmanın kapsamını değişik yapısal özellikteki 10 adet 1 / 5 ölçeğinde modellenmiş betonarme çerçeve sistemi oluşturmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda;

- Sistem sünekliği ortada kuşaklama olan sistemde çerçeve davranışına yakın özellik gösterirken, aynı bölgeye duvar eklenmesiyle perdeli çerçeve davranışına

yönelmekte, bunun sonucu olarak gerek yatay yük gerekse enerji tüketme kapasitesi artmaktadır.

- Etriyeler sistem sünekliğini, enerji tüketme kapasitesini ve yatay yük kapasitesini artırmıştır.
- Etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriyenin, sargı etkisini artırmakta ve bunun sonucu olarak gerek düşey, gerekse yatay yük kapasitesine olumlu etkiler yapmaktadır.
- Etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmesi, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellemekte ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olmaktadır.
- Kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanması sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olacaktır.
- Beton kalitesi epoksi ile yapılan ankrajın kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilemektedir.
- Dolgu duvarlarında kuşaklama kenar kolonlara ankastre edilerek sistemin monolitik çalışması sağlandığı takdirde, sistem davranışı olumlu yönde ilerleyecektir.
- Sünekliği kontrol altında tutmak için kuşaklamalar binanın orta bölgelerinde yapılmalı, kenar açıklılarda yapılması halinde ortaya çıkan boşluklu perde davranışı sonucu oluşan süneklik azalmasından kaçınılmalıdır.
- Dolgu duvarlar yatay yük taşıma kapasitesini artırmakla beraber, özellikle kenar açıklıklarda ciddi süneklik azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle dolgu duvarların bina statik hesaplarında yatay yüklere karşı dikkate alınmamasının uygun olduğu düşünülebilir. Kapasite artışları olumlu yönde olmasına rağmen, süneklik bazı durumlarda azalmaktadır.

Anıl ve Altın (2006), 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçeveleri betonarme dolgulardaki boşluk alanı ve yerinin değişiminin incelendiği çalışmada; iç perde duvarın boyutlarının artırılması durumunda sistemin rijitliğinin ve yatay yük taşıma kapasitesinin çok önemli miktarda arttığı, iç perde duvar ile çerçevenin birleşim yeri ve türünün yine sistemin yatay yük taşıma kapasitesini önemli oranda etkilediği, özellikle kolon ve kirişlere beraber bağlanan iç perde duvarın diğerlerine göre çok daha etkin çalıştığı

gözlemlenmiştir. Çalışmanın analitik kısmını oluşturan IDARC-2D programı ile çözümünün sonuçlarının ise gerçek davranışla (deneysel davranışla) uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Erdem ve ark. (2006), 1 / 3 geometrik ölçekli, 2 katlı 3 açıklıklı hasar görmemiş betonarme çerçevelerin güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını konu olan bu çalışmada, iki güçlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan ilki (deney numunesi–1) iç açıklığın iki kat boyunca iç perde ile doldurulması diğeri ise (deney numunesi–2) CFRP ile güçlendirilmiş tuğla duvarın yine ara aksa uygulanması sonucu yapılan güçlendirme işidir. Mevcut çerçeveler Türkiye'deki yapı stoğunu temsil edebilecek şekilde üretilmiş önemli kusurlar ve eksiklikleri kapsamaktadır. Çerçeveler tersinir – tekrarlanır yatay yük etkisi altında düşey olarak test edilmiştir. Kolonlarda özel üretilmiş ölçüm sistemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen bulgulara göre, perde ile güçlendirilmiş deney numunesi – 1'in boş çerçeveye göre yaklaşık 5 kat yatay yük taşıma kapasitesi kazandırdığı, tuğla dolgu duvar + CFRP ile güçlendirilmiş çerçevenin ise (deney numunesi – 2) boş çerçeveye göre yaklaşık 4.6 kat yatay yük taşıma kapasitesi kazandırdığı görülmüştür. Dolayısıyla, bu iki numune arasında %10'luk bir yatay yük taşıma kapasitesi farkı mevcuttur. Rijitlik artışı ise, deney numunesi – 1'de boş çerçeveye göre 12.9 kat, deney numunesi – 2'de ise 10.7 kat fazla olmuştur. Maksimum yükte ötelenme, boş çerçevede %1.9 iken, deney numunesi – 1'de %0.9, deney numunesi – 2'de ise %0.7 olmuştur. Deney numunesi – 2, %0.35 deplasman oranından sonra (TDY-98'in betonarme yapılar için verdiği maksimum ötelenme oranından sonra), ani olarak güç kaybı yaşamış ve parçalanmıştır.

İnel (2006), çalışmasında statik itme analizinin SAP2000 programı ile yapılması sırasında özellikle kullanıcılar için çok önemli olan plastik mafsal parametrelerinin sistem davranışına olan etkisini incelemiştir. SAP2000 programının temel aldığı FEMA–356 ve ATC–40 plastik mafsal parametrelerinin değişimini anlatmış ve programın kabullerini nasıl yaptığına değinmişlerdir. Çalışmanın esasını oluşturan gerçek yapı çözümünde TDY–75'e göre dizayn edilmiş 4 açıklıklı, 4 ve 7 katlı betonarme çerçeveler ele alınmıştır. Yapı, 1. derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfında yapılmış olarak düşünülmüştür. Beton basınç dayanımı 16 MPa, donatı akma dayanımı ise 220 MPa olarak kabul edilmiştir. Plastik mafsal bölgelerinde etriyelerin 100, 150 ve 200 mm aralıklarla olduğu düşünülmüştür. 4 katlı binada kat yükseklikleri

2800 mm'dir ve kat kirişleri 200 mm x 500 mm'dir. 7 katlı binada ise, kirişler 200 mm x 600 mm olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonunda,

- Sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri plastik mafsal özelliklerinden bağımsızdır (%5'lik bir değişimden daha az).
- Plastik mafsal özelliklerinin değişimi, sistem deplasman sünekliğinde önemli etkiye sahiptir (Bu değişim yerine göre %30'dur).
- Etriye aralıklarının 100 mm'den 200 mm'e çıkarılması, deplasman sünekliğini %40 azaltmıştır. 150 mm'den 200 mm'e çıkarılması ise, yine deplasman sünekliğini %12 azaltmıştır.
- FEMA'nın benimsediği ve SAP 2000'nin kullandığı veriler Türkiye'deki yapı stoğu davranışını tam temsil etmemektedir.

Kara (2006), araştırmasında betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde Türkiye'deki uygulamalarda sıkça kullanılan çerçeve içini doldurmayan parçasal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışını incelemiştir. Türkiye'de betonarme yapıların çoğunda gözlemlenen bazı yapım ve tasarım kusurları olan betonarme çerçeve, deney elemanı olarak kullanılmıştır. Bu tür sünek olmayan betonarme çerçevelerin parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi durumunda, parçasal dolgu duvarın betonarme çerçevenin davranışına, dayanımına, sünekliğine, rijitliğine ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Çalışmada parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, duvar yüksekliğine (l / h) oranındaki değişimin, aynı l / h oranındaki dolgu duvarların çerçeve içinde düzenleniş biçimlerinin ve dolgu duvarda uç elemanı varlığının dolgulu çerçevelerin davranışına etkileri incelenmiştir. 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli, iki katlı tek açıklıklı deney elemanı üretilmiş, deprem yüklerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar davranış, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri araştırmacıların ve yönetmeliğin önerdiği eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneyler sonunda;

- Çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri, çerçeve deney elemanına göre 3 ile 7 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Başlangıç rijitliği çerçeve deney elemanına göre 6 ile 28 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Parçasal

dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır.

- Çerçevenin bir kolonuna ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının kolonlarında kesme kırılması gelişmiş ve deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesini ve davranışını olumsuz etkilemiştir. Çerçevenin kirişlerinde önemli sayılabilecek hasarlar oluşmamıştır.
- Betonarme çerçevenin tam dolu dolgu duvarı yerine uç elemanlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi davranış ve dayanımı etkilemiştir. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük taşıma kapasitesi %10; %50 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yük taşıma kapasitesi %41; %75 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük taşıma kapasitesi %61 oranında azalmıştır.
- Parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde çerçeve kolonuna bitişik olmayacak şekilde sadece kirişlere bağlanması veya çerçeve içinde tek parçalı yerine iki parçalı olarak kullanılmasıyla, deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri önemli oranda etkilenmemiştir. Ancak, kirişlerde gelişen kesme kırılması önemli oranda artmıştır.
- Dolgu duvarında uç elemanının olmamasıyla uç elemanlı dolgu duvarı olan deney elemanına göre başlangıç rijitliği %18, süneklik %38, enerji tüketimi %28 oranında azalmıştır.
- Betonarme çerçeve deney elemanı maksimum yük düzeyinde büyük yatay deplasmanlar yapmıştır. Deney elemanının kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar oluşmuş, kolon uçlarında plastik mafsallar gelişmiştir. Deney elemanının başlangıç rijitliği ve enerji tüketim düzeyleri, dolgu duvarlı deney elemanlarına göre çok düşüktür.

Türk ve ark. (2006), bu çalışmada, bir açıklıklı, iki katlı 1 / 3 geometrik ölçekli 9 adet deney elemanı test edilmiştir. Testler sonunda hasar görmüş olan çerçeveler dolgu duvarlar ile doldurularak onarılmıştır. Çerçeve ile dolgu duvarlar arasındaki bağlantı, epoksi yardımıyla çerçevelere ekilen demir filizleri yardımıyla sağlanmıştır. 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 parametrelerinin elemanların genel davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmanın en önemli sonuçları; çerçeve kolonlarda katlar seviyesinde yapılan yetersiz uzunluktaki bindirme ekleri dolgulu deney elemanın dayanım ve sünekliğini son derece azaltmış olması, dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının özellikle çerçeve ve dolgu arasındaki etkileşime bağlı olması ve uygulanan eksenel yükün davranışı önemli ölçüde etkilemesidir. Çalışmanın sonunda
dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının boş çerçevelerinkinden yaklaşık 8–13 kat, başlangıç rijitliğinin ise yaklaşık 19–24 katı büyük olduğu görülmüştür.

Toker ve ark. (2006), çalışmalarında güçlendirme stratejilerini mimari yönden irdelemişlerdir. Hangi güçlendirme metodunun daha efektif ve mimari kaygılardan daha uzak olacağını irdelemişler ve bu doğrultuda çalışmanın büyük bir bölümü oluşturan dış perde duvar uygulamasının gerek mevcut bina kullanımını gerekse bina etrafında yer alan yaya yolu kullanımlarını ne ölçüde değiştirdiğini sorgulamışlardır. SAP2000 programı ile iki farklı tip konut binasının modellenmesi yapılmış ve modellenen binalar dış perde duvar ile güçlendirilerek tekrar çözülmüştür. Çalışmanın sonucuna göre;

- Dış perde duvar güçlendirmesi bütün binalara uygulanamaz,
- Dış perde duvar uygulaması bitişik nizamlı yapılarda temel sorunundan dolayı sıkıntı oluşturabilir,
- Dış perde duvar bina periyodunu düşürmüş ve deplasmanı önemli ölçüde sınırlamıştır,
- Binanın dış mimari formu tamamen değişmektedir,
- Güçlendirilen bina imar açısından hakkı olmayan oturma alanına çıkabilir.

Arslan (2007), bu çalışmada, iki katlı, iki açıklıklı olarak, 1 / 3 geometrik ölçekle modellenen ve ülkemizdeki betonarme binalarda oldukça sık rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren toplam 4 adet özdeş betonarme çerçeve üretilmiş ve 2 adedi boş, 2 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yük altında denenmiştir. Deney elemanlarının kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyeleri, kolonlarda çekme kırılması oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı değişimi (ρ_t=0.013 ve 0.023) en önemli parametre olarak alınmıştır. Deneyler çelikten yapılmış rijit bir yükleme düzeneğinde yapılmıştır. Düşey konumda

denenen numuneler, çelik yükleme düzeneğine temelden rijit olarak bağlanmıştır. Deneysel verilerin değerlendirilmesi ile her bir çerçeve sistemine ait yatay yük taşıma gücü, rijitlik değişimi, enerji tüketme kapasiteleri, vb. özellikleri ile genel davranışları elde edilmiştir.

Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar ile diğer bazı analitik çalışmaların sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar, irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Yılmaz (2007), 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.

Öztürk (2010), bu çalışmada, çerçeve düzleminde olacak şekilde bina dışında oluşturulan betonarme perdelerin, mevcut betonarme çerçevelere farklı türlerdeki bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşturulan güçlendirilmiş taşıyıcı sistemlerin dayanım ve davranışları deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, iki katlı, tek

açıklıklı, 1/2 geometrik ölçeğinde modellenen ve ülkemizde sıklıkla görülen yapım kusurlarını içeren 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerin 1'i boş, 2'si bağ kirişli betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek ve 1'i de karşılaştırma amacıyla bağ kirişsiz betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek depremi benzeştiren yatay yük altında denemiştir. 5. deney olarak da güçlendirme amacıyla sisteme ilave edilen dış perdenin bireysel olarak dayanımı ve davranışı incelenmiştir. Numunelerin denenmesi amacıyla, üst kata 2 birim, alt kata ise 1 birim yatay yük uygulanarak, depremdeki üçgen yük dağılımını gerçekleştirecek eşdeğer bir statik yatay yükleme sistemi hazırlanmış ve numuneler tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altında denenmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile her bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme gücü, rijitlik özellikleri ve genel davranışları elde edilmiştir. Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme (pushover) analizinden elde edilen sonuçlar ile diğer bazı analitik çalışmaların sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın temel amacı, deprem dayanımı yetersiz binaların yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik gibi özelliklerinin belirgin biçimde iyileşmesini sağlayacak yeni bir güçlendirme metodunun önerilebilmesidir. Bu amaçla mevcut binayı simgeleyen iki boyutlu çerçeveler, yaşadığımız depremler sırasında yapıların hasar görmesine yol açan ve genel olarak ülkemizdeki yapı stokunda sıklıkla görülen eksiklikler dikkate alınarak imal edilmişlerdir. Numunelerin hazırlanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

- ***Beton dayanımının düşük olması***: Yapılarımızda karşılaşılan en genel sorun, beton karışımının ve dayanımının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlamamasıdır. Türk Deprem Yönetmeliği–1998 ve 2007 (TDY–1997 ve TDY–2007) deprem bölgelerinde yapılacak yapılardaki minimum beton dayanımının C20 olmasını öngörürken, özellikle TDY–1998 yönetmeliğinden önce inşa edilen yapılardaki beton, söz konusu beton sınıfının çok altında bir kaliteye sahiptir. Bu nedenle deney numunelerinde beton dayanımının 12 MPa seviyesinde olması kararlaştırılmıştır.

- ***Kolon – kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması***: Deprem sırasında enerji tüketiminin olabilmesi, plastik mafsal oluşan bölgelerde yeterli dönme kapasitesinin sağlanabilmesi ile mümkündür. Dolayısıyla TDY–2007 plastik mafsal oluşması muhtemel bölgeler olan, kiriş uçlarından itibaren 2h uzunluğundaki bölgelerlerle, kolon uçlarından itibaren minimum 50 cm uzunluğundaki kısımlarda özel donatı düzenlemeleri öngörmektedir.

- ***Kirişlerin kolonlardan daha güçlü tasarlanmaları:*** Deprem sırasında binaların yıkılmalarının temel sebebi, plastik mafsalların kolon uçlarında oluşması ve az sayıda plastik mafsal oluşumunun binayı labil hale getirmesidir. Buna yol açan neden ise süneklik potansiyelinin düşük olmasıdır. Ne kadar fazla donatı kullanılırsa, binanın o kadar sağlam olacağı sanılmakta ve kirişlerde gerektiğinden fazla donatı kullanılarak dengeli donatı oranı aşılmaktadır. Böylece hem kirişlerde sünek davranış kaybedilmekte, hem de kirişler kolonlara karşı daha güçlü olmaktadır. Ayrıca fabrika üretimli olması nedeniyle, genellikle proje akma dayanımının üstünde dayanıma sahip olan donatılar da yapılar için bir tehlike oluşturmaktadır. Çünkü özellikle eski yapılarda kullanılan S220 kalitesindeki donatıların genellikle S420 ‘ye yakın akma değerleri verdiği görülmüştür. Dolayısıyla kiriş moment kapasitesi, donatı akma dayanımıyla

paralel olarak artarken, kolon kapasitesi eksenel yük düzeyine bağlı olduğu için aynı oranda artmamakta ve kirişler kolonlardan güçlü hale gelmektedir. Sonuç olarak plastik mafsallar daha güçsüz olan kolonlarda oluşmaktadır.

- ***Kolon – kiriş birleşim bölgesinde etriye bulunmaması:*** Deprem sırasında en çok hasar gören, bölgelerin kolon – kiriş birleşim bölgeleri olması bu kısımlarda sünekliğin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle TDY–2007 bu bölgelerde de etriye kullanılmasını ve etriye aralığının 10 cm' yi geçmemesini zorunlu kılmıştır.
- ***Etriye kancalarının 90^o yapılması:*** Enine donatıların, donatı kolları arasında kalan göbek betonunu sarıp dayanım ve süneklikte artış sağlamaları ancak kancaların 135^o yapılarak beton içine gömülmesi ile mümkündür. Eğer yapılarımızda sıklıkla gözlendiği gibi 90^o kanca yapılırsa, etriye açılmakta ve betona yanal basınç uygulayamadığı için etkisini kaybetmektedir.

Depreme dayanıklı betonarme bina yapım kurallarına uymayan ve uygulamada sıkça karşılaşılan tasarım ve yapım kurallarını içeren betonarme çerçevelerin özelliklerini taşıyan deney numunelerinin malzeme ve boyut özellikleri ile Türk Deprem Yönetmeliği–1998 ve 2007'ya (TDY–98 ve TDY–2007) uygun olarak imal edilmiş güçlendirme perdesinin malzeme ve boyut özellikleri bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır. Ayrıca deneysel çalışma için yapılan bazı kabuller de yine bu bölümde verilecektir.

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda, sistem güçlendirilmesi için genellikle betonarme dolgu duvarlar tercih edilmektedir. Fakat özellikle hastane, okul vs. gibi binalarda ve konutlarda yapılacak olan betonarme dolgu duvar uygulaması mimari birçok sıkıntının yanında, uygulama süresinde bina kullanımının kısmen ya da tamamen ortadan kalkmasından dolayı çok ciddi sıkıntılara neden olmaktadır. Bu gerçek ışığında, kullanıcının binayı terk etmesine gerek kalmadan yapılacak olan güçlendirme yöntemi ya da yöntemleri araştırılmaya başlanmıştır. Bu tür bir güçlendirme yöntemi, bina içinde yapılan güçlendirme sırasında oluşacak kaplama, sıva, boya vs. ilave işlerin yapılması gerekliliğini de ortadan kaldıracak veya çok azaltacaktır. Bu çalışmada, mevcut yapılara yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı dış perde duvar eklemesi yapılarak, iyileştirilen mevcut taşıyıcı sistemlerin davranış değişimi incelenip, irdelenecektir.

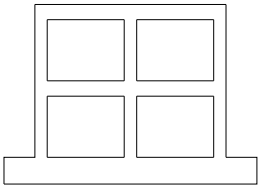
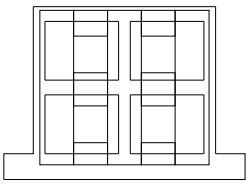
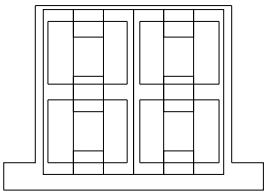
Bu amaçla, iki katlı iki açıklıklı betonarme çerçeve elemanları, 1 / 3 geometrik ölçekli olarak yatay konumda üretilmiştir. Üretilen elemanlar daha sonra düşey konuma

getirilmiş ve bu konumda dış prefabrike panel ile güçlendirilerek, tersinir – tekrarlanır yatay yükler altında denenmişlerdir.

3.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada, 3 adet deney numunesi, tersinir – tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deney elemanları geometri bakımından birbirleri ile özdeştir. İlk olarak güçlendirilmemiş çerçeve numunesi test edilmiştir. Diğer iki numune ise, dış prefabrike panel ile güçlendirildikten (iyileştirildikten) sonra denenmişlerdir. Tablo 3.1'de elemanlar ile ilgili deney sırası ve temel bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney numunelerinin genel özellikleri.

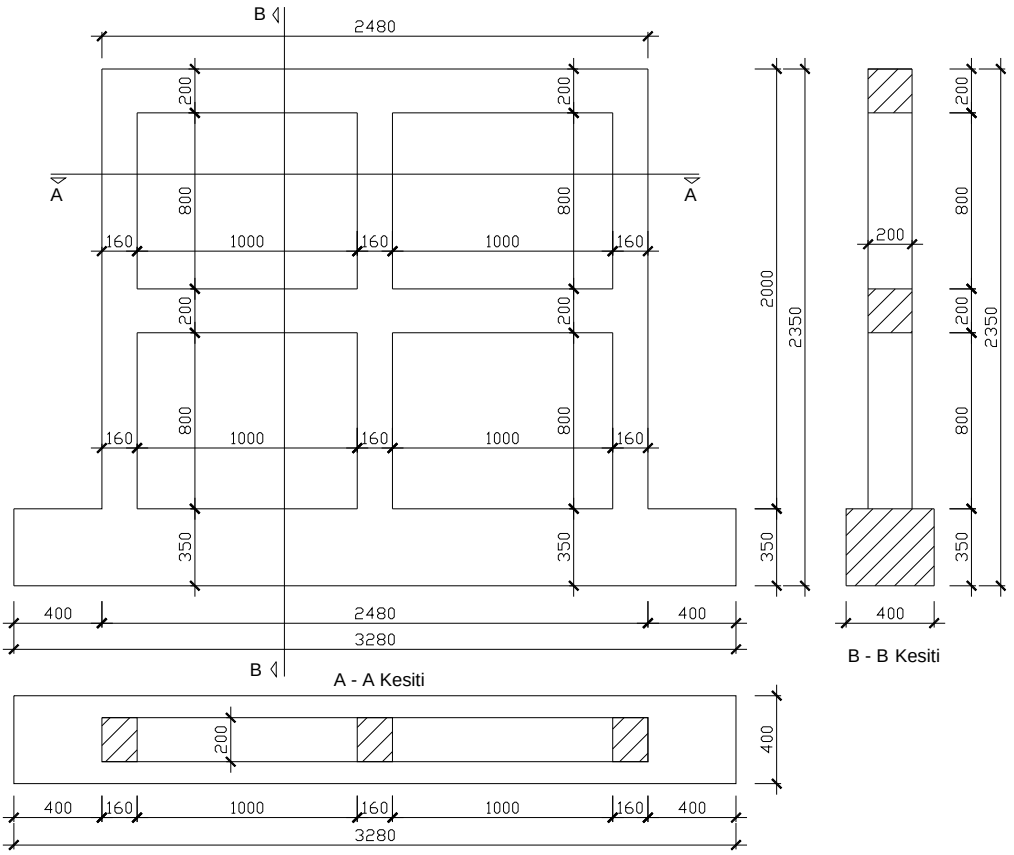
Deney Numunesi No	Deney Numunesi Özelliği	Deney Numunesi Resmi
1. Deney	Güçlendirilmemiş çerçeve	
2. Deney	Prefabrike panelle güçlendirilmiş çerçeve (5 sıra panel)	
3. Deney	Prefabrike panelle güçlendirilmiş çerçeve (6 sıra panel) (Panel alanı daha fazla)	

Çizelge 3.1'de de sembolik olarak gösterilen ve ileride detaylı olarak verilecek olan prefabrike panellerin çerçeveye ilavesinde ankraj çubukları kullanılmıştır.

3.1.1. Deney numunelerinin boyutları

Deney elemanlarının boyutları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu boyutlar mevcut binalardaki açıklık ve yükseklik ile kolon ve kiriş boyutları dikkate alınarak belirlenmiş

ve laboratuar şartları göz önünde bulundurularak gerçek çerçeve elemanlarının boyutları 1 / 3 geometrik ölçekli olarak küçültülmüştür. Çerçevenin açıklık / yükseklik oranı, 2480 mm / 2000 mm' dir. Hesaplarda çerçeve temelinde dönme vs. dikkate alınmayacağı için, temel oldukça rijit seçilmiştir. Temel boyutları 350 mm × 400 mm × 3240 mm'dir.



Şekil 3.1. Betonarme çerçeve deney numunelerinin boyutları (Ölçüler mm'dir.)

Kolonların eksenden eksene açıklığı kenar açıklıkta 1160 mm'dir. Kat yükseklikleri, temel üstünden 1. kat kirişi üst seviyesine 1000 mm, 1. kat kiriş üst seviyesinden 2. kat kirişi üst seviyesine kadar 1000 mm'dir. Güçlendirilmemiş çerçeve elemanlarında kolon boyutları 160 mm × 200 mm ve kat kirişleri 200 mm × 200 mm olarak seçilmiştir.

Deprem davranışı zayıf olan (yatay yük taşıma kapasitesi düşük olan) betonarme çerçeveyi deprem etkisine karşı güçlendirmek için yapılacak olan prefabrike paneller 50 mm kalınlığındadır.

3.1.2. Deney numunelerinin detayları

Bu çalışmada, kullanılan donatı detayları Türkiye'de uygulamada genellikle görülen çeşitli hataları ve eksiklikleri içine alacak şekilde belirlenmiştir. Bunlar daha öncede belirtildiği gibi,

a) Beton kalitesinin düşük olması (12~13 MPa),

b) Kolon – kiriş birleşim bölgelerinde (plastik mafsal oluşma potansiyeli olan bölgelerde) etriye sıklaştırmasının olmaması,

c) Kolon – kiriş birleşim bölgesi içinde etriye bulunmaması,

d) Kolon boyuna donatılarının bindirmeli eklerinin kolon için en kritik kesit olan kat seviyesinde yapılması ve bu bindirme eklerinin boylarının yetersiz olması,

e) Kolon boyuna donatısında kanca kullanılması,

f) Kiriş donatısında yetersiz kenetlenme,

g) Etriye kancalarının 90^o olması, durumlarıdır. (Arslan 2007)

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde açıklıkta altta $3\Phi12$ eğilme donatısı ve üstte $2\Phi12$ montaj donatısı kullanılmıştır.

Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı; $\rho = 0.0084$' dir. Bu donatı oranı, TS500'de belirtilen sınırlar dahilindendir.

$$0.02 > \rho = \frac{A_{st}}{b_w \times d} = \frac{3 \times 113}{200 \times 200} = 0.0084 \geq \rho_{\min} = 1.0 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 1.0 \times \frac{1.21}{365} = 0.0033 \quad (3.1)$$

160 mm × 200 mm kesitli kolonda $4\Phi12$ boyuna donatı kullanılmıştır. Kolonlarda kullanılan donatı oranları,

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{4 \times 113}{160x200} = 0.01413 \geq \rho_{\min} = 0.01 \quad (3.2)$$

olmuştur ve TDY–98 ve TDY–2007'da belirtilen ρ_t=0.010'den daha fazladır.

Kolon ve kirişlerde $\Phi6/100$ mm aralıkla enine donatı (etriye) kullanılmıştır. TS–500–1984'de minimum etriye donatısı çapı 8 mm olarak verilmiştir. TS–500–2000 ve TDY–98 ve TDY–2006'da etriye çapı için minimum değer 8 mm, etriye aralığı için

ise en az $12\Phi_\ell$ ya da 200 mm olarak verilmiştir. Bu nedenler, 1 / 3 ölçekli deney elemanlarında $\Phi 6/100$ mm aralıklı enine donatı (etriye) kullanılmıştır.

Etriye çapı en az $\Phi\ell/3 = 8/3 = 2.67mm$ (3.5)

Etriye aralıkları ise $s \leq \begin{matrix} 12\Phi_\ell = 12\times 12 = 144mm \\ 200/3 = \quad 67mm \end{matrix}$ (3.6)

$$\rho = \frac{A_w}{b \times s} = \frac{2 \times 28.26}{160x100} = 0.00353 \quad (3.7)$$

Şekil 3.3'de donatıları yerleştirilmiş numune kalıbı gösterilmiştir (Kolon boyuna donatısı ρ_t=0.01413).

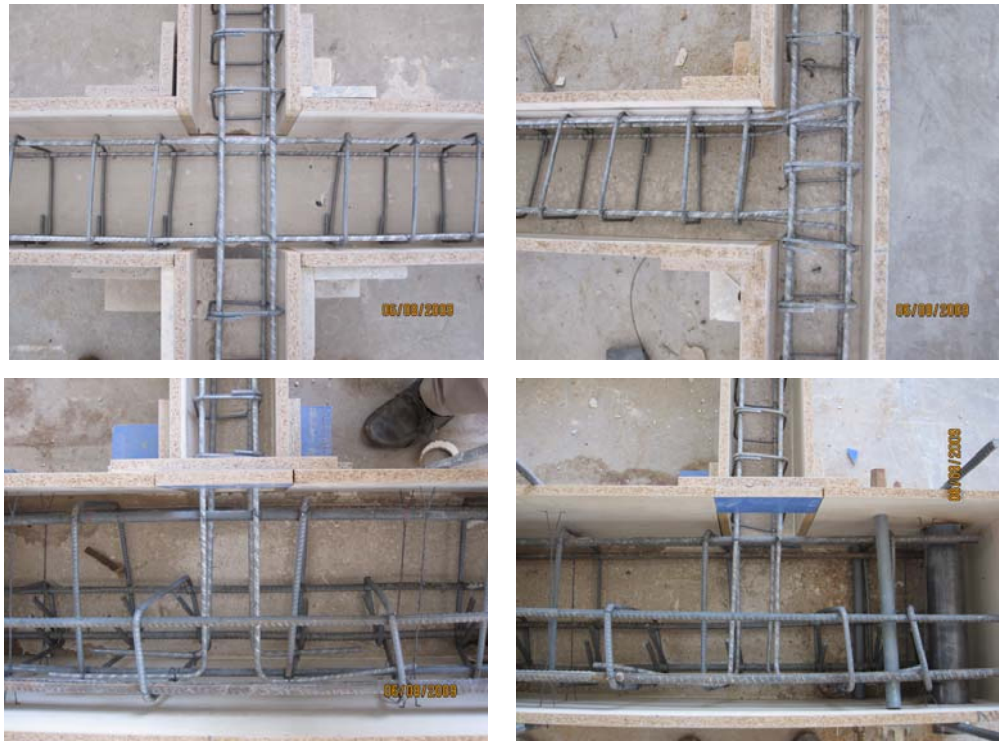
Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları, uygulamadaki durum dikkate alınarak 90^o yapılmıştır. Kancanın düz kısmı TS500–1984'e uygun olarak 10Φ alınmıştır. Bütün deney elemanları için pas payı donatı yüzünden 10 mm olarak alınmıştır.

Uygulamadaki kusurları yansıtması amacıyla, elemanlarda kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmadığı gibi, kolon kiriş birleşim bölgelerinde (düğümde) de kolon etriyesi devam ettirilmemiştir.



Şekil 3.2. Çerçeve numunelerinin kalıp ve donatı detayları.

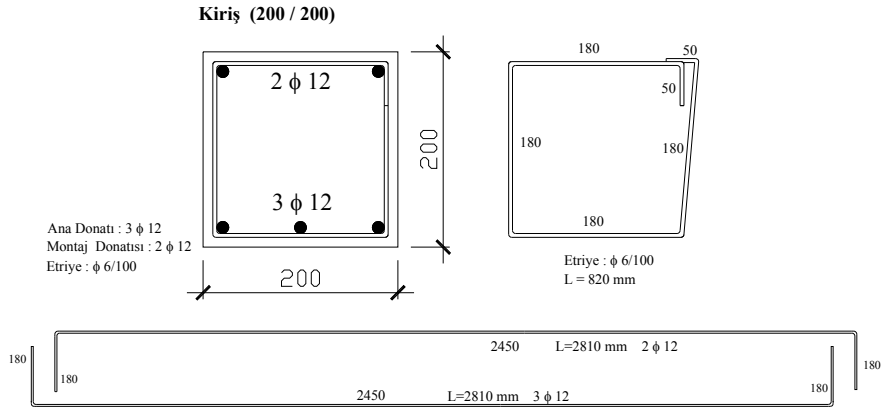
Şekil 3.3'de numunelerin beton imalatı öncesindeki kiriş – kolon ve kolon – temel birleşim bölgelerinin bazılarının resimleri verilmiştir.



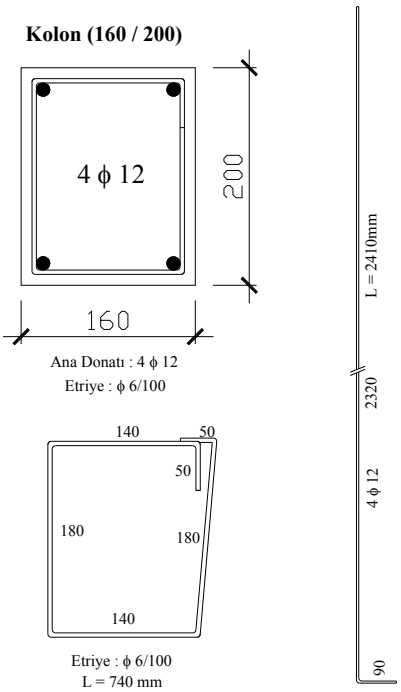
Şekil 3.3. Deney numunelerinin birleşim noktaları donatı detayları.

Şekil 3.4'de kiriş kesit ve donatı detayları, Şekil 3.5'da kolon kesit ve donatı detayları, Şekil 3.4'de ise temel kesit ve donatı detayları gösterilmiştir.

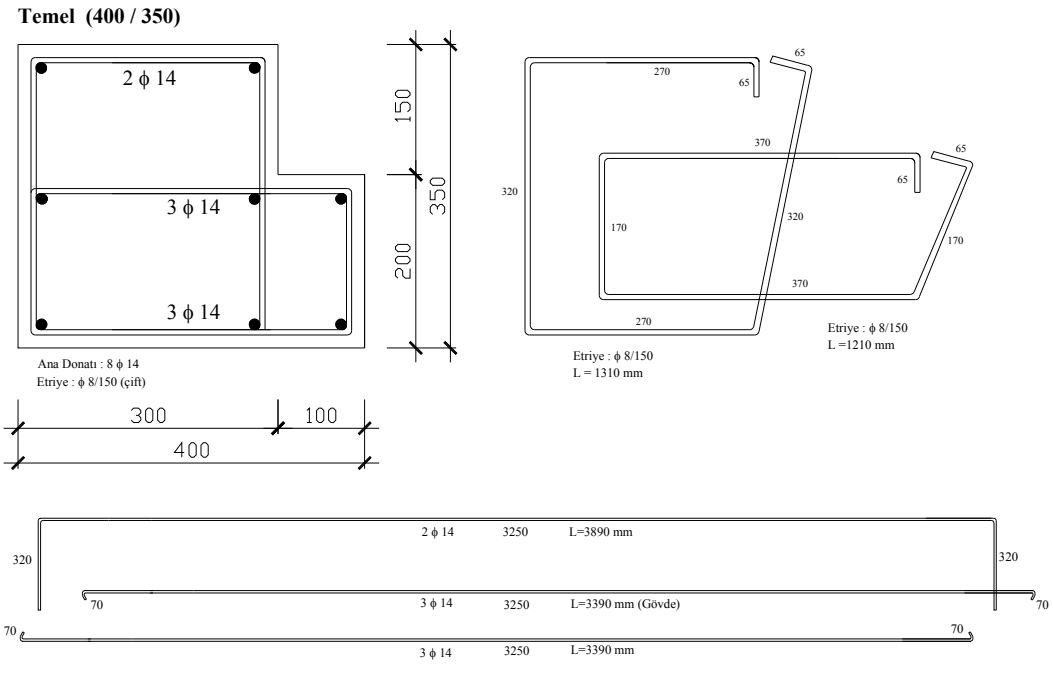
Şekil 3.7'de ise, deney numunelerin donatı şeması verilmiştir.



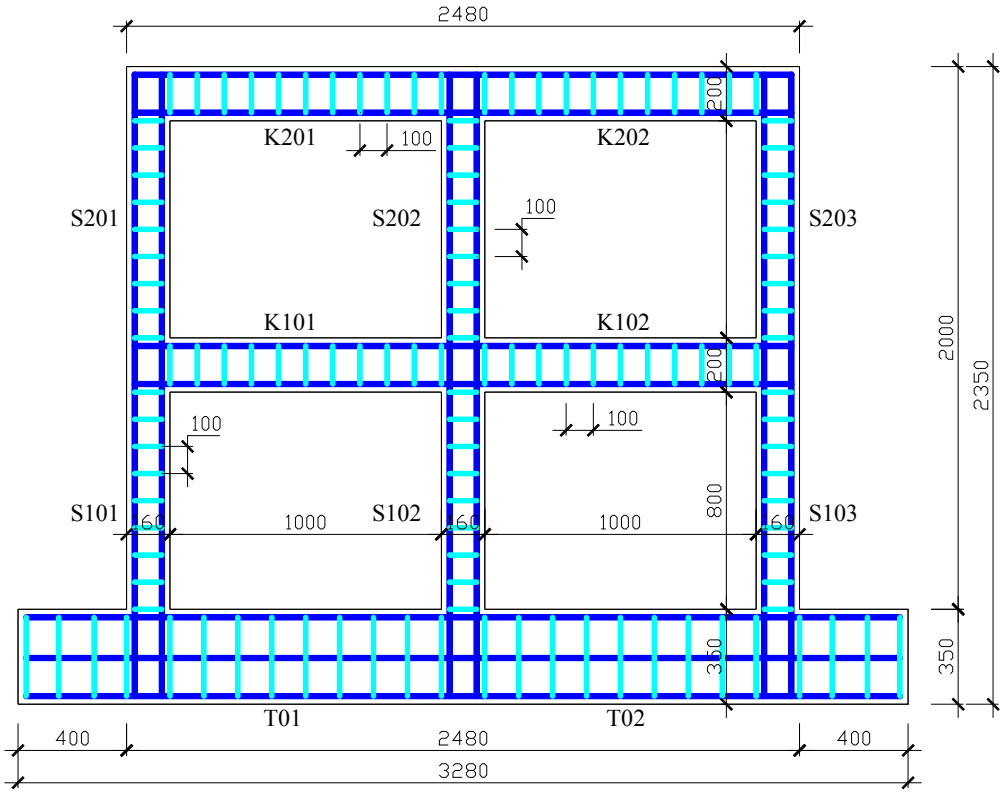
Şekil 3.4. Deney numuneleri için kiriş kesiti ve donatı detayları.



Şekil 3.5. Deney numuneleri için kolon kesiti ve donatı detayları.



Şekil 3.6. Deney numuneleri için temel kesiti ve donatı detayları.



Şekil 3.7. Çerçeve kalıbı ve donatıları (Ölçüler mm'dir.)

3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri

3.1.3.1. Çerçevelerin betonu

Benzer kalitede beton elde edebilmek amacıyla, bütün çerçevelerin betonu, hazır beton olarak aynı anda dökülmüştür. Döküm işlemi, çerçeveler yatay konumda iken gerçekleştirilmiştir. Bu tezin kapsamı içinde yer alan üç adet deney numunesi ile birlikte bir de yedek olarak toplam dört adet numunenin betonu aynı anda dökülmüştür. Şekil 3.8'de deney numunelerinin beton dökülmeden önceki durumu; Şekil 3.9'da ise, beton döküm işleminin ardından numunelerin genel durumu verilmiştir.



Şekil 3.8. Beton dökülmeden önce çerçeve numunelerinin durumu.



Şekil 3.9. Beton döküldükten sonra çerçeve numunelerinin durumu.

Mevcut betonarme yapıların kalitesiz ve dayanımı düşük beton özelliğini yansıtmak üzere, çerçevelerin hedeflenen ortalama beton basınç dayanımı 12 MPa, güçlendirme için kullanılacak prefabrike panellerin ise 30 MPa olarak hedeflenmiştir. Bilindiği gibi ülkemizde mevcut yapıların birçoğunda beton basınç dayanımı 8 ~ 10 MPa değerlerine kadar düşebilmektedir. Burada 12 MPa'lık beton kalitesi seçilmiş

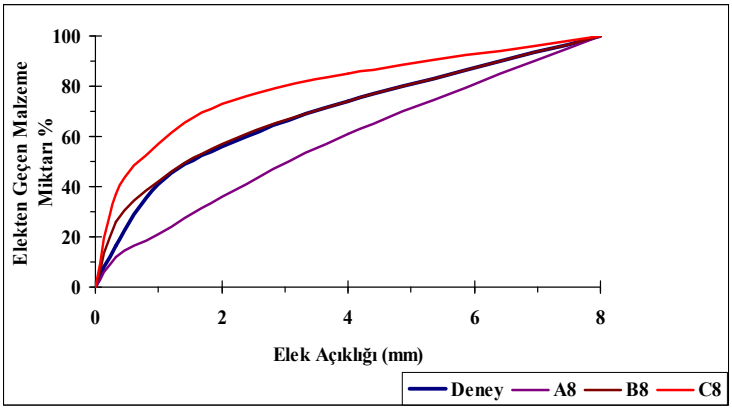
(hedeflenmiş) olmasının sebebi, daha düşük kalitede betonun normal beton davranış özelliğinden çok daha farklı bir davranış gösterebilmesidir.

Çizelge 3.2'de çerçevelerde kullanılan betona ait malzeme karışım oranları 1 m^3 beton için verilmiştir. Ölçek etkisinden dolayı seçilen maksimum agrega çapı 8 mm olmuştur. Beton agregaları ile ilgili olan TS 30 ve TS 706 standartlarında verilen agrega granülometri eğrilerinden maksimum tane büyüklüğünün 8 mm olduğu karışık agrega granülometri eğrisi Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekilde, beton için seçilen agrega granülometri eğrisinin A8 – B8 eğrileri arasında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.2. Betonarme çerçevelerin betonlarına ait malzeme karışım oranları.

Malzeme		Ağırlık (Kg)	1 M^3 Betondaki Hacimsel Miktarı (%)	
Çimento		240		10
0 – 4 mm arası (ince)	agrega	1064	44	81
4 – 8 mm arası (kaba)		880	37	
Su		216		9
Toplam		**2400**		**100**

Not: Su/çimento oranı %90'dir.



Şekil 3.10. Çerçeve betonunda kullanılan agreganın granülometri eğrisi.

Betonun ortalama basınç dayanımını belirlemek amacıyla her çerçeveden 3'er adet olmak üzere toplam 9 adet standart silindir numunesi alınmıştır (Şekil 3.11). Silindir numunelerin çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm'dir. Silindir numuneler çerçevelerle aynı şartlarda kür edilmiştir. Betonun dayanımının büyük bölümünü ilk 7 gün içinde kazandığı düşünülerek, beton dökümünden 4 saat sonra beton sulanmaya

(nemli tutulmaya) başlanmış ve bir hafta süreyle sabah 8.30 ve akşam 17.00 olmak üzere günde iki defa sulanmıştır.

3, 7 ve 28 günlük beton basınç dayanım değerleri, 3 deney elemanından alınan 3'er adet silindir numunesinin, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında 3000 kN kapasiteli dijital pres makinesi ile kırılması sonucunda elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler Çizelge 3.3'de, test sırasındaki numunenin görüntüsü ise Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Beton dökümü sırasında alınan silindir numuneler.

Çizelge 3.3. 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)
DN1	8.22	8.11	10.97	10.34	13.56	13.21
DN2	7.98		10.23		13.22	
DN3	8.14		9.81		12.84	



Şekil 3.12. Silindir beton numunelerinin test edilişi.

3.1.3.2. Donatı

Betonarme çerçevelerde kullanılan donatılar, S420 kalitesinde nervürlü olarak tercih edilmiştir. Kullanılan donatı çeliğinin akma ve kopma gerilmesi değerlerini belirlemek için, donatılardan alınan 3'er adet 400 mm uzunluğundaki numuneler, Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında bulunan 800 kN kapasiteli çelik çekme cihazı ile çekme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.12). Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Donatı çubuklarının çekme deneyi.

Çizelge 3.4. Deney elemanlarında kullanılan donatı çubuklarının özellikleri.

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_y (MPa)		Kopma dayanımı f_{su} (MPa)		Kopma birim uzaması ε_{su}		Türü
	ölçülen	ortalama	ölçülen	ortalama	ölçülen	ortalama	
Φ6	461	462	580	578	0.093	0.088	Nervürlü
	458		572		0.086		
	467		584		0.085		
Φ8	483	478	597	592	0.073	0.082	Nervürlü
	470		584		0.077		
	481		595		0.095		
Φ12	466	467	587	586	0.095	0.090	Nervürlü
	463		579		0.088		
	472		591		0.087		
Φ14	478	473	587	593	0.089	0.083	Nervürlü
	465		594		0.074		
	476		598		0.085		

3.1.4. Ankraj donatıları

Yaklaşık olarak 13 MPa beton basınç dayanımına sahip betonarme çerçevelerin dış prefabrike panel ilavesi ile güçlendirilebilmesi için, güçlendirilmemiş çerçeve ile eklenen yeni elemanların birlikte çalışması gerekmektedir. Bu birliktelik ancak ankraj donatıları ile sağlanabilir. Bu nedenle ankraj kapasitesine etki eden faktörler ve ankrajlarda görülen kırılma türleri kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

3.1.4.1. Ankrajlarda görülen kırılma türleri

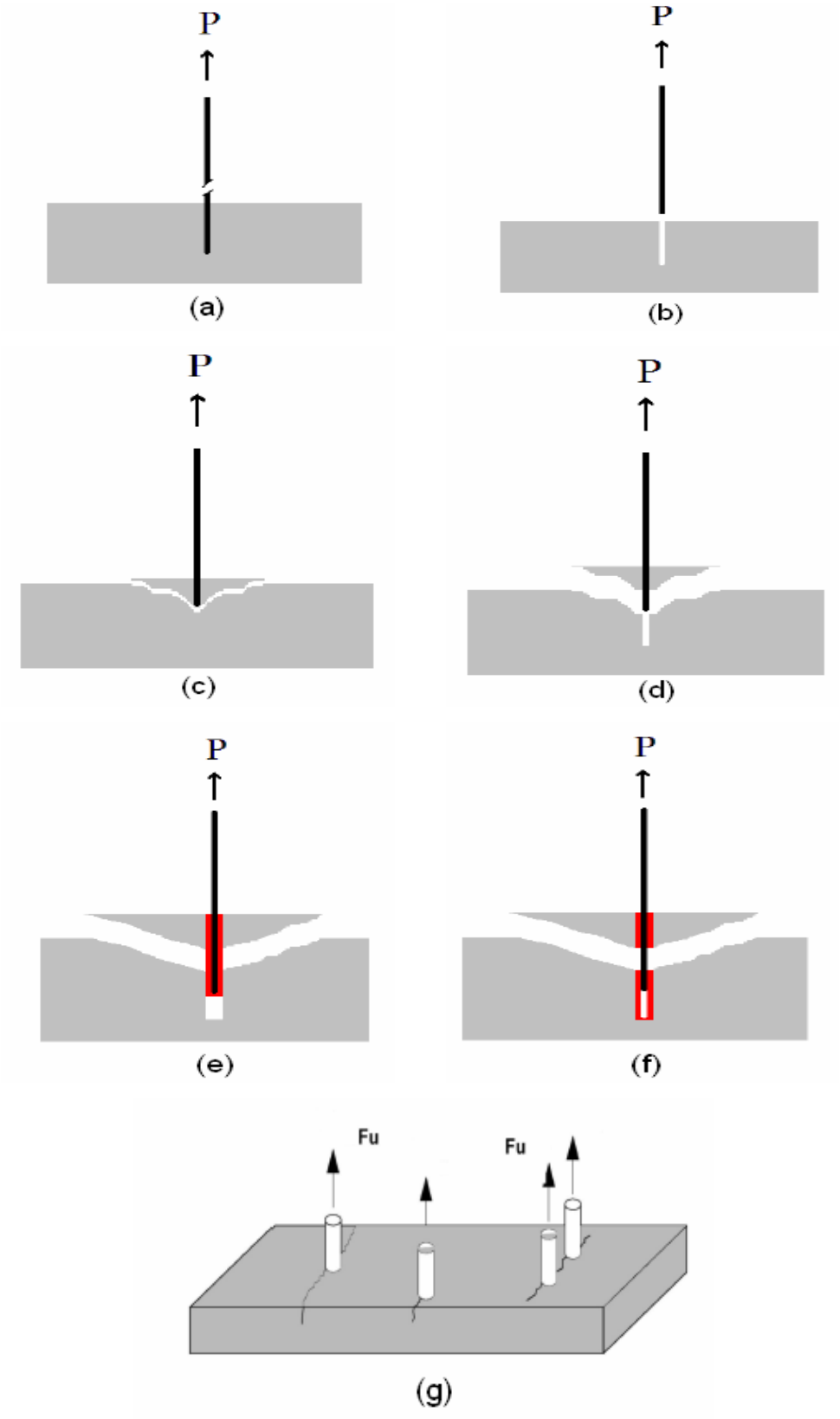
Amerika Beton Enstitüsü (ACI) betona yapılan ankrajları; betonlama esnasında yapılan ankrajlar (cast-in-place anchors) ve sertleşmiş betona sonradan yapılan ankrajlar (post installed anchors) olmak üzere iki ana gruba ayırmaktadır. Sertleşmiş betona sonradan yapılan ankrajlar da kimyasal ve mekanik olarak iki gruba ayrılır.

Çekme etkisi altındaki kimyasal ankrajlarda görülen ve göçme yüklerini tayin eden mekanizmalar beş şekilde sınıflandırılabilir (Eligehausan, 1984 – Cook, 1993):

- ***Ankraj Donatısının Kopması:*** Genellikle küçük çaplı donatı kullanımı, yüksek dayanımlı beton ve derin ankrajlarda; ankrajın taşıyabileceği çekme kuvveti ile donatının kopma dayanımının aşılması ile gerçekleşir (Şekil 3.14.a) (Kaya, 2007).
- ***Ankraj Donatısının Sıyrılması:*** Delik cidarında yapışma dayanımının aşılması ile sıyrılma gerçekleşir (Eligehausan, 1984). Sıyrılma yükü; kullanılan kimyasal ve betonun özelliklerine ve birbirleri ile etkileşimine bağlıdır (Cook, 1998). Malzemenin yapışma dayanımının düşük olmasının yanı sıra; malzemenin kötü kürlenmesi, yüzey hazırlıklarının eksik yapılması gibi durumlarda da sıyrılma görülebilir (Şekil 3.14.b).
- ***Betonun Konik Kopması:*** Malzeme ara yüzlerinin yeterli yapışmayı sergilediği durumlarda göçme, ankraj eksenine yapışık bir beton parçasının kopması ile gerçekleşir. Artan yüklerle genişleyen kılcal çatlaklar birleşerek betonun koparak ayrılmasına sebep olur. Yalnızca bir beton konisi ile göçme durumu sığ ankrajlarda görülür. Şekil 3.14.c, sığ ankrajlarda konik kopmayı göstermektedir.
- ***Konik Kopma ve Sıyrılmanın Birlikte Oluşması:*** Daha derin ankrajlarda, ankraj boyunca sığ bir koni ve koninin devamında sıyrılma bölgesinden oluşan, konik göçme ve sıyrılmanın birlikte gerçekleştiği karma göçme tipi gözlenir. Şekil 3.14.d derin ankrajlarda göçmenin, ankraj boyunca potansiyel koni yüksekliğinden sonra

sıyrılma ile de olduğunu göstermektedir (Kaya, 2007). Kullanılan malzemelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak, karma göçme tiplerinde sıyrılma bölgesi boyunca ve yalnız sıyrılma tipi göçmelerde ankraj alanı boyunca, sıyrılma, kimyasal ile beton ya da kimyasal ile donatı ara yüzünde gerçekleşebilir (Cook, 1998). Şekil 3.14.e' de yapı kimyasalı ile beton ara yüzündeki yapışma dayanımın, Şekil 3.14.f' de ise yapı kimyasalı ile donatı ara yüzündeki yapışma dayanımının aşılması ile farklı ara yüzlerde oluşan sıyrılma biçimleri görülmektedir.

- ***Betonun Yarılarak Göçmesi:*** Eğer ankrajlar kalınlığı az olan döşeme veya kiriş gibi bir elamana yapılıyorsa, betonda önce yarılma gerçekleşerek bir kırılma gözlenebilir (Şekil 3.14.g). Göçme yükü genellikle beton konisi ve sıyrılma ile gerçekleşen duruma göre daha azdır.



Şekil 3.14. Ankrajlarda görülen farklı göçme tipleri (Cook, 1998).

3.1.4.2. Ankraj kapasitesine etki eden faktörler

Ankraj dayanımını etkileyen faktörler iç ve dış faktörler olmak üzere ikiye ayrılır (Mazılıgüney, 2007). İç faktörler (kimyasal formülasyon, imalat işlemleri ve süresi, paketleme) tasarımcının kontrolünde olmayan işlemlerdir. Bizim için önemli olan beton dayanımı, donatı dayanımı, ankraj derinliği gibi tasarımcının elinde olan faktörlerin ankraj dayanımına etkisidir.

a) Beton dayanımı

Ankraj kapasitesi beton özelliklerine bağlı ise, göçme modunu belirleyen etken betonun çekme dayanımıdır. Çekme dayanımı basınç dayanımıyla ilişkilidir. Ancak çekme – basınç dayanımı ilişkisi agrega tipi, dağılımı ve tane büyüklüğü gibi karmaşık durumlardan etkilenir (Erdoğan, 2003). Bu nedenle agregada ayrışmaya izin veren yapı uygulamalarında çekme dayanımı, basınç dayanımına göre daha çok değişkenlik gösterir. Betonda ayrışma ise betonun düşme yüksekliğiyle (slump sonucuyla) ve yerleştirme sırasındaki vibrasyon miktarıyla alakalıdır. Yapıda ankrajların yapıldığı yere göre kapasitelerinin değişmesinin temel nedeni budur.

Gesoğlu (2005) yaptığı çalışmada, beton dayanımının ankraj dayanımına etkisinin, ankraj derinliğine bağlı olduğunu belirtmiştir. Buna göre küçük gömülme boylarında ankraj göçmesi, betonun koni şeklinde ayrılması ile gerçekleştiğinden beton etkisi daha belirgin olmaktadır. Yeterli gömülme boylarında ise kırılma şekli, sıyrılma yada donatı hasarı ile oluştuğundan beton etkisi azalmaktadır.

b) Donatı dayanımı

Kimyasal ankrajlarda genişleyen, dübel şeklinde, kapsüllü ve enjekte biçiminde ankrajlar yapılabilir. Donatıda kopma ancak yeterli uzunluktaki kenetlenme boylarıyla sağlanabilir. Kırılma türü olarak donatı hasarı kabul edildiğinde bağ dayanımının çelik dayanımıyla orantılı olarak artacağı açıktır. Nervürlü donatılar düz donatılara göre, kırılma tipi olarak bağlayıcı hasarı kabul edildiğinde daha büyük dayanım oluştururlar.

c) Kenar mesafesi

Eğer ankraj beton kenarına çok yakın yerleştirilirse, ankrajın göçme konisi kenar ile örtüşeceğinden kırılma yükü azalabilir. Bu nedenle kenar mesafesi kenar koni göçme modunu önleyecek yeterlilikte olmalıdır. ACI 349 – 85 (2001) bu mesafeyi aşağıdaki gibi tanımlamaktadır. Burada d_0: ankraj donatısının çapı (mm), f_{ut}: ankraj çeliğinin çekme dayanımı (MPa), $f_c^{'}$: beton basınç dayanımı (MPa), c_1: kenar mesafesini (mm) göstermektedir.

$$c_1 = d_0 . \sqrt{\frac{f_{ut}}{3{,}54 . \sqrt{f_c^{'}}}} \qquad (3.8.)$$

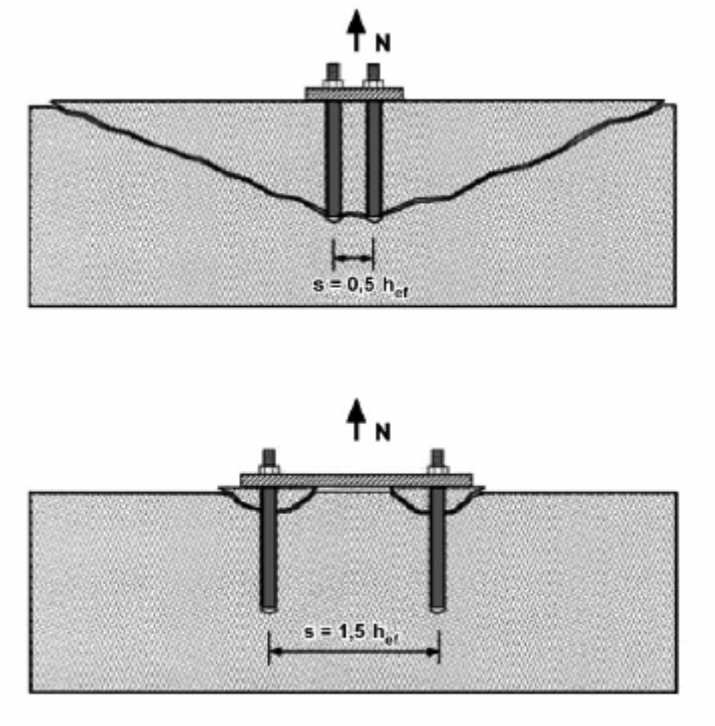
ACI 318-02 (2002)'de, ankrajın taşıma gücünü belirleyen betonun kopması ise dayanım Denklem 3.9'daki gibi ifade edilmektedir.

$$N_{CB} = \frac{A_N}{A_{N0}} . \psi_2 . \psi_3 . N_b \qquad (3.9.)$$

Bu denklemde ψ_2, ankrajın beton serbest yüzüne olan mesafesine bağlı olarak değişen bir katsayıdır. Eğer ankraj çubuğundan beton serbest yüzeyine olan aralık mesafesi, en az ankraj derinliği kadarsa $\psi_2 = 1.0$ olmaktadır. Eğer bu aralık ankraj derinliğinden az ise $\psi_2 < 1$ olmaktadır. Ankrajın kopması sırasında oluşan beton koni yüksekliği ankraj derinliği (h_{ef}) kadar olduğu için kenar mesafe için de önerilen değer budur. Ancak ACI 318 – 02 (2002) kenar mesafesi çok azalsa bile ψ_2 katsayısını 0.7'den aşağı düşürmemektedir. Kenar mesafesi $h_{ef}/2$ yapıldığı takdirde $\psi_2 = 0.8$ olmakta, yani dayanım ancak %20 düşmektedir. Ayrıca 9 inçten (22,86 cm) büyük olan ankraj derinliklerinde ankraj donatısı kenar yüzeye yakınlıktan etkilenmemekte ve donatı göçme moduna sınırlanmaktadır (Cannon, 1995). Ankraj derinliğini seçerken bu etkinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

d) Ankraj aralığı

Bir ankraj grubundaki ankrajlar birbirlerine çok yakın yerleştirilirse, kırılma konileri üst üste geleceği için genel bir göçme konisi oluşup ankrajların hepsi betonla birlikte ayrılabilir. Dolayısıyla ara mesafesi büyük olan bir ankraj grubuna göre daha düşük bir kırılma yükü elde edilebilir ve kırılma Şekil 3.15.'de gösterildiği gibi olur.

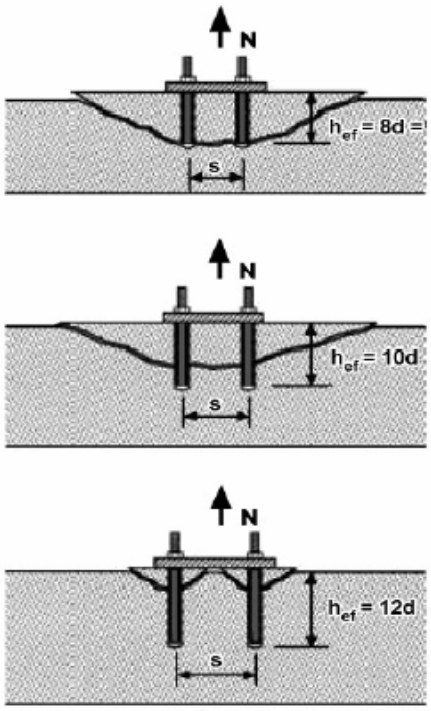


Şekil 3.15. Birbirine yakın ankrajlarda göçme modu (Cook, 1998).

Kenar mesafesi bölümünde verilen ACI 318 – 02'deki Denklem 3.8'de A_{N0}; tek bir ankrajın kopartacağı beton piramidin beton yüzeydeki izdüşümü alanını göstermektedir. A_N ise bir ankraj grubunun toplam beton kopma alanı izdüşümüdür. Yani birbirine yakın ankrajlarda oluşan bileşke beton konisi alanı, tek bir ankrajın kopmasıyla oluşan beton alanına göre daha büyük olmakta, bu da kırılma yükünün arttığını göstermektedir. Ancak artış donatı sayısıyla orantılı olmamaktadır. Örnek olarak 4 donatıdan oluşan bir ankraj grubunun dayanımı, tek bir ankrajın taşıdığı yükün 4 katı kadar olmamakta, her bir ankrajın oluşturduğu konilerin çakışmasıyla daha düşük bir kırılma yükü elde edilmektedir. Donatılar arasında ankraj derinliği kadar mesafenin olması bu etkiyi önemli ölçüde azaltmaktadır.

e) Ankraj derinliği

Gesoğlu (2005), ankrajın sıyrılma kapasitesi için en önemli etkenin ankraj derinliği olduğunu belirtmiştir. Ankraj ve beton özellikleri sabit tutulduğu taktirde, sıyrılma kapasitesi ankraj derinliğiyle birlikte nerdeyse lineer olarak artmaktadır. Unterweger (1998) kimyasal ankrajlarda, etkili gömülme boyunun ankraj donatısının veya bulon çapının 10 katı kadar olduğunu belirtmiştir. TDY – 2007 de, perde ilavesiyle güçlendirmelerde kullanılması gereken minimum ankraj donatısı çapının 16 mm, ankraj derinliğinin ise çubuk çapının en az 10 katı olması gerektiğini belirtmektedir. Yani güçlendirme uygulamalarında yapılacak ankraj derinliği TDY – 2007'ye göre en az 160 mm'dir. Cook (1998) ise yaptığı çalışmada, ankraj derinliğinin en az 12Φ olmasını tavsiye etmektedir (Şekil 3.16.).

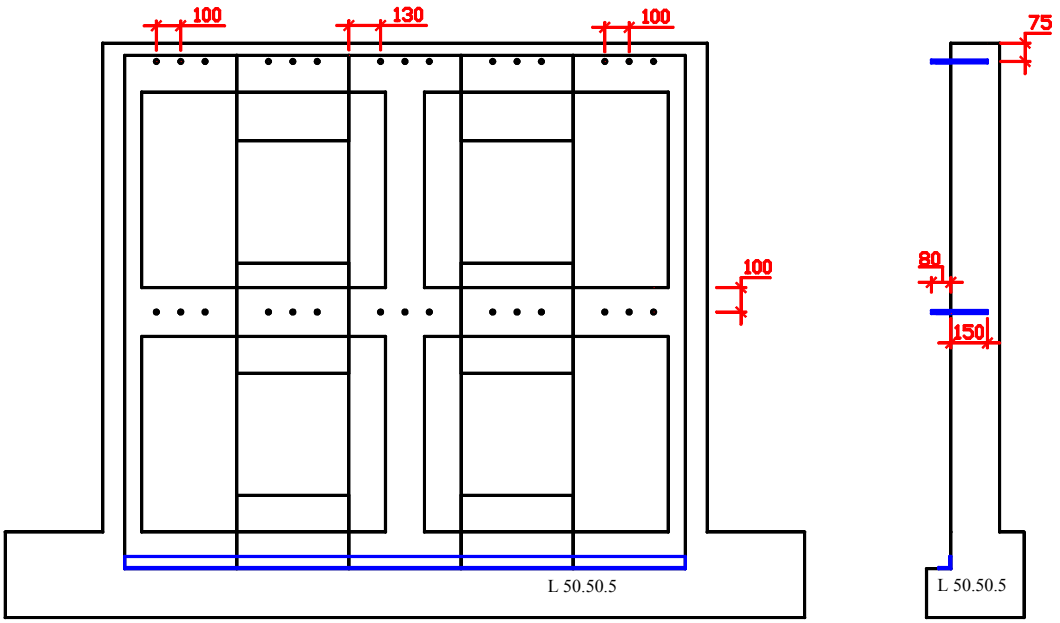


Şekil 3.16. Ankraj derinliğine bağlı olarak oluşan kırılma modları (Cook, 1998).

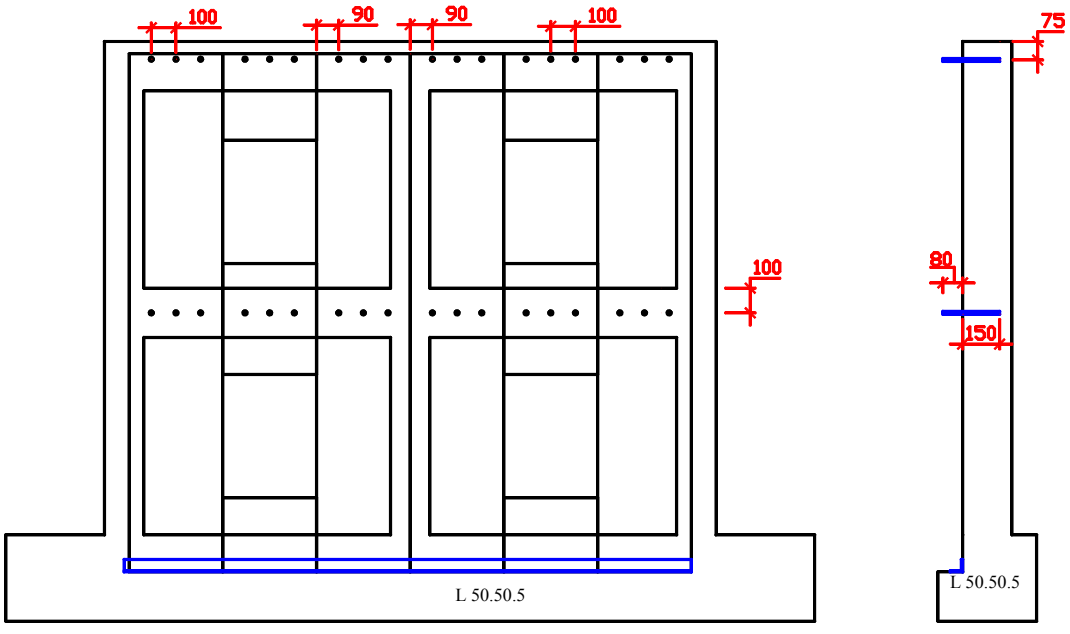
3.1.4.3. Ankraj detaylandırması için yapılan çalışmalar

Bu tez kapsamında uygulanan ankraj detaylandırması ile ilgili olarak prefabrike paneller ile zayıf deprem dayanımlı çerçeve arasındaki ankrajların nasıl yerleştirileceği ve bu ankrajların ne kadar yük taşıyabilecekleri araştırılmıştır. Deneylerin 1/3 geometrik ölçekte yapılmasından dolayı, çok yüksek yük değerlerine çıkılacak olması, yük aktarımını tek bir ankrajla sağlamayı imkânsız kılmıştır. Bu durumda her prefabrike panel için üç adet $\Phi 12$ ankraj donatısının kat hizasında kiriş boyunca yerleştirilmesi

düşünülmüştür. Ölçeğin 1/3 olması ile Φ10 (0.78 cm^2)'lik donatının kullanılması, gerçekte yaklaşık olarak Φ20 (3.14 cm^2)'lik donatıya karşılık gelmekte ve bu donatının uygulanmasında sorun olmayacağı düşünülerek deney elemanlarında ankraj çubuğu olarak Φ10 'lik donatının kullanılması uygun görülmüştür. Şekil 3.17 'de iki numaralı deney elemanı için ve Şekil 3.18 'de üç numaralı deney elemanı için ankraj çubuklarının yerleşim detayları verilmiştir.



Şekil 3.17. İki numaralı deney elemanı ankraj çubukları yerleşimi (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.18. Üç numaralı deney elemanı ankraj çubukları yerleşimi (Ölçüler mm'dir.)

Şekil 3.17 ‘de iki numaralı deney elemanı için ve Şekil 3.18 ‘de üç numaralı deney elemanı için verilen detaylarda da görüldüğü üzere iki ve üç numaralı deney elemanlarının temel boyutları güçlendirilmemiş olan bir numaralı deney çerçevesi temel boyutlarından farklıdır. Çerçeveleri güçlendirmek amacıyla ilave edilecek prefabrike panellerin temellere ankrajının sağlanması için temeller hazırlanırken prefabrike panellerin yerleştirilebileceği şekilde boş bırakılmıştır.

TDY – 2007’de yeni yapılacak betonarme perdeler ile mevcut çerçeveler arasında ankraj kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmekte ve bu ankrajların minimum çaplarının Φ 16 mm ve ankraj aralıklarının ise maksimum 400 mm olması gerektiği bildirilmektedir. Buna göre seçilen ankraj çapı ve aralığı Denklem 3.10.’da açıklandığı gibi Φ10 / 100 mm’ dir.

$$\frac{l_{ankraj}}{\Phi_{ankraj}} = \frac{100}{10} = 10 \leq \frac{400}{16} = 25 \qquad (3.10.)$$

Yönetmelikte ayrıca ankraj derinliğinin en az, çubuk çapının 10 katı kadar olması gerektiğinden de bahsedilmektedir. Buna göre minimum ankraj derinliği 100 mm olmakta ve buna karşılık ankraj derinliği olarak 150 mm seçilmiştir.

3.2. Prefabrike Panellerin Hazırlanması

İkinci ve üçüncü deneylerde deneye tabi tutulacak deprem dayanımı yetersiz olan çerçeveler, dışarıdan ilave edilecek iki farklı şekilde planlanmış prefabrike paneller yardımı ile güçlendirilecektir. İkinci ve üçüncü deneyler için farklı şekil ve boyutlarda prefabrike paneller hazırlanmıştır. İkinci deneyde beş sıra olarak toplam 3.956 m^2 panel alanı, üçüncü deneyde ise altı sıra olarak toplam 4.066 m^2 panel alanı kullanılmıştır. Panel alanları yaklaşık olarak aynı hedeflenmiş, aradaki fark panel alanının artmasının davranışı nasıl etkileyeceği hedeflenerek bırakılmıştır. Benzer şekilde ikinci deneyde beş sıra olarak planlanan panel sayısı, üçüncü deney için arttırılarak altı sıra olarak belirlenmiştir. Her iki deney için de güçlendirilmemiş çerçevelerin özelliklerin boyutları aynı olması nedeniyle panel kalınlığı da aynı olarak düşünülmüştür.

Prefabrike panellerin pratik olarak kullanılabilmesi amacıyla düşey doğrultuda iki katı birden kapatabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ülkemizde özellikle ilköğretim

okulları ve sağlık ocaklarının birçoğunun iki kat olduğu düşünüldüğünde, prefabrike panellerin iki kat yüksekliğinde olmasının hem imalat açısından hem de sergileyeceği davranış bakımından avantajlı olacağı düşünülmüştür. Prefabrike paneller tasarlanırken yapıda olası pencere boşlukları dikkate alınmış ve pencere boşluklarının geldiği bölgeler güçlendirilmiş sistemde de boş olarak bırakılmıştır. İki numaralı deney numunesi için 9 adet prefabrike panel, üç numaralı deney numunesi için ise 10 adet prefabrike panel olmak üzere toplam 19 adet prefabrike panel hazırlanmıştır. İki numaralı deney numunesinde kolon hizasında iki kat yüksekliğinde bir panel ile başlanılmış, daha sonra pencere boşlukları düşünülerek üç adet prefabrike panel ile devam edilmiş sonrasında tekrar kolonu tam ortalayacak şekilde ortada bir panel kullanılmış ve daha sonra da sistemi simetrik olarak tamamlayacak diğer paneller yerleştirilmiştir. Üç numaralı deney numunesinde benzer şekilde kolon hizasında iki kat yüksekliğinde bir panel ile başlanılmış, daha sonra pencere boşlukları düşünülerek üç adet prefabrike panel ile devam edilmiştir. Sonrasında ise iki numaralı deney numunesinden farklılık göstererek ortadaki kolon hizasında iki adet düşey panel kullanılmış ve daha sonra da sistemi simetrik olarak tamamlayacak diğer paneller yerleştirilmiştir.

Tasarlanan bu prefabrike panellerin gerçek boyutlarda imal edilerek bir yapıya uygulanmasında prefabrike panellerin iki kat yüksekliğinde olmasından dolayı montajında bazı zorluklarla karşılaşılabileceği düşünülebilir. Ancak günümüzde vinç teknolojisinin oldukça ilerlemiş olması iki kat yüksekliğindeki bu panellerin yerleştirilmesin mümkün olduğunu göstermektedir.

3.2.1. Prefabrike panel kalınlığı

Prefabrike panel kalınlığı seçilirken numunelerin yaklaşık 1/3 oranında olduğu düşünülerek 50 mm seçilmiştir. Prefabrike panellerin etrafında kullanılan L profillerinin kalınlığı da aynı şekilde 50 mm olarak seçilmiştir.

3.2.2. Prefabrike panel donatıları

Yatay ve düşey doğrultuda 15 cm ara ile Φ6 (0.283 cm^2)'lik donatı kullanılmıştır. Ölçeğin 1/3 olması nedeniyle hasır çelik şeklide yerleştirilen bu donatı prefabrike paneller için yeterli olmuştur.

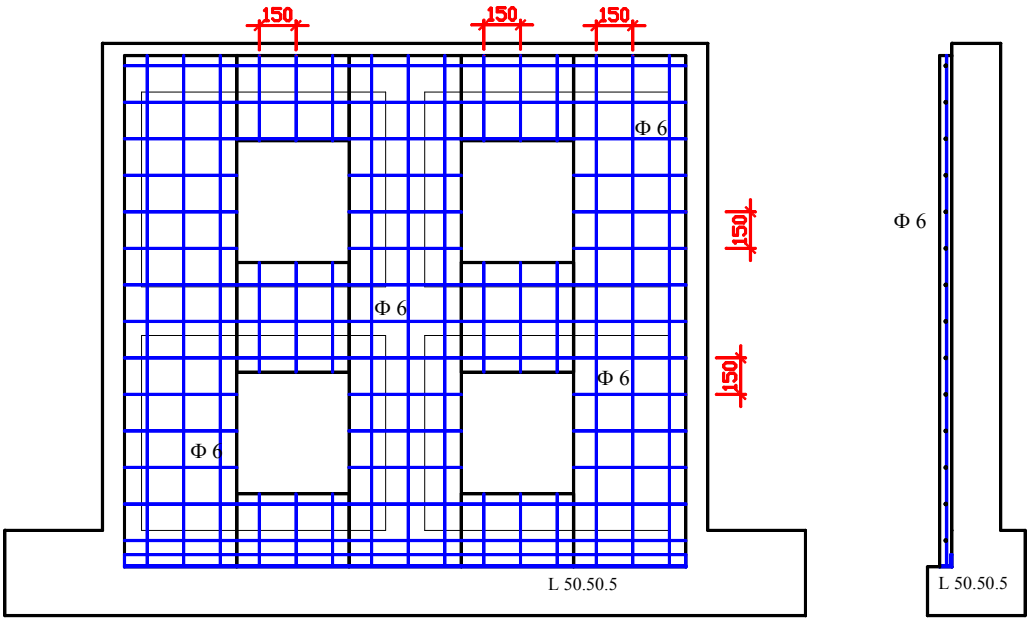
$$\Phi 6/15 \quad 1.89\ \text{cm}^2\ \rho = \frac{1.89}{5x100} = 0{,}0038 \geq 0{,}0020 \qquad (3.11.)$$

Şekil 3.19 ‘da iki numaralı deney elemanı için ve Şekil 3.20 ‘de üç numaralı deney elemanı için prefabrike panellerin donatı yerleşim detayları verilmiştir.

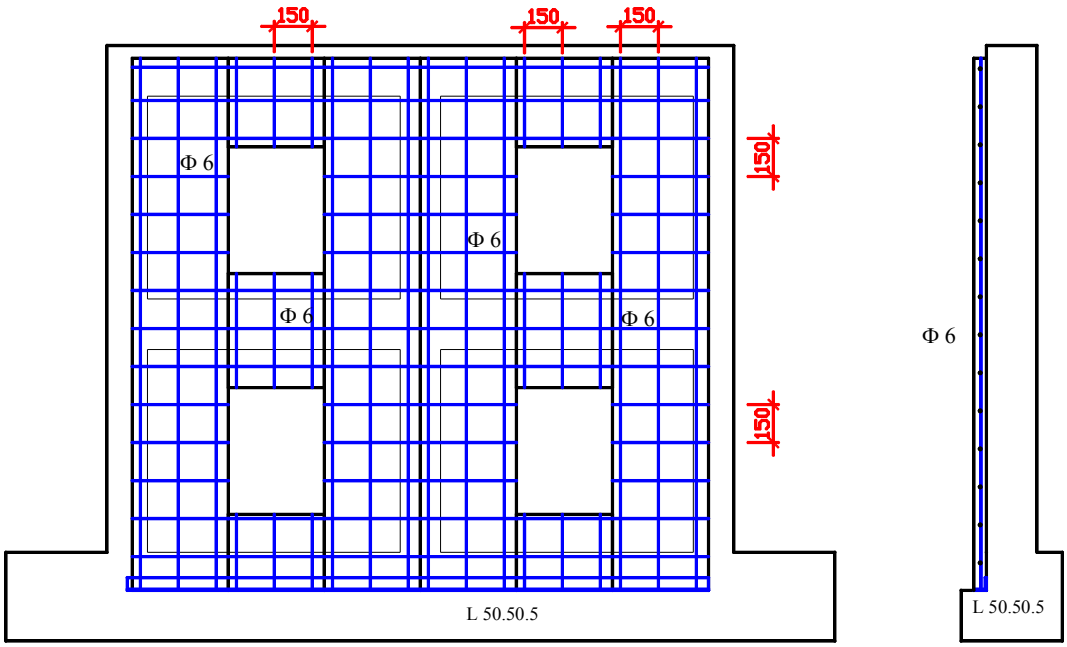
Ayrıca prefabrike panel kenarlarında L profilleri kullanılmıştır. Kullanılan profiller bir prefabrike panelin etrafını tamamen kuşatmıştır. Prefabrike panellerin çerçeveye ankrajının bu profillerden faydalanılarak yapılması amaçlanmıştır.

Prefabrike paneller hazırlanırken ilk olarak kasası, L profillerinin uygun şekilde kaynatılmasıyla hazırlanmıştır (Şekil 3.21, Şekil 3.22). Daha sonra Φ10 ankraj çubuklarının geçirilebilmesi için prefabrike panelde hazır boşluk bırakmak amacıyla 50 mm yüksekliğinde kesilen Φ12 boşluk çapı olan borular prefabrike panellerin çerçeveye ankraj yapılacağı noktalarda L profillerine kaynakla birleştirilmişlerdir.

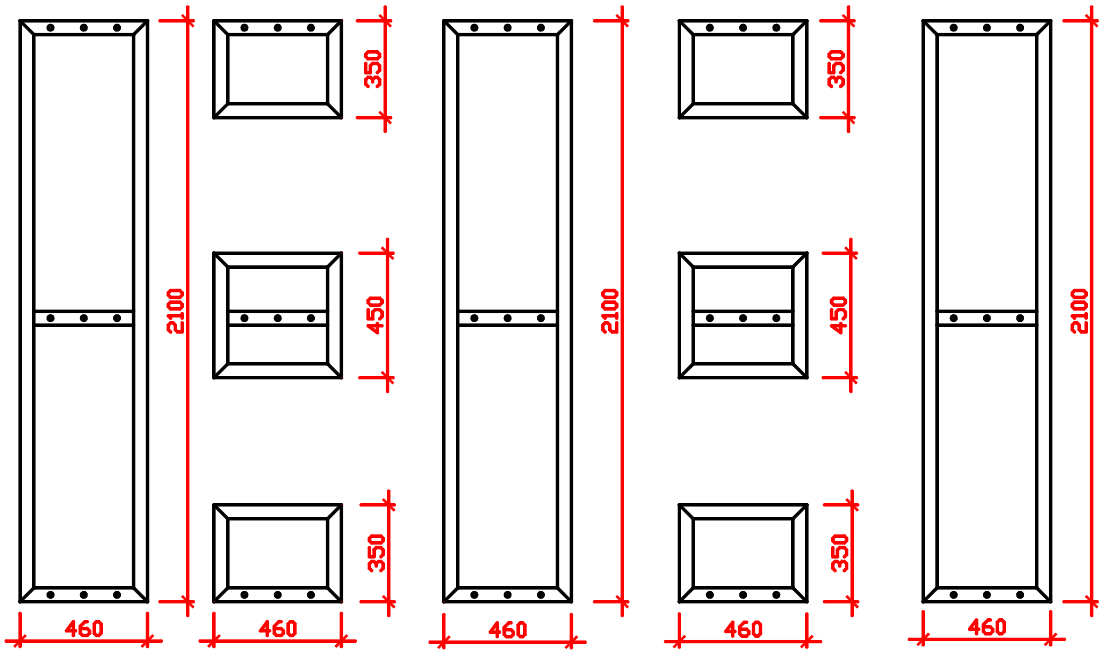
Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’ de ise profillerin genel görünüşü verilmiştir.



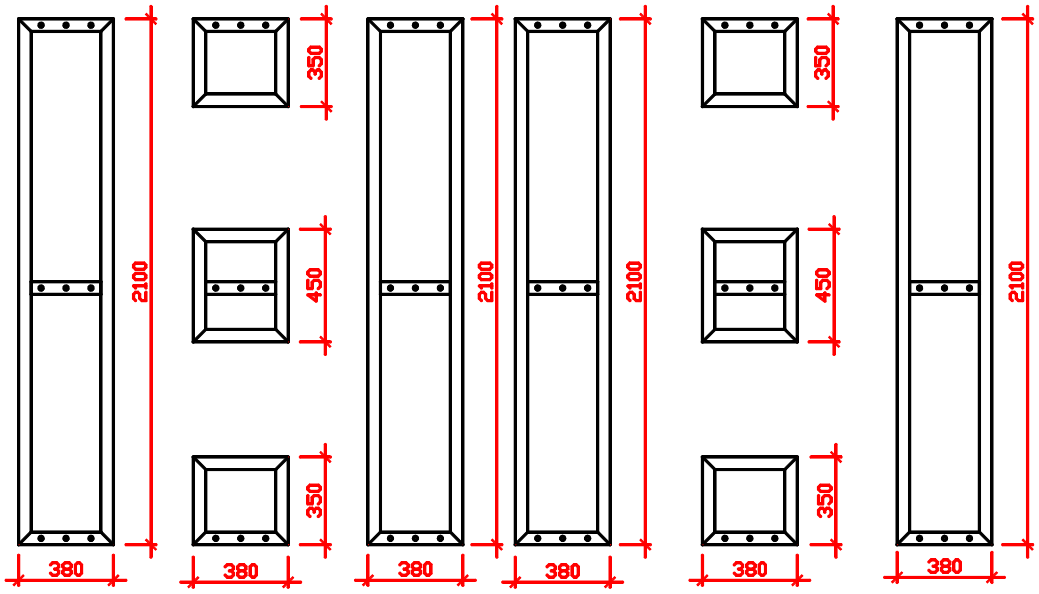
Şekil 3.19. İki numaralı deney elemanı prefabrike panel donatı yerleşim planı (Ölçüler mm’dir.)



Şekil 3.20. Üç numaralı deney elemanı prefabrike panel donatı yerleşim planı (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.21. İki numaralı deney elemanı prefabrike panellerinde kullanılan L profilleri (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.22. Üç numaralı deney elemanı prefabrike panellerinde kullanılan L profilleri (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.23. Prefabrike panellerinde kullanılan L profilleri ve donatıları.



Şekil 3.24. Prefabrike panellerinde kullanılan L profilleri ve donatıları.

3.2.3. Prefabrike panel betonu

Aynı kalitede beton elde edebilmek amacıyla, prefabrike panellerinin tamamının betonu, hazır beton olarak aynı anda *PRESAN* prefabrike tesislerinde dökülmüştür. Döküm işlemi, çerçeveler yatay konumda iken gerçekleştirilmiştir. Prefabrike paneller ile güçlendirilecek iki adet deney numunesi için kullanılacak toplam 19 adet prefabrike panel betonu aynı anda hazırlanmıştır. Prefabrike paneller güçlendirme elemanları olarak hazırlanacaktır. Güçlendirme elemanı olarak kullanılacak bu elemanların minimum basınç dayanımı 20 MPa olması gerekmektedir. Prefabrike panellerin fabrika ortamında hazırlanacağı da düşünüldüğünde istenilen beton basınç dayanımını elde etmek şantiye ortamına göre daha kolaydır. Bu nedenle prefabrike panellerin ortalama beton basınç dayanımı 30 MPa olarak hedeflenmiştir.

Prefabrike panellerde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımını belirlemek amacıyla toplam 6 adet standart silindir numunesi alınmıştır.

7 ve 28 günlük beton basınç dayanım değerleri, prefabrike panellerin betonu dökülürken alınan toplam 6 adet silindir numunesinin, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında 3000 kN kapasiteli dijital pres makinesi ile kırılması sonucunda elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Prefabrike panellerin ortalama beton basınç dayanımları.

Numune No	$f_{c,\ 7gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 7gün}$ Ortalama (MPa)	$f_{c,\ 28\ gün}$ (MPa)	$f_{c,\ 28gün}$ Ortalama (MPa)
1	23.56	23.55	32.45	31.62
2	22.97		31.65	
3	24.12		30.77	

4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

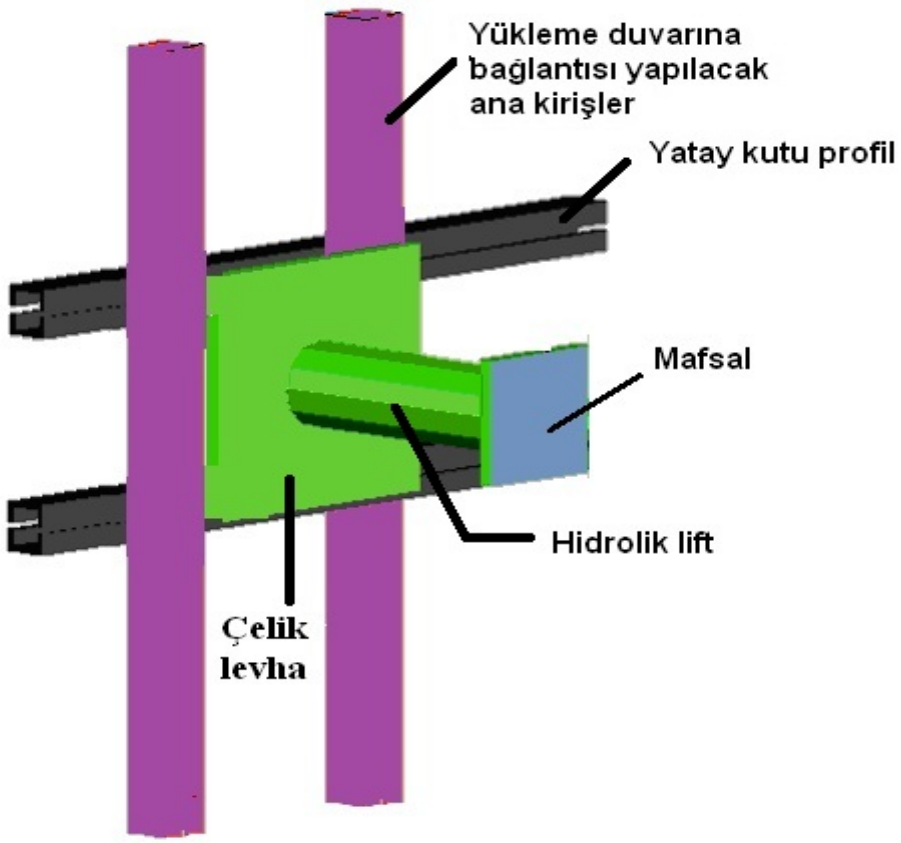
4.1. Giriş

İki katlı iki açıklıklı, deprem dayanımı zayıf betonarme çerçevelerin ve bu çerçevelerin dışından prefabrike panel uygulaması ile güçlendirilmiş hallerinin, depremi temsil eden tersinir – tekrarlanır yatay yükler altında denenmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar, Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında hazırlanmış olan 3 adet betonarme çerçeve numunesi (1 adet güçlendirilmemiş çerçeve ve 2 adet prefabrike paneller ile güçlendirilmiş çerçeve), 300 kN kapasiteli rijit çelik yükleme çerçevesi sistemi kullanılarak denenmiştir. Deneylerde, bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve anında kayıt altına alınmıştır. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp; sistemin nominal akma yükü değerinden sonra deneye yer değiştirme kontrollü devam edilmiştir. Yükleme, hidrolik pompa aracılığı ile mümkün olduğu kadar düzenli ve deney sırasında oluşan çatlak gelişimini gözleyecek bir hızda yapılmıştır.

4.2. Deney Düzeneği

Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarı 2006 yılında tamamlanmış olup, bizim çalışmamızdan önce birkaç deney yapılmış ve bu deneyler bizim çalışmamızla paralel olduğundan dolayı yükleme ve deney düzeneği benzer şekilde kullanılmıştır. Yükleme sisteminin ayrıntıları Şekil 4.1'de verilmiştir.

Yatay yükü verecek hidrolik silindirin, hem yatayda hem de düşeyde hassas olarak hareket ettirilecek şekilde sabitlenebilmesi amaçlanmıştır. 3 m boyundaki U profillerden, ortası 40 mm genişliğinde boş kalacak şekilde 4 adet kapalı kutu profil üretilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan yükleme sistemi.

Bu profillerden 2 adedi yere yatay olarak rijit yükleme duvarına, 2 m boyunda özel yapım yivli millerle sabitlenmiş ve bunların üstüne, kalan 2 adet profil yere dik olacak şekilde bağlanmıştır. Yere dik profillerin üstüne de 500 mm × 500 mm ebadında ve 50 mm kalınlığında çelik levha vidalanmış ve önüne 500 mm uzunluğunda "Enerpac" marka hidrolik lift konulmuştur. Levha ve lift arasına da 40 mm kalınlığında çelikten imal edilen mafsal bağlantı yerleştirilmiştir. Hidrolik liftin ön kısmında bulunan yivlere girecek şekilde 300 mm × 300 mm ebadında ve 50 mm kalınlığında levha üretilmiş ve sabitlenmiştir. Böylelikle hidrolik silindir yükleme duvarından konsol olarak uzanmakta ve 3 m yatayda ve düşeyde kolaylıkla yer değiştirebilmektedir (Şekil 4.2 a – b).

Numunenin düzlem dışı hareketini engellemek için numuneye paralel olarak yerleştirilecek bir çelik çerçeve sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için 60 mm çapında ve 3 m boyunda boru profiller, L şeklinde imal edilen ve laboratuvar döşemesine sabitlenen özel yapım levhalara kaynakla sabitlenmiştir (Şekil 4.3).



(a) (b)

Şekil 4.2. Yükleme düzeneği imalatı ve çift noktadan yükleme sistemi.



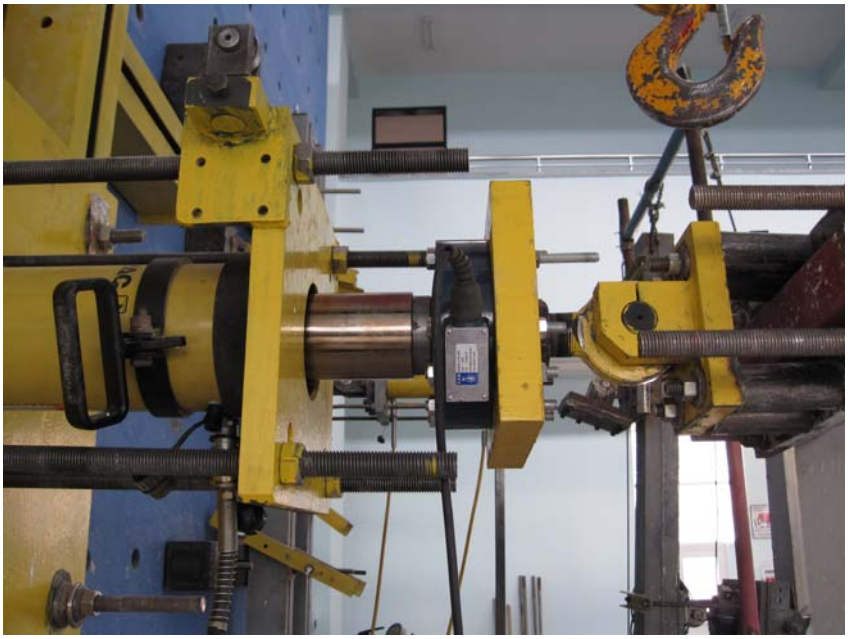
Şekil 4.3. Düzlem dışı hareketi engelleyen sistem.

4.3. Ölçme Tekniği

Deneylerde yük ölçümleri load cell (yük hücresi) ile, çerçeve sistemindeki yer değiştirmeler LVDT'ler ile, dönmeler ise Dial-gage' ler kullanılarak ölçülmüştür. Bu aletlerden okunan değerler, anında bilgisayara 16 + 4 (20) kanallı TDG marka veri toplama (data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

4.3.1. Yük ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Yatay yükün kontrol etmek için bir adet yük hücresi (load cell) kullanılmıştır (Şekil 4.6). Toplam yükü ölçen bu load cell, 500 kN kapasitelidir. Yük hücreleri, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlı olup, alınan gerilmeler data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücrelerinden okunan yük değerleri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan yük ölçüm düzeneği.

4.3.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deney numunelerindeki ötelenmeler, LVDT olarak adlandırılan ve ötelenme miktarını ölçen elektronik cetveller yardımıyla ölçülmüştür. LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 100, 200, 400 mm'lik LVDT'ler kullanılmıştır.

LVDT'lerin yerleşimi amacıyla, içerisine yivli delik açılmış boru profiller imal edilmiştir. Dikey olarak laboratuvar döşemesine sabitlenen boruların, dışından geçirilen daha büyük çaplı boru parçalarına kaynatılan elemanlar vasıtasıyla "potansiyometrik cetveller" istenen seviyede ve istenen açıda numune üzerinden okuma yapabilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yer değiştirmeyi ölçen LVDT ve sabit tutulması için boru profile bağlanması.

Kolon diplerinde meydana gelen eğrilik ve dönmelerin ölçülebilmesi için, 50 mm kapasiteli dijital yer değiştirme ölçer saatler (dial gauge) kullanılmıştır. Bu komparametrik saatlerin veri toplama iskelesine bağlantısını yapabilmek için ara bağlantı elemanları imal edilmiştir.

4.3.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

Yük hücreleri ve LVDT'lerden alınan gerilimler, ara bağlantı kutuları yardımıyla veri toplama sistemine (data logger'a) iletilmektedir. Veri toplama sistemi, üzerinde yük hücreleri ve LVDT'lerin çıkış uçlarının bağlandığı 16 kanaldan ve 4 adet dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 3 adet veri toplama kutusu ile bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir aygıt geçidinden oluşmakta ve veriler bu geçitten bilgisayara aktarılmaktadır. CODA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınabilmektedir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilimler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım CODA programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm, komparametreler için 0.001 mm

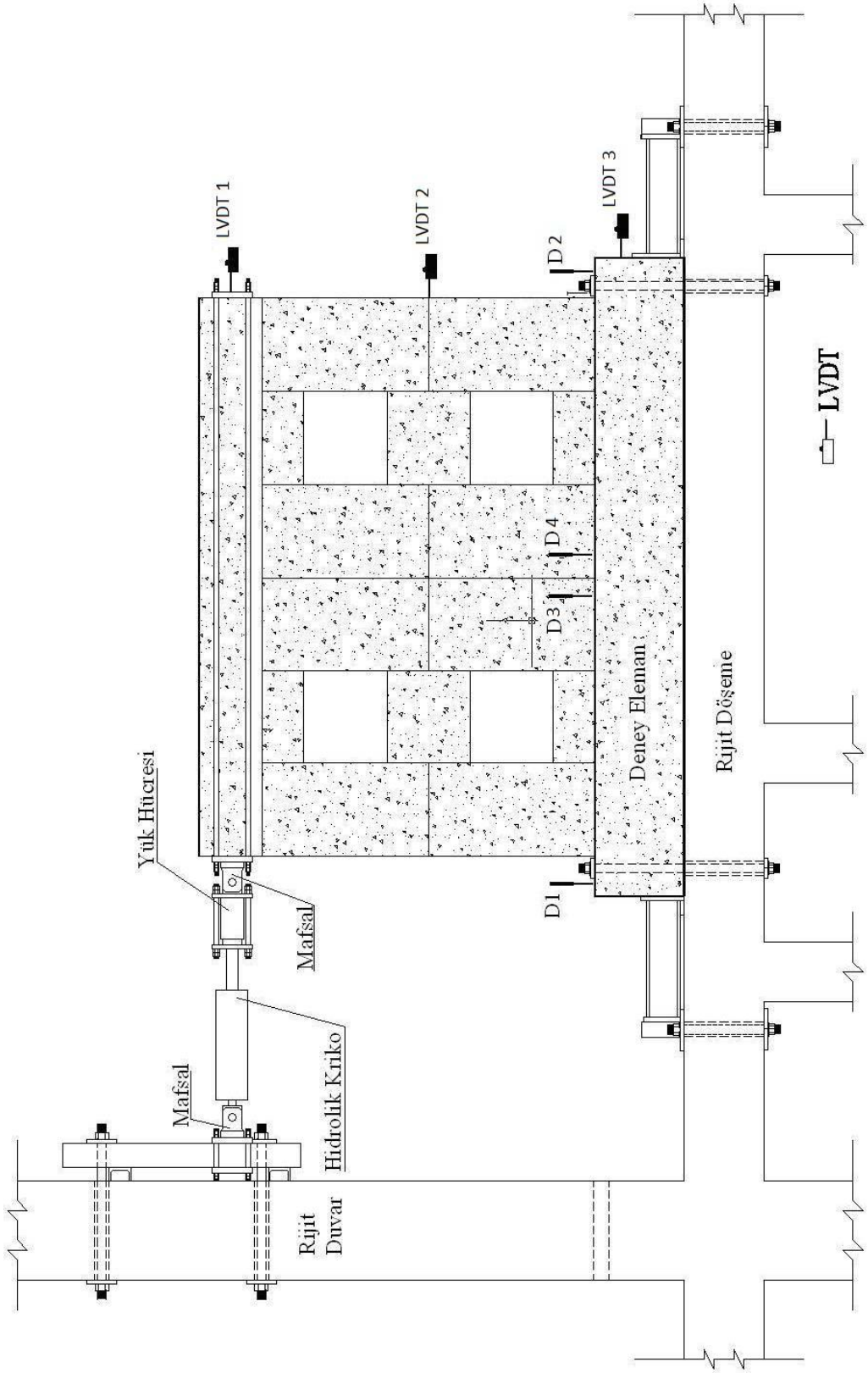
hassasiyetle ve yük hücreleri için de 0.2 kN hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir. Kullanılan kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayarda kayıt altına alınmakta ve deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programında okunabilecek şekildedir.

4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

Deneylerde yapılacak yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçümleri için, LVDT ölçüm aletlerinin kullanıldığı daha önce belirtilmişti. Her katın temele göre yatay yer değiştirmesinin ölçülmesi için 200 ve 400 mm uzunluğunda LVDT'ler kullanılmıştır. Şekil 4.8'de referans çerçevesinin LVDT yerleşimi gösterilmiştir. Şekil 4.9'da çerçevelerdeki LVDT yerleşimlerinin şematik durumu, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de farklı prefabrike paneller ile güçlendirilmiş çerçevelerin LVDT yerleşimleri gösterilmiştir.



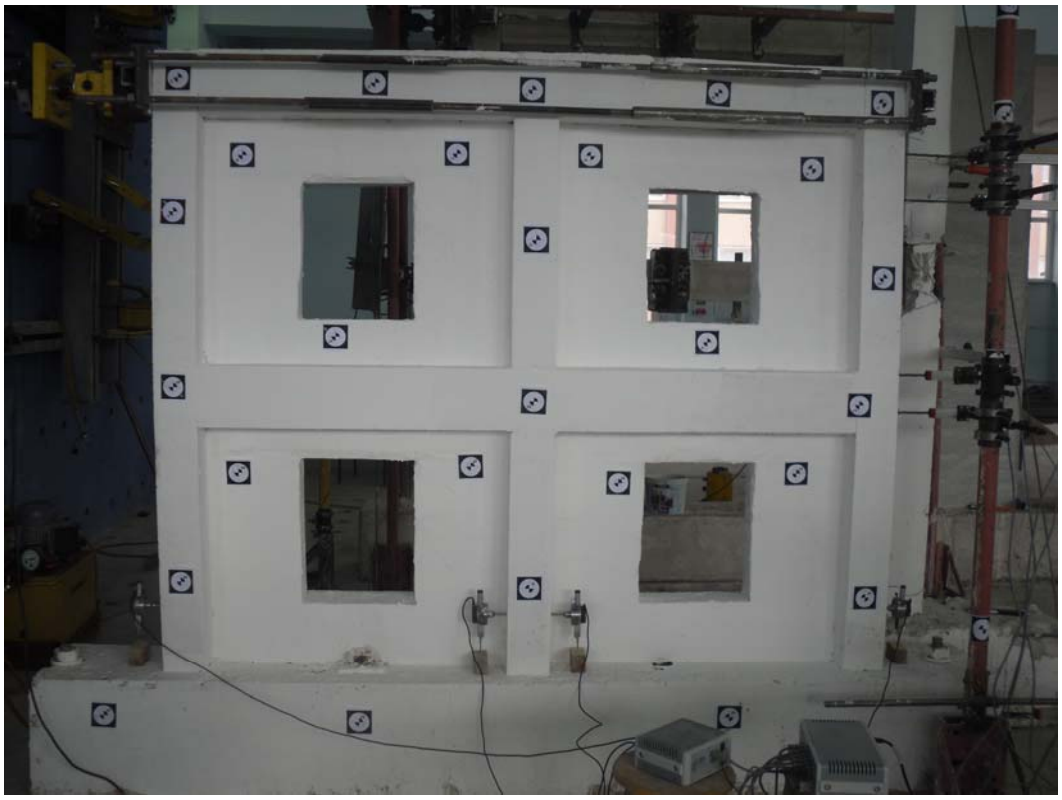
Şekil 4.8. Referans elemanı 1.deney çerçevesinde kullanılan ölçüm düzeneği.



Şekil 4.9. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği (LVDT ve load cell yerleşimi).



Şekil 4.10. Prefabrike paneller ile güçlendirilmiş 2.deney çerçevesi deneyinde kullanılan ölçüm düzeneği (ön ve arka görünüş).





Şekil 4.10. Prefabrike paneller ile güçlendirilmiş 3.deney çerçevesi deneyinde kullanılan ölçüm düzeneği (ön ve arka görünüş).

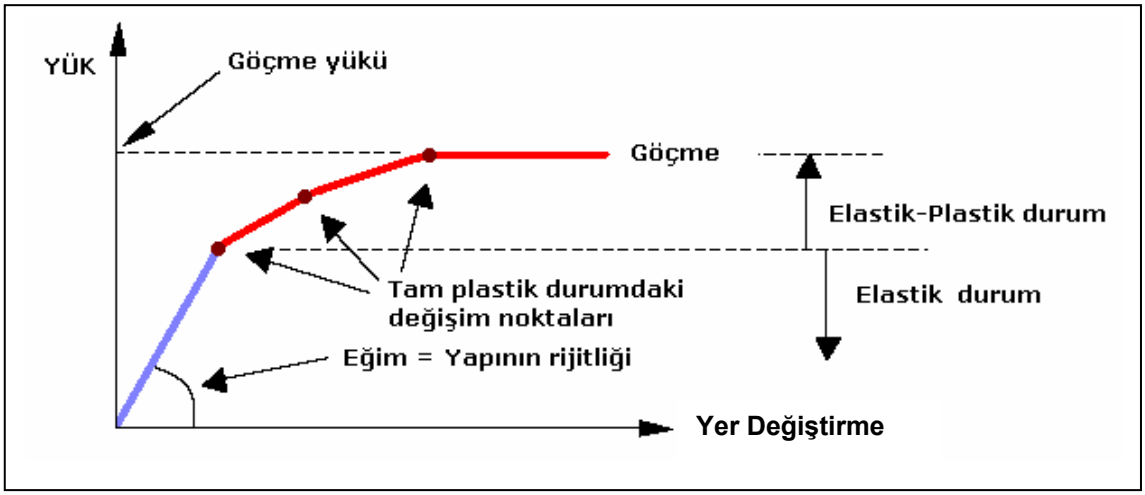
4.5. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı

Deneylerde uygulanan yükleme programı, sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü olarak, akma sınırından sonra ise yer değiştirme kontrollü olarak planlanmıştır. Yükleme programı her bir deney için farklı olmuştur. Her bir numunenin akma yükü ve maksimum yatay yük taşıma kapasitesine bağlı olarak elde edilen yükleme programı, çerçevelerin yük – yer değiştirme eğrilerinin tahmini ile oluşturulmuştur. Çerçevelerin yük – yer değiştirme eğrileri, SAP2000 programının statik nonlineer analiz (pushover analiz = statik itme analizi) alt programıyla elde edilmiştir. Analizde malzeme deneyleri sonunda elde edilen ve 3. Bölüm'de verilen gerçek malzeme değerleri kullanılmıştır.

Betonarme yapıların, düşey ve yatay yüklere göre analizi için doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri kullanılabilmektedir. Yönetmeliklerde yer alan ve günümüzde sıkça kullanılmakta olan lineer analiz yöntemi, eşdeğer statik deprem yükü yöntemi ve tasarım spektrumu kullanılarak yapılan dinamik analizdir. Nonlineer statik analiz (pushover) yöntemi ise, kapasite spektrumu (CMS) ve yer değiştirme katsayısı yöntemleriyle (DCM) birlikte kullanılmaktadır.

Kapasite spektrumu yöntemi, yapının kapasite spektrum eğrisinin ve indirgenmiş talep (karşılık) spektrumunun, maksimum yer değiştirmeın oluştuğu bir noktada kesişmesini esas alır. Kapasite spektrumu yöntemindeki deprem talep yer değiştirmeı, kapasite spektrumu eğrisi üzerinde, "Performans Noktası" olarak adlandırılan bir noktada oluşur. Bu performans noktası, yapının sismik kapasitesini; yani belirli bir depreme maruz yapının verdiği tepkiyi gösterir. Bu yöntem, hesap kolaylığı ve uygulanabilirlik sağlaması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Arslan, 2007).

Yer değiştirme katsayısı yöntemi ise, kapasite spektrum yöntemine benzer şekilde, kapasite ve talebin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Fakat bu yöntemde yer değiştirme talebi grafik olarak değil, sayısal bir biçimde gösterilmektedir. Bu durumda kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek kalmamaktadır. Şekil 4.11'de tipik yük – yer değiştirme eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.11. Yük – yer değiştirme grafiği üzerinde yapı davranışı (STA4-CAD kılavuzu).

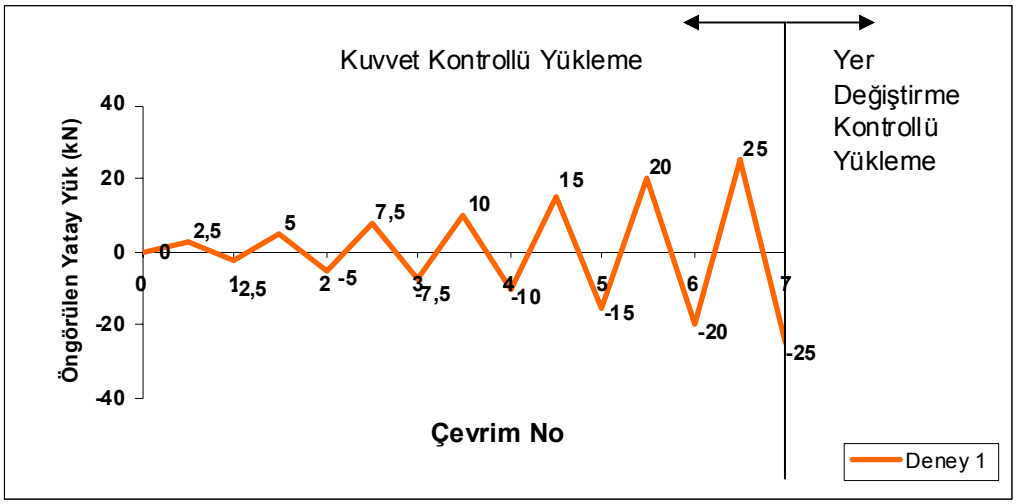
Elastik analiz yöntemleri, yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde temsil edebilir ve ilk elastik ötesi davranışın oluşabileceği noktaları gösterebilir. Buna karşın, yapının göçme mekanizmasını ve akma sınırında (elastik ötesi davranışta) kuvvet dağılımını belirleyemez. Elastik olmayan analiz yöntemleri ise, yapıların hangi bölgelerinde zayıflıkların olduğunu, göçme anına kadar davranışlarını ve yıkılma durumundaki davranış biçiminin nasıl olacağını büyük bir yaklaşıklıkla gösterebilmektedir. Tasarım ve değerlendirme amacıyla lineer olmayan yöntemlerin kullanılması, yapıların depreme maruz kaldıklarında nasıl davranacaklarının anlaşılmasını ve elastik kapasitenin aşıldığı bölgelerin görülmesini sağlamaktadır. Böylece, elastik yöntemlerle ilgili bazı eksiklik ve belirsizliklerin ortadan kalkması mümkün olmaktadır.

Lineer olmayan analizde; yapıya yükler adım adım artım yapılarak uygulanır. Böylece, yapıda sırasıyla plastikleşen noktalar ve en sonunda yapının göçme yükü bulunur. Yatay yükler, yapıda plastik mafsallar oluşana kadar uygulanmaya devam edilir. Bu işleme, yapı "labil" hale gelinceye kadar veya daha önceden belirtilen bir üst sınır değere ulaşana kadar devam edilir. Gerek yeni tasarlanan yapılarda, gerekse güçlendirilecek yapılarda, hem yapının performansının hem de göçme yükünün bilinmesi, yapılacak tasarım için çok önemlidir (Arslan, 2007).

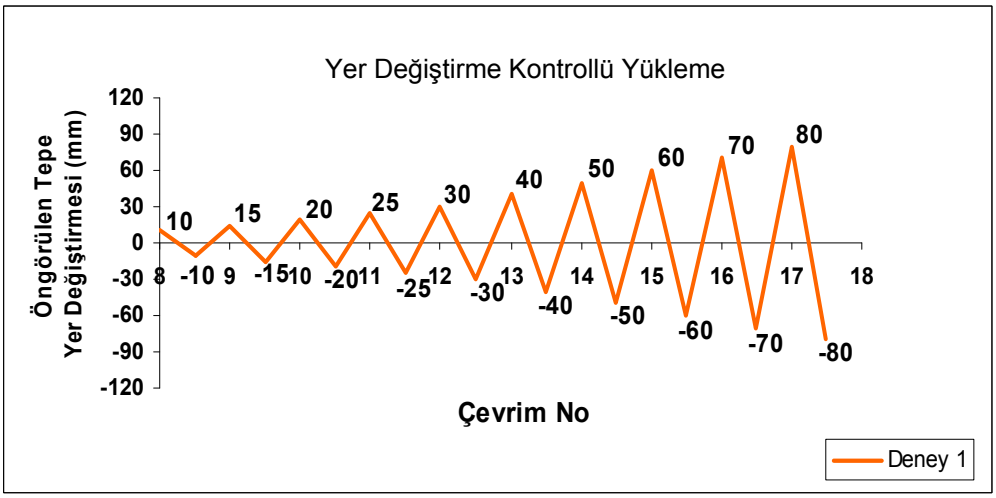
4.5.1. Deneylerdeki yükleme programları

SAP2000 programıyla yapılan statik itme analizi sonucunda elde edilen akma yükü ve yük – yer değiştirme eğrilerine göre, her bir deney için yükleme programı

hazırlanmıştır. Şekil 4.12 – Şekil 4.14 arasında her bir deney için tasarlanan yükleme programı grafiksel olarak verilmiştir. Sistemin nominal akma noktasına kadar yük kontrollü devam eden deney, akma noktasından sonra yer değiştirme kontrollü olarak planlanmıştır. Dolayısıyla her deney için akma noktasından önce ve sonra olmak üzere iki adet grafik hazırlanmıştır.

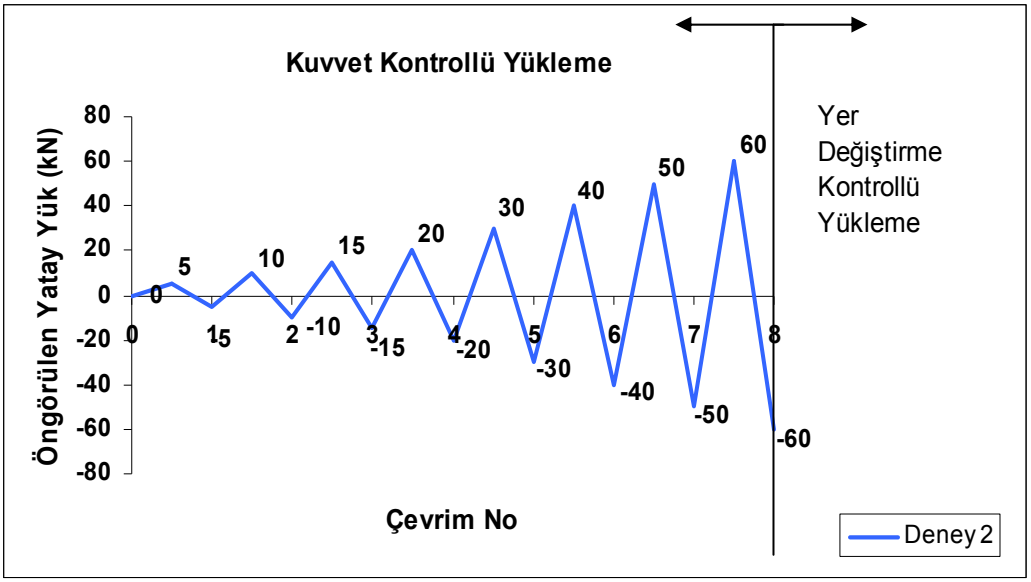


a) Çevrimlerde öngörülen yük

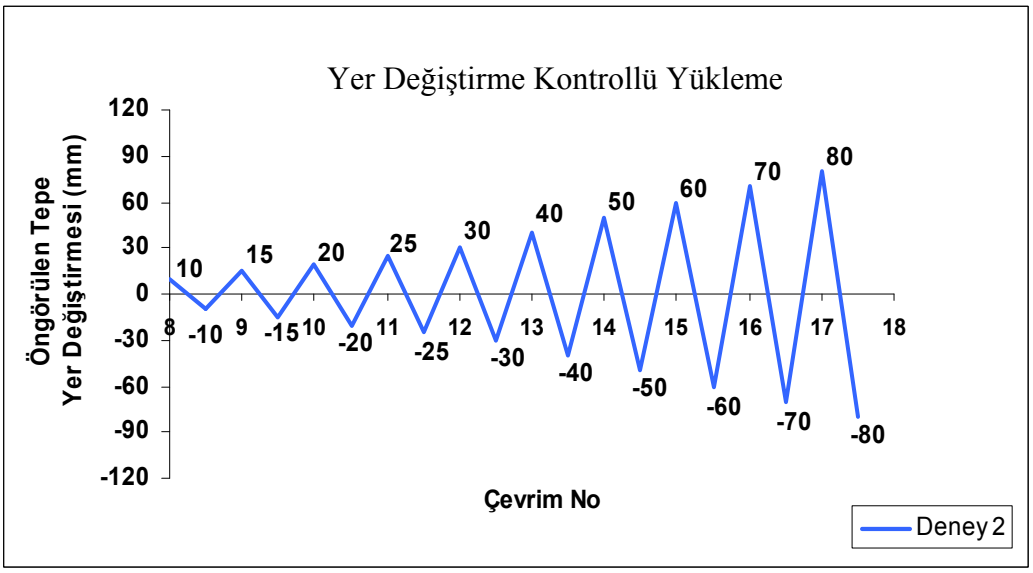


b) Çevrimlerde öngörülen yer değiştirme

Şekil 4.12. 1 nolu deney numunesi (DN1) için planlanan yükleme programı.

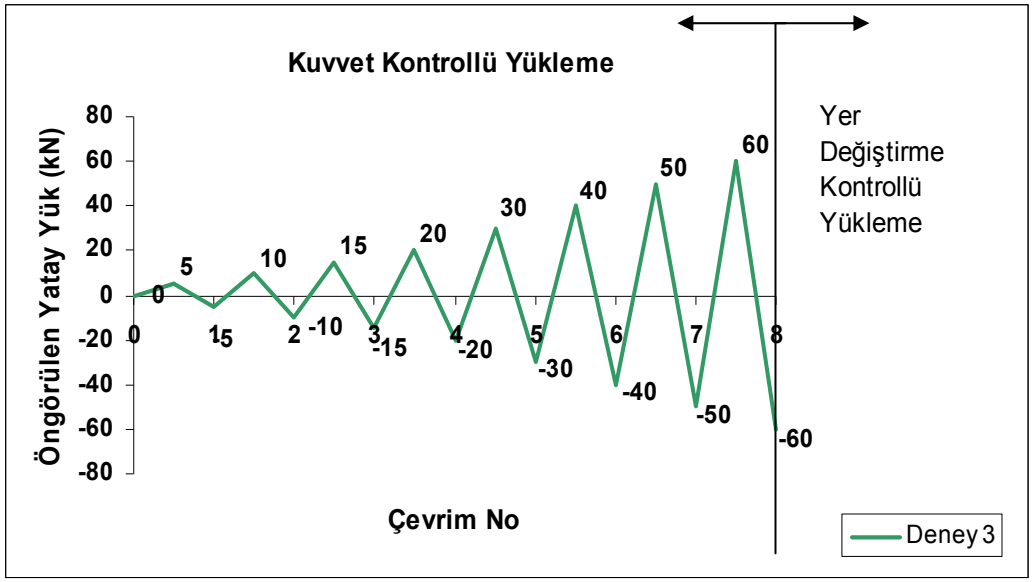


a) Çevrimlerde öngörülen yük

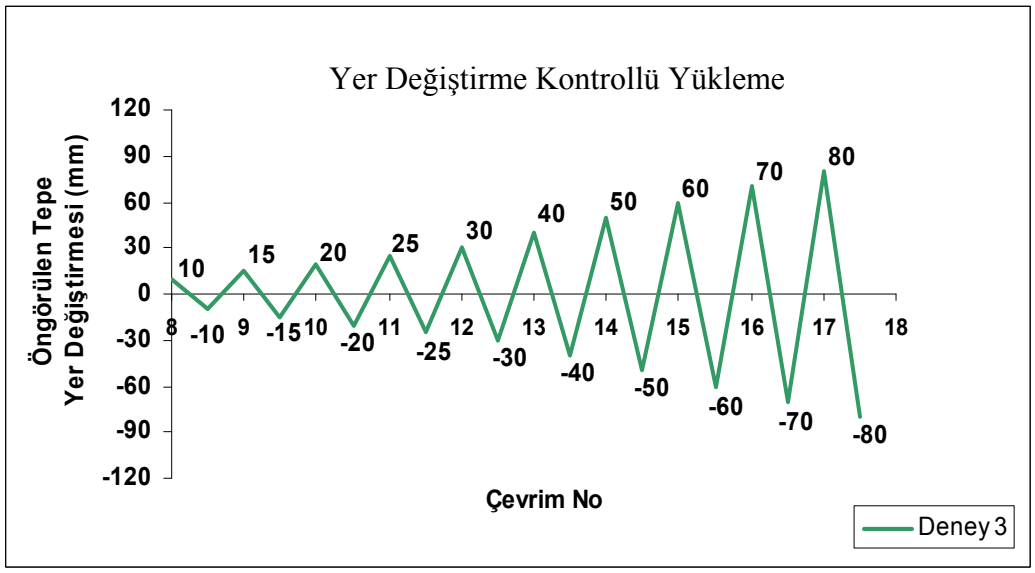


b) Çevrimlerde öngörülen yer değiştirme

Şekil 4.13. 2 nolu deney numunesi (DN2) için planlanan yükleme programı.



a) Çevrimlerde öngörülen yük



b) Çevrimlerde öngörülen yer değiştirme

Şekil 4.14. 3 nolu deney numunesi (DN3) için planlanan yükleme programı.

4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Deneyler esnasında LVDT'lerden ve 3 adet yük hücresinden alınan okuma değerlerinden hareketle, deney numunelerinde görülen davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, her bir deney numunesinin, yük geçmişi, yatay yük – tepe yer değiştirme ilişkisi, dayanım zarfı, rijitlik azalımı, tüketilen enerji grafikleri çizilmiştir.

4.6.1. Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinin çizilmesi

Deneylerin yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri ile yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve yer değiştirme ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek her bir numune için yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiği çizilmiştir.

4.6.2. Yatay yük – kat yer değiştirmesi ve moment – eğrilik grafiklerinin çizilmesi

Yatay yük-kat yer değiştirmesi grafiklerinin çizilebilmesi için, deney sırasında yük hücrelerinden okunan yük değerleriyle, üst kat ve alt kat çerçeve kirişi ağırlık merkezi seviyesindeki net yer değiştirme değerleri belirlenmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi güçlendirilmiş numunelerde bağ kirişlerin varlığından dolayı, kiriş eksenleri üzerine LVDT yerleştirilememiştir. Bu nedenle LVDT' ler, kiriş ekseninden 200 mm aşağıda olacak şekilde bağ kirişlerin hemen altına yerleştirilmiştir. LVDT'lerin aşağıya yerleştirilmesinin sonuca olan etkisini belirlemek için, boş numunede de kontrol amaçlı hem kiriş eksenlerine hem de 200 mm altlarına LVDT konulmuştur.

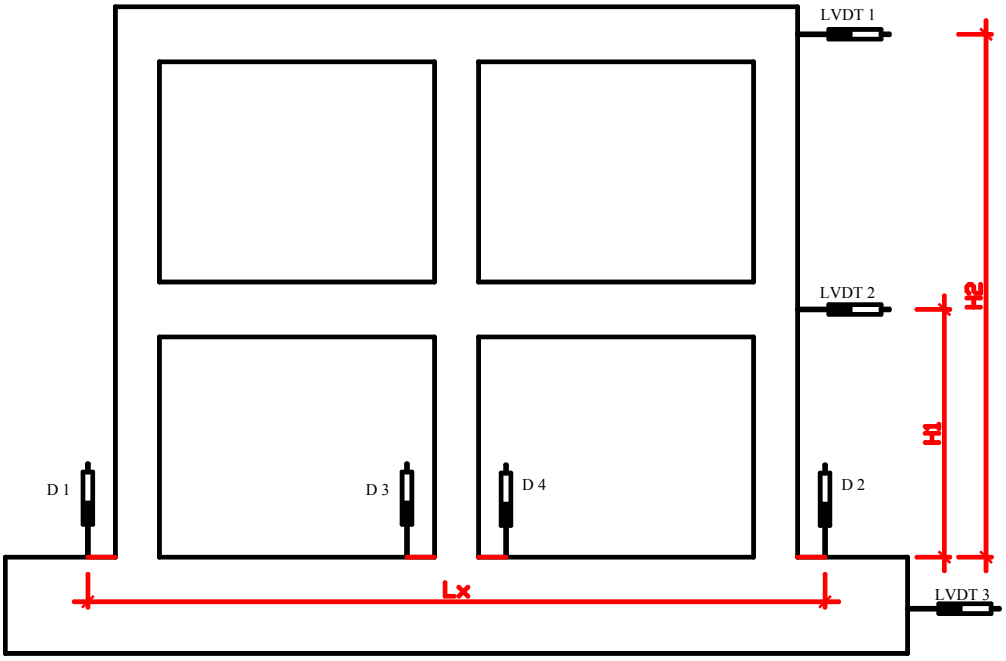
Yatay yük – kat yer değiştirmesi grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleriyle, üst kat çerçeve kirişi ağırlık merkezi seviyesindeki net yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Üst kat (2. kat) net yatay yer değiştirmesi (Tepe yer değiştirmesi);

$$\Delta_{net,üst} = LVDT1 - LVDT3 - \left(\frac{D1 + |D2|}{L_x} \right) \times H_2 \qquad (4.1)$$

Alt kat (1. kat) net yatay yer değiştirmesi,

$$\Delta_{net,alt} = LVDT2 - LVDT3 - \left(\frac{D1 + |D2|}{L_x} \right) \times H_1 \qquad (4.2)$$

Bu formüllerde; H_2, üst katta bulunan LVDT1 potansiyometrik cetvelinin temel üstüne olan mesafesini; H_1, alt katta bulunan LVDT2 potansiyometrik cetvelinin temel üstüne olan mesafesini; L_x, D1 ile D2 cetvelleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.



Şekil 4.15. Net yatay yer değiştirmelerin hesaplanması.

Temel seviyesinde kolonlar daha çok zorlanacakları için kolonlardaki dönmeler bu bölgelerde daha fazla olacaktır. Bu nedenle moment – eğrilik ilişkileri bu bölgelerdeki değerler dikkate alınarak çizilmiştir. Dial – gage' in (DG) kolona üstten bağlandığı bölgenin alttaki plakaya olan uzaklığı H olarak ve dial – gage' in kolon eksenine uzaklığı L1 olarak isimlendirilirse, kolonlarda oluşan eğrilik;

$$\theta = \frac{\left(\frac{DG1}{H}\right) + \left(\frac{DG2}{H}\right)}{2.L1} \qquad (4.3)$$

formülleriyle hesap edilmiştir.

Kolonlarda oluşan moment değerlerini bulmak için SAP2000 programında bütün deney çerçeveleri, mevcut beton ve donatı dayanım değerleri girilerek; çerçevenin kendi

ağırlığı, kolonlara uygulanan düşey yükler ve yatay yük (sağ ve sol tepe noktalarından ayrı ayrı yüklenmiş) için, 2 ayrı yük kombinasyonu dikkate alınarak çözülmüştür.

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

Deney numunesine uygulanan ve statik itme analizi ile sisteme adım adım artırılarak etkitilen yatay yük, doğal olarak kolonlarda sürekli değişen moment değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sürekli artan moment etkisinde kolon kesitinde oluşan dönmeler, Denklem 4.3 de gösterildiği şekilde 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 dial – gage okumaları bu oran ile çarpılmış ve kolonlar için moment – eğrilik grafikleri elde edilmiştir.

4.6.3. Dayanım zarfı grafiklerinin çizilmesi

Dayanım zarfı grafiklerinin çizilmesi amacıyla, her çevrim için akmaya kadar en büyük yük değerleri ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme değerleri, akmadan sonra ise okunan en büyük yatay yer değiştirme değerleri ve buna karşılık gelen yatay yük değerleri belirlenmiştir. İleri ve geri okumalardan elde edilen yer değiştirmelerle yük değerlerinin tepe noktaları grafiksel olarak birleştirilmiştir.

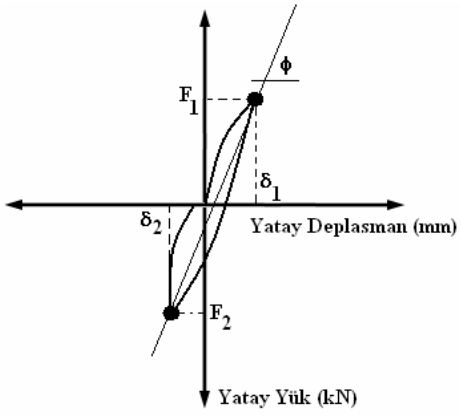
4.6.4. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi

Deney numunelerinde yatay yükleme altında, plastik mafsal oluşumu nedeni ile rijitliklerde azalma olmaktadır. Betonarme çerçeve numunelerinin rijitlik değerleri şu şekilde tespit edilmiştir;

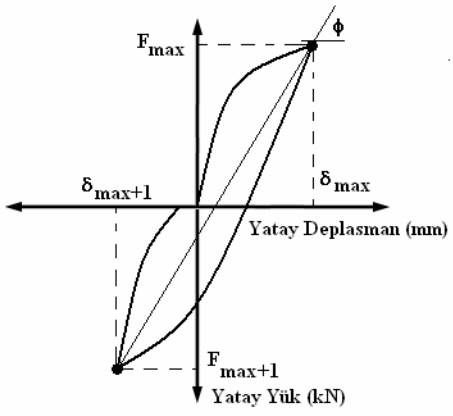
Her bir çevrim için yük – yer değiştirme grafiğinin eğimi bulunarak rijitlik belirlenmiştir. Her çevrimde, yük – yer değiştirme eğrisinde okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 ve yatay yer değiştirme değerleri de δ_1 ve δ_2 olarak gösterilirse, o çevrim için rijitlik değeri (ϕ) aşağıda Denklem 4.4' de gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$Rijitlik(\phi) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \tag{4.4}$$

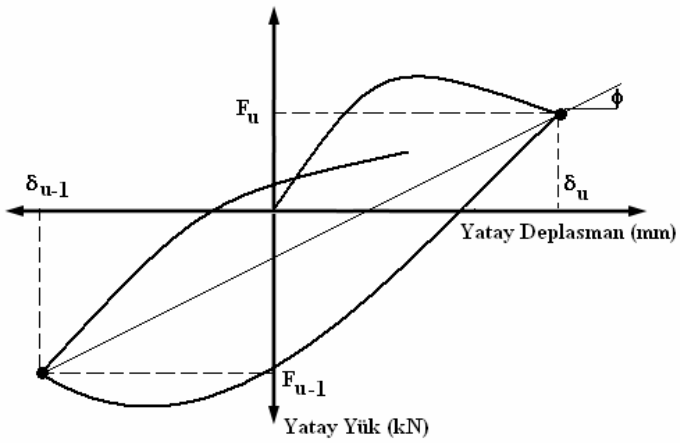
Deney numuneleri arasında karşılaştırma yapabilmek için, 1. çevrim yatay yük-yer değiştirme eğrisinin eğimi hesaplanarak "birinci çevrim rijitliği" (Şekil 4.16.), maksimum yüke denk gelen çevrimde yatay yük – yer değiştirme eğrisinin eğimi hesaplanarak "maksimum yük çevrim rijitliği" (Şekil 4.17) ve deney sonu çevrimde yatay yük – yer değiştirme eğrisinin eğimi hesaplanarak da "deney sonu çevrim rijitliği" (Şekil 4.18) bulunmuştur.



Şekil 4.16. Başlangıç rijitliğinin belirlenmesi



Şekil 4.17. Maksimum yük rijitliğinin belirlenmesi



Şekil 4.18. Deney sonu rijitliğinin belirlenmesi.

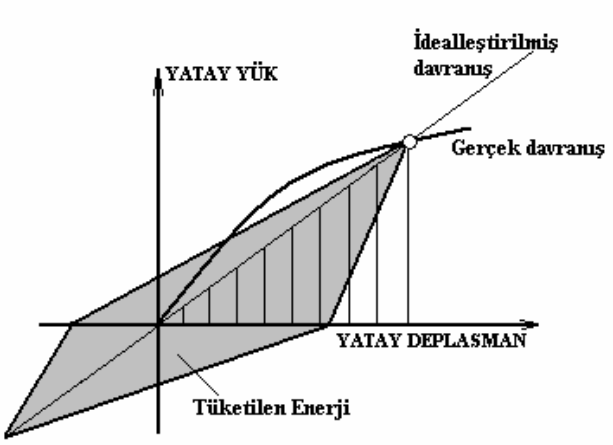
Bulunan rijitlik değerlerinin, kat yer değiştirme / kat yükseklik oranı (δ / H) ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle rijitlik azalımı grafikleri elde edilmiştir.

Rijitlik azalım grafikleri, deney sonuçlarının daha iyi karşılaştırılabilmesi amacıyla, çevrim sayısına bağlı olarak değil, (δ / H) oranına bağlı olarak verilmiştir. Ayrıca toplam yük, 1. ve 2. kat yükleri ve yer değiştirmeleri için de ayrı ayrı grafikler hazırlanmıştır.

Literatürde yer alan bazı çalışmalar, sadece ileri çevrimler için rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesini yeterli bulmaktadır. Ancak, bu çalışmada ankraj sıyrılmalarını da gözlemleyebilmek için, numunelerde çekme kuvveti kiriş orta bölgelerinden uygulanmıştır. Bu nedenle ileri ve geri çevrimlerdeki rijitlik azalım farklılıkları, olası ankraj sıyrılması için fikir vereceğinden, aynı grafikte hem ileri hem de geri yöndeki rijitlik azalımları gösterilmiştir.

4.6.5. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

Tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki çerçeve sistemleri, üstüne gelen enerjinin bir kısmını deformasyon yaparak tüketmektedir. Tüketilen bu enerji, özellikle deprem etkisi gibi dinamik bir yükleme durumunda çok önemlidir. Enerji, yapılan işe; iş ise, kuvvet ile kat edilen yolun çarpımına eşittir. Bundan dolayı, deney numunelerin tükettikleri enerji, her çevrimde yük – yer değiştirme eğrisinin altındaki alana eşittir (Şekil 4.19) (Arslan, 2007).

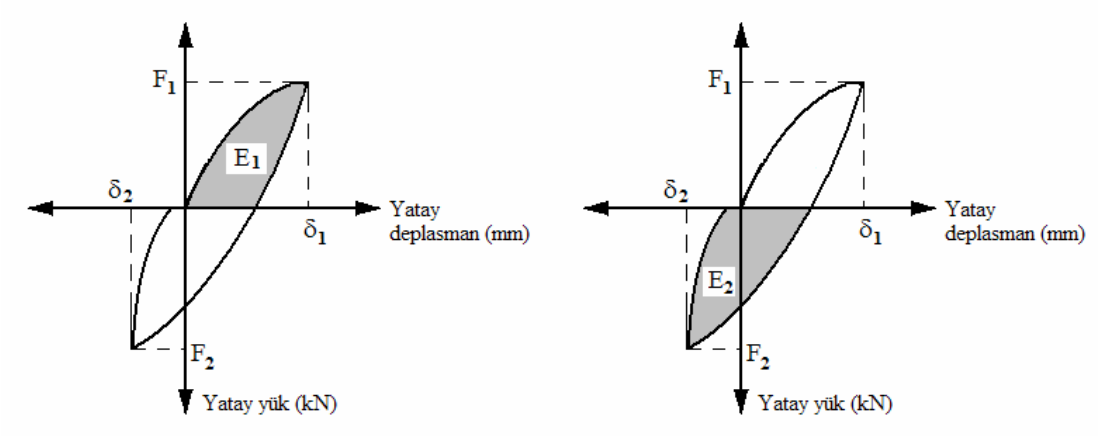


Şekil 4.19. Sistem tarafından tüketilen enerji (Arslan, 2007).

Betonarme çerçeve numunelerinin tükettikleri enerji aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir;

Tam çevrimler göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda, her çevrimde hesaplanan tüketilen enerji değerleri toplanarak, her bir deney numunesi için toplam tüketilen enerji grafiği çizdirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak ileri yüklemede yük-yer değiştirme eğrisinin altındaki E_1 alanı hesaplanmıştır. Daha sonra; geri yüklemede, yük-yer değiştirme eğrisinin altındaki alan E_2 hesaplanmış ve bu çevrim için toplam tüketilen enerji, E_1 ve E_2 değerlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır (Şekil 4.20). Bundan sonra, her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak, toplam

tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır. Toplam tüketilen enerji değerinin, "2. kat yer değiştirmeı / toplam yüksekliğe" oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle, tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması.

5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, bir adet güçlendirilmemiş çerçeve, iki adet prefabrike paneller ile farklı şekillerde güçlendirilmiş çerçeve deneyleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Her deney için, yük ve yer değiştirme adımlarında oluşan çatlak ve hasarlar tablo halinde sunulmuş, deneylerde gözlenen davranış özellikleri açıklanmış ve anlatılan davranışlar resimlerle desteklenmiştir. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, numuneler 2. kat kiriş hizasından yük etkitilerek yüklenmişlerdir. Yük kontrolü bir adet load–cell (yük hücresi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu load–cell toplam yükü (taban kesme kuvvetini) ölçmektedir.

Tüm deneylerde yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanmış, yük – yer değiştirme eğrisi yataylaşmaya başladığı zaman (nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman) birkaç çevrimle yük kontrollü yükleme sona erdirilmiş, yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yer değiştirme kontrollü yüklemede, yer değiştirme artırımları 5–10 mm olarak verilmiş, LVDT kapasiteleri oranında veya numunenin her hangi bir şekilde taşıma kapasitesini kaybetmesine kadar yüklemeye devam edilmiştir. Deney sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi bakımından, her numune için bazı grafikler hazırlanmıştır. Bunlar;

- Yatay yük – 2. kat yer değiştirme grafiği
- Yatay yük için dayanım zarfı grafiği
- Yatay yük için rijitlik azalım grafiği
- Tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği (her çevrim için ayrı ayrı bulunmuştur)
- Kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği (her çevrimin sonunda tüketilen enerjinin ardışık toplanmasıyla bulunmuştur)
- Moment – eğrilik grafiği
- Yatay yüke bağlı ötelenme oranı grafiği
- Yük geçmişi grafiği
- Yer değiştirme geçmişi grafiği

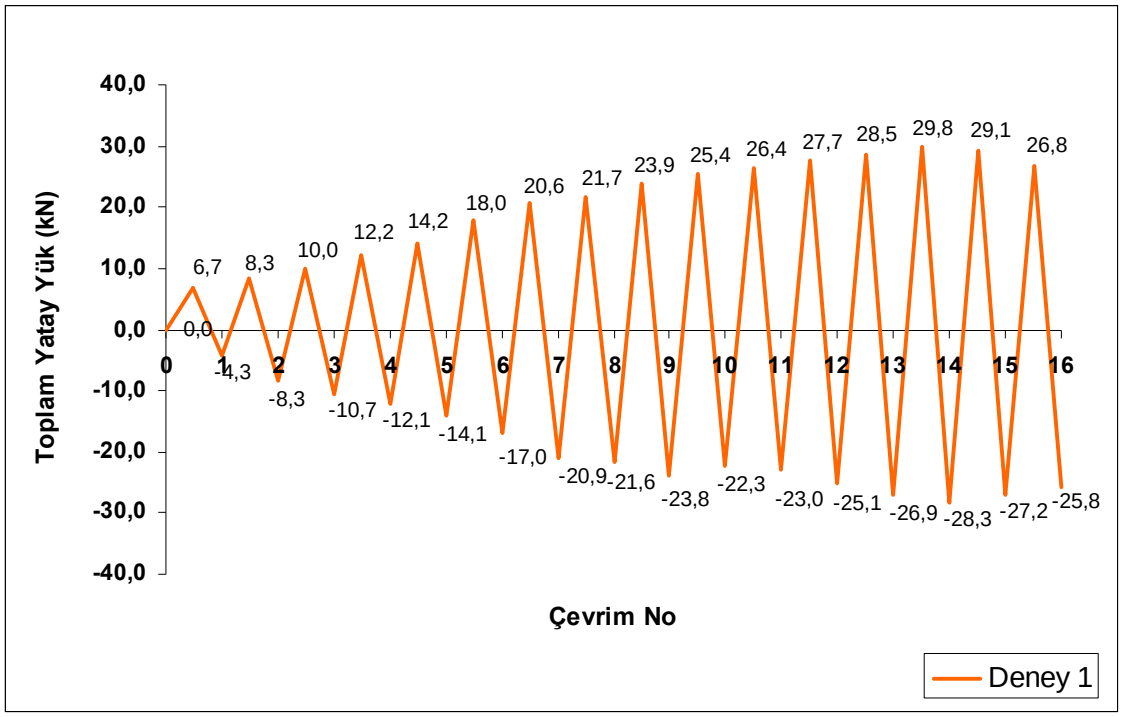
5.1. 1 Nolu Deney (DN1)

1 nolu deney numunesi güçlendirilmemiş çerçevedir. Prefabrike panelleri ile güçlendirilme yapılmamıştır. Bu deneyin amacı; Türkiye'deki mevcut betonarme bina stoğunun önemli bir kısmını temsil eden düşük beton kalitesinin (12~13 MPa) olduğu, kirişlerin kolonlardan daha güçlü tasarlandığı, kolon–kiriş birleşim bölgelerinde (plastik mafsal oluşma potansiyeli olan bölgelerde) etriye sıklaştırmasının olmadığı, kolon–kiriş birleşim bölgesi içinde etriyenin bulunmadığı, kiriş donatısında yetersiz kenetlenmesi olan ve etriye kancalarının 90^o olması gibi olumsuz özelliklere sahip, deprem dayanımı zayıf betonarme çerçevenin, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin ve deprem davranışının belirlenip, izlenmesi ve aynı özelliğe sahip betonarme çerçevenin prefabrike paneller ile güçlendirilmesi sonucunda değişen davranış özelliklerinin araştırılmasına temel teşkil etmesidir.

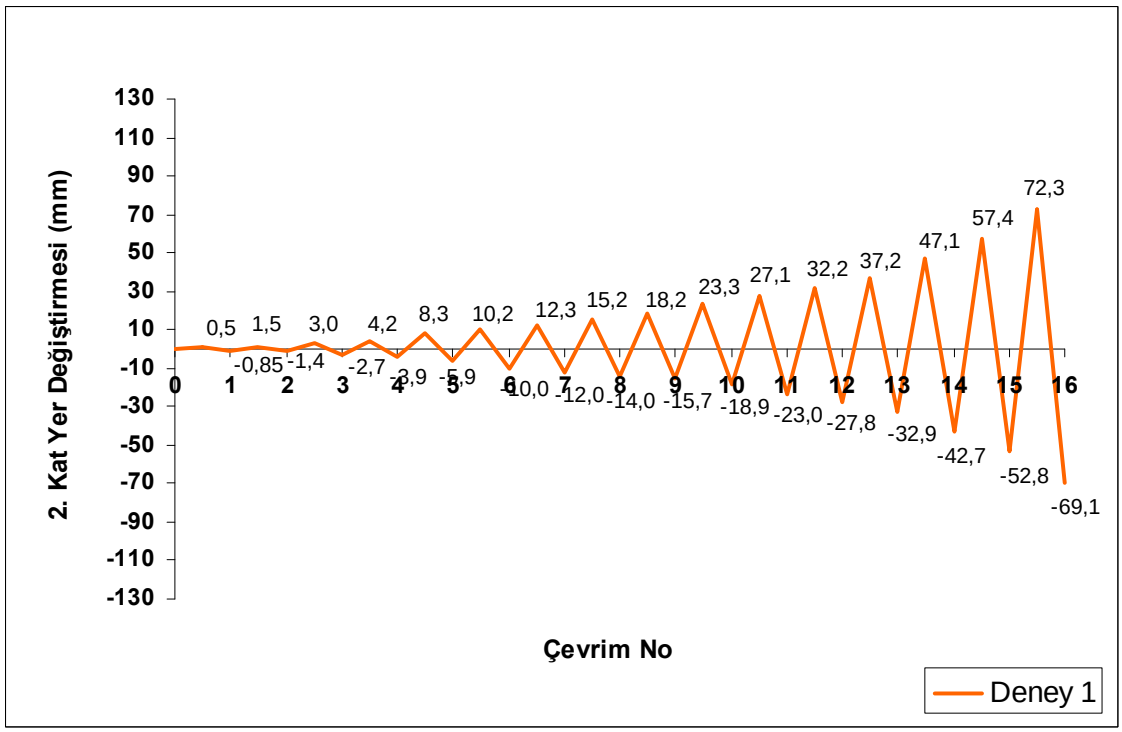
1 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü Şekil 5.1'de, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü.



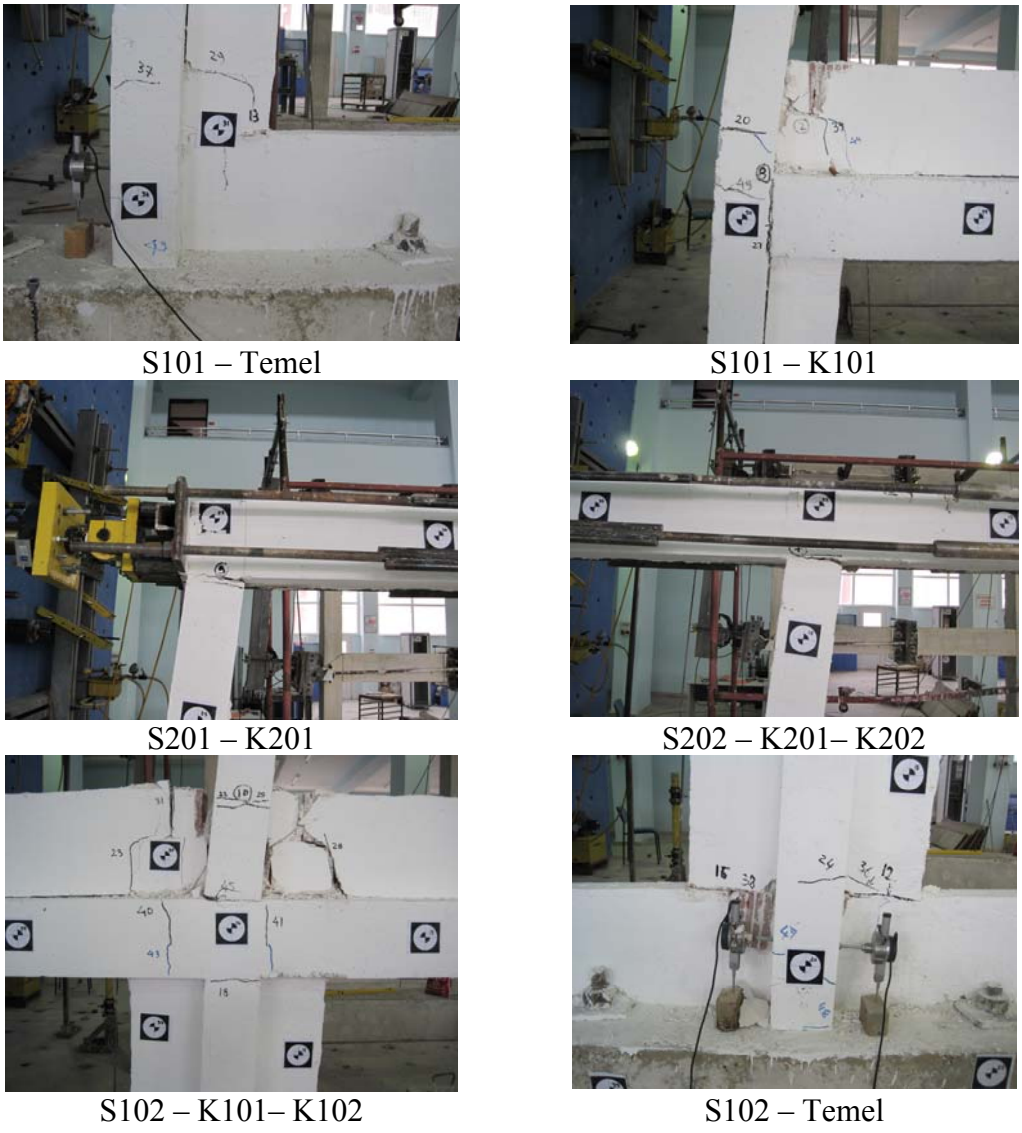
(a) 1. deney yük geçmişi (yatay yüke göre)



(b) 1. deney yük geçmişi (tepe yer değiştirmesine göre)

Şekil 5.2. 1 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi
a) Yatay yüke göre b) Tepe yer değiştirmesine göre

Yükleme geçmişi, çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve üst kattan ölçülen yer değiştirmesine göre ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, yük kontrollü yüklemede ±25 kN' a kadar ±5 kN yük artırımı uygulanmış, daha sonra yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiş ve 5–10 mm yer değişimi artırımı ile deneye devam edilmiştir. 5. çevrim sonunda yük–yer değiştirme eğrisinin yataylaştığı kabul edilmiş ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. 13. çevrimde ise maksimum yük değerlerine ulaşılmış, daha sonraki çevrimlerde artan yer değiştirmeler altında yük azalmıştır. Şekil 5.3'de 1 nolu deney numunesinin düğüm noktalarının deney sonundaki durumları verilmiştir. Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış ve oluşan hasar Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlenen ve ölçülen davranışları içermektedir.



Şekil 5.3. 1 nolu deney numunesinin deney sonunda düğüm noktalarındaki hasar durumu.

Çizelge 5.1. 1 nolu deney numunesinde çevrimlerde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0.513	-----
1.2	-5	-0.851	-----
2.1	10	1.519	**1** nolu çatlak *S202* kolonunun sağındaki tuğla duvarın sol alt ucunda oluştu. **2** nolu çatlak *S201* kolonunun yanındaki tuğla duvarın sol alt ucunda oluştu.
2.2	-10	-1.354	**3** nolu çatlak *S203* kolonunun yanındaki tuğla duvarın sağ alt ucunda, **4** nolu çatlak ise *S202* kolonunun sağındaki tuğla duvarın sağ alt ucunda oluştu.
3.1	15	2.023	**5** nolu çatlak *S203* kolonu ile *K202* kiriş birleşiminde oluştu. **6** nolu çatlak ise *S302* kolonun yanındaki tuğla duvarda yatay olarak meydana geldi.
3.2	-15	-2.716	**7** nolu çatlak *S202* kolonu üst ucunda kiriş başladığı noktada oluştu.
4.1	20	4.196	**8** nolu çatlak *K101* kirişi sağ ucunda kolon ile birleştiği noktada oluştu. **9** nolu çatlak *S201* kolonu üst ucunda kiriş başladığı noktada, **10** nolu çatlak *S202* kolonunda pencere boşluğu hizasında, **11** nolu çatlak ise *K102* kirişi sağ ucunda kolon ile birleştiği noktada oluştu.
4.2	-20	-4.816	**12** nolu çatlak *S102* kolonunun sağındaki tuğla duvarın sol alt ucunda **13** nolu çatlak *S101* kolonunun yanındaki tuğla duvarın sol alt ucunda oluştu. **14** nolu çatlak *S101* kolonunun alt tarafta yan yüzeyde, **15** nolu çatlak *S203* kolonunun alt tarafta yan yüzeyde, **16** nolu çatlak *S102* kolonunun solundaki tuğla duvarın sağ alt ucunda oluştu. **17** nolu çatlak *S201* kolonunun alt tarafta yan yüzeyde, **18** nolu çatlak ise *S102* kolonu üst ucunda oluştu.
5.1	25	8.260	**19** nolu çatlak *S103* kolonunun sağ tarafında duvar ile pencere boşluğunun birleşiminde çapraz olarak oluştu. *S201* kolonunda, *K101* kirişinin 200 mm üzerinde **20** nolu çatlak meydana geldi.
5.2	-25	-8.094	**21** nolu çatlak *S103* kolonu yan kısmında temelin 400 mm üstünde oluştu. **22** nolu çatlak *S201* kolonunda **10** nolu çatlağın 30 mm üstünde oluştu.
Yer Değiştirme Kontrollü Yüklemeye Geçiş			
6.1	23.46	10	*K101* kirişinin üzerindeki duvarda duvar boşluğu hizasında **23** nolu çatlak oluştu. **5** nolu çatlak kolon kiriş birleşim bölgesine doğru ilerledi.
6.2	-23.24	-10	**24** nolu çatlak *S102* kolonunda pencere boşluğu hizasında oluştu. *S201* kolonunda **22** nolu çatlağın devamı olarak **25** nolu çatlak oluştu. *S302* kolonunun tam ortasında ise **26** nolu çatlak oluştu. **27** nolu çatlak **8** nolu çatlağın bitişiğinde oluştur.
7.1	25.42	15	*K101* kirişinin üzerindeki duvarda pencere boşluğu hizasında **28** nolu çatlak oluştu. **29** nolu çatlak **13** nolu çatlağın üzerinde **30** nolu çatlak ise **19** nolu çatlağın altında oluştu.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
7.2	-23.03	-15	**2** nolu çatlak duvardan kolona kadar ilerledi. **31** nolu çatlak **4** nolu çatlağa dik olarak oluştu. **32** nolu çatlak *S103* kolonu yanında pencere boşluğu hizasında oluştu. **33** nolu çatlak ise *S103* kolonu alt ucunda meydana geldi.
8.1	26.36	20	**34** ve **35** nolu çatlaklar *S103* ile *S203* kolon birleşiminde yan yüzeyde 20 mm aralıkla oluştu. **36** nolu çatlak **12** nolu çatlağın sol üstünde çapraz olarak oluştu. **37** nolu çatlak *S101* kolonunun ortasında oluştu.
8.2	-25.14	-20	**38** nolu çatlak **15** nolu çatlağın sağında, **39** nolu çatlak ise **2** nolu çatlağın altında oluştu. **40** nolu çatlak *K101* kirişi sağ ucundan 10 mm içeride oluştu. **41** nolu çatlak *K102* kirişi sol ucunda kolonla birleştiği yerde oluştu.
9.1	27.73	25	**42** nolu çatlak *S202* kolonu alt kısmında oluştu. **43** nolu çatlak **40** nolu çatlağın altında, **44** nolu çatlak ise **39** nolu çatlağın sağ yanında oluştu. Tuğla duvarın sıvasında özellikle köşe noktalarda dökülmeler oldu. **45** nolu çatlak **2** nolu çatlağın üzerinde oluştu.
9.2	-26.91	-25	**46** nolu çatlak *S103* kolonu duvar kısmında **33** nolu çatlak hizasında oluştu. Tuğla duvar ile taşıyıcı çerçeve arasında ayrılmalar başladı. **1** nolu çatlak **28** nolu çatlak ile birleşti.
10.1	28.97	30	**47** ve **48** nolu çatlaklar *S102* kolonunun alt ucunda, 200 mm ara ile oluştu. Tuğla duvarlardaki ezilmeler belirginleşti.
10.2	-27.10	-30	Çatlaklar ilerledi. Tuğla duvar ile çerçeve arasındaki açılmalar 20 mm oldu.
11.1	28.23	40	-----
11.2	-26.89	-40	-----
12.1	29.85	50	*S101* ve *S102* kolonlarının birleştiği kat hizasında **49** nolu çatlak oluştu. **8** nolu çatlağın bulunduğu *K101* kirişinin sağ ucunda çatlak genişliği 12 mm oldu.
12.2	-28.25	-50	*S103* ve *S203* kolonlarının birleştiği kat hizasında **50** nolu çatlak oluştu. **11** nolu çatlağın bulunduğu *K201* kirişinin sol ucunda çatlak genişliği 10 mm oldu.
13.1	29.13	60	Kolon – kiriş birleşimlerinde çatlak genişlikleri 20 mm ye ulaştı.
13.2	-27.15	-60	-----
14.1	27.92	70	Kolon üst uçlarında çatlak genişlikleri 20 mm yi buldu, kolon alt uçlarında ezilmeler oldu.
14.2	-25.74	-70	-----
15.1	26.86	90	-----

Not: Bu çizelgedeki yük–yer değiştirme değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.

Kirişlerin kolonlardan daha yüksek moment taşıma kapasitesine sahip olmasından dolayı, beklendiği gibi kirişlerde hasar seviyesi minimum düzeyde olmuştur. Kirişte ilk çatlak 4. çevrimde, +20 kN yatay yükte oluşmuştur (8 numaralı çatlak). Çatlaklar özellikle birleşim bölgelerinde ve kolon alt uçlarında yoğunlaşmıştır. 13. çevrimde maksimum yük değerine ulaşan numunede, 14. çevrimden sonra ağır hasarlar oluştuğu, özellikle 1. kat kolon–kiriş birleşim bölgelerinde kabuk betonunun döküldüğü ve kolon alt uçlarında ezilmelerin başladığı görülmüştür. 15. çevrim sonunda ise LVDT'ler ölçüm kapasitelerine ulaştıkları için deneye son verilmiştir. İleri yüklemede yaklaşık 29.85 kN olan maksimum yük değeri 15. çevrim sonunda 26 kN' a, geri yüklemede ise -28.25 kN olan maksimum yük -25.75 kN' a inmiştir. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %10'lik bir azalma meydana gelmiştir.

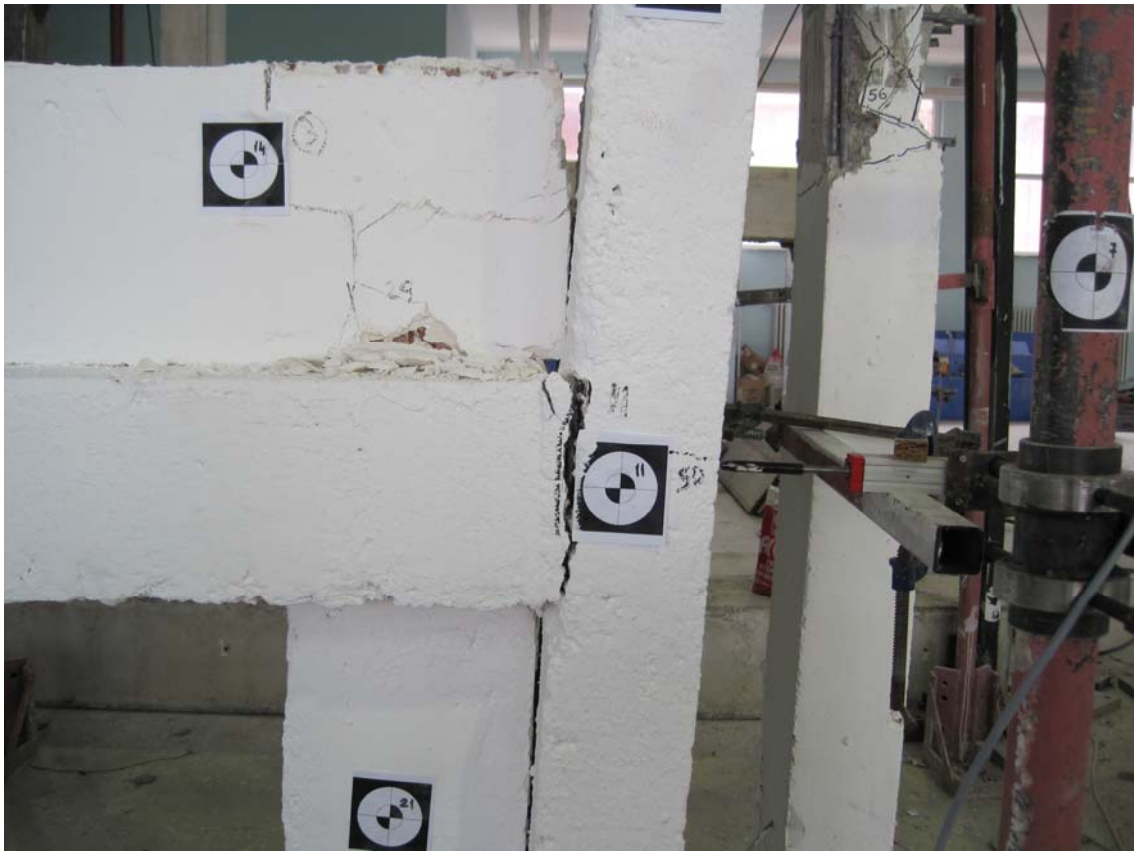
5, 7, 9, 18, 45, 49 ve 50 nolu çatlaklar kolonlarda tam ek noktasında oluşmuş ve ilerleyen çevrimlerde çatlak genişlikleri ve uzunlukları önemli boyutlara ulaşmıştır. Şekil 5.4'de numunenin maksimum yük seviyesindeki durumu, Şekil 5.5'de ise deney sonundaki görünümü verilmiştir. Şekil 5.6'da ise deney sonunda kolon–kiriş birleşim bölgesinde oluşan ağır hasar görülmektedir.



Şekil 5.4. 1 nolu deney numunesinin maksimum yük anındaki görünümü.

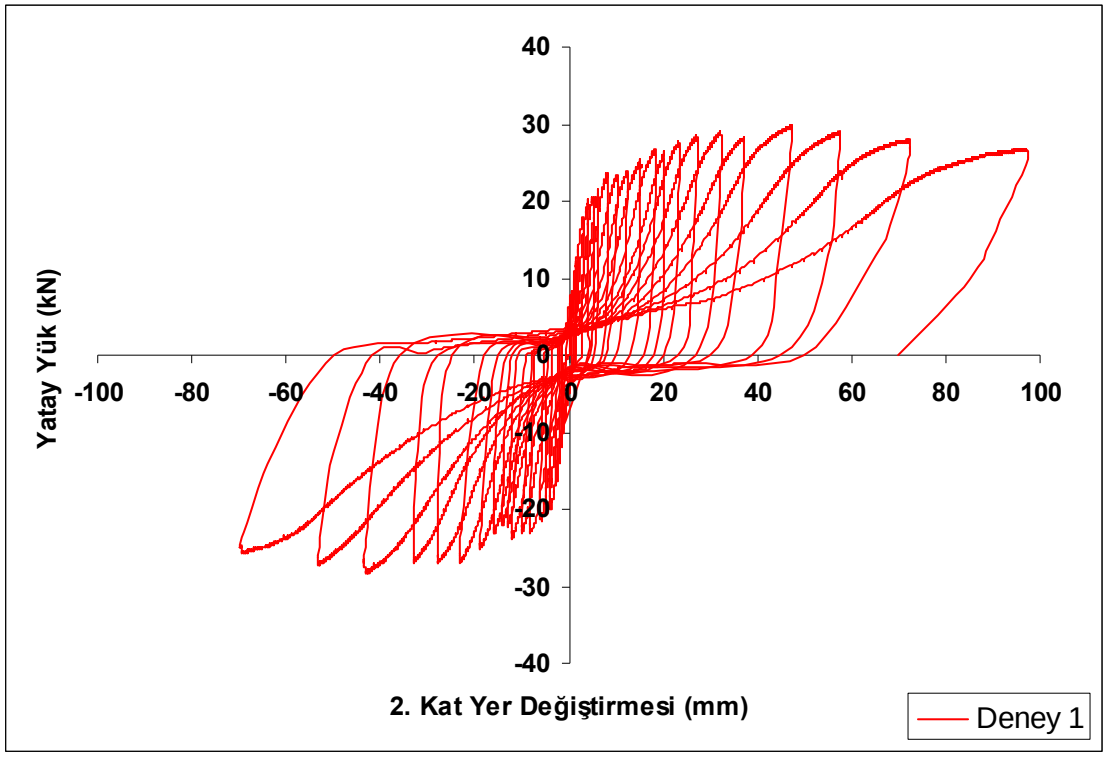


Şekil 5.5. 1 nolu deney numunesinin deney sonu görünümü.

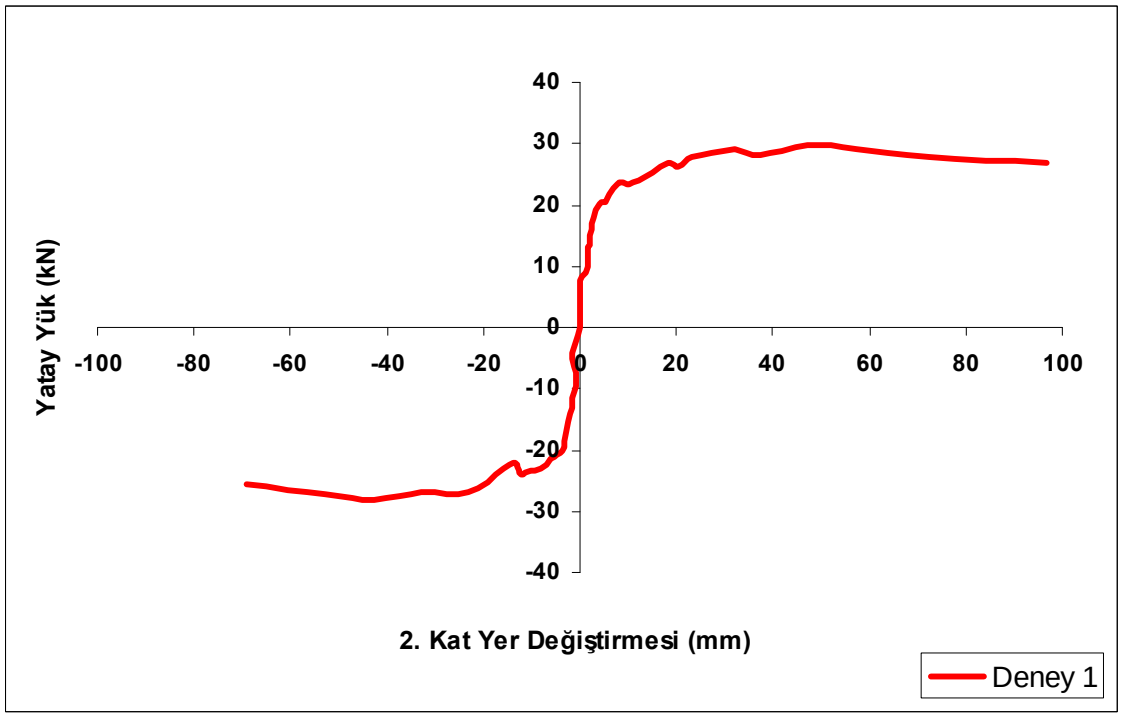


Şekil 5.6. 1 nolu deney numunesinde deney sonunda düğüm noktasında oluşan hasar.

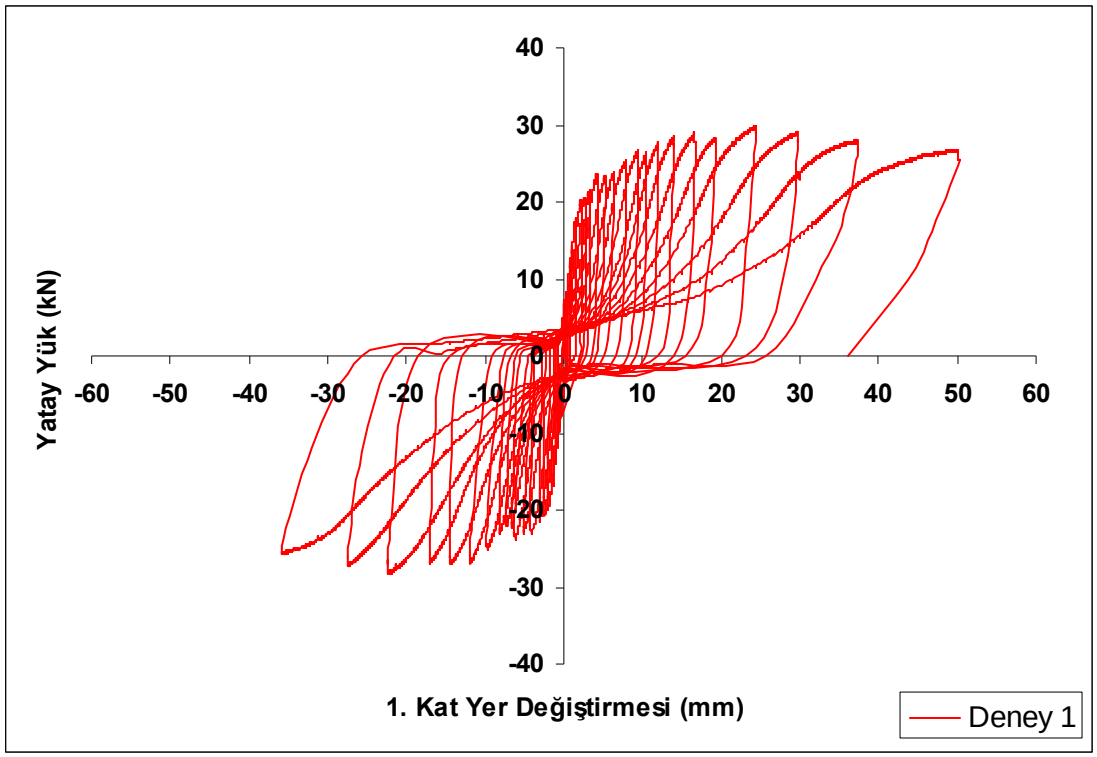
Bu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği Şekil 5.7'de, yatay yük – 2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.8'de, yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi grafiği Şekil 5.9 'da, yatay yük – 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.10'da, yatay yüke bağlı ötelenme oranı grafiği Şekil 5.11'de, kolon alt ucundaki moment–eğrilik grafiği Şekil 5.12'de, rijitlik azalım grafiği Şekil 5.13'de, her bir yer değiştirme aralığı için hesaplanan enerji tüketimi – 2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.14'de ve kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 5.15'de verilmiştir.



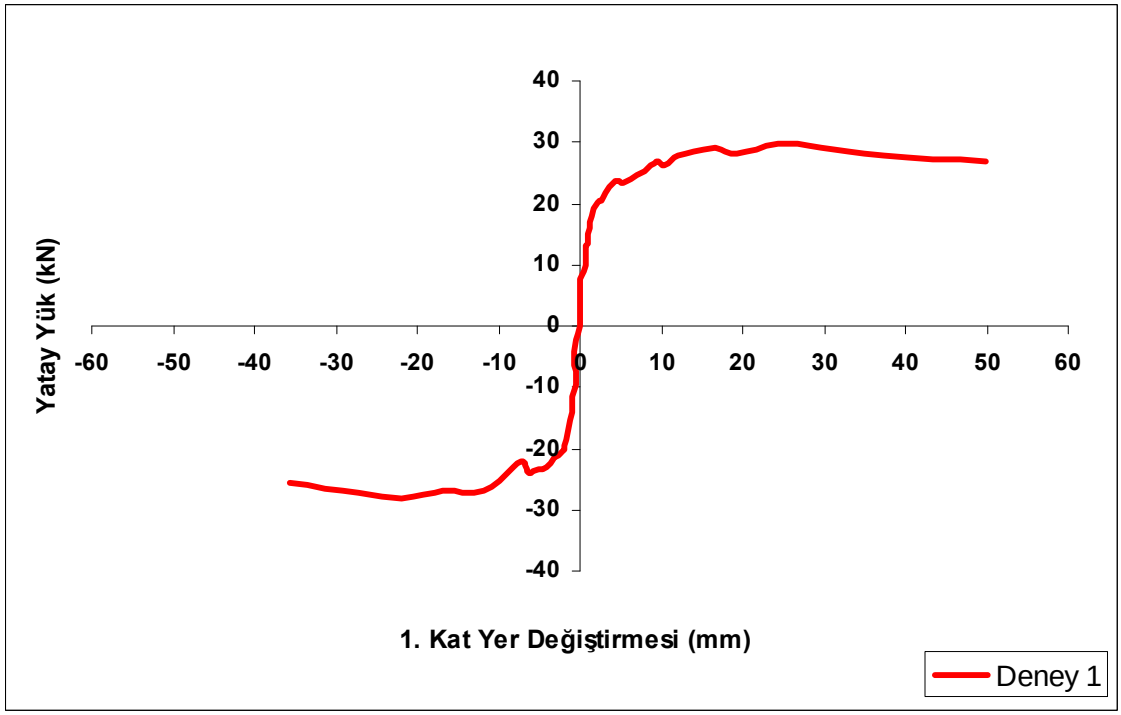
Şekil 5.7. 1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği.



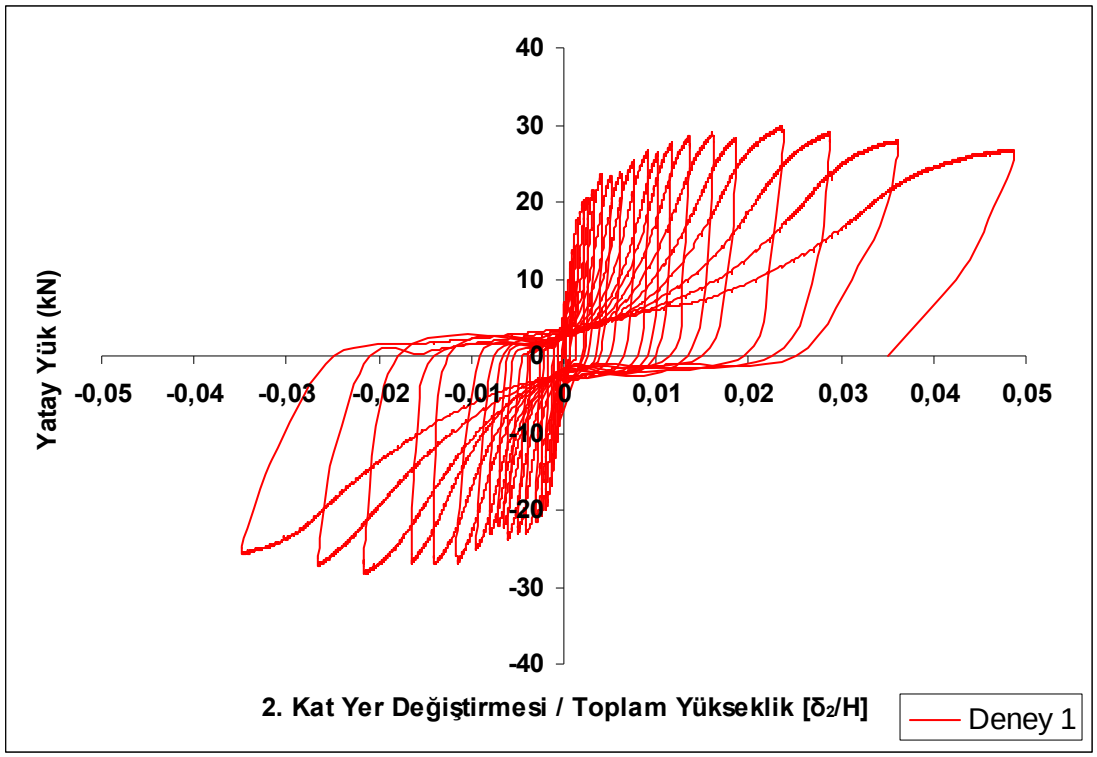
Şekil 5.8. 1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirme zarfı.



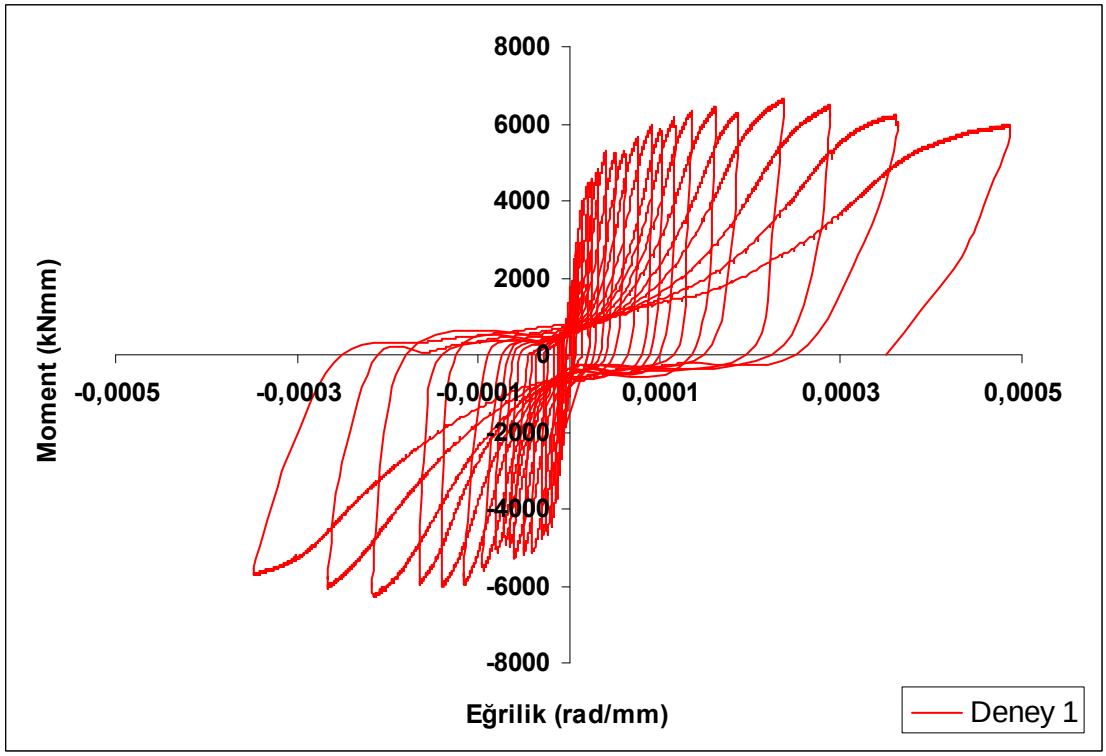
Şekil 5.9. 1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi grafiği.



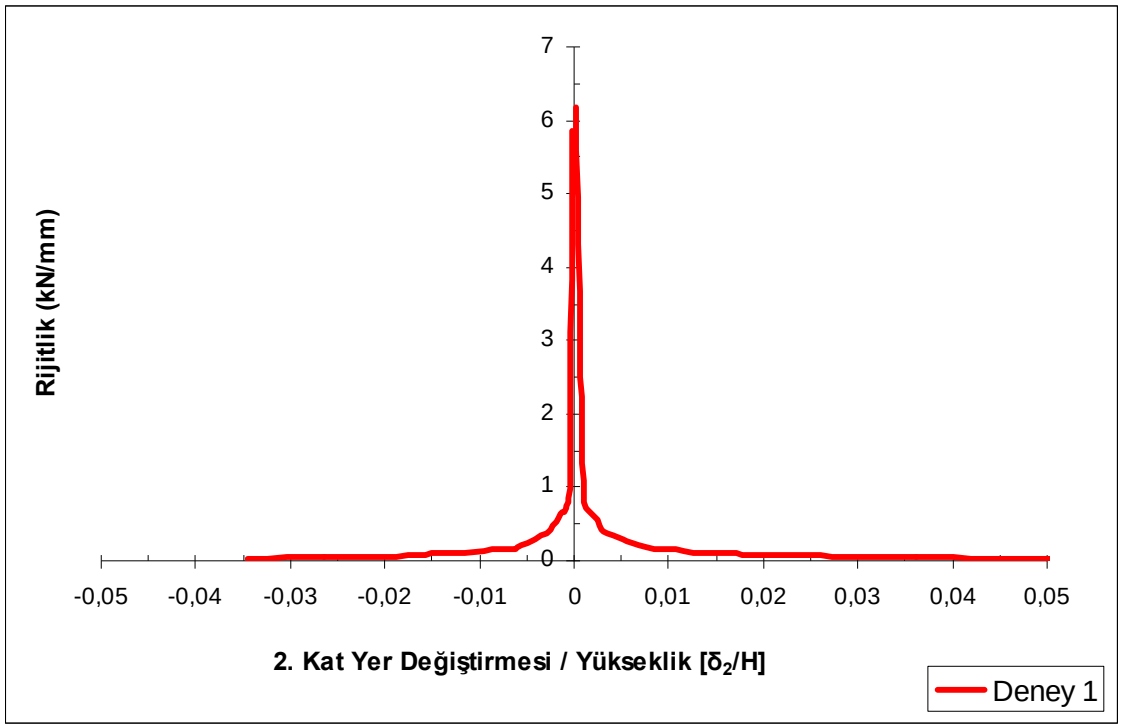
Şekil 5.10. 1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirme zarfı.



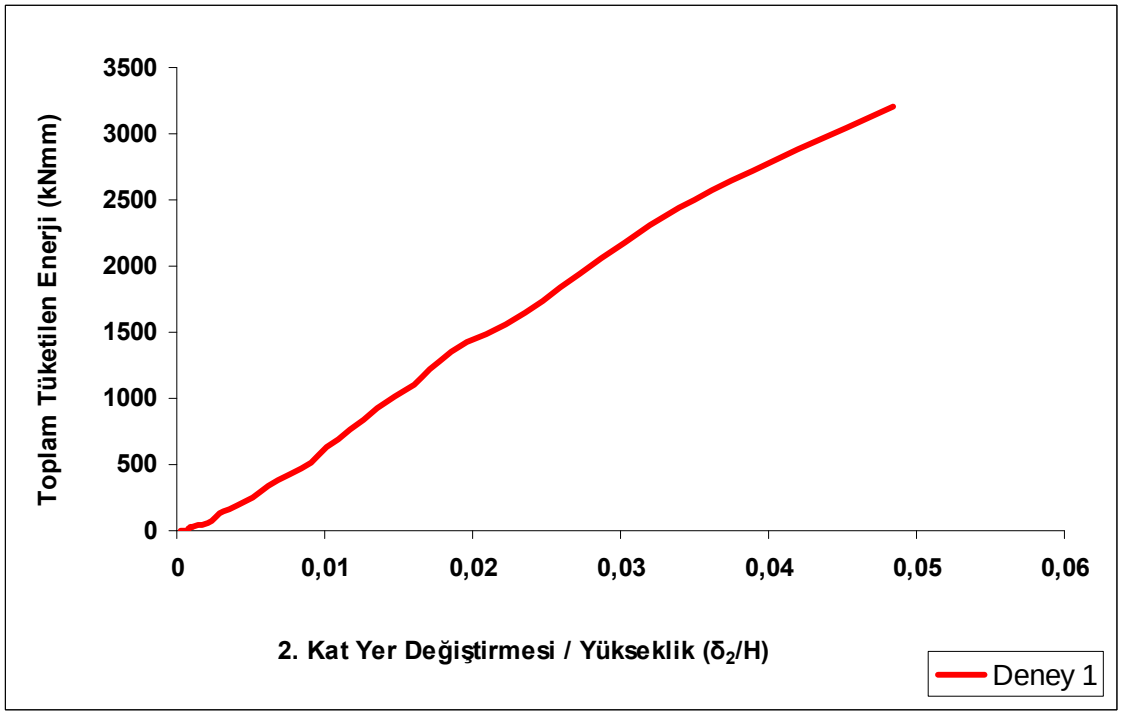
Şekil 5.11. 1 nolu deney numunesine ait yatay yük – ötelenme oranı grafiği.



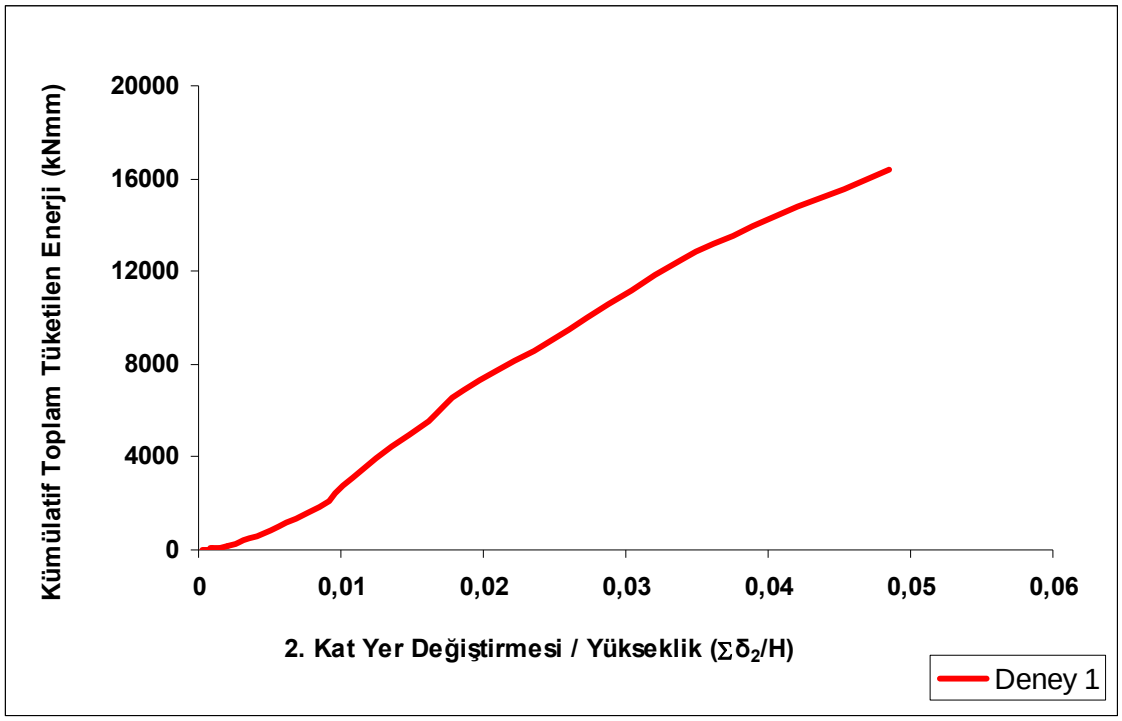
Şekil 5.12. 1 nolu deney numunesine ait moment – eğrilik grafiği.



Şekil 5.13. 1 nolu deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği
(yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için).



Şekil 5.14. 1 nolu deney numunesine ait tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği
(Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)



Şekil 5.15. 1 nolu deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

5.2. 2 Nolu Deney (DN2–1PP)

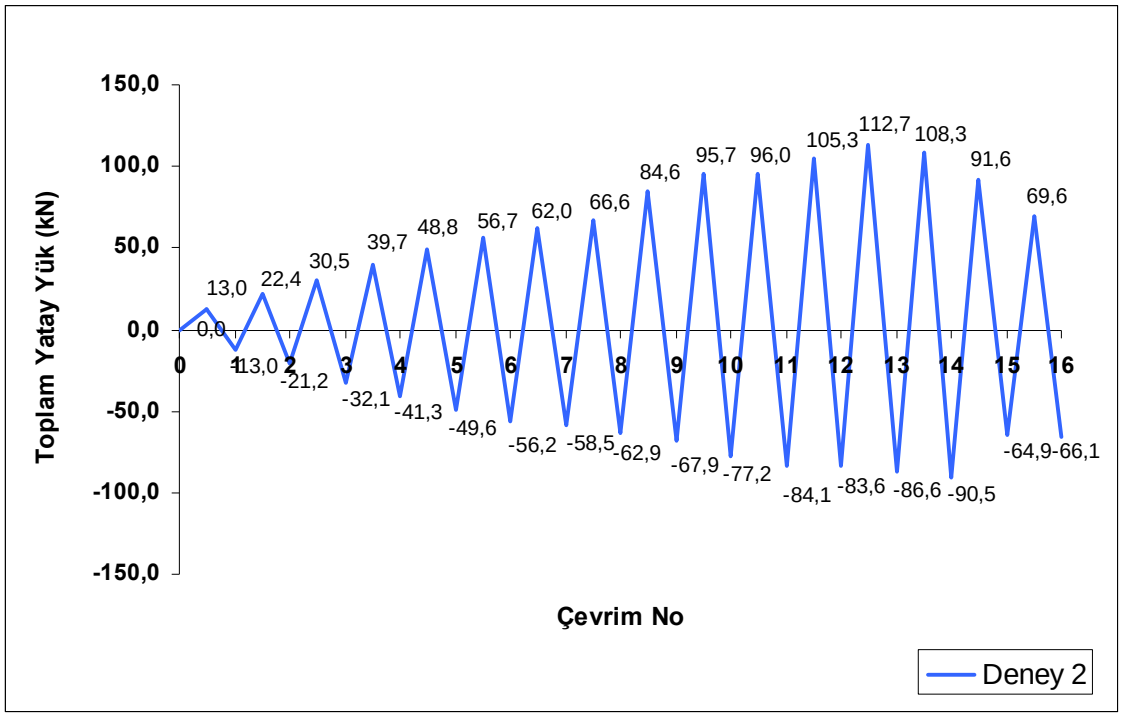
2 nolu deney numunesi, deprem dayanımı yetersiz olan 1 nolu deney numunesi ile özdeş olup bu numunenin prefabrike paneller ile güçlendirilmiş halidir. Bu deneyin amacı; düşük beton kalitesi, kirişlerin kolonlardan daha güçlü olması, etriye sıklaştırmasının olmaması, etriye kancalarının 90^o olması gibi deprem davranışını olumsuz yönde etkileyen ve ülkemizdeki yapı stoğunun önemli bir kısmında bulunan eksiklerin olduğu çerçevenin, bina dışarısından uygulanacak prefabrike paneller yardımı ile güçlendirilmesi sonucunda, yeni sistemin deprem davranışındaki iyileşmenin tespit edilmesidir. 3. bölümde detaylı olarak anlatıldığı gibi, yapıya dışarıdan uygulanabilecek olan bu prefabrike paneller PRESAN Prefabrik İnş. San Ltd. Şti. tarafından hazırlanmıştır. Prefabrike paneller birinci ve ikinci kat kiriş orta noktalarından mevcut çerçeveye ankraj çubukları yardımıyla ankre edilmiştir. Prefabrike paneller kenarlarında bulunan köşebentlerin prefabrike panel alt ucunun temel ile birleştiği yerde temele mesnetlendirilen bir diğer köşebende kaynatılarak bağlantısı yapılmıştır. Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de numunenin deney öncesi önden ve arkadan görünüşleri verilmiştir. Ayrıca numuneye uygulanan yükleme geçmişi Şekil 5.18' de verilmiştir. Yük geçmişi yatay yüke göre ve tepe yer değiştirmelerine göre ayrı ayrı verilmiştir.



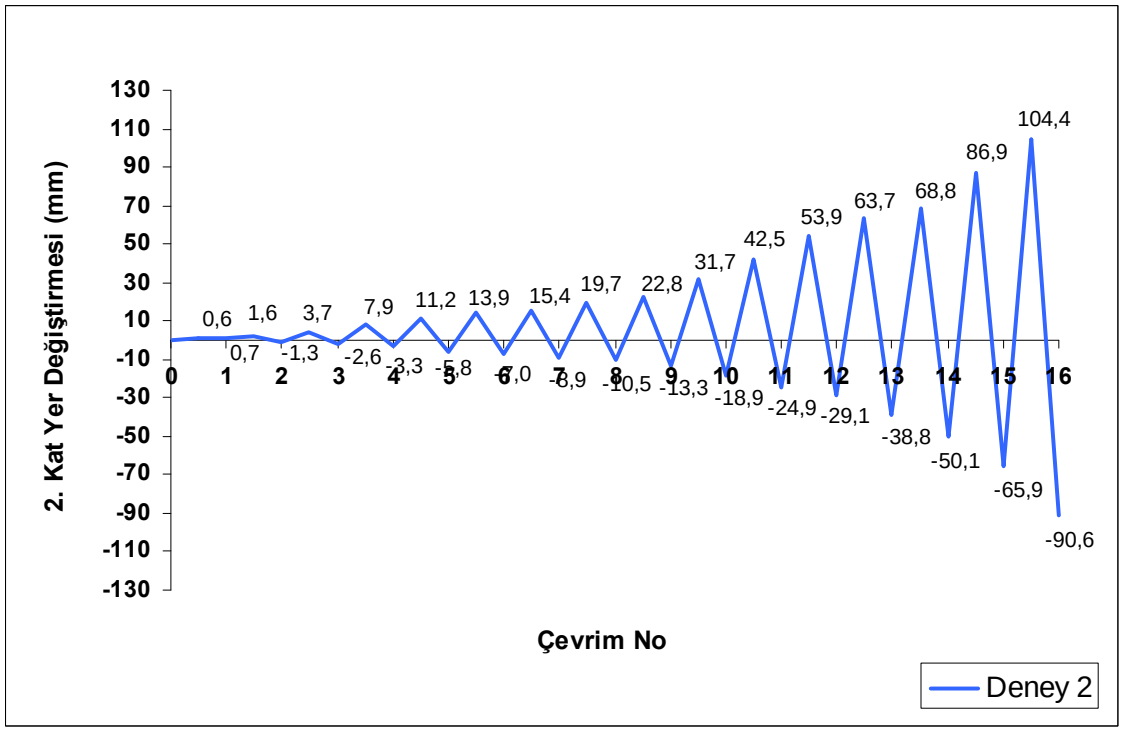
Şekil 5.16. 2 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü (önden).



Şekil 5.17. 2 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü (arkadan).



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

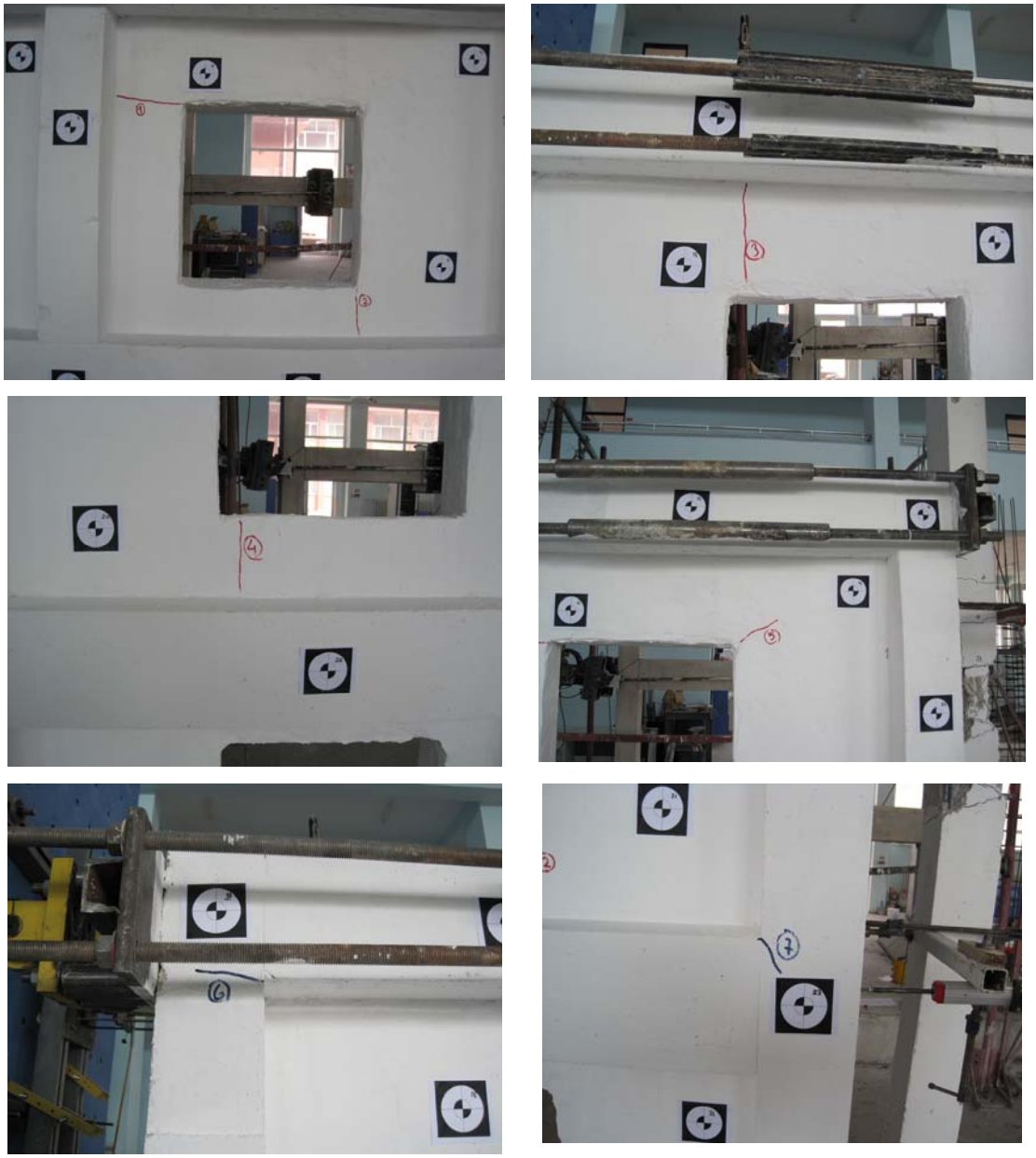


(b) 2. deney numunesinin yük geçmişi (tepe yer değiştirmesine göre)

Şekil 5.18. 2 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi.

Yükleme geçmişi, çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve üst kattan ölçülen yer değiştirmeye göre ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, yük kontrollü yüklemede ±60 kN' a kadar ±10 kN yük artımı uygulanmış, 8. çevrim sırasında yük –

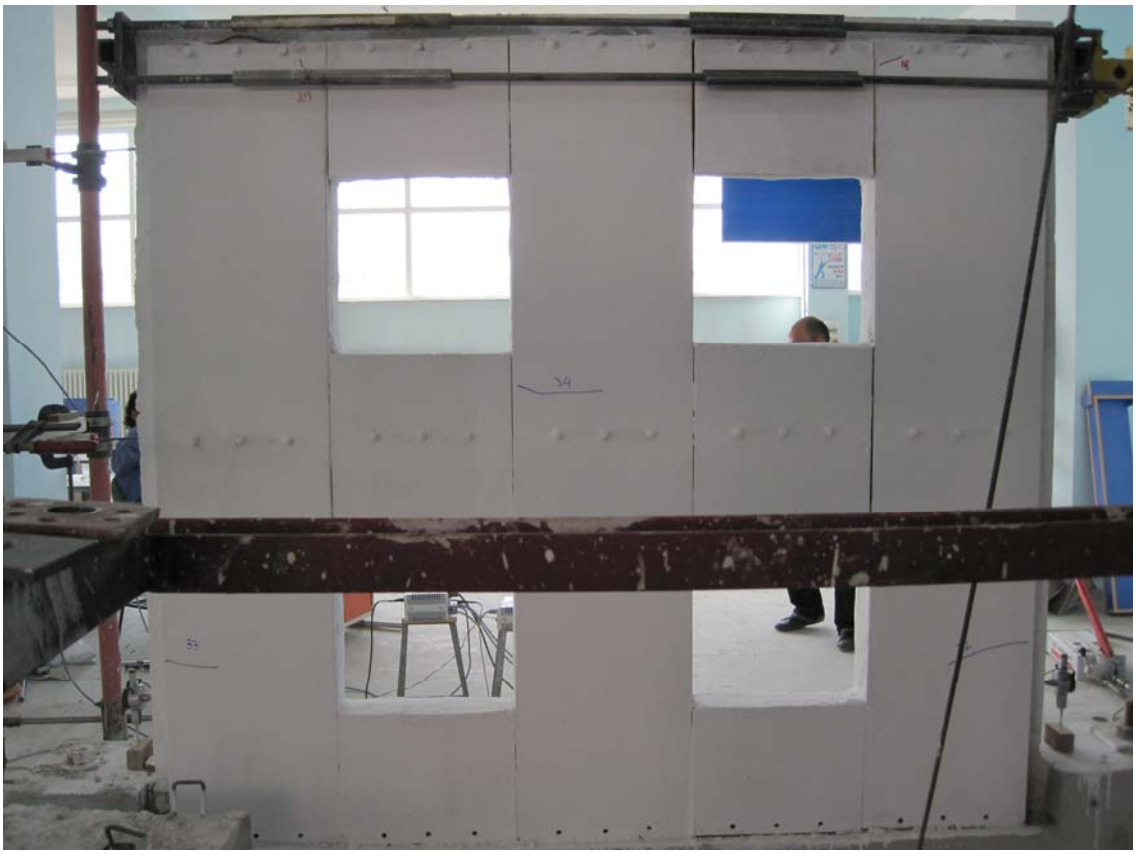
yer değiştirme eğrisinin yataylaşmaya başladığı görülmüş ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yer değiştirme kontrolünde 5 – 10 mm yer değiştirme artırımı ile deneye devam edilmiştir. Deneyde ilk çatlak S202 kolonu sağındaki tuğla duvarın sol üst köşesinde, +20 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. Şekil 5.19'da tuğla duvarlarda oluşan ilk çatlaklar görülmektedir. Çerçeve sistemindeki ilk çatlaklar, 7. ileri çevrimde S101 kolonunun sağ üstünde kiriş birleşiminde ve S102 kolonunun üstünde alt ankraj donatısı hizasında oluşmuştur (Şekil 5.20). Çatlakların oluştuğu andaki yük seviyesi +70 kN, tepe yer değiştirmesi ise +3.530 mm'dir. İlk çatlakların oluştuğu bu yük seviyesi sistemin elastik sınırıdır. Deneyde, her çevrimde gözlenen çatlak ve hasarlar ile deney süresince alınan notlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.19. 2 nolu deney numunesinde çerçevede oluşan ilk çatlaklar (elastik sınır).



Şekil 5.20. 2 nolu deney numunesinde çerçevede oluşan ilk çatlaklar.



Şekil 5.21. 2 nolu deney numunesinde dış prefabrike perdede oluşan ilk çatlaklar.

Çizelge 5.2. 2 nolu deney numunesinde çevrimlerde gözlenen davranış.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	10	0.320	-----
1.2	-10	-0.320	-----
2.1	20	0.620	**1** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda yatay olarak, **2** nolu çatlak da üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda düşey olarak oluştu.
2.2	-20	-0.679	**3** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda düşey olarak, **4** nolu çatlak da aynı şekilde üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda oluştu.
3.1	30	1.612	**5** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda çapraz olarak oluştu. **6** nolu çatlak ise *S201* kolonun üst tarafında yatay olarak meydana geldi.
3.2	-30	-1.264	**7** nolu çatlak *K102* kirişi sağ ucunda kolonla birleşim üst noktasında, **8** nolu çatlak ise *S201* kolonunun tuğla duvar ile birleştiği yerde düşey olarak oluştu.
4.1	40	3.657	**9** nolu çatlak *K101* kirişi sol ucunda kiriş başladığı noktada, **10** nolu çatlak alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda çapraz olarak, **11** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda düşey olarak oluştu.
4.2	-40	-2.556	**12** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda yatay olarak, **13** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda düşey olarak, **14** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda düşey olarak, **15** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda çapraz olarak oluştu.
5.1	50	7.855	**16** nolu çatlak *K102* kirişi sağ ucunda kolonla birleşim alt noktasında, **17** nolu çatlak *S101* kolonunun yanındaki tuğla duvarda yatay olarak oluştu. **18** nolu çatlak prefabrike panellerdeki ilk çatlak oldu ve *S201* kolonu arkasındaki panelin üst ucunda oluştu.
5.2	-50	-3.328	**19** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda düşey olarak oluştu. *S202* kolonunun üst ucunda kiriş ile birleştiği noktada **20** nolu çatlak meydana geldi. **21** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda *S203* kolonu ile birleştiği yerde yatay olarak oluştu. **22** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda yatay olarak oluştu.
6.1	55	11.208	**23** nolu çatlak alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda yatay olarak, **24** nolu çatlak yine aynı duvarın sol alt ucunda yatay olarak oluştu. **25** nolu çatlak alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda çapraz olarak oluştu. **26** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda *S203* kolonu ile birleştiği yerde yatay olarak oluştu. **27** nolu çatlak **8** nolu çatlağın bitişiğinde oluştur.
6.2	-55	-5.805	Alt kat sağ taraftaki tuğla duvarda **15** ve **17** nolu çatlaklar arasında **28** nolu çatlak oluştu. **29** nolu çatlak prefabrike panellerdeki ikinci çatlak oldu ve *S203* kolonu arkasındaki panelin üst ucunda oluştu. *S202* kolonunun alt ucunda kiriş ile birleştiği noktada **30** nolu çatlak meydana geldi. **33** nolu çatlak ise *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelde yine birinci kat ortasında yatay olarak oluştu.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
7.1	60	13.887	**34** nolu çatlak *S102* kolon arkasındaki prefabrike panelde birinci kat kirişi üst kodu hizasında yatay olarak oluştu. **35** nolu çatlak *S203* kolonu üst ucunda oluştu.
7.2	-60	-6.992	**31** nolu çatlak *K101* kirişi sol ucunda kiriş başladığı noktada **9** nolu çatlağın devamı olarak oluştu. **32** nolu çatlak *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde birinci kat ortasında yatay olarak oluştu.
Yer Değiştirme Kontrollü Yüklemeye Geçiş			
8.1	54.68	10	**41** nolu çatlak *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelin alt ucunda oluştu. **42** nolu çatlak ise *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelin yine alt ucunda oluştu. **43** nolu çatlak da *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelde kat hizasında oluştu. **44** nolu çatlak *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panel alt ucunda oluştu. **45** nolu çatlak *S201* yanındaki tuğla duvarda çapraz olarak oluştu. Tuğla duvarın sıvasında özellikle köşe noktalarda dökülmeler oldu.
8.2	-62.92	-10	**36** nolu çatlak *S102* kolon arkasındaki prefabrike panelde birinci kat kirişi üst kodu hizasında **34** nolu çatlağın sağ çaprazında yine yatay olarak oluştu. **37** nolu çatlak *S201* kolonu arkasındaki prefabrike panelde birinci kat hizasının hemen üzerinde yatay olarak oluştu. **38** nolu çatlak **37** nolu çatlağın devamı olarak *S201* kolonu alt kısımda yan yüzeyde oluştu. **39** nolu çatlak *S101* kolonu alt ucunda temel ile birleştiği noktada oluştu. **40** nolu çatlak *S101* kolonun üst ucunda oluştu.
9.1	66.57	15	**47** nolu çatlak *S201* kolonun alt ucunda oluştu. **48** nolu çatlak da *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde kat hizasında oluştu. Tuğla duvarlardaki ezilmeler belirginleşti.
9.2	-77.15	-15	**46** nolu çatlak *S103* kolonu alt ucunda temel ile birleştiği noktada oluştu. **49** nolu çatlak *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde **44** nolu çatlağın hemen yanında oluştu. **50** nolu çatlak ise *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panel alt ucunda oluştu.
10.1	84.65	20	**54, 55, 56** ve **57** nolu çatlaklar alt kat sol taraftaki tuğla duvarın farklı uçlarında oluştu. **58** nolu çatlak **26** nolu çatlağın devamı olarak meydana geldi.
10.2	-84.13	-20	**59** nolu çatlak *S203* kolonu alt ucunda oluştu. **11** nolu çatlağın bulunduğu *K201* kirişinin sol ucunda çatlak genişliği 10 mm oldu.
11.1	95.75	25	**60 ve 61** nolu çatlaklar üst kat sol taraftaki tuğla duvarın farklı uçlarında oluştu. **62** nolu çatlak *S102* kolonu üst ucunda oluştu. **63** nolu çatlak ise *S202* kolonu arkasındaki prefabrike panelin üst ucunda oluştu.
11.2	-83.64	-25	**65** nolu çatlak **42** nolu çatlağın 50 mm üzerinde meydana geldi. **66** nolu çatlak **48** nolu çatlak gibi *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde kat hizasında oluştu. **67** nolu çatlak **66** nolu çatlağın devamı olarak *S101* kolonu üst kısmında kolon yan yüzeyinde oluştu.
12.1	95.97	30	**69** nolu çatlak **65** nolu çatlak gibi *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelin alt ucunda oluştu. **70** nolu çatlak *S203* kolonun arka kısmında ve alt ucunda oluştu. **71** nolu çatlak da aynı kolonun orta kısmında ve yan yüzeyde oluştu.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
12.2	-86.59	-30	**72** ve **73** nolu çatlaklar farklı tuğla duvarlarda oluştu. **74** ve **75** nolu çatlaklar *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde **49** nolu çatağın altında oluştu.
13.1	105.27	40	**76** nolu çatlak *S101* kolonun üst ucunda yan yüzeyde **40** nolu çatlağın devamı olarak oluştu. **78** ve **79** nolu çatlaklar *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelde **65** nolu çatlağın altında oluştu.
13.2	-90.53	-40	**80** nolu çatlak *S203* kolonu üst ucunda **35** nolu çatlağın hemen üzerinde oluştu. **81, 82** ve **83** nolu çatlaklar üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın farklı uçlarında oluştu. **84** nolu çatlak *S102* kolonu alt ucunda temelin 200 mm üzerinde oluştu.
14.1	112.73	50	**85, 86,** ve **87** nolu çatlaklar farklı tuğla duvarlarda oluştu. **88** ve **89** nolu çatlaklar yine *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde **49** nolu çatağın etrafında oluştu.
14.2	-64.92	-50	**90, 91** ve **92** nolu çatlaklar prefabrike panellerin farklı yerlerinde oluştu. **93** ve **94** nolu çatlaklar ise üst kat sol taraftaki tuğla duvarda oluştu.
15.1	108.32	60	**95** ve **96** nolu çatlaklar *K102* kirişi sağ ucunda 200 mm aralıkla, **97** nolu çatlak ise *K102* kirişi sol ucunda meydana geldi. **98** nolu çatlak yine *K102* kirişi sağ ucunun 300 mm öncesinde oluştu. **99** nolu çatlak *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelin alt ucunda oluştu. **100** nolu çatlak *K102* kirişi arkasındaki prefabrike panelin ortasında ve 45° eğimle oluştu.
15.2	-62.55	-60	Prefabrike paneller alt ucu ile temel arasındaki aralık 20 mm ulaştı. **101** nolu çatlak *K101* kirişi arkasındaki prefabrike panelin ortasında ve 45° eğimle oluştu. **102** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın arkasındaki prefabrike panelin ortasında ve yine 45° eğimle oluştu. **103, 104** ve **105** nolu çatlaklar *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelin alt tarafında yatay olarak oluştu
16.1	91.61	70	**106** nolu çatlak *S202* kolonu arkasındaki prefabrike panelin üst ucunda yatay olarak oluştu. **107** nolu çatlak ise *K202* kirişi arkasındaki prefabrike panelde 45° eğimle oluştu.
16.2	-59.73	-70	**108** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın ortasında oluştu. **109** nolu çatlak ise *S101* kolonu kat ortasında oluştu. **110** nolu çatlak *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında kiriş ile birleştiği noktada oluştu. **111** nolu çatlak *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelde **105** nolu çatlağın yanında oluştu. **112** nolu çatlak *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında kiriş ile birleştiği noktada oluştu. **113** nolu çatlak *S201* kolonu arkasındaki prefabrike panelin orta kısmında yatay olarak oluştu.
17.1	69.61	90	**114** nolu çatlak ise *S203* kolonu arkasındaki prefabrike panelin orta kısmında yatay olarak oluştu. **115** nolu çatlak *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında kiriş ile birleştiği noktada oluştu. **116** ve **117** nolu çatlak da benzer şekilde sırasıyla *S102* ve *S103* kolonları arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında kiriş ile birleştiği noktalarda oluştu.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
17.2	-66.09	-90	-----
18.1	71.03	104	-----

Not: Bu çizelgedeki yük – yer değiştirme değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.

8. çevrimden sonra yük kontrollü yükleme sona erdirilerek yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçildiği anda, deney numunesinin ileri ve geri yönde ulaştığı yatay yük değeri ±60 kN, tepe yer değiştirmesi ise yaklaşık ±10.00 mm'dir. Bu anda sistemde 32 adet çatlak oluşmuştur. Deney numunesinin yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçildiği andaki görünüşü Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.22. 2 nolu deney numunesinin yük kontrollü yükleme sonundaki görünüşü.

Yer değiştirme kontrollü yükleme sırasında hem çerçevede hem de prefabrike panellerde çatlak oluşumları devam etmiş ve deney sonuna kadar toplam 117 adet çatlak isimlendirilmiştir. 18. çevrimde ileri yönde yükleme yapılırken yaklaşık 104 mm yer

değiştirme ölçülmüş ve bu anda deney sonlandırılmıştır. Deney sonundaki en son çekme anında ki sistemin görünüşü Şekil 5.24'de verilmiştir. İleri yüklemede maksimum 112.72 kN yatay yük taşıyan numune, geri yüklemede ise 90.53 kN maksimum yüke ulaşmıştır. Aradaki fark geri yüklemede yüksek yük değerlerine ulaşıldığında, prefabrike panellerin sıyrılmaya başlamasından kaynaklanmaktadır.

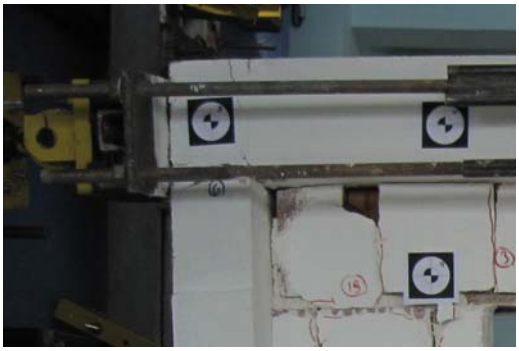


Şekil 5.23. 2 nolu deney numunesinin deney sonu görünüşü.

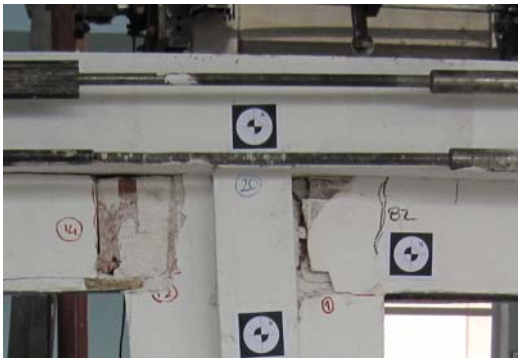


Şekil 5.24. 2 nolu deney numunesinin deney sonu cepheden görünüşü.

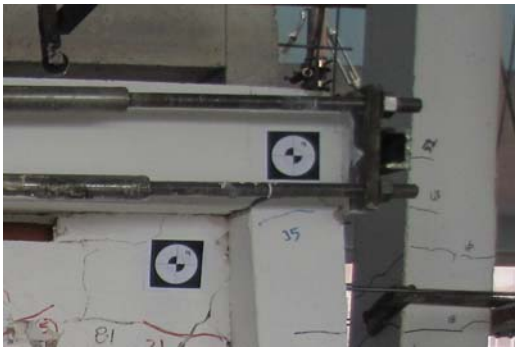
Deney sırasında prefabrike panellerdeki çatlaklar, çoğunlukla çerçeve temeli ile birleştiği alt uçlarda yoğunlaşmıştır. Şekil 5.25'de deney sonunda çerçeve birleşim bölgelerindeki hasar durumu verilmiştir.



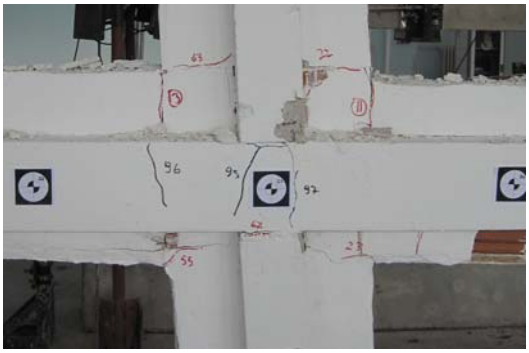
S201 – K201



K201 – S202 – K202



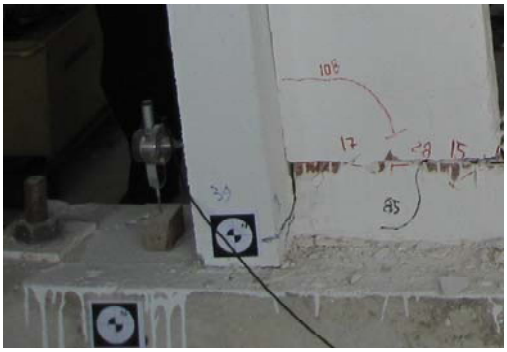
K202 – S203



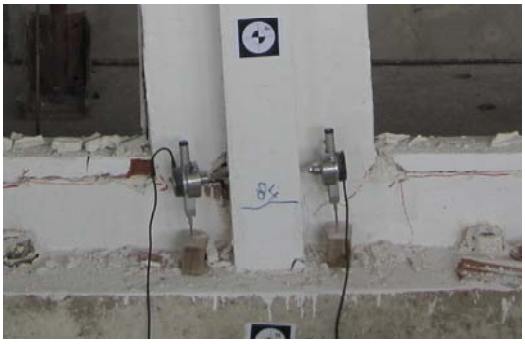
K101 – S102 – K102



S101 – K101



S101 – Temel

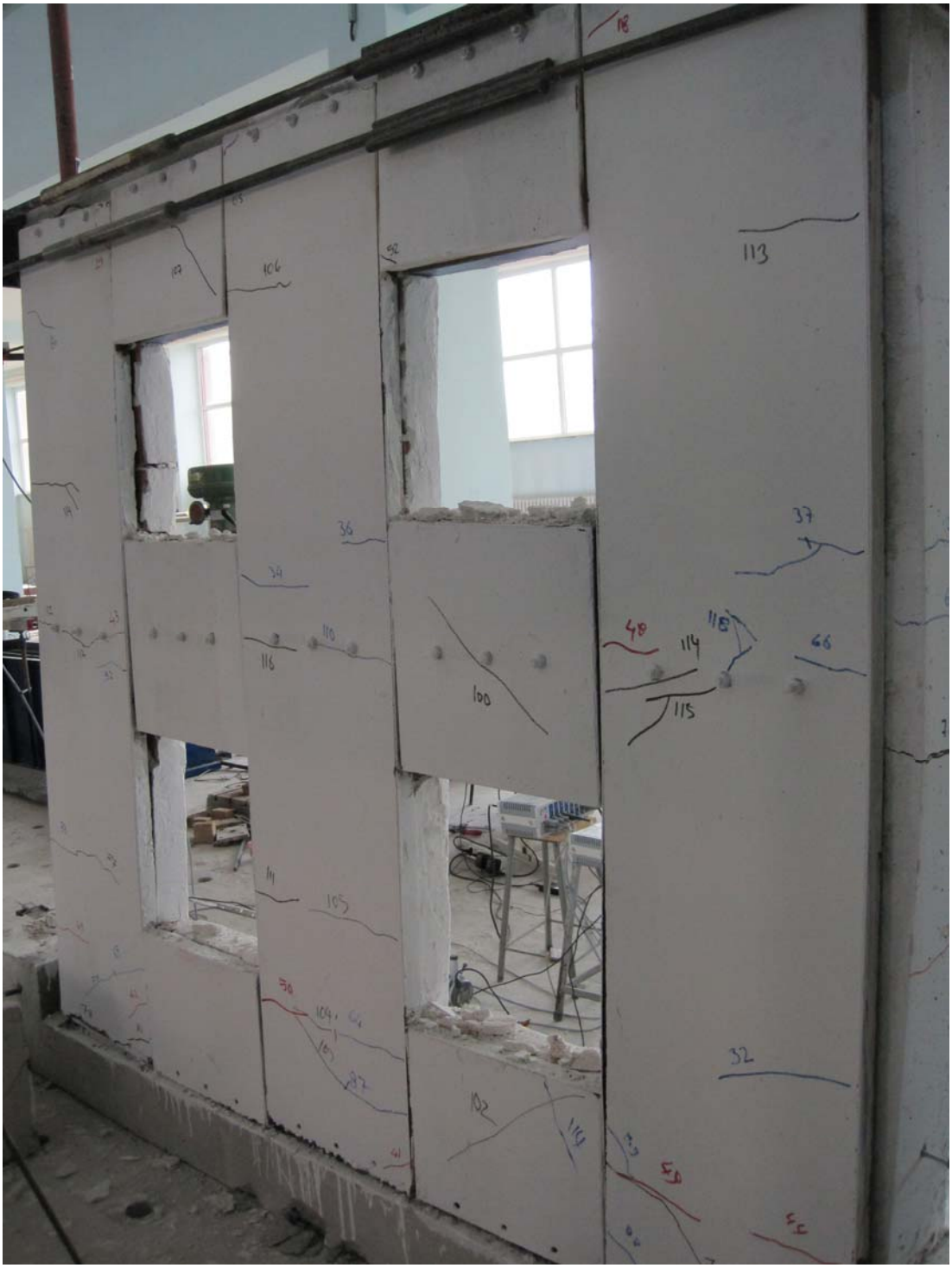


S102 – Temel



S103 – Temel

Şekil 5.25. 2 nolu deney sonunda çerçeve birleşim bölgelerindeki hasar.



Şekil 5.26. 2 nolu deney sonunda prefabrike panellerde oluşan hasar.

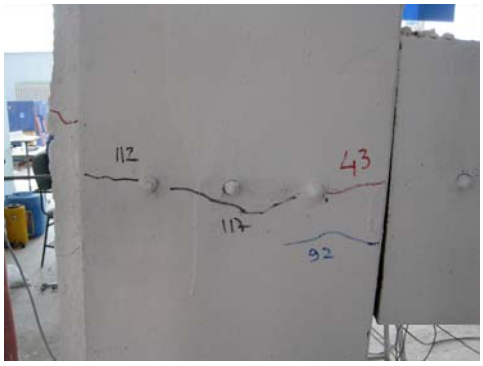
Şekil 5.26'da deney sonunda prefabrike panellerdeki hasar durumu görülmektedir. Görüldüğü gibi panellerde hasar panellerin çerçeve ile birleştiği bölgelerde yoğunlaşmıştır. Şekil 5.27'de ise deney sonunda çerçeve ile prefabrike panellerin birleşim bölgelerindeki hasar durumları verilmiştir.



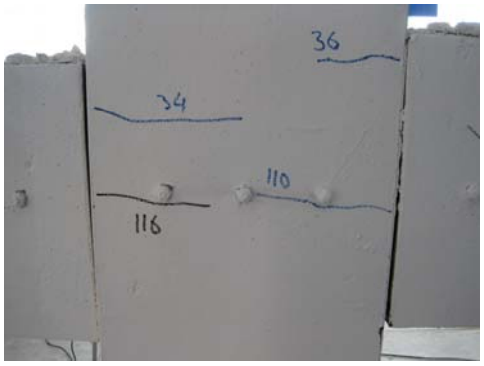
S201 – K201



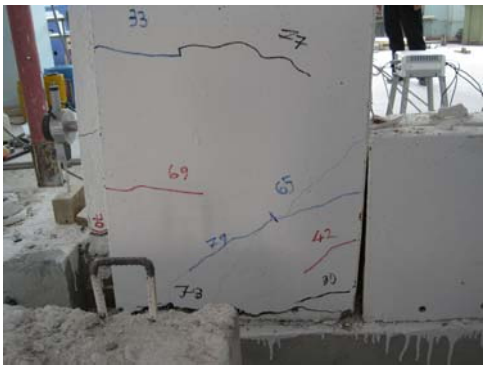
K201 – S202 – K202



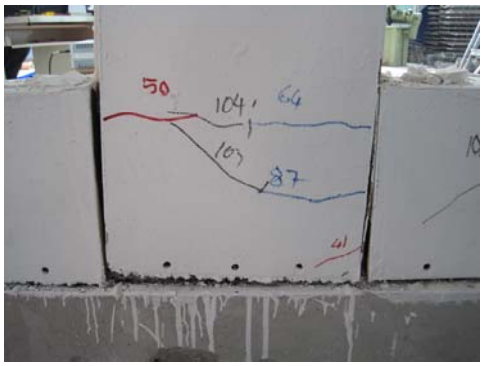
S101 – K101



K101 – S102 – K102



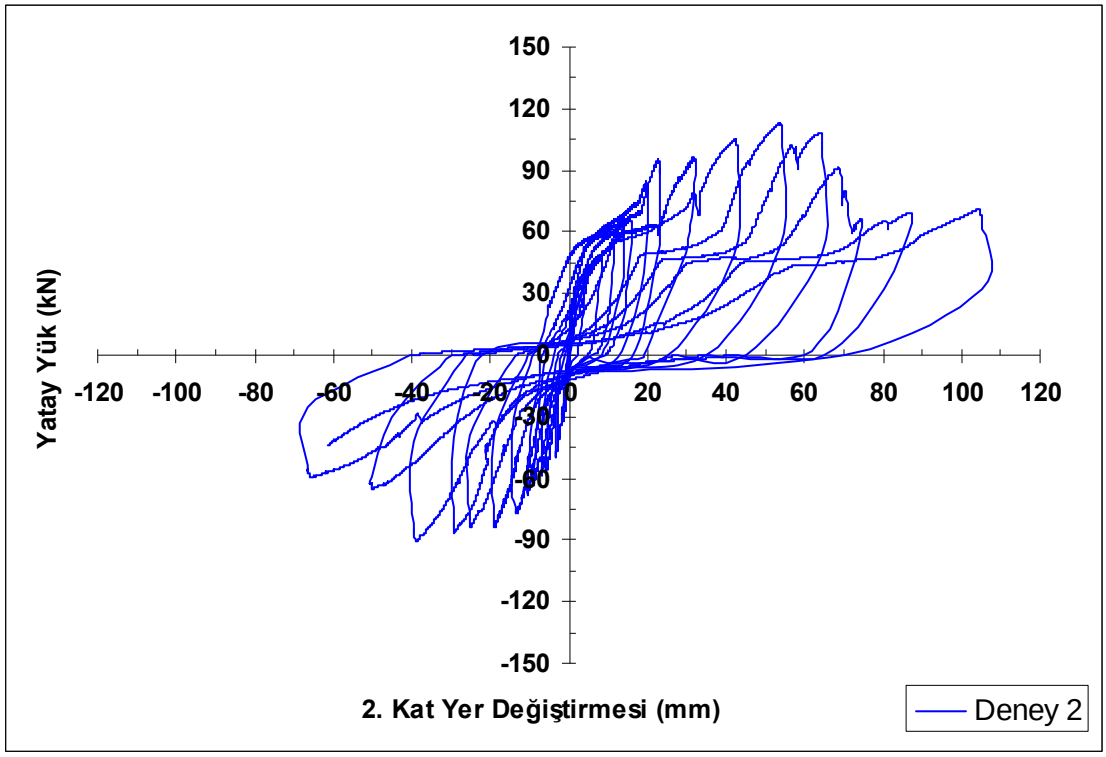
S101 – Temel



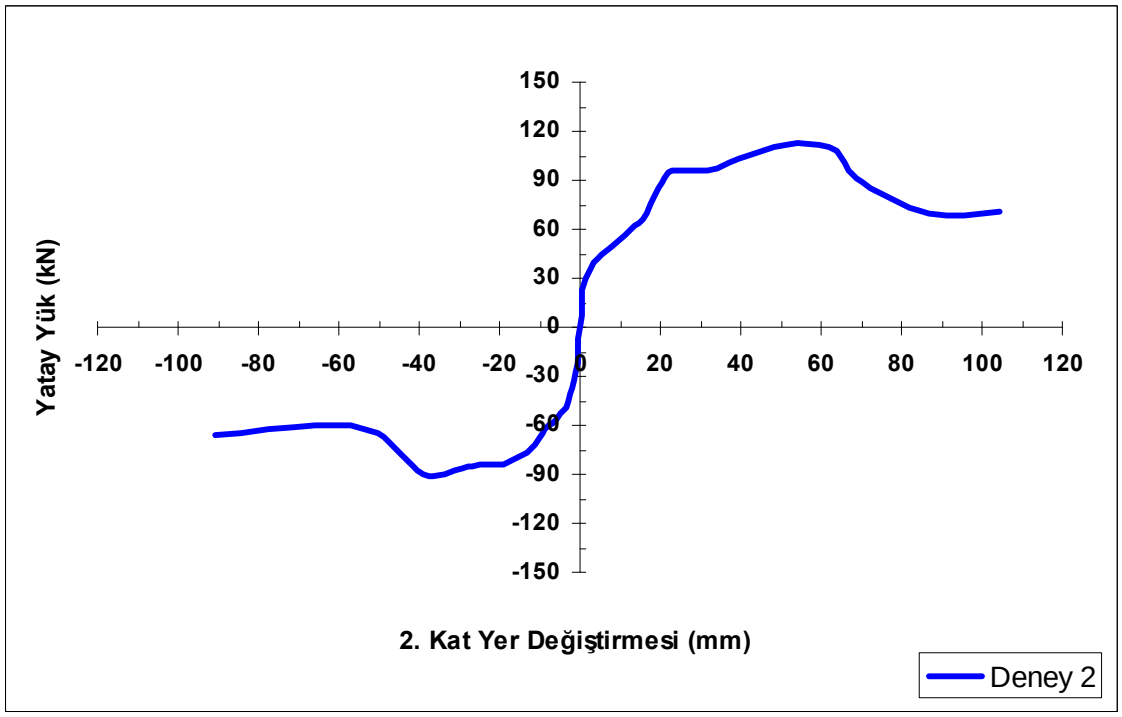
S102 – Temel

Şekil 5.27. 2 nolu deney sonunda prefabrike paneller birleşim bölgelerindeki hasar.

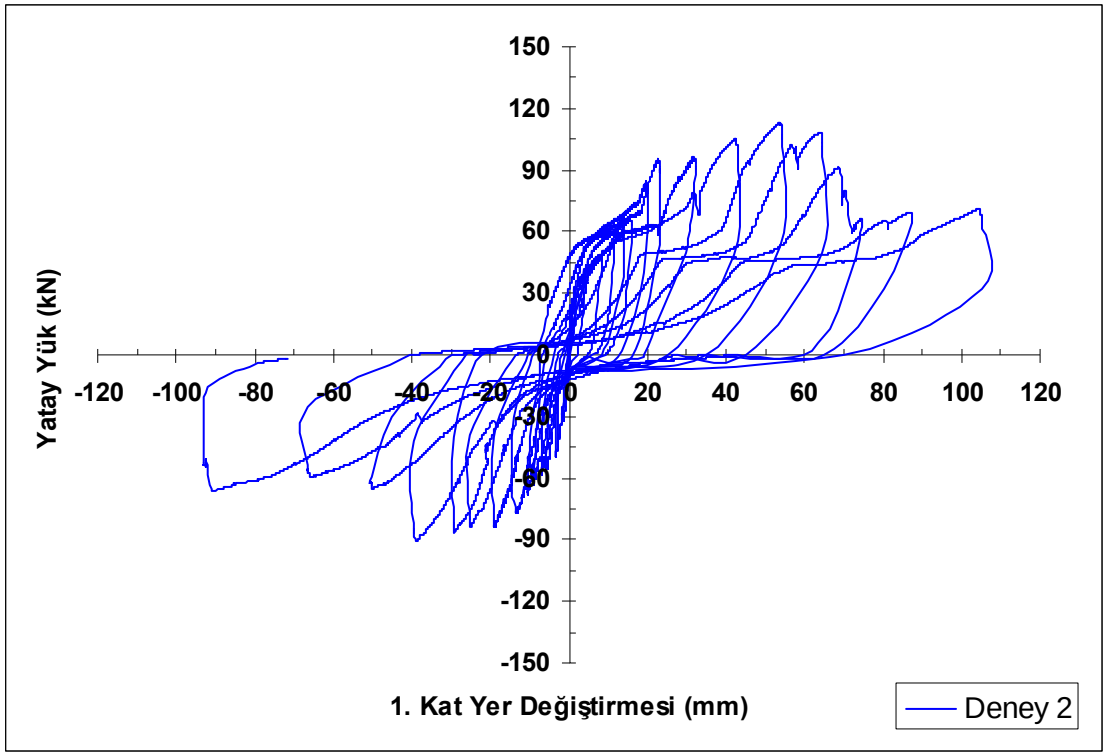
2 nolu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği Şekil 5.28'de, yatay yük – 2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.29'de, yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi grafiği Şekil 5.30'da, yatay yük – 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.31'da, yatay yüke bağlı ötelenme oranı grafiği Şekil 5.32'de, kolon alt ucundaki moment–eğrilik grafiği Şekil 5.33'de, rijitlik azalım grafiği Şekil 5.34'de, her bir yer değiştirme aralığı için hesaplanan enerji tüketimi – 2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.35'de ve kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 5.36'de verilmiştir.



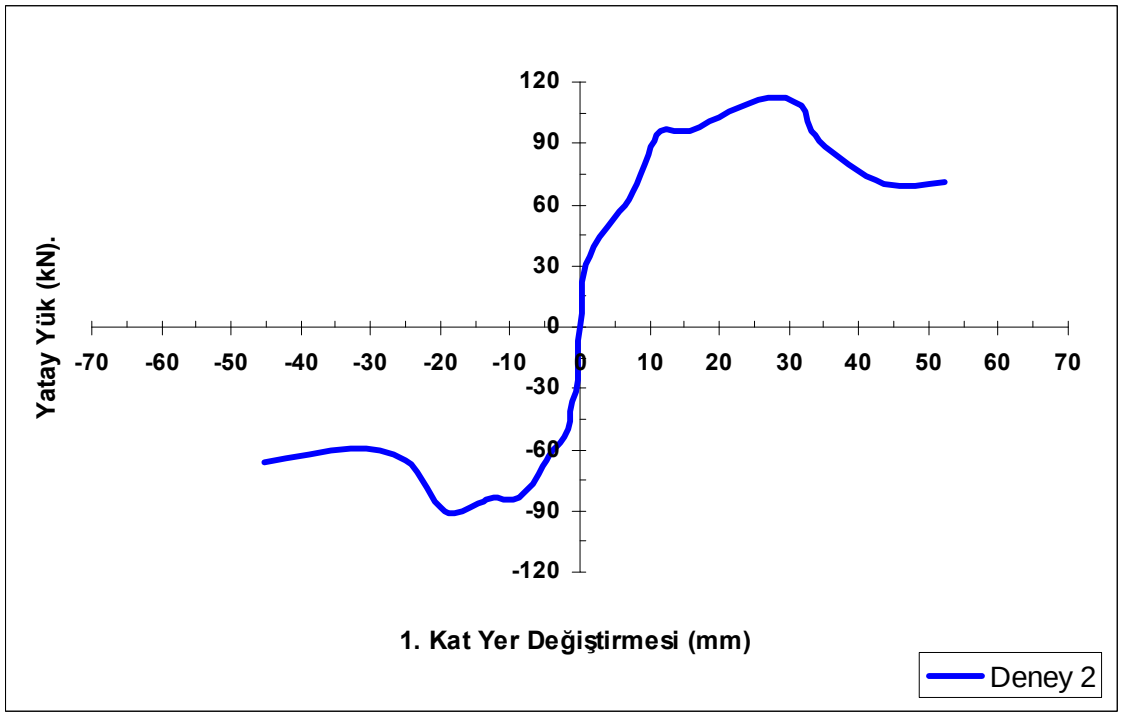
Şekil 5.28. 2 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği.



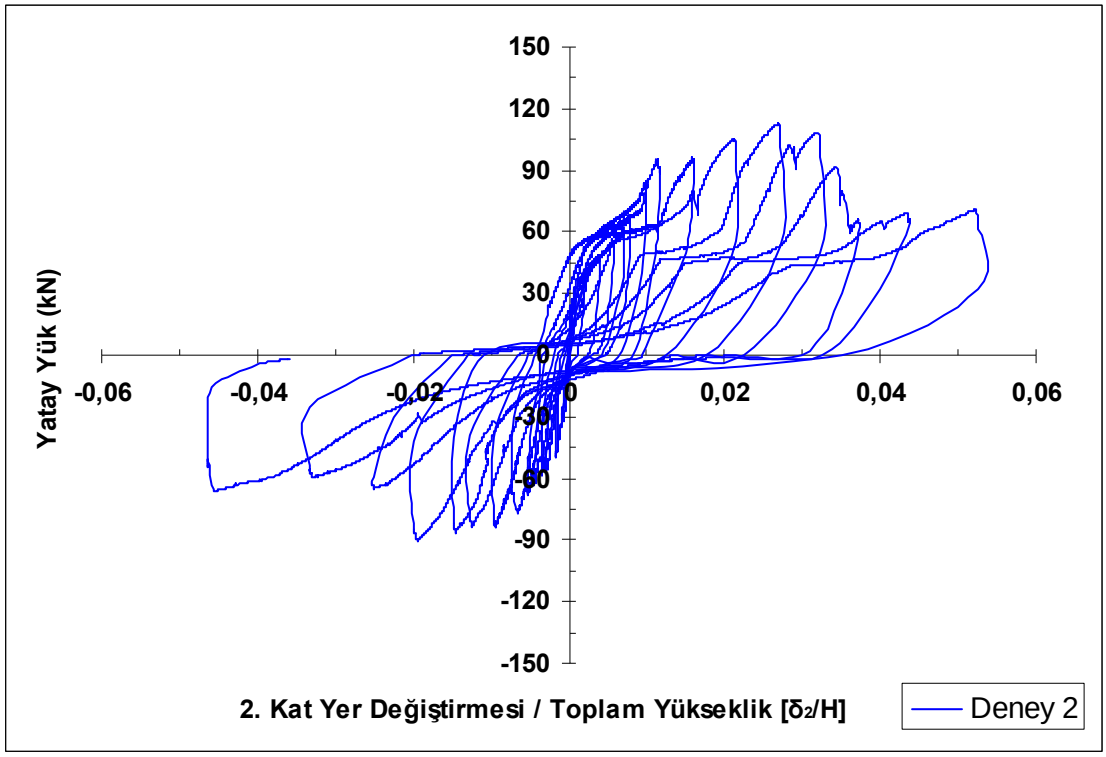
Şekil 5.29. 2 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirme zarfı.



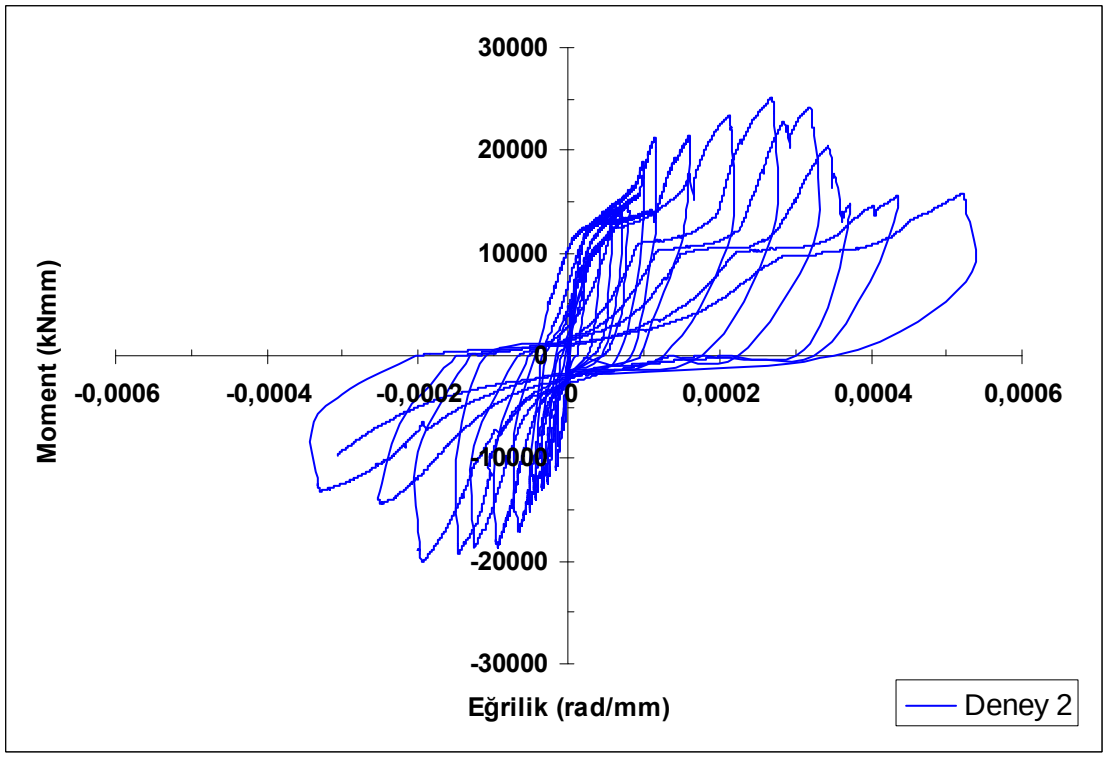
Şekil 5.30. 2 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi grafiği.



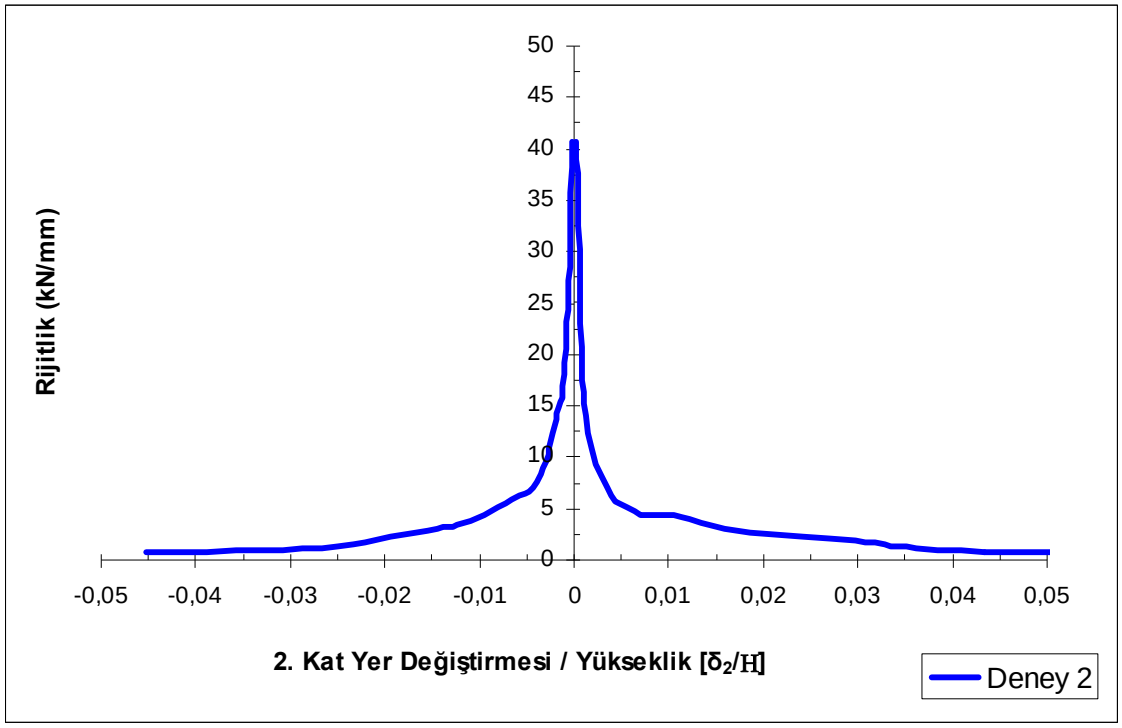
Şekil 5.31. 2 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirme zarfı.



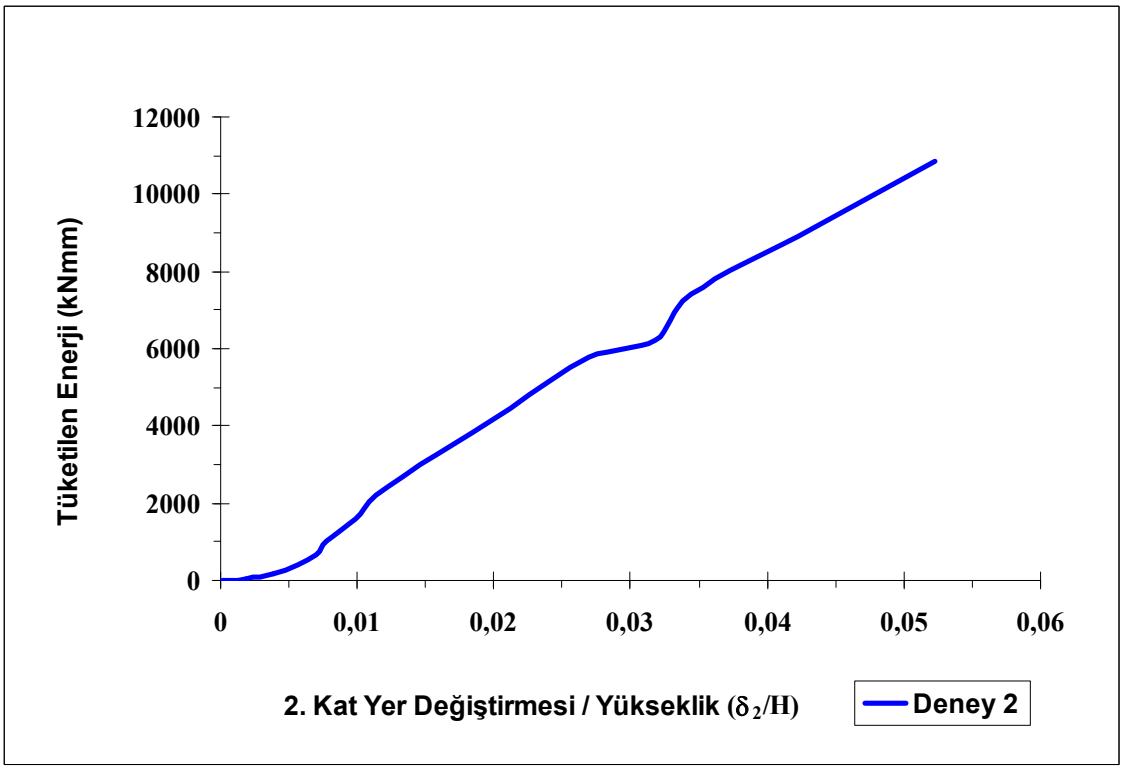
Şekil 5.32. 2 nolu deney numunesine ait yatay yük – ötelenme oranı grafiği.



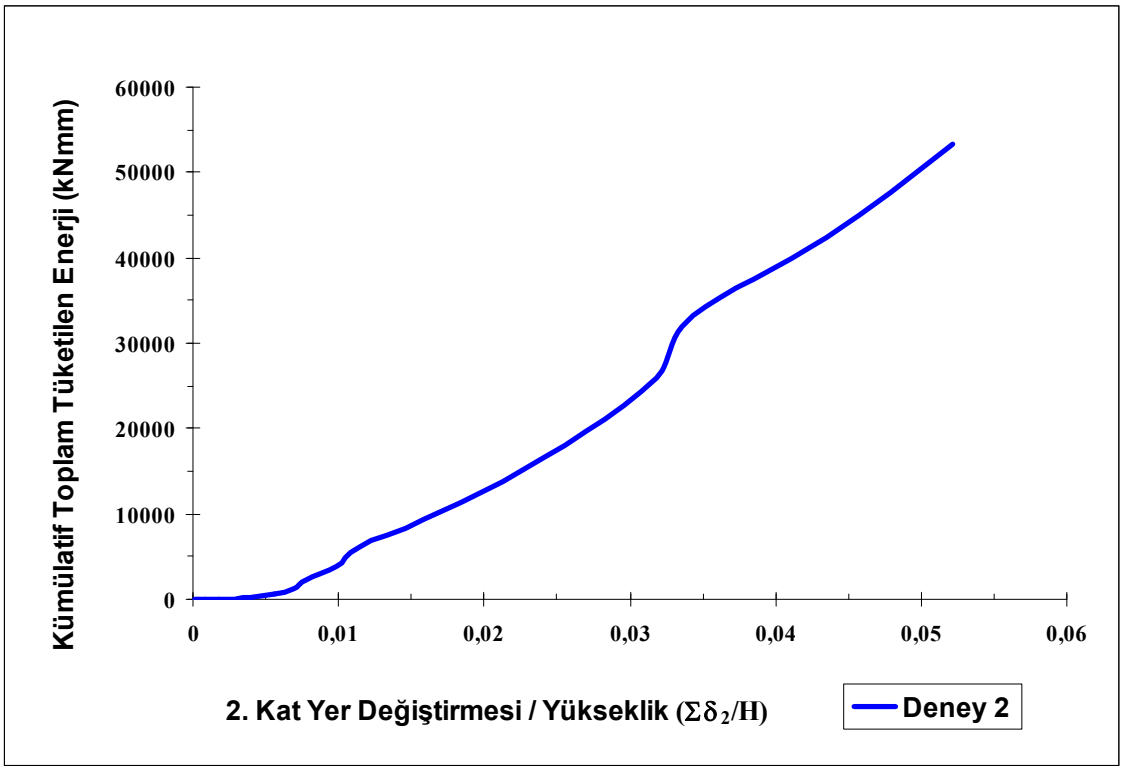
Şekil 5.33. 2 nolu deney numunesine ait moment – eğrilik grafiği.



Şekil 5.34. 2 nolu deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği
(yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için).



Şekil 5.35. 2 nolu deney numunesine ait tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği
(Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır)

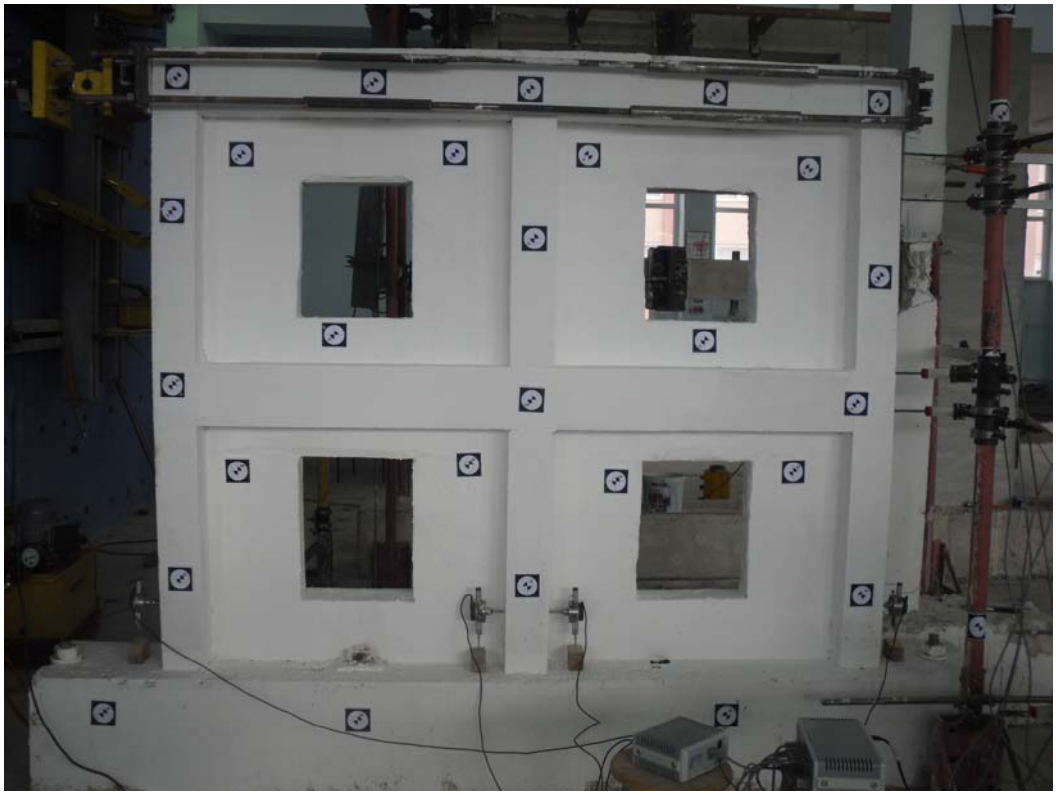


Şekil 5.36. 2 nolu deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

5.3. 3 Nolu Deney (DN3–2PP)

3 nolu deney numunesi, belli yapım kusurları dikkate alınarak üretilmiş, 1 nolu deney numunesi ile özdeş deprem dayanımı yetersiz çerçevenin prefabrike paneller kullanılarak güçlendirilmiş deney elemanıdır. 3 nolu deney numunesi ile 2 nolu deney numunesi, çerçeve ve prefabrike panel özellikleri bakımından tamamen aynıdır. 2 nolu deney numunesi ile 3 nolu deney numunesinin panel alanları ve şekli farklıdır. 2 nolu deney numunesinde 5 sıra olarak toplam 3.956 m^2 panel alanı olan prefabrike panel kullanılırken, 3 nolu deney numunesinde 6 sıra olarak toplam 4.066 m^2 panel alanı prefabrike panel kullanılmıştır.

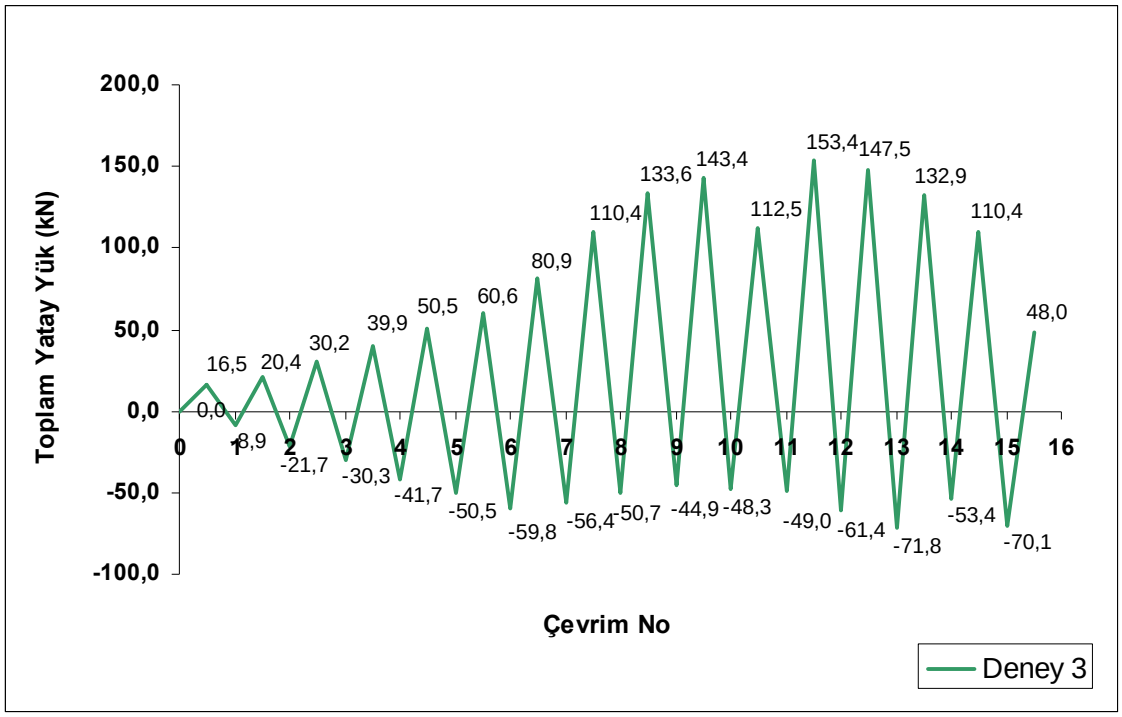
Bu deneyin amacı 2 nolu deneyde olduğu gibi; Türkiye'de mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmının bulunduğu ve 3. bölümde detaylı bir şekilde açıklanan yapım kusurlarına sahip deprem dayanımı yetersiz çerçevenin, bina dışından oldukça pratik olarak uygulanabilecek prefabrike paneller ile güçlendirilmesi sonucunda, güçlendirilmiş sistemin yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik gibi özelliklerinde meydana gelen iyileşmenin tespit edilmesidir. Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de 3 nolu numunenin deney öncesi görünüşü verilmiştir. Şekil 5.39'de ise numuneye uygulanan yükleme geçmişi görülmektedir. Yük geçmişi yatay yüke göre ve tepe yer değiştirmesine göre ayrı ayrı verilmiştir.



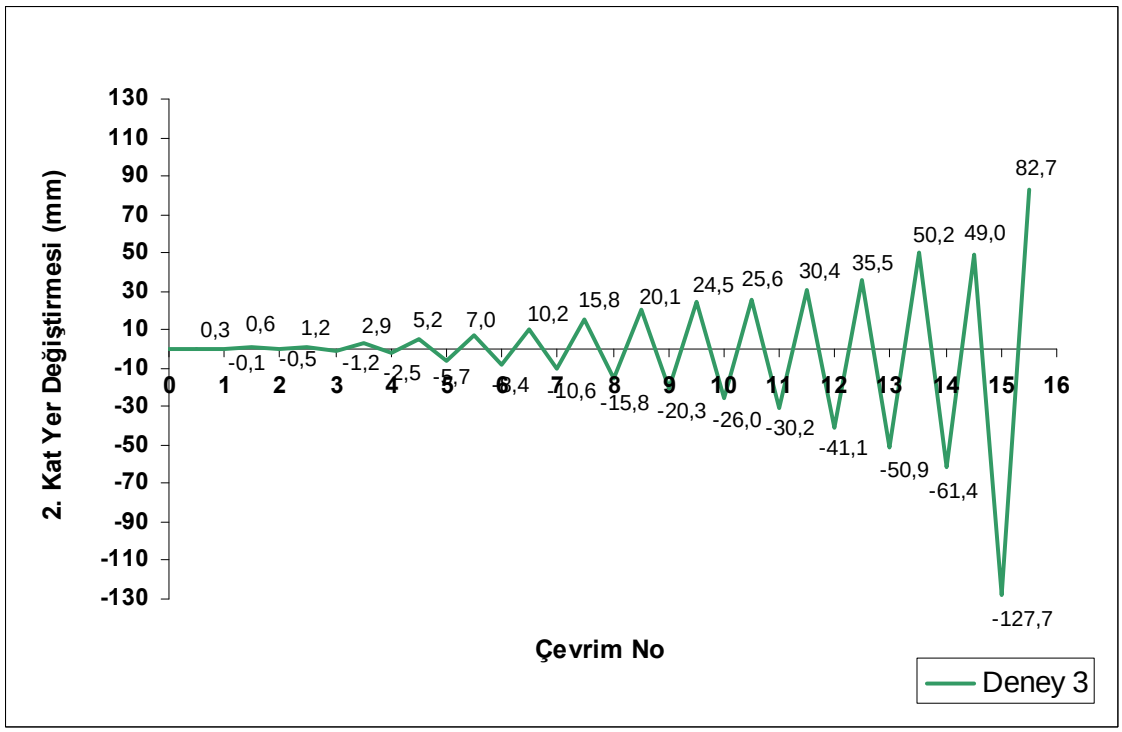
Şekil 5.37. 3 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü (önden).



Şekil 5.38. 3 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünüşü (arkadan).



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



(b) 3. deney numunesinin yük geçmişi (tepe yer değiştirmesine göre)

Şekil 5.39. 3 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi.

Yükleme geçmişi, çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve üst kattan ölçülen yer değiştirmeye göre ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, yük kontrollü

yüklemede ±60 kN' a kadar ±10 kN yük artırımı uygulanmış, 8. çevrim sonunda yük – yer değiştirme eğrisinin yataylaşmaya başladığı görülmüş ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yer değiştirme kontrollü yüklemede 5 – 10 mm yer değiştirme artırımı ile deneye devam edilmiştir.

Deneyde ilk çatlaklar 3. çevrimde, +20 kN yük seviyesinde ve 0.29 mm tepe yer değiştirmeında tuğla duvarda oluşmuştur. Prefabrike panellerde ilk çatlaklar ise yine 10. çevrimde -80 kN yük seviyesinde ve -10.25 mm tepe yer değiştirmesinde, T2 temeli üzerinde oluşmuştur. Şekil 5.49'da dış perdede ve çerçevede oluşan ilk çatlaklar görülmektedir. Deneyde, her çevrimde gözlenen çatlak ve hasarlar ile deney süresince alınan notlar Çizelge 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.40. 3 nolu deney numunesinde çerçevede oluşan ilk çatlaklar.

Çizelge 5.3. 3 nolu deney numunesinde çevrimlerde gözlenen davranış.

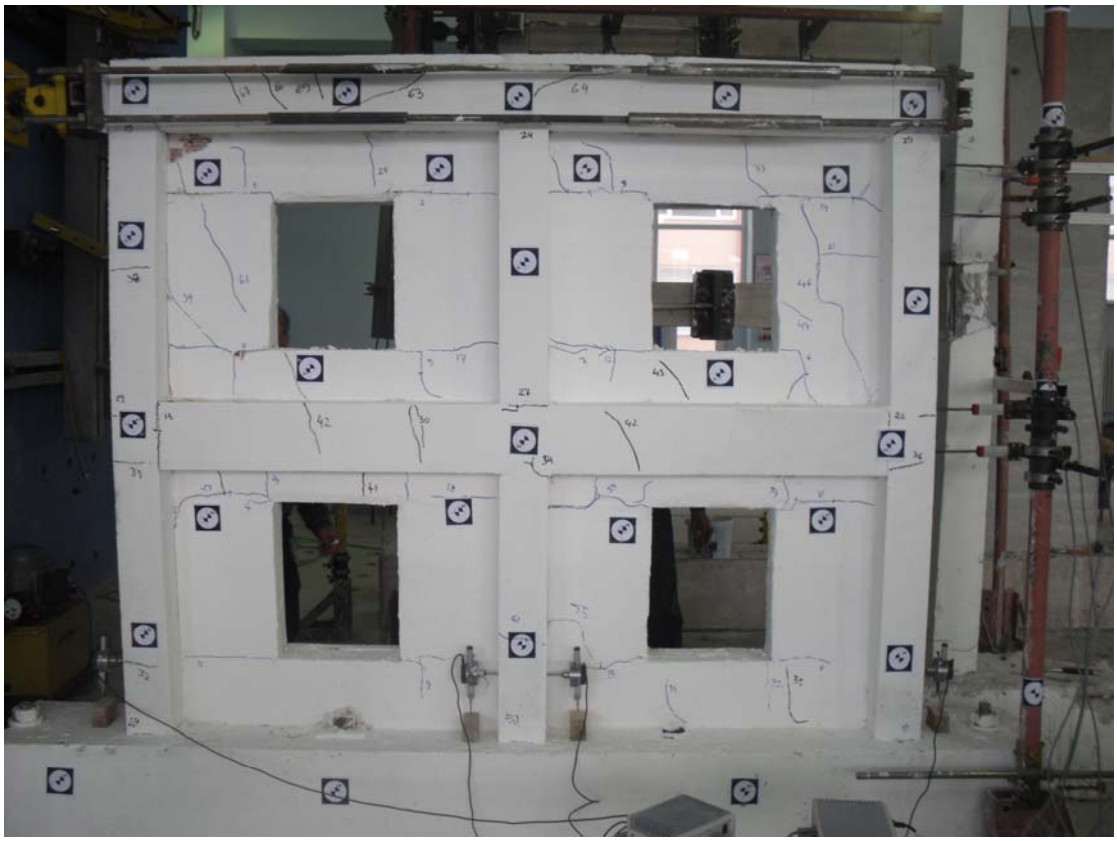
Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0.398	-----
1.2	-5	-0.074	-----
2.1	10	0.294	**1** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda yatay olarak oluştu.
2.2	-10	-0.123	**2** nolu çatlak da üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda yatay olarak oluştu.
3.1	20	0.576	**3** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda yatay olarak, **4** nolu çatlak da aynı şekilde alt kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda oluştu.
3.2	-20	-0.490	**5** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda oluştu. **6** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda oluştu. **7** nolu çatlak *S201* kolonunun sağındaki tuğla duvar ile birleştiği yerde oluştu. **8** nolu çatlak ise alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda yatay olarak oluştu.
4.1	30	1.226	**9** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ alt ucunda, **10** nolu çatlak *S101* kolonunun tuğla duvar ile birleştiği yerde oluştu. **11** nolu çatlak ise üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda yatay olarak oluştu.
4.2	-30	-1.165	**12** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda, **13** nolu çatlak *K101* kirişi sol ucunda kolonla birleşim noktasında oluştu. **14** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda oluştu.
5.1	40	2.905	**15** nolu çatlak alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda, **16** nolu çatlak da alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda oluştu. **17** nolu çatlak *S202* kolonunun sol yanındaki tuğla duvarda yatay olarak oluştu. **18** nolu çatlak da *S102* kolonunun sol yanındaki tuğla duvarın üst kısmında yatay olarak oluştu
5.2	-40	-2.525	*S201* kolonunun üst ucunda kiriş ile birleştiği noktada **19** nolu çatlak meydana geldi. **20** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda düşey olarak oluştu. *S202* kolonunun üst ucunda kiriş ile birleştiği noktada **20** nolu çatlak meydana geldi. **21** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda *S203* kolonu ile birleştiği yerde yatay olarak oluştu. **22** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol alt ucunda yatay olarak oluştu.
6.1	50	5.223	**23** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst köşesinde oluştu. *S202* kolonunun üst ucunda kiriş ile birleştiği noktada **24** nolu çatlak meydana geldi.
6.2	-50	-5.664	*S203* kolonunun üst ucunda kiriş ile birleştiği noktada **25** nolu çatlak meydana geldi. **26** nolu çatlak alt kat sol taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda *S101* kolonu ile birleştiği yerde yatay olarak oluştu. *S202* kolonunun alt ucunda **27** nolu çatlak meydana geldi.
7.1	60	6.951	**28** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda düşey olarak oluştu. oluştu. *S101* kolonu ile *S201* kolonu birleşim noktasında **29** nolu çatlak meydana geldi.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
7.2	-60	-8.418	**30** nolu çatlak K101 kirişi sağ tarafında mesnetten 300 mm içeride meydana geldi. **31** ve **32** nolu çatlaklar alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın alt kısmında oluştu.
Yer Değiştirme Kontrollü Yüklemeye Geçiş			
8.1	80.87	10	**33** nolu çatlak üst kat sağ taraftaki tuğla duvarın sağ üst ucunda oluştu. **34** nolu çatlak *S102* kolonu üst ucunda kirişle birleştiği noktada oluştu. **35** nolu çatlak alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın sol üst ucunda oluştu.
8.2	-56.36	-10	**36** nolu çatlak *S103* kolonu üst ucunda kirişle birleştiği noktada oluştu. **37** nolu çatlak *S101* kolonu alt ucunda oluştu. **38** nolu çatlak *S201* kolonu orta kısımda oluştu. **39** nolu çatlak **38** nolu çatlağın devamı olarak tuğla duvarda oluştu. **40** nolu çatlak ise *S101* kolonunun temel ile birleştiği noktada oluştu.
9.1	110.39	15	**41** nolu çatlak sol taraftaki tuğla duvarda pencere boşluğunun üzerinde düşey olarak oluştu. **42** nolu çatlak *K101* kirişi açıklık ortasında oluştu. **43** nolu çatlak da **42** nolu çatlağa benzer şekilde *K102* kirişinde oluştu.
9.2	-50.73	-15	**44** nolu çatlak prefabrike panellerdeki ilk çatlak oldu ve sağ taraftaki temelin üzerindeki panelde 45° eğimle oluştu. **45** nolu çatlak da *S201* kolonu arkasındaki prefabrike panellerde pencere boşluğu hizasında yatay olarak oluştu. **46** ve **47** nolu çatlaklar üst kat sağ taraftaki tuğla duvarda 45° eğimle oluştu.
10.1	133.61	20	**48, 49, 50 ve 51** nolu çatlaklar prefabrike panellerde oluştu. Sırasıyla *S101, S102, S202* kolonları *ve K202* kirişi arkasındaki panellerde meydana geldiler. **52** nolu çatlak *S102* kolonu alt ucunda ve **53** nolu çatlak da *S103* kolonu alt ucunda kolonun temelle birleştiği noktada oluştu.
10.2	-44.88	-20	**54** ve **55** nolu çatlaklar alt kat sağ taraftaki tuğla duvarın farklı uçlarında oluştu. Çatlaklarda belirgin açılmalar oldu.
11.1	143.39	25	**56, 57, 58, 59 ve 60** nolu çatlaklar prefabrike panellerde oluştu. Sırasıyla *S202, S203, S203, S103 ve S201* kolonları arkasındaki panellerde meydana geldiler.
11.2	-48.26	-25	**61** nolu çatlak üst kat sol taraftaki tuğla duvarda 45° eğimle oluştu. **62** nolu çatlak *S102* kolonu orta kısımda oluştu. **63** ve **64** nolu çatlaklar sırasıyla *K201* ve *K202* kirişlerinde çapraz olarak meydana geldi.
12.1	112.52	25	**65, 66** ve **67** nolu çatlakların hepsi 200 mm ara ile *K201* kirişi açıklık ortasında meydana geldi.
12.2	-48.98	-30	**68, 69, 70** ve **71** nolu çatlaklar *S101* kolonu arkasındaki prefabrike panelde yatay olarak oluştu. **72** ve **73** nolu çatlaklar *S201* kolonu arkasındaki prefabrike panelde oluştu.
13.1	153.41	30	**74** nolu çatlak *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelin alt ucunda oluştu. **75** nolu çatlak *S202* kolonu arkasındaki prefabrike panelin üst ucunda oluştu. **76** nolu çatlak *K101* kirişi arkasındaki prefabrike panelin alt kısmında oluştu. **77** nolu çatlak *S203* kolonu arkasındaki prefabrike panelin üst ucunda oluştu. **78** nolu çatlak *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında oluştu. **79** nolu çatlak *S103* kolonu arkasındaki prefabrike panelde oluştu.

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Yatay Yer Değiştirmesi (mm)	Gözlenen Davranış
13.2	-61.35	-40	**80** nolu çatlak *K101* kirişi sağ ucunda mesnet üzerinde ve **81** nolu çatlak da *K101* kirişi açıklığın ¾ mesafesinde meydana geldi. **82** nolu çatlak *K201* kirişi sağ ucunda oluştu. **83** nolu çatlak *S203* kolonu üst ucunda yan yüzeyde ve **84** nolu çatlak da *S103* kolonu üst ucunda yine yan yüzeyde meydana geldi.
14.1	147.46	35	**85** nolu çatlak da **82** nolu çatla gibi *K201* kirişi sağ ucunda ancak ters eğimle oluştu. **86** nolu çatlak *S202* kolonu arkasındaki prefabrike panelin kat hizasında oluştu. **87** nolu çatlak ise üst kat sol taraftaki tuğla duvarların orta kısmında pencere boşluğunun üzerinde oluştu.
14.2	-71.80	-50	**88** nolu çatlak **76** nolu çatlak gibi *K101* kirişi arkasındaki prefabrike panelin alt kısmında ancak ters eğimle oluştu. **89, 90, 91, 92 ve 93** nolu çatlaklar *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panellerin farklı yerlerinde oluştu. **94** nolu çatlak ise *K101* kirişi arkasındaki prefabrike panelde oluştu.
15.1	132.88	50	**95** nolu çatlak *K101* kirişi sağ ucunda meydana geldi. **96** nolu çatlak yine *S102* kolonu arkasındaki prefabrike panelde kat hizasında oluştu.
15.2	-53.41	-60	**97** ve **98** nolu çatlaklar farklı tuğla duvarlarda oluştu.
16.1	110.41	50	**99** nolu çatlak *K202* kirişi sağ ucunda ve **100** nolu çatlak da *K102* kirişi sağ ucunda meydana geldi.
16.2	-70	-127	-----
17.1	48	82	-----

Not: Bu çizelgedeki yük – yer değiştirme değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup, grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.

Yük – yer değiştirme eğrisinin yataylaştığı düşünülerek 8. çevrim sonunda yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Şekil 5.48.a' da verilen yükleme geçmişinde görüldüğü gibi, gerçekten de geri yönde (numunenin çekildiği yönde) maksimum yük seviyesine 16. çevrimde ulaşılmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçildikten sonra yük değerleri azalarak devam etmiştir. İleri yönde ise yer değiştirme kontrollü yüklemede, yük değerleri bir miktar daha artmış ancak daha sonra hızlı bir düşüş göstermiştir. Yük kontrollü yüklemenin sonu olan -60 kN yük seviyesinde ve -8.418 mm tepe yer değiştirmesinde sistemde 32 adet çatlak isimlendirilmiştir. Deney sonunda çatlak sayısı 100'e yükselmiştir. 3 nolu deney numunesinin maksimum yüke ulaştığındaki görünüşü Şekil 5.50'de, deney sonundaki görünüşü ise Şekil 5.51'de verilmiştir.



Şekil 5.41. 3 nolu deney numunesinin maksimum yük durumundaki görünüşü.



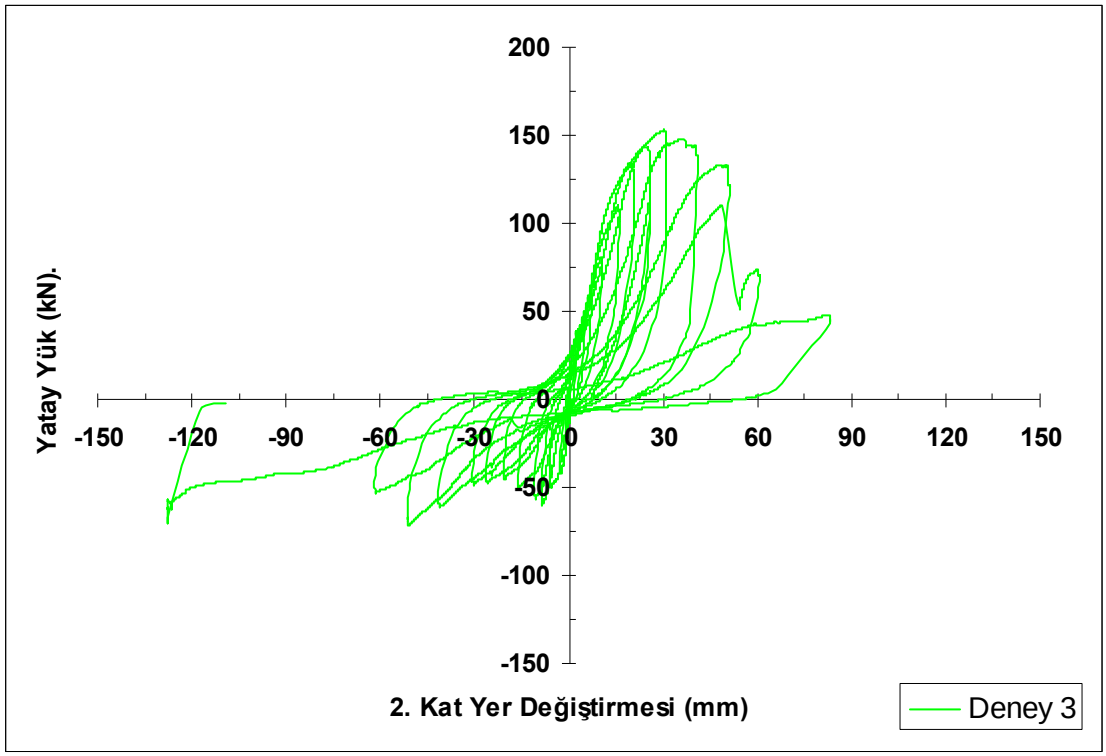
Şekil 5.42. 3 nolu deney numunesinde prefabrike panellerde oluşan hasar.



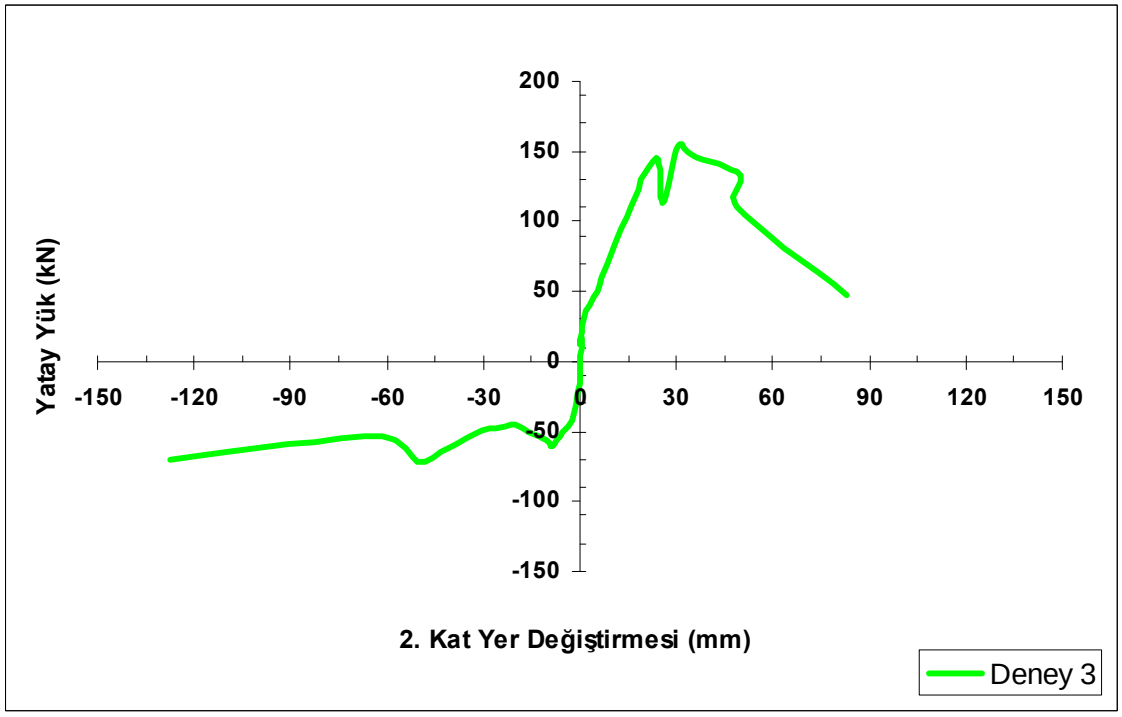
Şekil 5.43. 3 nolu deney numunesinin deney sonu görünüşü.

3 nolu deney için, deney sonunda veri toplama sisteminden elde edilen datalar yardımıyla çizilen; yatay yük – 2. kat yer değiştirme grafiği Şekil 5.44'de, yatay yük – 2. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.45'de, yatay yük – 1. kat yer değiştirme grafiği Şekil 5.46 'da, yatay yük – 1. kat dayanım zarfı grafiği Şekil 5.47'da, yatay yüke bağlı ötelenme oranı grafiği Şekil 5.48'de, kolon alt ucundaki moment–eğrilik grafiği Şekil 5.49'de, rijitlik azalım grafiği Şekil 5.50'de, her bir yer değiştirme aralığı için

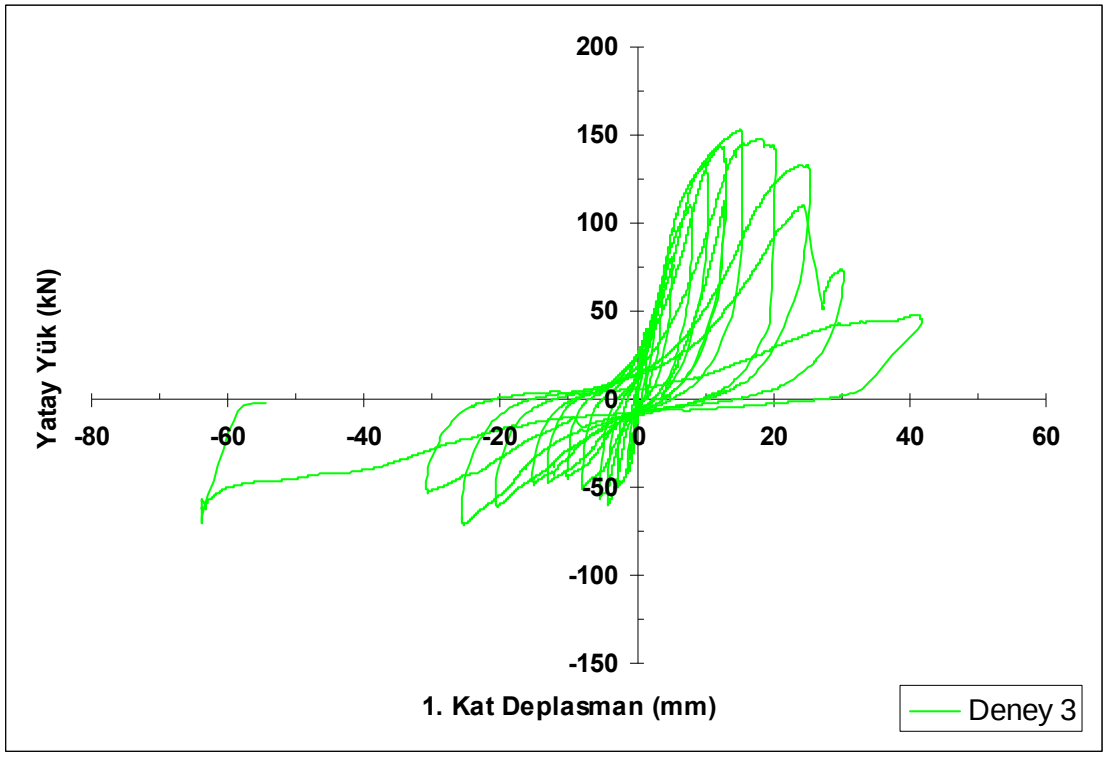
hesaplanan enerji tüketimi – 2. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 5.51'de ve kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 5.52'de verilmiştir.



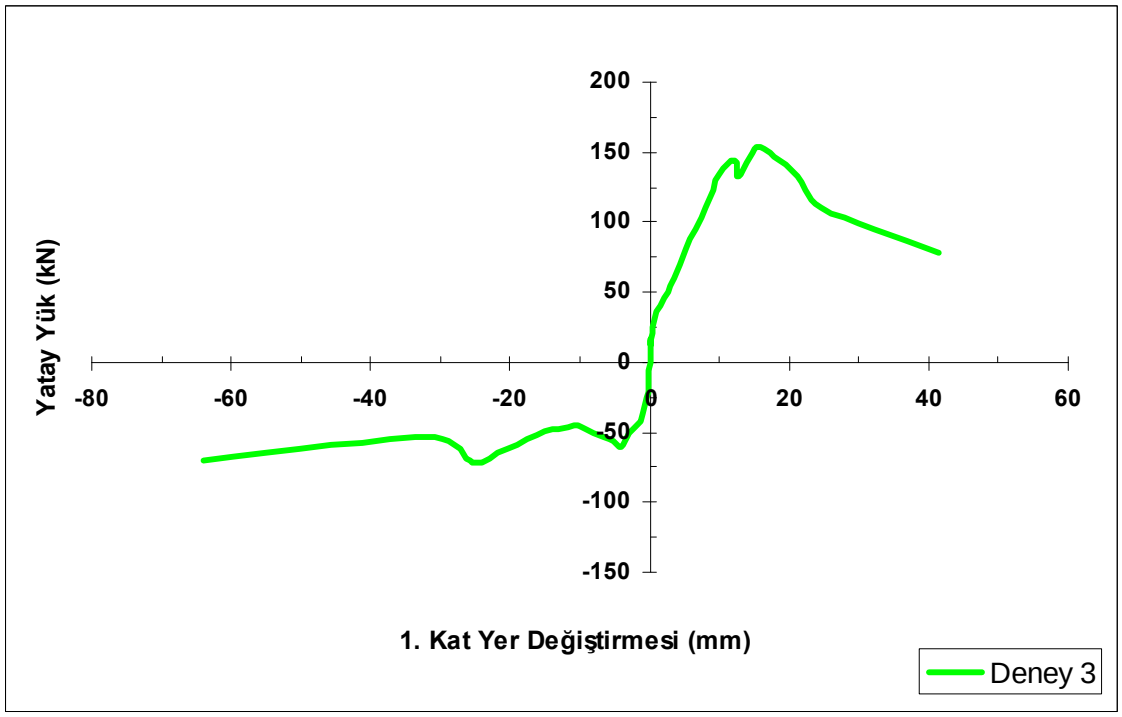
Şekil 5.44. 3 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirme grafiği.



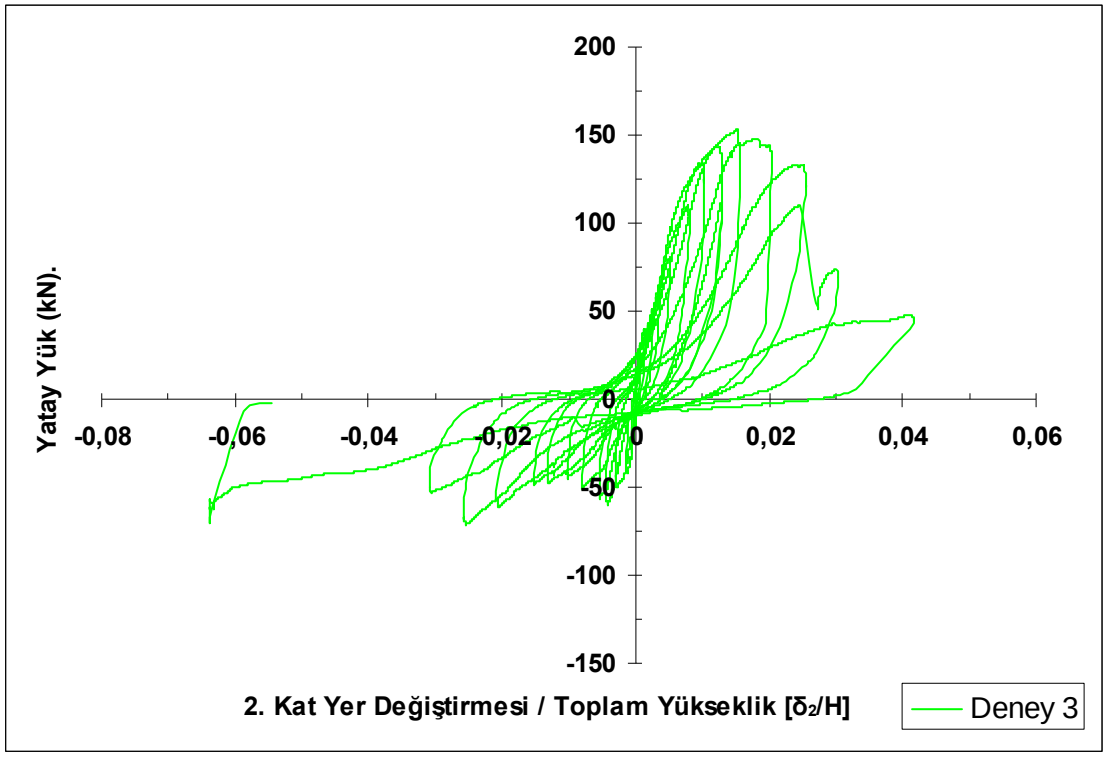
Şekil 5.45. 3 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat yer değiştirme zarfı.



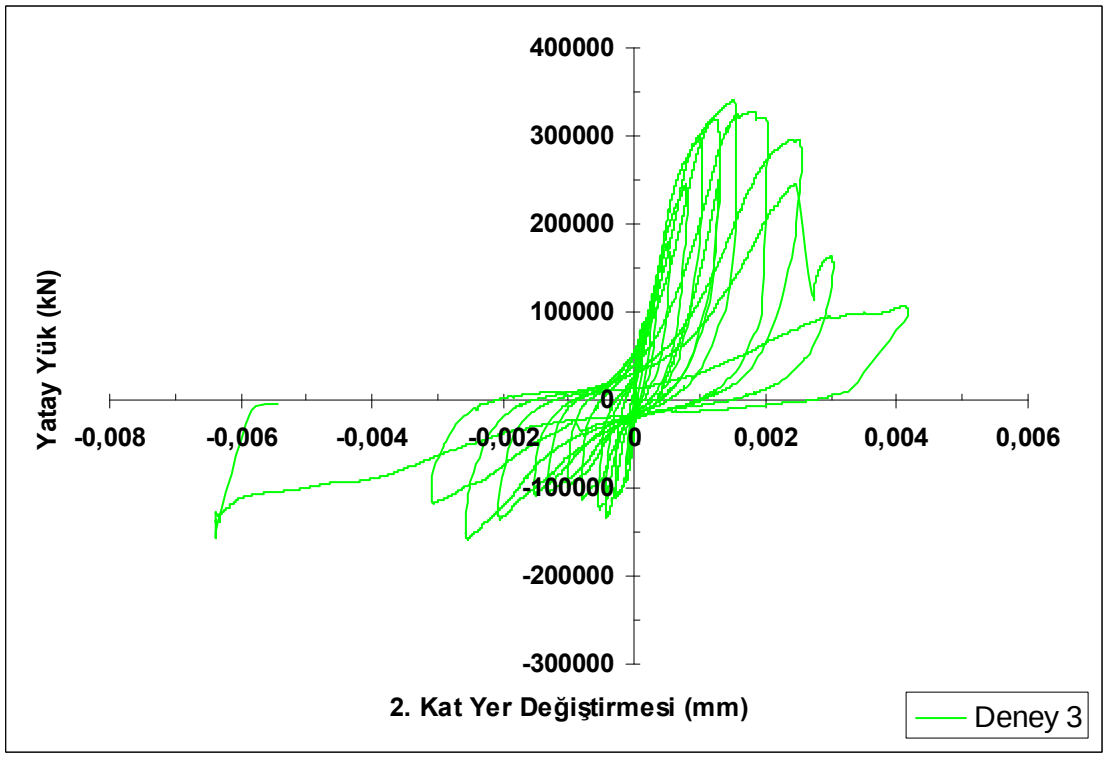
Şekil 5.46. 3 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirme grafiği.



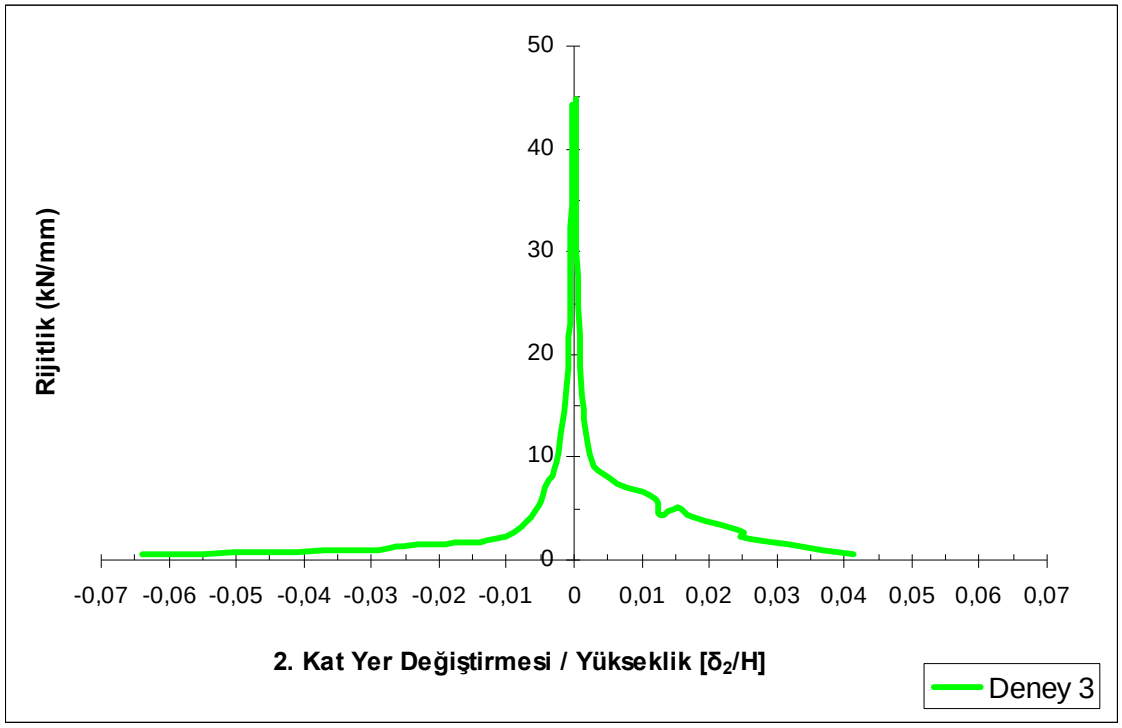
Şekil 5.47. 3 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat yer değiştirme zarfı.



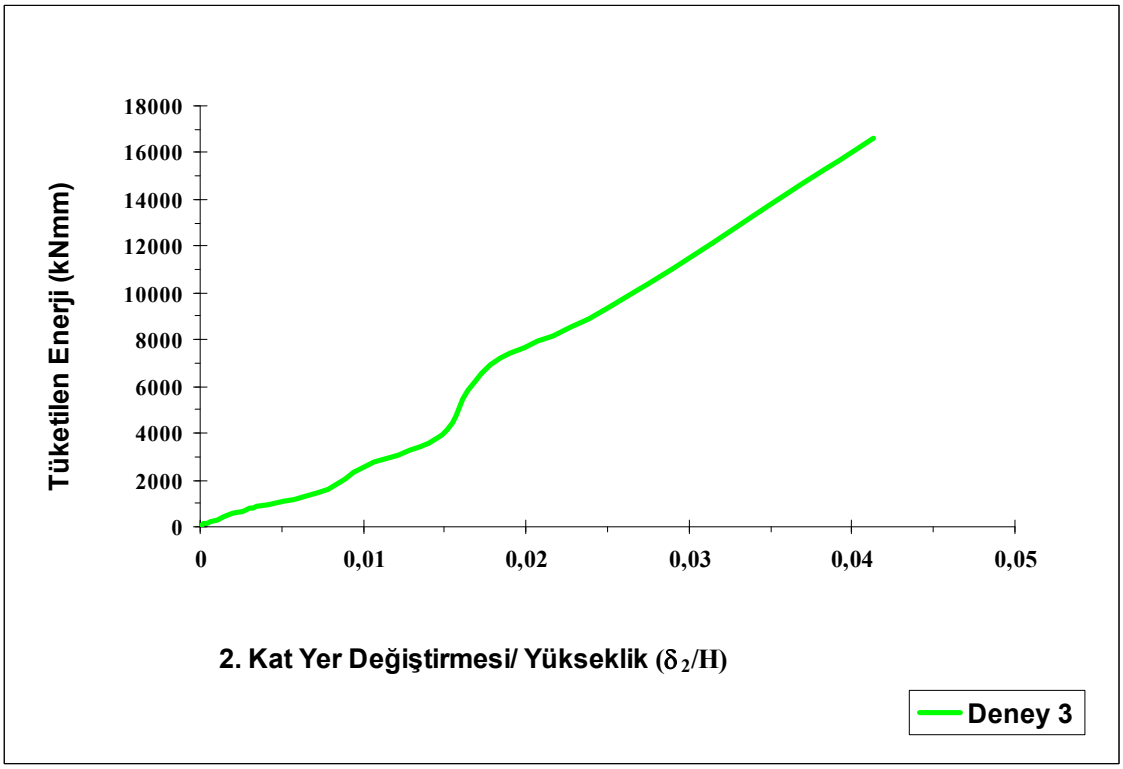
Şekil 5.48. 3 nolu deney numunesine ait toplam yatay yük – ötelenme oranı grafiği.



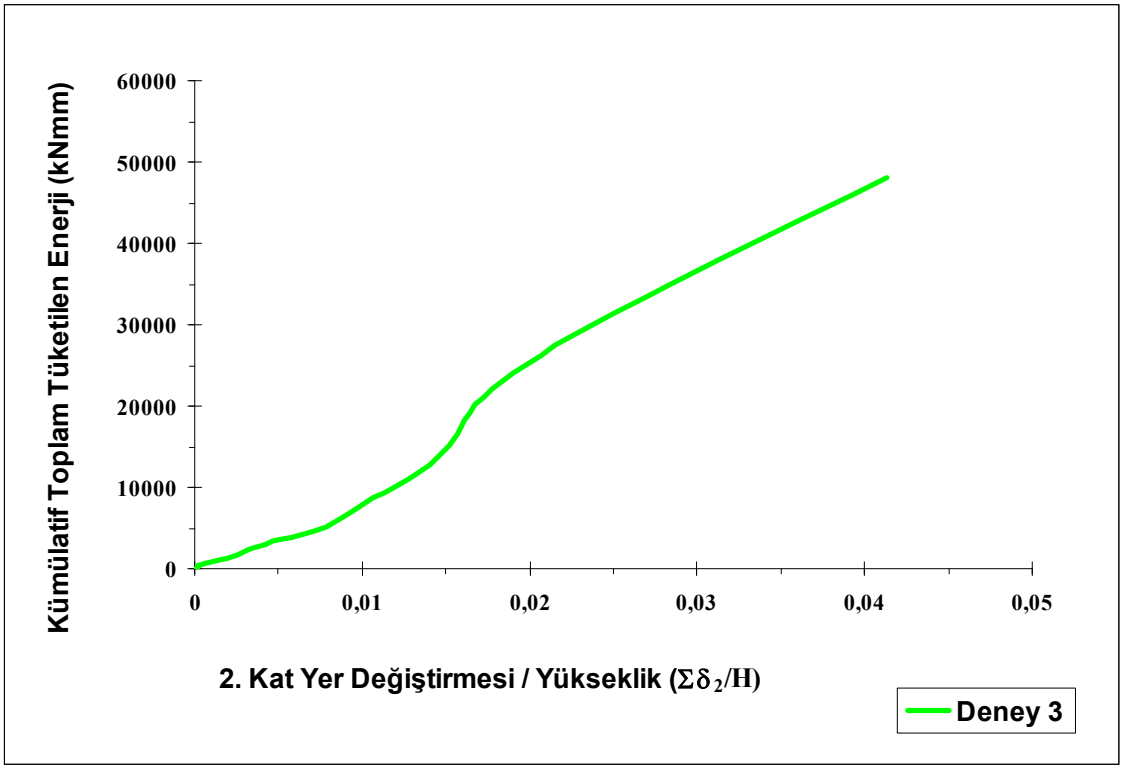
Şekil 5.49. 3 nolu deney numunesine ait moment – eğrilik grafiği.



Şekil 5.50. 3 nolu deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği
(toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için).



Şekil 5.51. 2 nolu deney numunesine ait tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği
(Her çevrim için ayrı ayrı hesaplanmıştır).



Şekil 5.52. 3 nolu deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, daha önce ayrıntıları ve sonuçları belirtilen 3 adet deneyin, gruplar halinde birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Tez çalışmasında amaç, deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin, prefabrike paneller ile güçlendirilmesi olduğundan, öncelikle güçlendirilmemiş numune ile güçlendirilmiş numuneler sırayla karşılaştırılmışlardır. Ardından 3 deneyin sonucu birlikte karşılaştırılmıştır. Bu sayede hem güçlendirilmemiş numune bireysel olarak davranışı, hem de çerçevenin farklı şekillerde tasarlanmış prefabrike paneller ile güçlendirilmiş sistemlerin davranışı birlikte incelenmiştir. Bunun sonucunda en uygun güçlendirme sisteminin seçilmesi mümkün olmuştur. Karşılaştırmalar için oluşturulan gruplar şunlardır:

a) Güçlendirilmemiş olan 1 nolu deney numunesi ile prefabrike paneller ile güçlendirilmiş 2 nolu deney numunesinin karşılaştırılması,
b) Güçlendirilmemiş olan 1 nolu deney numunesi ile ile farklı prefabrike paneller ile güçlendirilmiş 3 nolu deney numunesinin karşılaştırılması,
c) 3 deneyin birlikte karşılaştırılması (Güçlendirilmemiş numune, farklı prefabrike paneller ile güçlendirilmiş numuneler).

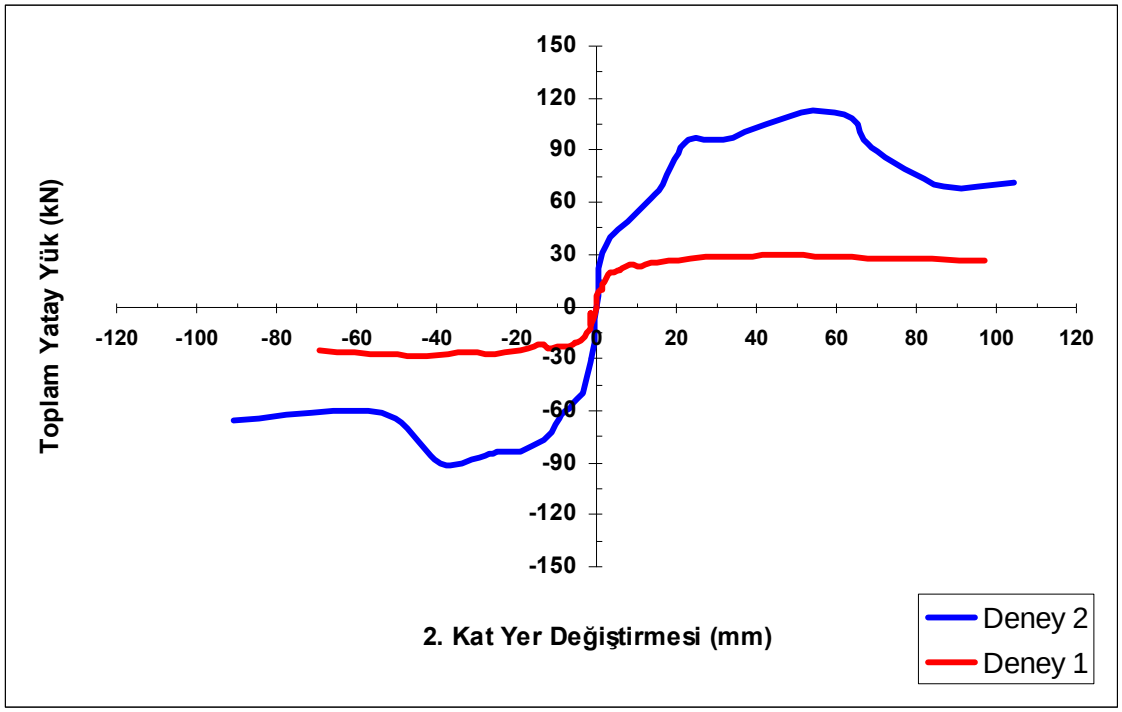
Çalışmanın bu bölümünde, karşılaştırma amaçlı verilecek grafikler şunlardır;

a) Yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi dayanım zarfı
b) Yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi dayanım zarfı
c) Yatay yük – 2. kat yer değiştirmesine bağlı rijitlik azalım grafiği
d) Her bir çevrim için hesaplanan tüketilen enerji–ötelenme oranı grafiği
e) Kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafiği

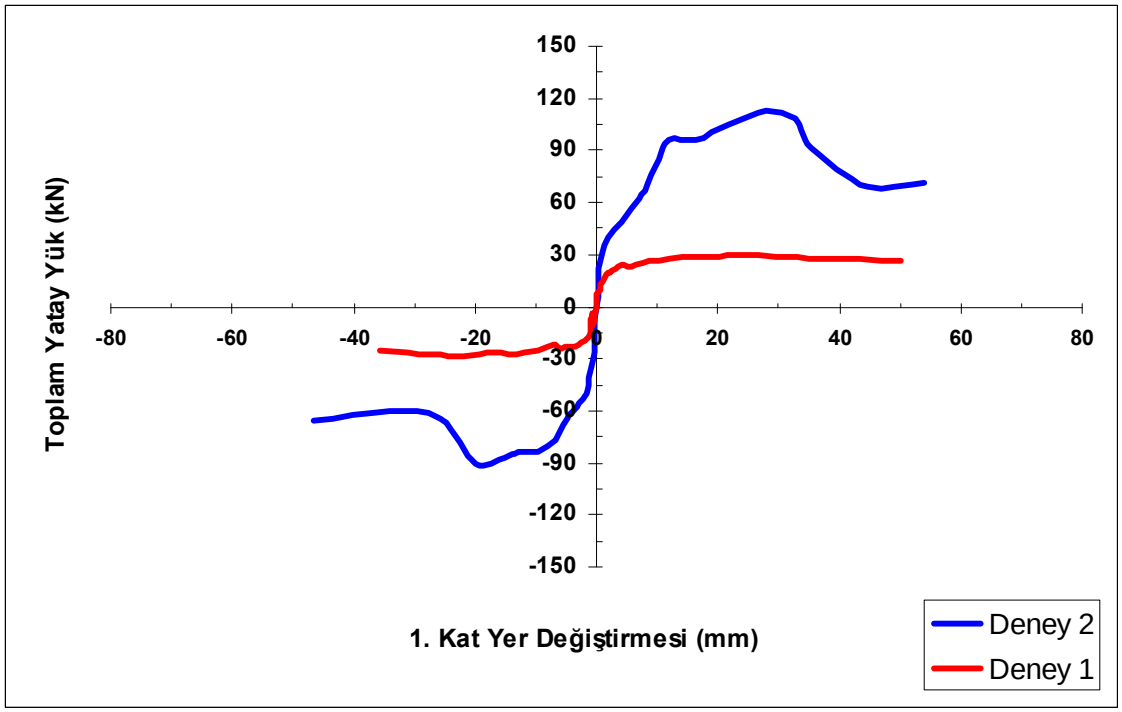
6.1. Güçlendirilmemiş Numune ile Prefabrike Paneller (5 Sıra) Kullanılarak Güçlendirilmiş Numunenin (1. ve 2. Deneyler) Karşılaştırılması

Bu bölümde, 1 nolu güçlendirilmemiş güçlendirilmemiş numune deneyi ile 2 nolu prefabrike paneller (5 sıra) ile güçlendirilmiş numune deneyi karşılaştırılmıştır. 1 nolu deney numunesi akma noktasına düşük bir yük değerinde ulaşacağı için, yük artırımları ±5 kN olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, 2 nolu deneyde öngörülen akma noktası çok daha yüksek olduğu için, ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, başlangıçtaki çevrimlerde 5 mm yer değiştirme artırımı uygulanmış, deney sonuna doğru ise 10 mm yer değiştirme artırımı ile deneyler tamamlanmıştır.

Söz konusu numunelere ait dayanım zarfları Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada, Şekil 6.1 yatay yük – 2. kat yer değiştirmesini, Şekil 6.2 yatay yük - 1. kat yer değiştirmesini göstermektedir. Yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiğinden görüleceği gibi, ileri çevrimlerde, 1 nolu numune maksimum 29.85 kN yatay yük taşırken, 2 nolu numune 112.72 kN yatay yük taşımıştır. Burada yatay yük taşıma kapasitesindeki artış % 378'dir. Geri çevrimlerde ise 1 nolu numune 28.25 kN yatay yük taşırken, 2 nolu numune 90.53 kN yatay yük taşımıştır. Geri çevrimlerde ise yatay yük taşıma kapasitesindeki artış % 320 olmuştur. Şekil 6.2'deki 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış, ileri ve geri yönde sırası ile aynı şekilde % 378 ve % 320 olarak belirleniştir.



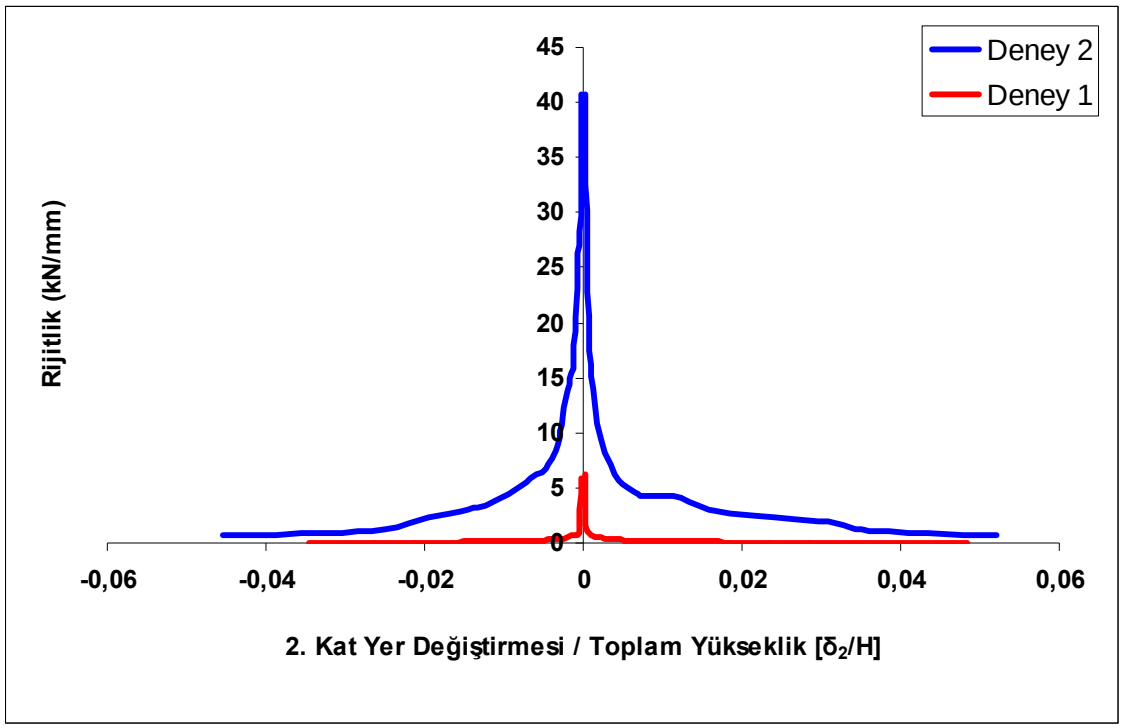
Şekil 6.1. 1. ve 2. deney numunelerinin yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi zarfları.



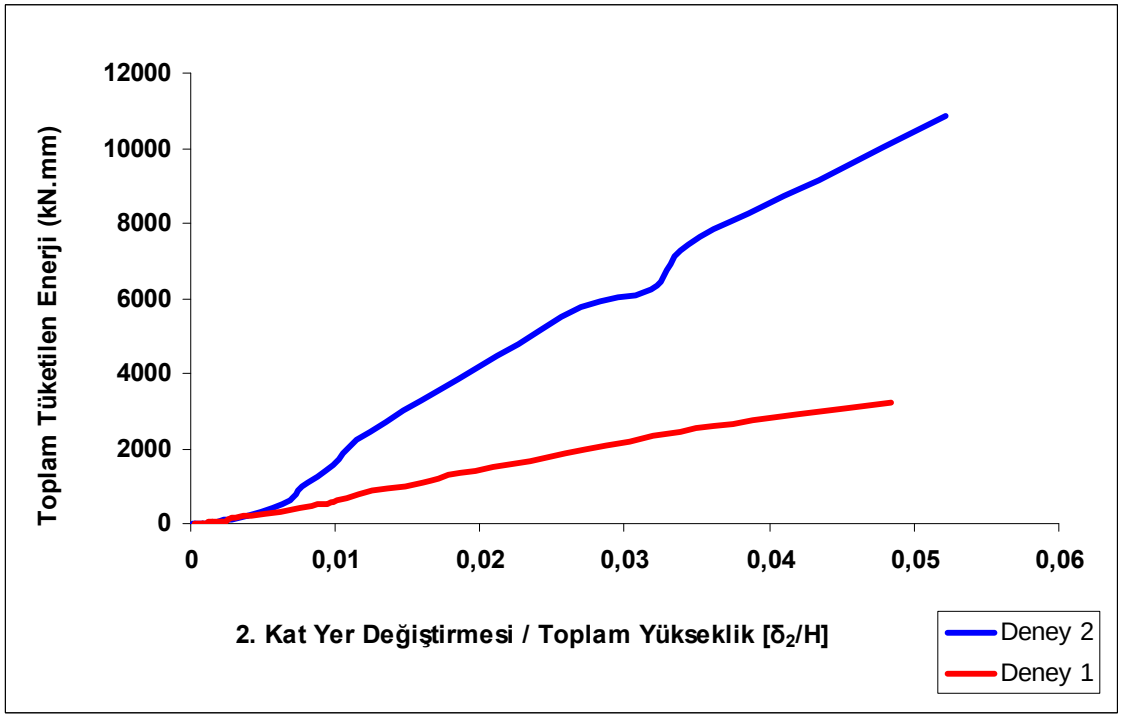
Şekil 6.2. 1. ve 2. deney numunelerinin yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi zarfları.

1. ve 2. deney numuneleri için elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesine bağlı rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.3'de verilmiştir. Şekil 6.3'de verilen grafiklerden görüldüğü gibi, toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği 6.16 kN/mm, 2 nolu deneyde ise başlangıç rijitliği daha fazla olarak 40.68 kN/mm'dir. İlerleyen çevrimlerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Özellikle 1. deney numunesinde, 2. kat yer değiştirmesi / toplam yükseklik oranı 0.005'den sonra, 2. deney numunesinde ise 2. kat yer değiştirmesi / toplam yükseklik oranı 0.01'den sonra rijitlik değerlerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. 2. deney numunesi 1. deney numunesine göre % 660 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.

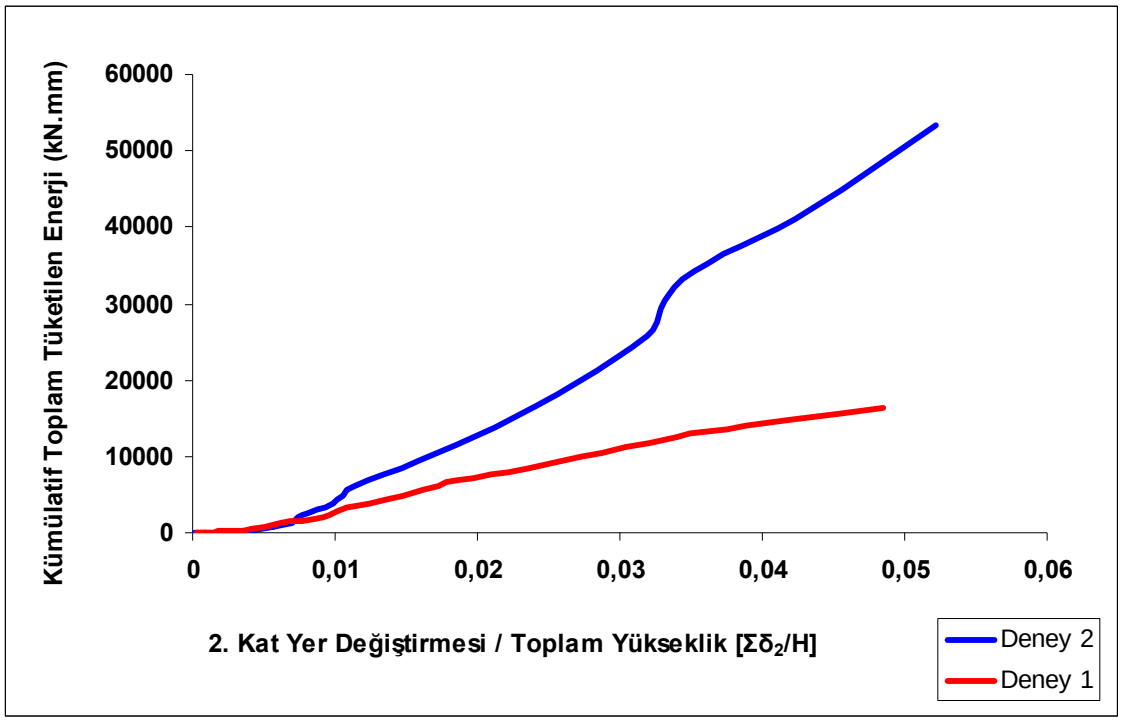
1. ve 2. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafikleri Şekil 6.4'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, son çevrimlerde, 1 nolu deney numunesinin tüketmiş olduğu enerji 3203 kNmm iken, 2 nolu deney numunesinin tükettiği enerji yaklaşık 10832 kN.mm'dir. Buna göre son çevrimde, 2 nolu numune 3.38 kat daha fazla enerji tüketmiştir. Şekil 6.5'da ise her çevrimde tüketilen enerjinin ardışık toplanmasıyla elde edilen kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi 0.048'lik yer değiştirme oranı anında 16376 kNmm enerji tüketmiş iken, 2 nolu deney numunesi 0.052'lik yer değiştirme oranında 53256 kNmm enerji tüketmiştir. Dolayısıyla, 2. deney numunesinin tükettiği enerjinin, 1. deney numunesinin tükettiği enerjiye oranı 3.25'dir.



Şekil 6.3. 1. ve 2. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için).



Şekil 6.4. 1. ve 2. deneyler için toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.

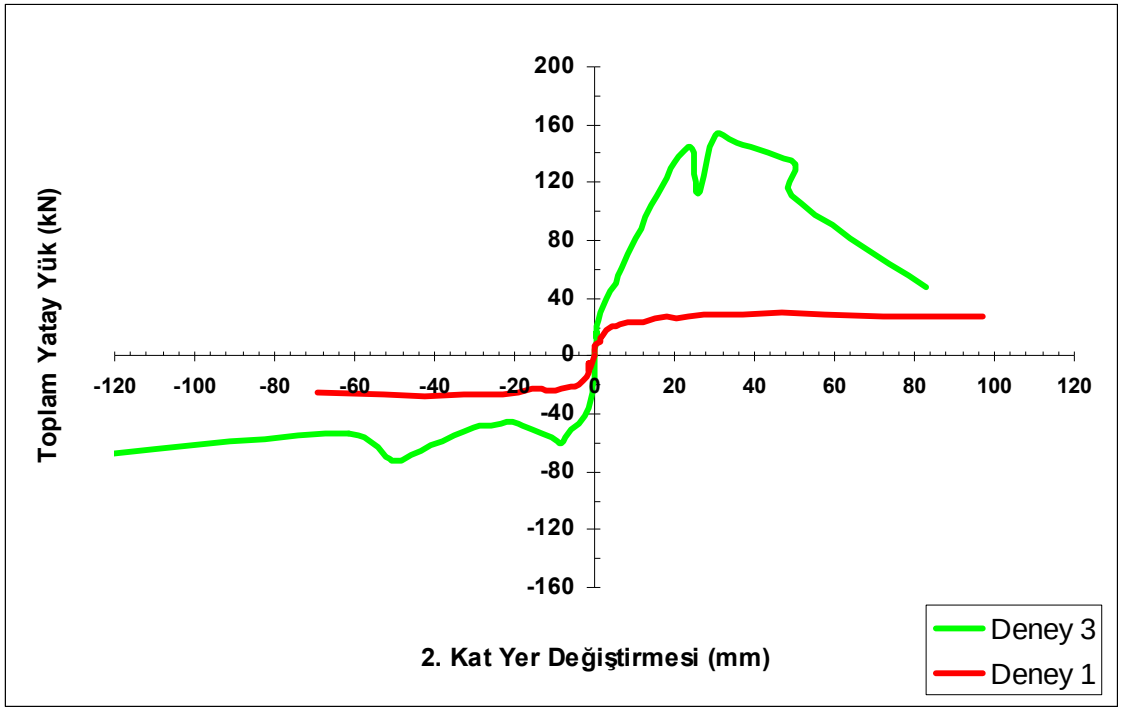


Şekil 6.5. 1. ve 2. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.

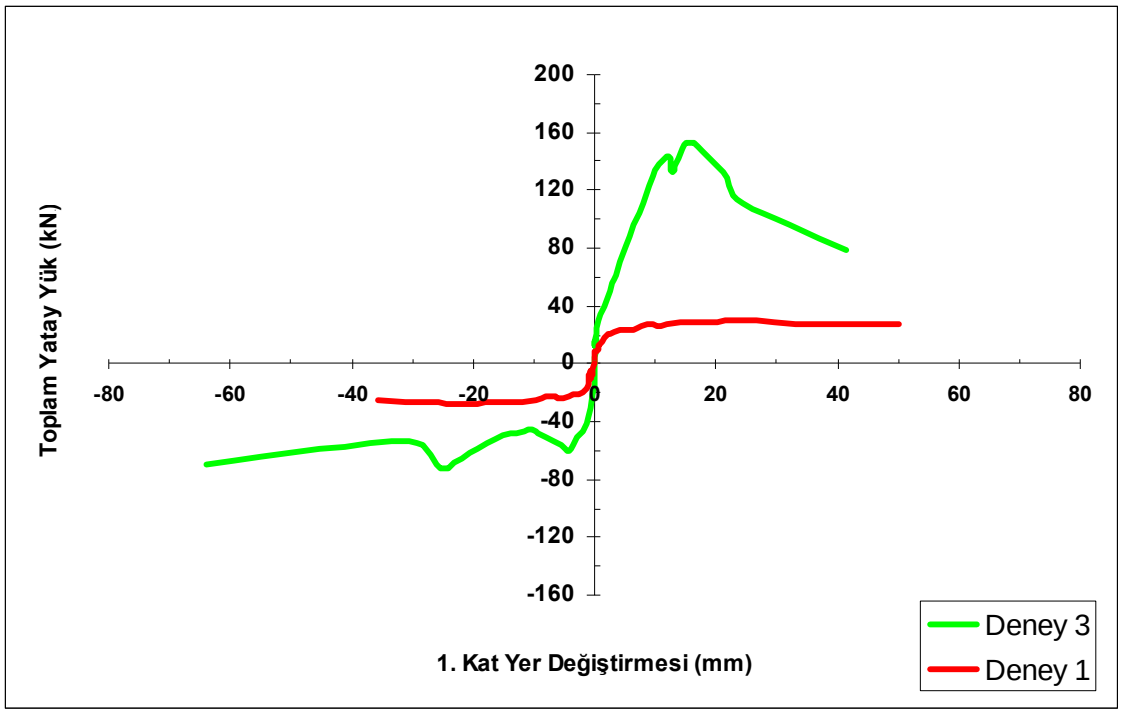
6.2. Güçlendirilmemiş Numune ile Prefabrike Paneller (6 sıra) Kullanılarak Güçlendirilmiş Numunenin (1. ve 3. Deneyler) Karşılaştırılması

Bu bölümde, 1 nolu güçlendirilmemiş numune deneyi ile 3 nolu prefabrike paneller (6 sıra) ile güçlendirilmiş numune deneyinin sonuçları karşılaştırılmıştır. 2 nolu deneyde olduğu gibi, 3 nolu deneyde de akmanın yüksek yük değerlerinde olması beklendiği için yük artırımı ±10 kN olarak uygulanmış, yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçildikten sonra da ilk olarak 5 mm, deney sonuna doğru ise 10 mm yer değiştirme artırımı uygulanmıştır.

Söz konusu numunelere ait dayanım zarfları Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada, Şekil 6.6 yatay yük - 2. kat yer değiştirmesini, Şekil 6.7 ise yatay yük - 1. kat yer değiştirmesini göstermektedir. Toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiğinden görüleceği gibi, ileri çevrimlerde, 1 nolu numune maksimum 29.85 kN yatay yük taşırken, 3 nolu numune 153.41 kN yatay yük taşımıştır. Burada yatay yük taşıma kapasitesindeki artış % 514'dur. Geri çevrimlerde ise 1 nolu numune 28.25 kN yatay yük taşırken, 3 nolu numune 71.80 kN yatay yük taşımıştır. Geri çevrimlerde ise yatay yük taşıma kapasitesindeki artış % 254 olmuştur.



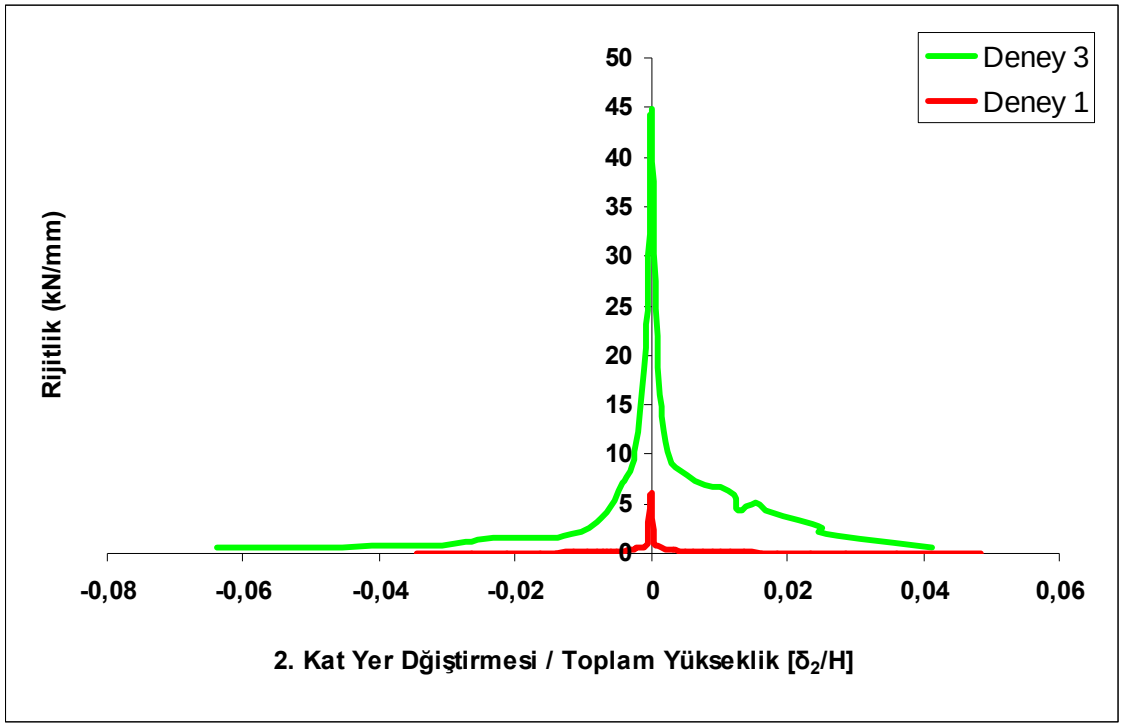
Şekil 6.6. 1. ve 3. deney numunelerinin toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi zarfları.



Şekil 6.7. 1. ve 3. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi zarfları.

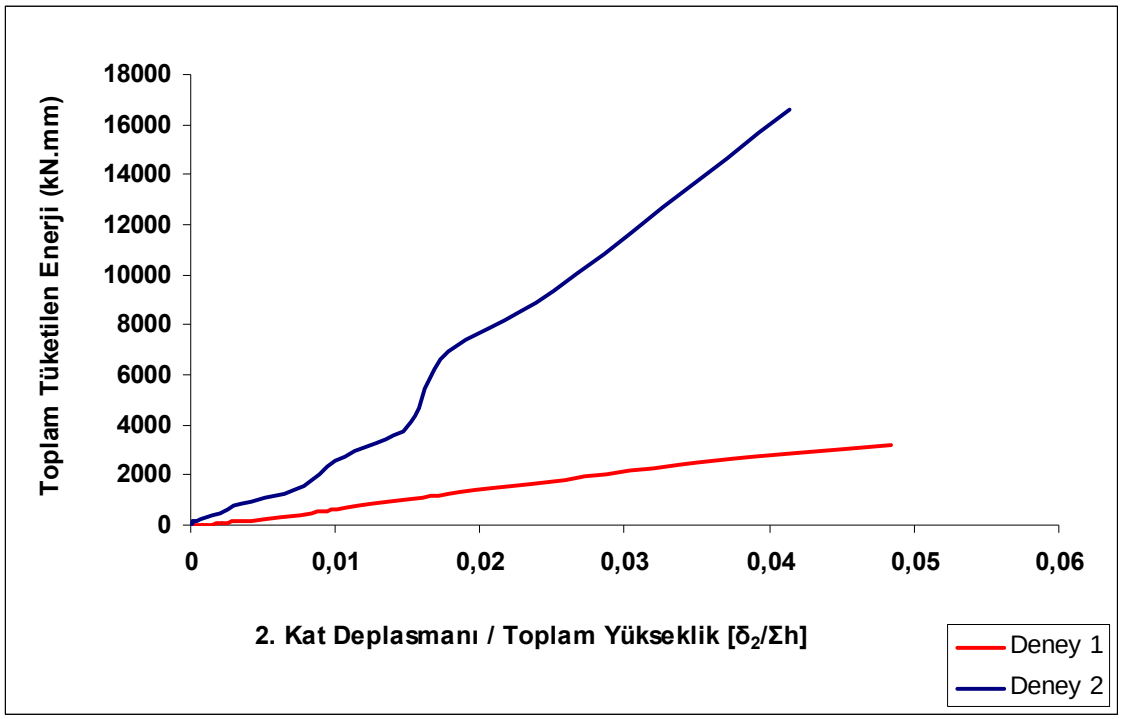
Şekil 6.6'deki 2. kat dayanım zarfları için, 3 nolu numunede yatay yük taşıma kapasitesindeki artış, ileri ve geri yönde sırası ile % 514 ve % 254, Şekil 6.9'da ki 1. kat dayanım zarflarında da aynı şekilde % 514 ve % 254'dür.

1. ve 3. deney numuneleri için elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesine bağlı rijitlik azalımı grafikleri Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi, toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği 6.16 kN/mm iken 3 nolu deneyde başlangıç rijitliği 44.83 kN/mm'dir. İlerleyen çevrimlerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Özellikle 1. deney numunesinde, 2. kat yer değiştirmesi/ toplam yükseklik oranı 0.005'den sonra, 3. deney numunesinde ise 2. kat yer değiştirmesi / toplam yükseklik oranı 0.02'den sonra rijitlik değerlerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. 3. deney numunesi 1. deney numunesine göre % 728 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Şekil 6.8'den görüldüğü gibi, 2 nolu deney numunesinde olduğu gibi 3 nolu deney numunesi ilk çevrimlerde, ileri yönde, geri yöne göre daha rijit bir davranış sergilemiş ancak daha sonra davranış simetrik hale gelmiştir.

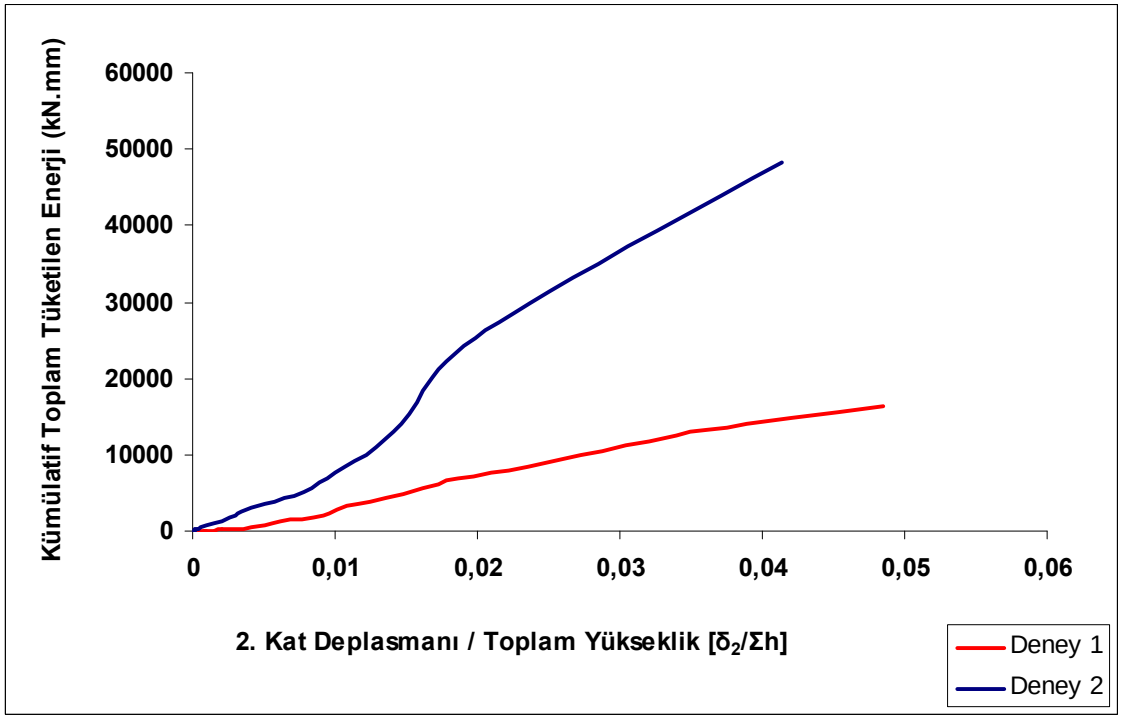


Şekil 6.10. 1. ve 3. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi için).

1. ve 3. deney numunelerine ait toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafikleri Şekil 6.9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi son çevrimlerde, 1 nolu deney numunesinin tüketmiş olduğu enerji 3203 kNmm iken, 3 nolu deney numunesinin tükettiği enerji yaklaşık 16613 kNmm'dir. Buna göre, son çevrimde 3 nolu numune, 1 nolu numuneye göre 5.19 kat daha fazla enerji tüketmiştir. Şekil 6.10'da ise her çevrimde tüketilen enerjinin ardışık toplanmasıyla elde edilen kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 1 nolu deney numunesi 0.048'lik yer değiştirme oranı anında 16376 kNmm enerji tüketmiş iken, 3 nolu deney numunesi 0.041'lik yer değiştirme oranında toplam 48135 kNmm enerji tüketmiştir. Dolayısıyla, 3. deney numunesinin tükettiği enerjinin, 1. deney numunesinin tükettiği enerjiye oranı 2.94'dır. Bölüm 6.1'de belirtildiği gibi, 2 nolu deney olan 5 sıra prefabrike panel ile güçlendirilmiş numunenin tükettiği enerjinin, 1 nolu güçlendirilmemiş numunenin tükettiği enerjiye oranı 3.25 idi. Dolayısıyla toplam 6 sıra prefabrike panel ile güçlendirilen sistem, toplam 5 sıra prefabrike panel ile güçlendirilen sistemle yaklaşık aynı enerjiyi tüketmiştir.



Şekil 6.9. 1. ve 3. deneyler için toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.

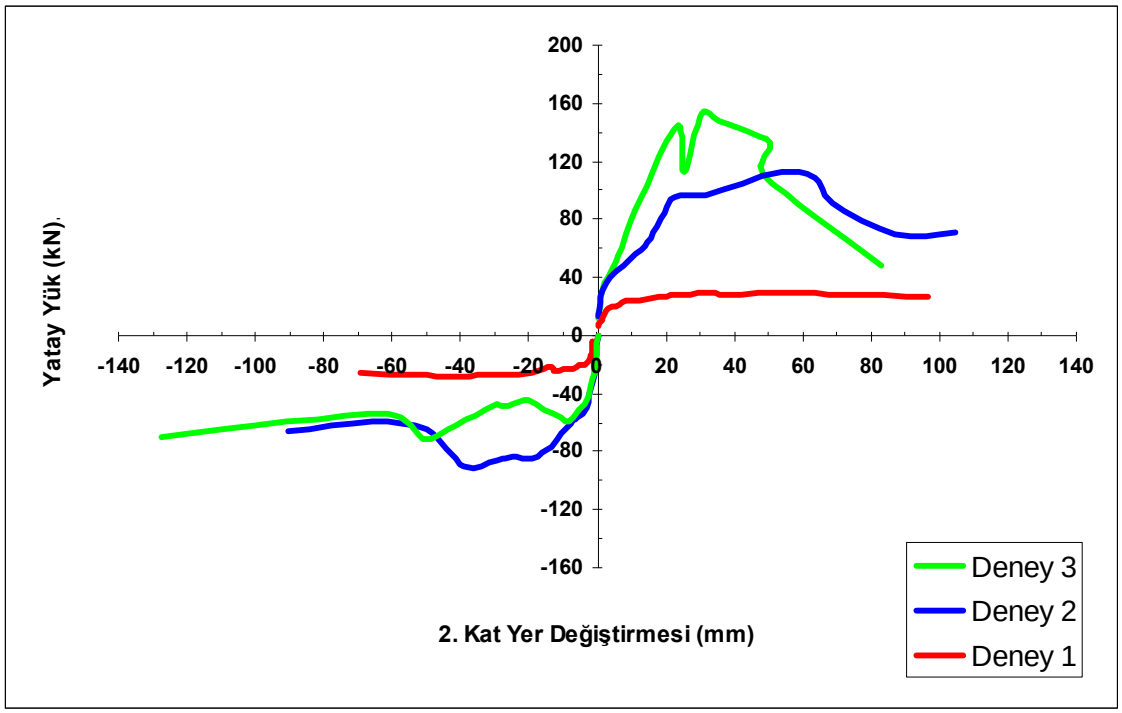


Şekil 6.10. 1. ve 3. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.

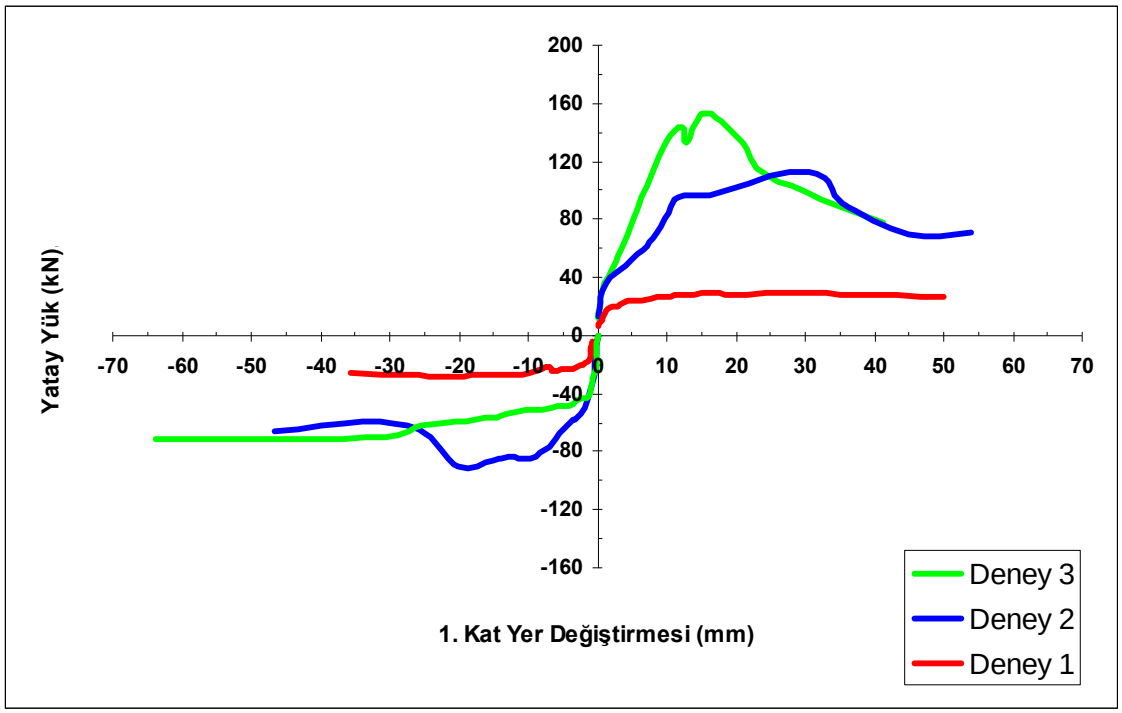
6.3. Tüm Deney Numunelerinden (1., 2., ve 3. Deneyler) Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmanın deneysel verilerinin topluca karşılaştırıldığı bu kısımda, yapılan 3 deneyin sonuçları bir arada grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca, deney sonuçlarının daha iyi irdelenebilmesi için, maksimum yatay yük kapasitesi, rijitlik değerleri ve enerji tüketme kabiliyeti bakımından deney sonuçları karşılaştırılmış, tablolar ve şekillerde verilmiştir.

3 deney numunesinin yatay yük – 2. kat yer değiştirme zarfı grafikleri Şekil 6.11'da, yatay yük – 1. kat yer değiştirme zarfı grafikleri Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Şekil 6.13'da ki grafikten görüldüğü gibi, 3 nolu numune 153.41 kN maksimum yüke ulaşarak yatay yük kapasitesi en yüksek numune olmuştur. 3 nolu numune ulaştığı maksimum yük bakımından, 1 nolu numuneden % 514, 2 nolu numuneden ise % 37 daha fazla yatay yük taşımıştır.



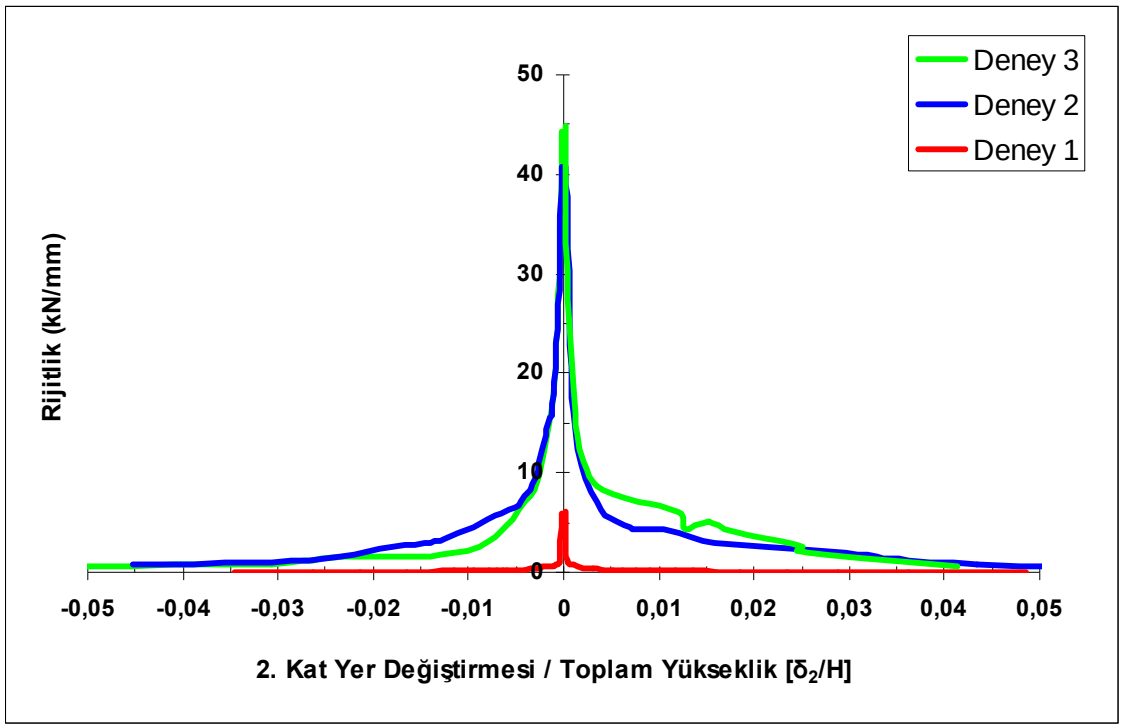
Şekil 6.11. 1. 2. ve 3. deney numunelerinin yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi zarfı grafikleri.



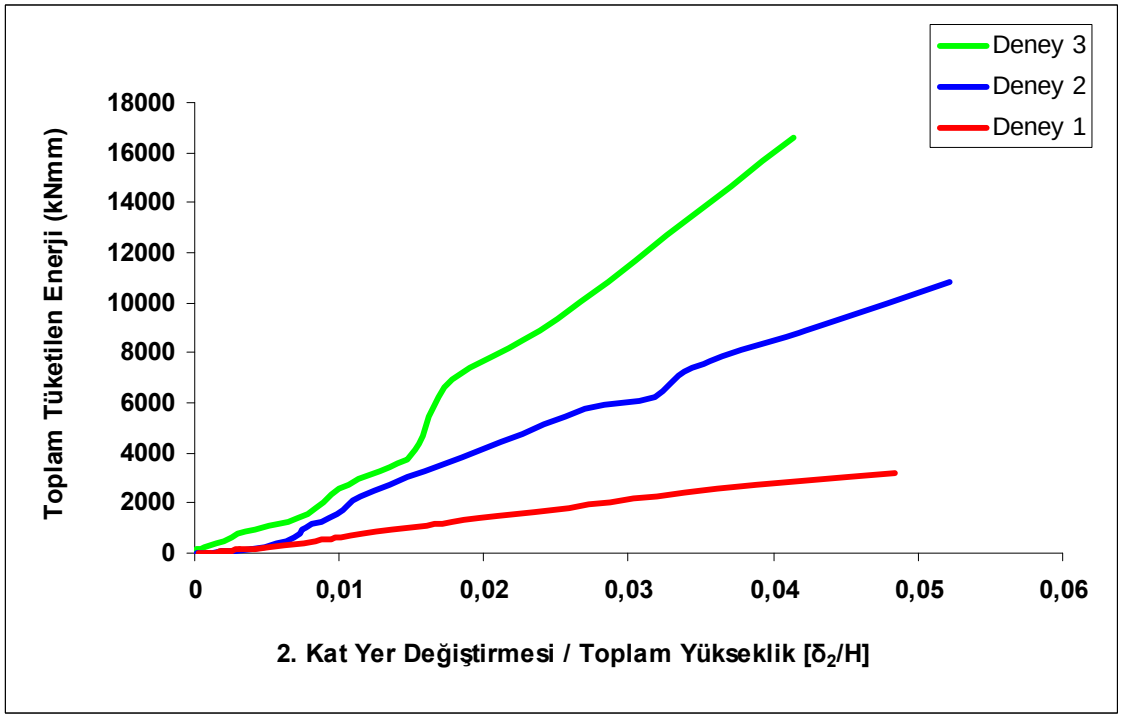
Şekil 6.12. 1. 2. ve 3. deney numunelerinin
yatay yük – 1. kat yer değiştirmesi zarfı grafikleri.

Şekil 6.13'de 3 numunenin yatay yük – 2. kat yer değiştirmeına bağlı rijitlik azalım grafikleri verilmiştir. Başlangıç rijitliği en yüksek numune 3 nolu numunedir. Numunelerde ileri ve geri yöndeki rijitlik değerleri farklılık göstermektedir. Bunun nedeninin, hem güçlendirilmiş sistemin hem de yükleme şeklinin (geri yüklemenin kiriş ortasından yapılması) simetrik olmaması olduğu düşünülmektedir.

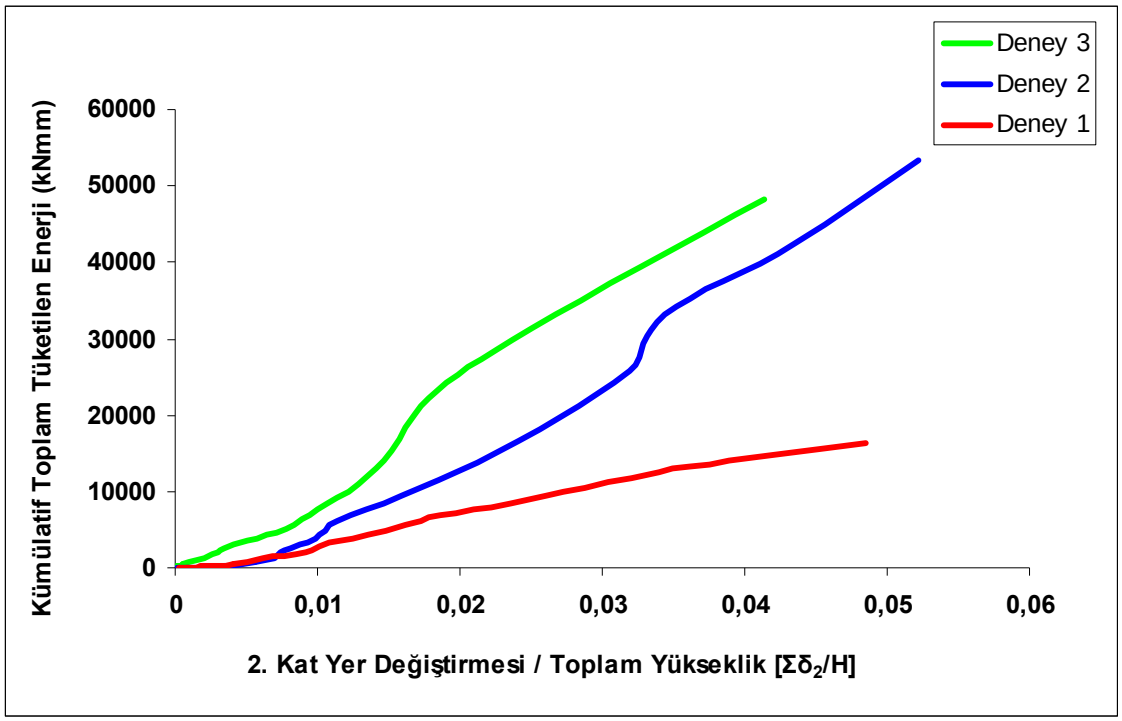
Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de ise 3 numunenin enerji tüketme grafikleri verilmiştir. Şekil 6.14'deki toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafiklerinden görüldüğü gibi, son çevrimde 3 nolu numune, 1 nolu numuneden % 518, 2 nolu numuneden ise % 53 daha fazla enerji tüketmiştir. Deney sonunda tükettikleri toplam (kümülatif) enerji bakımından da 2 nolu numune, 1 nolu numuneden % 325, 3 nolu numuneden % 10 daha fazla enerji tüketmiştir. 3 nolu numune deney sonunda tükettiği enerji bakımından en fazla enerjiyi tüketmesine rağmen, 2 nolu numunenin tükettiği toplam (kümülatif) enerji bakımından daha geride kalmıştır. Yine de 3 nolu numune maksimum yükten sonra gösterdiği süneklik açısından en iyi davranışı sergilemiştir.



Şekil 6.14. 1. 2. ve 3. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri.



Şekil 6.15. 1. 2. ve 3. deney numunelerinin toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.



Şekil 6.16. 1. 2. ve 3. deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri.

Deney sonuçlarının sayısal olarak karşılaştırılabilmesi için çeşitli tablolar hazırlanmıştır. Numunelerin taşıdıkları maksimum yatay yükler ve bu yüklere karşılık gelen ötelenme oranları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Çizelge 6.2'de ise deneylerdeki rijitlik özellikleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 6.3'de 3 numunenin maksimum yükte ve deney sonunda tükettikleri enerji değerleri verilmiştir. Tablolarda karşılaştırma yaparken 1. deney numunesi esas alınmıştır.

Çizelge 6.1. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma

Deney Numunesi	En Büyük Yatay Yük Anında Yük ve Tepe Yer Değiştirmesi Oranı Değerleri		En Büyük Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	(δ/H)	
Deney 1	**29.850**	**0.0235**	**1.000**
Deney 2	112.730	0.0270	3.776
Deney 3	154,310	0.0243	5.169

Çizelge 6.2. Deney numunelerinin rijitlikleri ile ilgili karşılaştırma

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)			Yer değiştirme Oranları (δ/H)		1. Çevrim Rijitliklerinin Oranı	Maksimum Yük Rijitliklerinin Oranı
	1. Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim	Maksimum Yük	Son Çevrim		
Deney 1	**6.16**	**0.630**	**0.028**	**0.023**	**0.048**	**1.00**	**1.00**
Deney 2	40.68	3.020	0.680	0.027	0.052	6.60	5.03
Deney 3	44.84	4.150	0.581	0.018	0.041	7.28	6.58

Çizelge 6.3. Deney numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma

Deney No	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yükte	Deney Sonunda	Maksimum Yükte	Deney Sonunda
Deney 1	**3203**	**16376**	**1.000**	**1.000**
Deney 2	10832	53256	3.381	3.252
Deney 3	16613	48135	5.187	2.939

7. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde, deney numunelerinin davranışları SAP2000 programı yardımıyla analitik olarak incelenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının bilgisayar modelleri SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak oluşturulmuştur. Program kullanılarak oluşturulan modellere, yer değiştirme kontrollü statik itme analizi (pushover analiz) uygulanmıştır. Statik itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrileri ile deney numunelerinin zarf eğrileri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte deney sonuçları literatürde belirtilen bazı analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılmıştır. Deney numunelerinin ilk eğilme çatlağı ve dış perde duvardaki ilk çatlak yükleri, literatürde önerilen denklemler yardımıyla hesaplanmıştır. Numunelerin maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri ise, bazı araştırmacıların önerdiği denklemler ve "TDY – 2007" hükümleri kullanılarak hesaplanmıştır.

7.1. Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Doğrusal – elastik davranış kabulü, analizleri önemli ölçüde kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesini sağlamaktadır. Ancak yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması konularında ise tam yeterli olamamaktadır. Ayrıca, doğrusal elastik analiz yöntemleri ile yapı sisteminin deprem etkileri altında gerçek performansının anlaşılması mümkün olmamaktadır. Yapının deprem güvenliğinin değerlendirilebilmesi için doğrusal olmayan davranışın belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde, doğrusal olmayan davranışı belirlemede;

a) Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri

b) Doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemleri,

kullanılmaktadır.

Son yıllarda geliştirilen pushover analiz (statik artırımsal itme) 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. Yapıda elastik ötesi davranış meydana getirecek düzeyde olan olağan bir yükleme, yapıya adım adım artış yapılarak etki ettirilir ve bu sırada artan yer

değiştirmeler yapı elemanlarında elastik ötesi davranış ortaya çıkarır. Bunun sonucunda, yük ve yer değiştirmelerin karşılıklı gösterildiği, yapıya ait kapasite eğrisi elde edilir. Bu çalışma kapsamında, numune kapasitesini belirlemek için statik artımsal itme analizi (pushover analiz) yöntemi tercih edilmiştir.

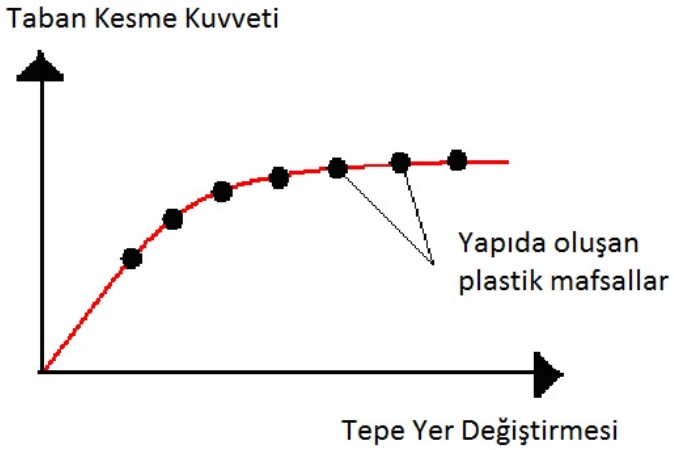
Kuvvetli yer hareketine maruz kalan bir yapının deprem performansının değerlendirilmesinde en etkili yol, doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Ancak, bu yöntemin güvenilir olabilmesi için bazı parametrelerin çok açık olarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, bu yöntemde deprem hesabında kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi gibi sorunlar vardır. Bu nedenlerden dolayı, daha basit ve güvenilir analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

7.1.1. SAP2000 - Pushover analiz

Taşıyıcı sistemler kullanım ömrü içinde, başlangıçtan itibaren kendi ağırlıklarını, belli bir süre sonra ise hareketli yükleri taşımaya başlarlar. Bu yükler ani olmayıp, belirli bir sürede gerçekleşir. Deprem yükleri ise, çok kısa süreyle ve dinamik özellik göstererek, özellikle yatay bir etki ile yapıyı zorlar. Depreme dayanıklı yapı tasarımında temel felsefe, yapının, sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalarak, orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla, çok şiddetli depremleri ise taşıyıcı sistemi kısmen veya tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın karşılayabilmesidir.

Deprem etkileri altındaki yapı sistemlerinin davranışını daha gerçekçi olarak temsil eden statik itme analizi yöntemleri, daha doğru hesaplamaların yapılmasına imkân tanımaktadır. Yapı sistemlerinin deprem yükleri altındaki performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan artırımsal statik itme analizi yöntemlerinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil eden ve kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Bu yöntem, statik yatay yüklerin her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmasıyla ve belirli bir yer değiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar, yapıya ait yatay yük – tepe yer değiştirmesi ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır (Akgül, 2007). Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsal oluşmaktadır. Plastik mafsal oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın

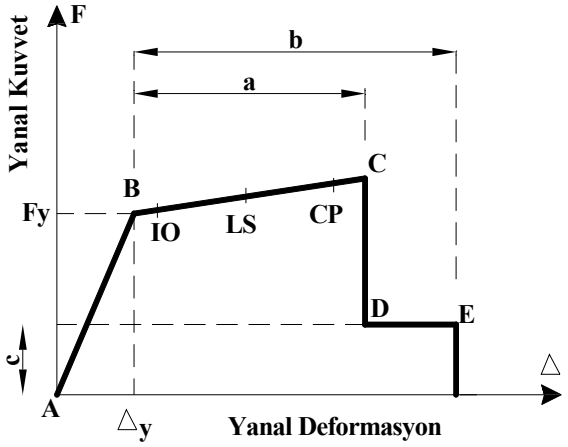
dönmeye devam etmektedir. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artırımsal itme analizinden (pushover analiz) elde edilen tipik bir yatay yük – tepe yer değiştirmesi ilişkisi, kapasite eğrisi (pushover eğrisi) olarak adlandırılır (Şekil 7.1). Kapasite eğrisinden yararlanılarak, yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte, yapının zayıf elemanları ve plastik mafsalların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yer değiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir (Uçar, 2005).



Şekil 7.1. Kapasite eğrisi (pushover eğrisi).

Program girdilerinden olan malzeme özelliklerinin tanıtılmasında, deneysel olarak elde edilen gerçek malzeme değerleri kullanılmalıdır. SAP2000, elemanların akma kapasitesi olarak sadece akma momentini veya eksenel yük-moment etkileşim eğrisini kabul etmektedir. Plastik mafsal teorisine göre, plastik mafsalların eleman uçlarında meydana gelmesi muhtemeldir. Programa girdi olarak plastik mafsal oluşum yerleri ve her plastik mafsal için davranış biçimlerinin (moment mafsalı vs.) girilmesi gerekmektedir. Bu davranış, kuvvet ile yer değiştirmesi arasındaki ilişkiye bağlı olarak tanımlanır. Programda sadece çubuk elemanlarda mafsal tanımlanabildiğinden, perde türü elemanları çubuk sistem gibi modellemek yolu izlenebilir. Şekil 7.2'de bir mafsalın yatay kuvvet – yatay şekil değiştirme ilişkisini gösteren idealleştirilmiş kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi diyagramı gösterilmektedir. Plastik mafsallara ait özellikler, bir kesitteki şekil değiştirme ve buna karşılık gelen iç kuvvet değerlerinin ve performans

seviyelerine karşılık gelen noktaların işaretlendiği bir grafik ile verilmektedir. Bu performans seviyeleri; hemen kullanım (IO), can güvenliği (LS) ve göçmenin önlenmesi (CP) aşamalarından meydana gelmektedir. Yine burada B noktası akmanın meydana geldiği noktayı, E noktası ise kesitteki göçmenin meydana geldiği noktayı göstermektedir. ATC – 40 ve FEMA – 273 / 356'da yapısal elemanlara ait plastik mafsal özellikleri detaylı olarak verilmektedir (Arslan, 2007).



Şekil 7.2. İdealleştirilmiş kuvvet – deformasyon ilişkisi.

Performans seviyeleri, bir yapıda deprem etkisi altında oluşacak hasarın sınır durumlarını belirler. Bu sınır durumlar yapıdaki fiziksel hasarlara, can güvenliği tehlikesine ve yapının kullanılıp kullanılamayacağına göre belirlenmiştir. Bunlar;

- **Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (B):** Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina, kullanıma devam edebilecek durumdadır.

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (IO):** Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı, orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür. Önemli hizmetler veren yapılar için kullanılır.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (LS):** Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmaksızın kullanılması uygun değildir.

- **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (CP):** Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir.

7.2. Deney Numunelerinin SAP2000 Programında Modellenmesi

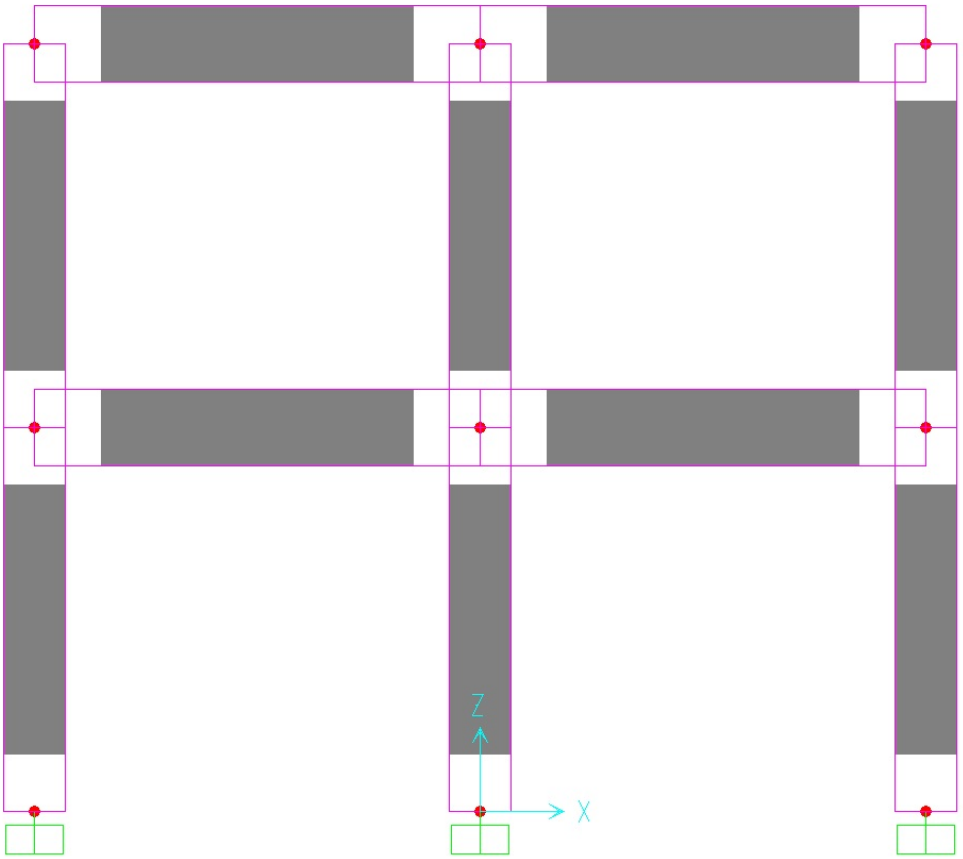
Deney numunelerindeki taşıyıcı sistem elemanları, çubuk eleman olarak SAP2000 programında modellenmişlerdir. Ardından malzeme özellikleri ve eleman boyutları tanımlanmıştır. Tanımlamalar yapılırken elastik ötesi analiz yapılacağından, betonarme elemanların çatlamış kesit rijitlikleri ve deneyler sonucu elde edilen malzeme özellikleri kullanılmıştır. FEMA–273 / 356 dikkate alınarak kirişlerin eğilme rijitliği 0.5EI, kolonların eğilme rijitliği ise eksenel yük seviyesi 0.3 x b x h x f_c' den küçük olduğu için kirişlerdeki gibi yine 0.5EI alınmıştır.

Daha sonra plastikleşmesi beklenen kiriş, kolon, perde gibi elemanların kritik kesitleri için iç kuvvet – deformasyon bağıntıları tanımlanmıştır. Bu bağıntılar daha önce Bölüm 3.3.'de verilen kesit özellikleri kullanılarak hazırlanmıştır. Ancak ATC – 40 ve FEMA – 356'da önerilen bağıntıları kullanan hazır iç kuvvet – deformasyon tanımlaması da yapılabilmektedir. Bu hazır tanımlamalar; sadece normal kuvvet mafsalı **P**, sadece moment mafsalı **M3**, sadece kesme kuvveti mafsalı **V2** ve hem normal kuvvet, hem de moment mafsalı **PMM** seçenekleri kullanılarak yapılabilir. Ardından deney numuneleri üst kata 2 birim, alt kata ise 1 birim yük gelecek şekilde yüklenmişlerdir. Yük kombinezonları tanımlandıktan sonra analizler yapılmıştır.

1. deney numunesinin modeli Şekil 7.3' de verilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise aşağıda gösterilmiştir. Çizelge 7.1' de her adım için plastik mafsal yerleri görülmektedir. Çizelge 7.1'de, plastik mafsallardaki hasar seviyeleri farklı renklerle ifade edilmiş ve çizelgenin altında hangi rengin, Şekil 7.2'deki hangi performans seviyesini temsil ettiği

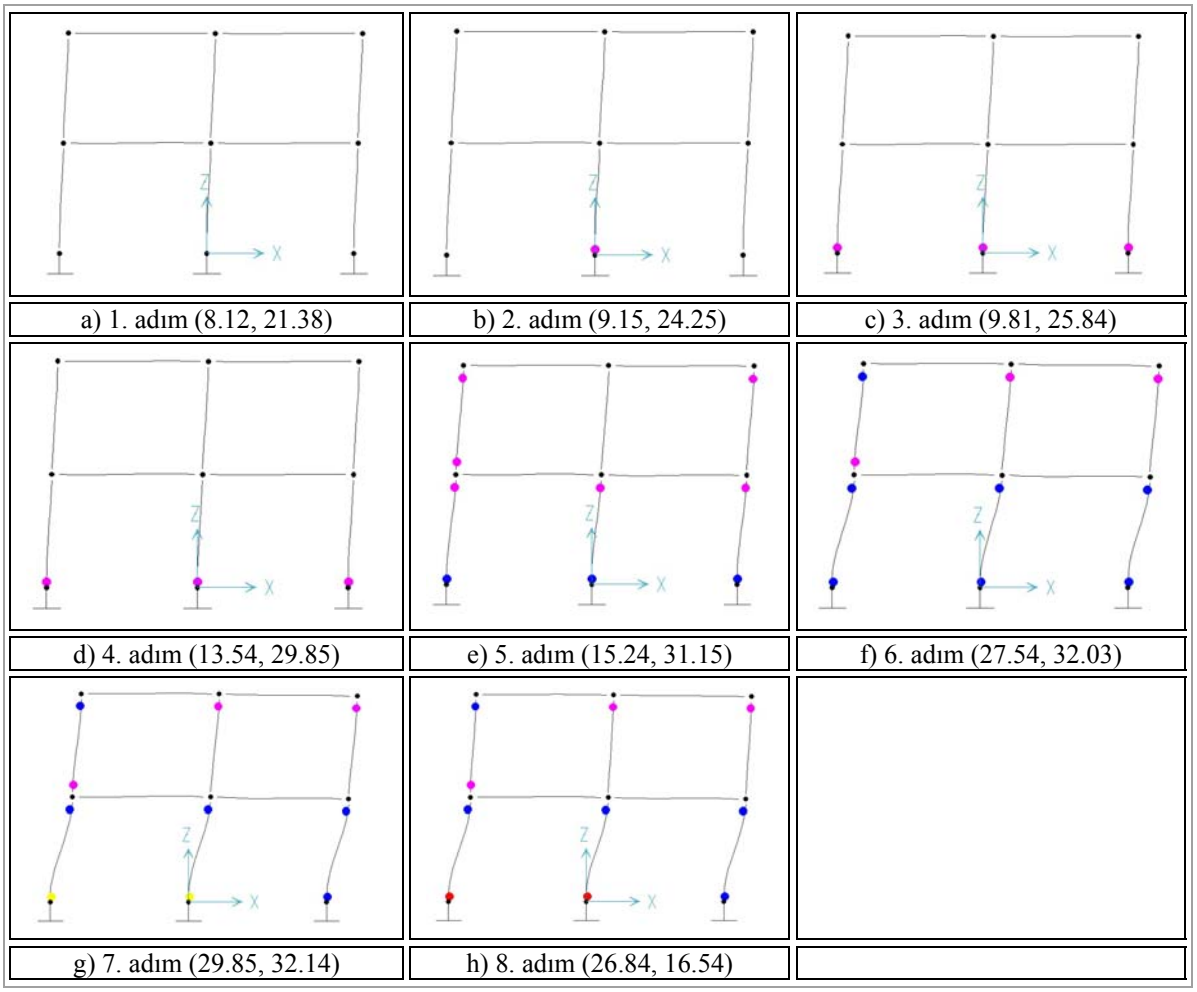
belirtilmiştir. Çizelge 7.2'de ise plastik mafsal sayıları ve plastik mafsalların durumları verilmiştir. Bu çizelgede de Şekil 7.2'de verilen performans noktaları kullanılmış ve plastik mafsallarda oluşan hasar seviyeleri kategorilere ayrılmıştır.

2. deney numunesinin modeli Şekil 7.5' de verilmiştir. Bu model oluşturulurken prefabrike panellerin çerçeve ile bağlantısının sadece kiriş hizasında olmasına dikkat edilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 7.3' de ve Çizelge 7.4'de gösterilmiştir. Çizelge 7.3'de verilen plastik mafsal oluşumlarında, mafsallardaki hasar seviyeleri farklı renklerle ifade edilmiş ve çizelgenin altında hangi rengin, Şekil 7.2'deki hangi performans seviyesini temsil ettiği belirtilmiştir. Çizelge 7.4'de de oluşan plastik mafsallar ve konumları verilmiştir.



Şekil 7.3. 1 nolu deney numunesinin SAP2000 programında oluşturulan modeli.

Çizelge 7.1. 1 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsallar ve oluştukları yer değiştirme (mm) ve yatay yük (kN) değerleri.



a) 1. adım (8.12, 21.38) | b) 2. adım (9.15, 24.25) | c) 3. adım (9.81, 25.84)

d) 4. adım (13.54, 29.85) | e) 5. adım (15.24, 31.15) | f) 6. adım (27.54, 32.03)

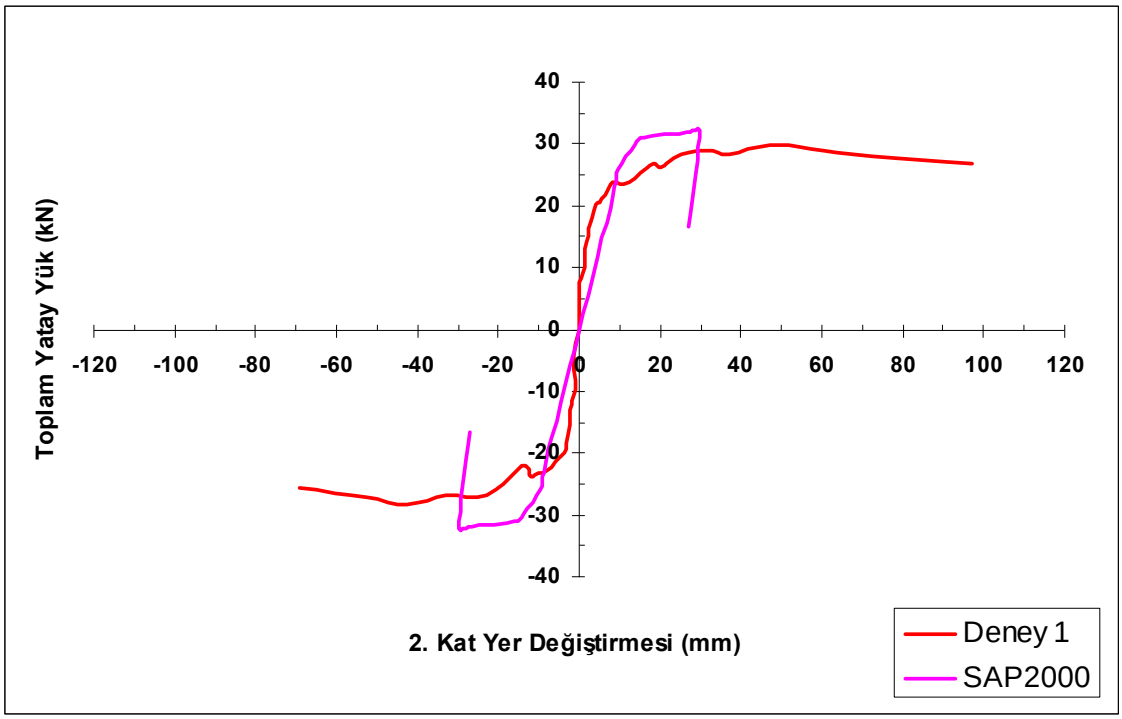
g) 7. adım (29.85, 32.14) | h) 8. adım (26.84, 16.54)

Çizelge 7.2. 1 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsal sayıları ve hasar seviyeleri.

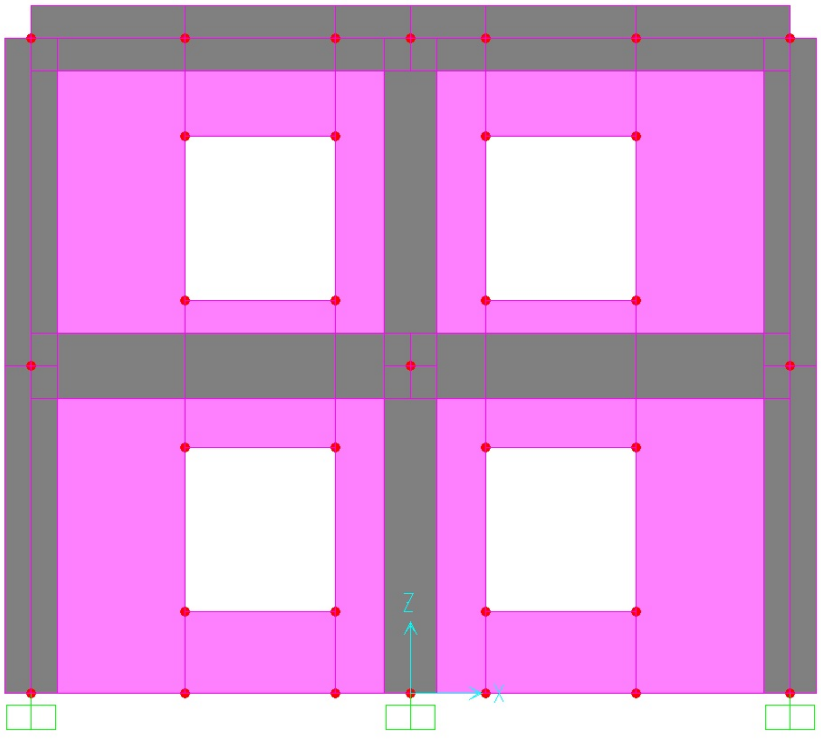
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0	0	0	0
2	19	1	0	0	0	0	0	0
3	17	3	0	0	0	0	0	0
4	13	5	2	0	0	0	0	0
5	11	6	3	0	0	0	0	0
6	10	3	7	0	0	0	0	0
7	10	3	5	0	0	2	0	0
8	10	3	5	0	0	0	0	2

Şekil 7.4'de 1 nolu deney numunesinin, deney sonunda elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği ile statik itme analizi (pushover analiz) sonucunda

elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği aynı eksen takımında gösterilmiştir.

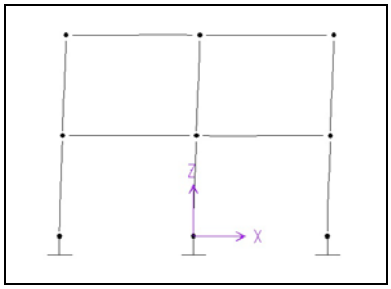
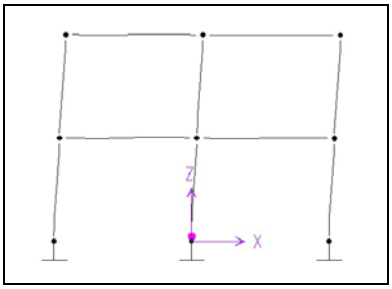
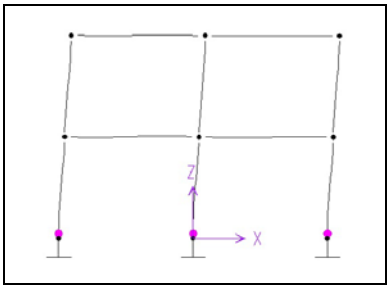
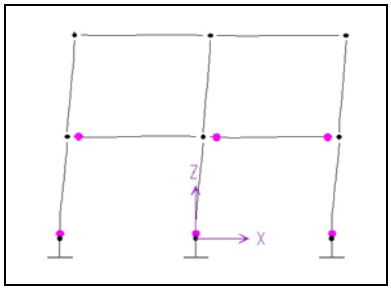
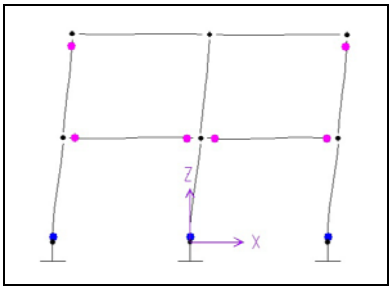
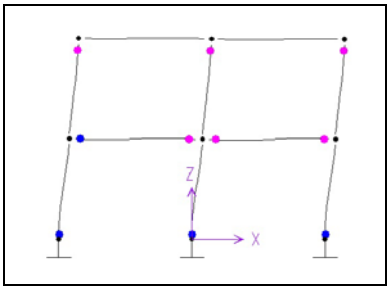
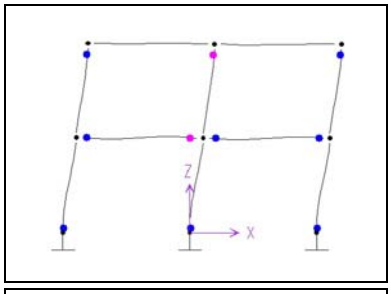
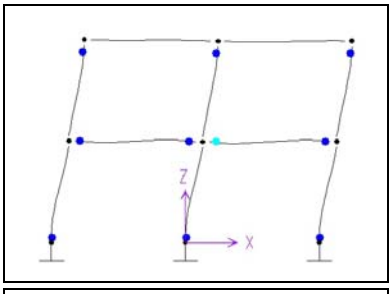
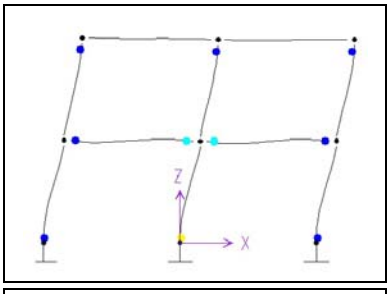
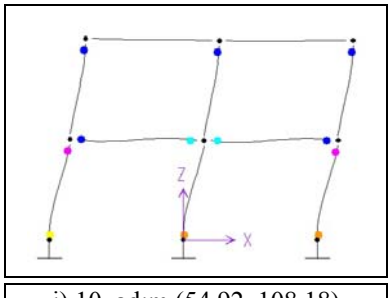


Şekil 7.4. 1 nolu deney numunesi için deneyden ve SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük – tepe yer değiştirmesi grafiklerinin karşılaştırması.



Şekil 7.5. 2 nolu deney numunesinin SAP2000 programında oluşturulan modeli.

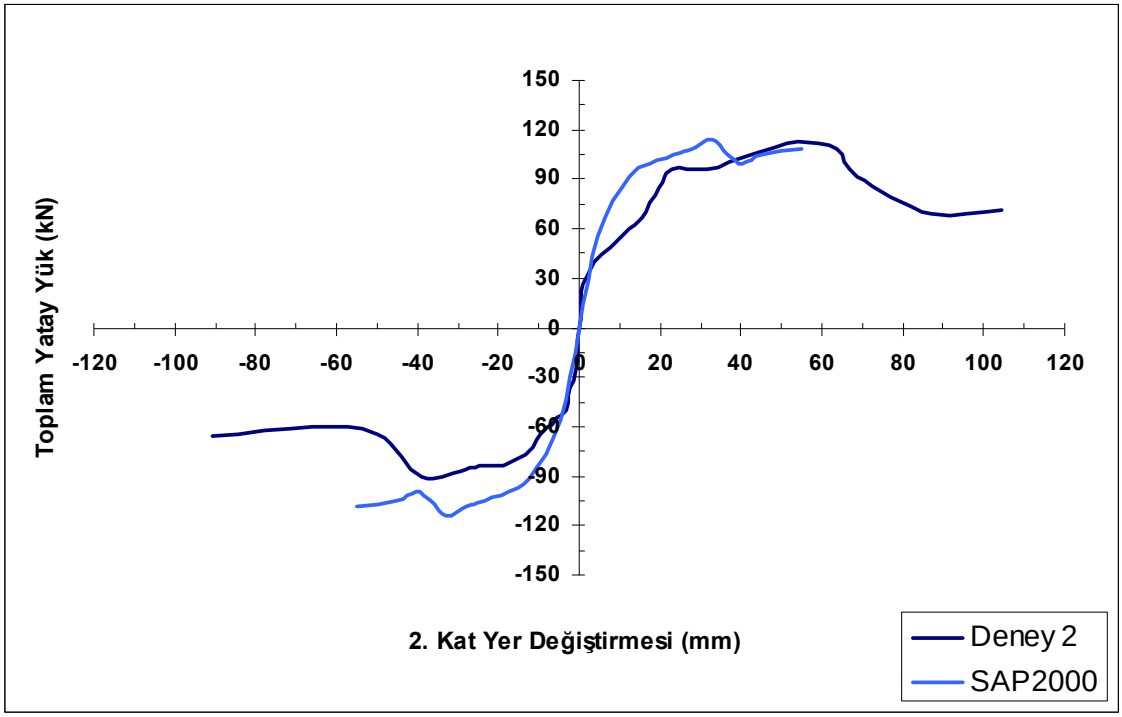
Çizelge 7.3. 2 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsallar ve oluştukları yer değiştirme (mm) ve yatay yük (kN) değerleri.

		
a) 1. adım (4.79, 55.25)	b) 2. adım (12.34, 91.23)	c) 3. adım (17.44, 99.29)
		
d) 4. adım (25.23, 105.84)	e) 5. adım (28.14, 108.87)	f) 6. adım (33.18, 114.11)
		
g) 7. adım (36.45, 104.83)	h) 8. adım (40.12, 99.51)	ı) 9. adım (45.54, 104.67)
		
i) 10. adım (54.92, 108.18)		

Çizelge 7.4. 2 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsal sayıları ve hasar seviyeleri.

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	19	1	0	0	0	0	0	0
3	17	3	0	0	0	0	0	0
4	14	6	0	0	0	0	0	0
5	11	6	3	0	0	0	0	0
6	10	6	4	0	0	0	0	0
7	10	2	8	0	0	0	0	0
8	10	0	9	1	0	0	0	0
9	10	0	7	2	0	1	0	0
10	8	2	5	2	0	1	2	0

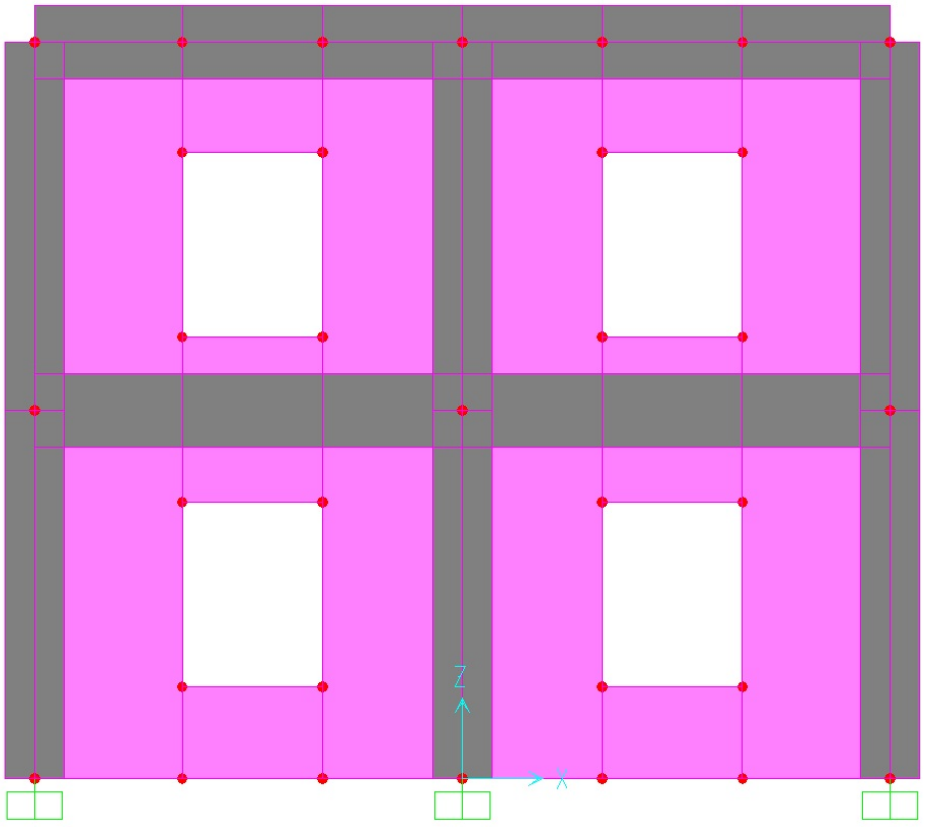
Şekil 7.6.'da 2 nolu deney numunesinin, deney sonunda elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği ile statik itme analizi sonucunda elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği aynı eksen takımında gösterilmiştir.



Şekil 7.6. 2 nolu deney numunesi için deneyden ve SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük – tepe yer değiştirmesi grafiklerinin karşılaştırması.

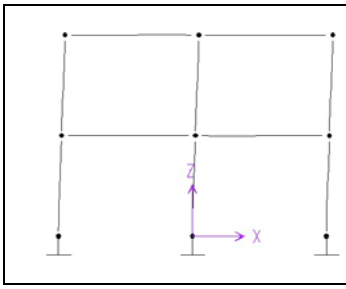
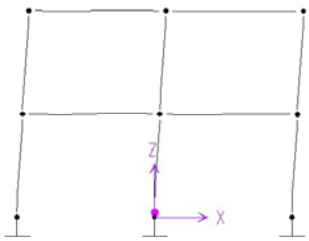
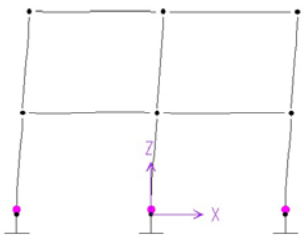
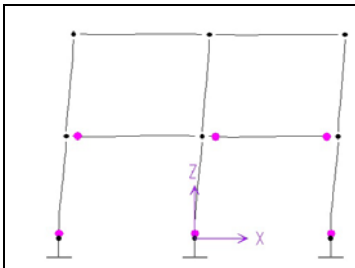
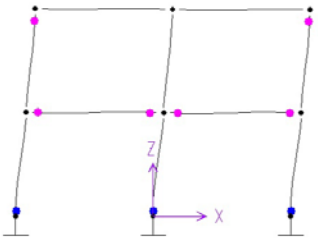
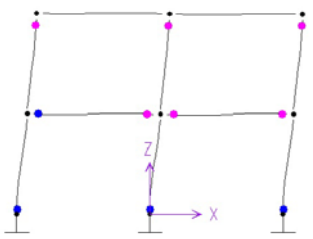
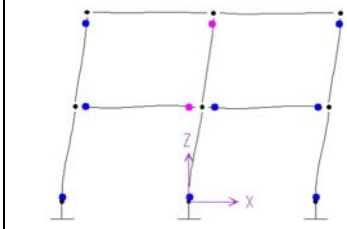
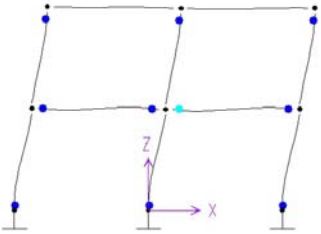
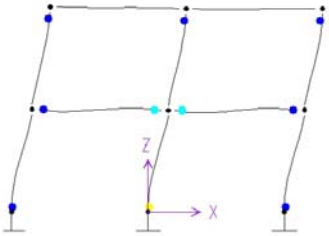
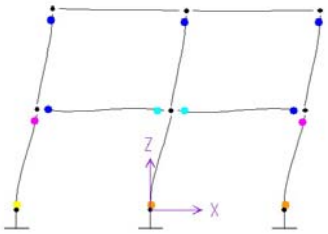
3. deney numunesinin modeli Şekil 7.7' de verilmiştir. Bu model oluşturulurken de 2. deney numunesi modelinde olduğu gibi prefabrike panellerin çerçeve ile bağlantısının sadece kiriş hizasında olmasına dikkat edilmiştir. Bu model üzerinde yapılan statik itme analizi sonuçları ve plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 7.5' de ve Çizelge 7.6'da gösterilmiştir. Çizelge 7.5'de verilen plastik mafsal oluşumlarında, mafsallardaki hasar seviyeleri farklı renklerle ifade edilmiş ve çizelgenin altında hangi rengin, Şekil 7.2'deki hangi performans seviyesini temsil ettiği belirtilmiştir. Çizelge 7.6'da da plastik mafsal sayıları ve durumları verilmiştir.

Şekil 7.8'de ise 3 nolu deney numunesinin deney sonunda elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği ile statik itme analiz sonucunda elde edilen toplam yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi grafiği aynı eksen takımında gösterilmiştir.



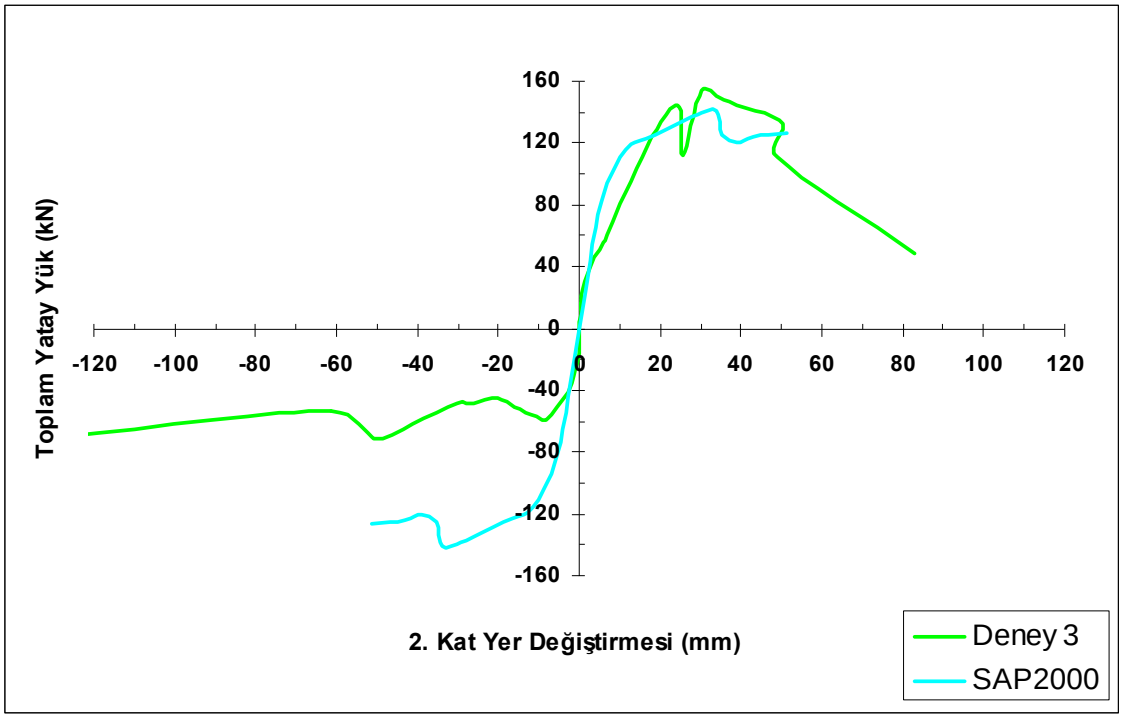
Şekil 7.7. 3 nolu deney numunesinin SAP2000 programında oluşturulan modeli.

Çizelge 7.5. 3 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsallar ve oluştukları yer değiştirme (mm) ve yatay yük (kN) değerleri.

		
a) 1. adım (5.71, 82.22)	b) 2. adım (11.65, 115.57)	c) 3. adım (16.71, 122.68)
		
d) 4. adım (26.23, 134.42)	e) 5. adım (29.23, 138.18)	f) 6. adım (33.81, 140,29)
		
g) 7. adım (35.14, 125,44)	h) 8. adım (40.51, 120.32)	ı) 9. adım (45.14, 124.46)
		
i) 10. adım (51.12, 126.59)		

Çizelge 7.6. 3 nolu deney numunesinin statik itme analizinde her adımda oluşan plastik mafsal sayıları ve hasar seviyeleri.

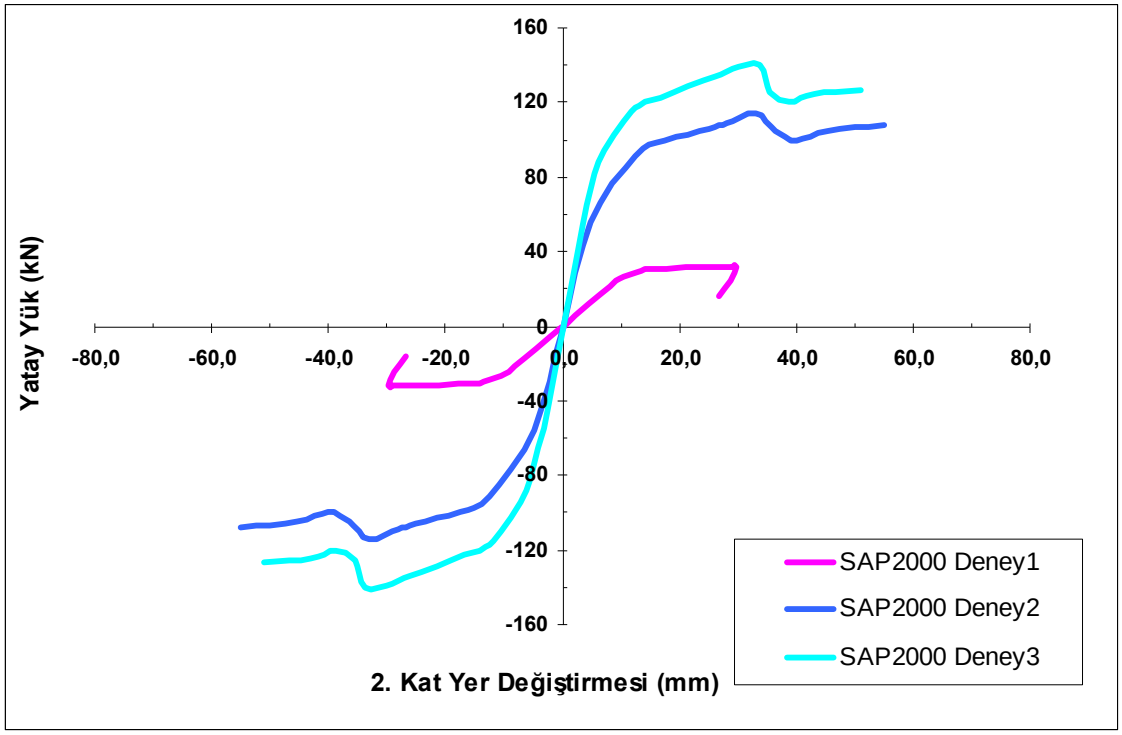
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0	0	0	0
2	19	1	0	0	0	0	0	0
3	17	3	0	0	0	0	0	0
4	14	6	0	0	0	0	0	0
5	11	6	3	0	0	0	0	0
6	10	6	4	0	0	0	0	0
7	10	2	8	0	0	0	0	0
8	10	0	9	1	0	0	0	0
9	10	0	7	2	0	1	0	0
10	8	2	5	2	0	1	2	0



Şekil 7.8. 3 nolu deney numunesi için deneyden ve SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük – tepe yük değiştirmesi grafiklerinin karşılaştırması.

Deney numuneleri için SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük – tepe yer değiştirmesi eğrileri Şekil 7.9'da topluca verilmiştir. Yukarıda her bir deney için ayrı ayrı verilmiş olan yatay yük – tepe yer değiştirmesi grafiklerine ait karşılaştırmalar incelendiği zaman, deneysel sonuçlarla analitik sonuçlar arasında bir miktar fark görülmektedir. Bu farklılıkların, analitik çözüm için kullanılan SAP2000

programının ve program kullanıcısının yapmış olduğu bazı kabullerin (çubuk sistem, rijit birleşim, malzemeyle ilgili kabuller v.b.) etkisiyle olduğu düşünülmektedir. Bu ve benzeri kabuller deney sonuçları ile analitik sonuçlar arasında bir miktar fark olmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.9. Deney numuneleri için SAP2000 statik itme analizinden elde edilen yatay yük – tepe yer değiştirmesi grafikleri.

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

8.1. Giriş

Toprakları ve yerleşim bölgeleri depremden aktif derecede etkilenir durumda olan ülkemizde, yapılarımızın önemli bir bölümü yeterli deprem dayanımına sahip değildir. Bu yapıların istenen dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip olabilmeleri için onarılması veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda güçlendirme tekniği konularında birçok araştırma yapılmıştır. Buna rağmen, bunların çoğunun bina içerisine girilerek kullanımla ilgili öğelere zarar verilmesi ve kullanıcının yapıyı uzun süreli olarak kullanamamasını gerektiren yöntemler olması, güçlendirme kavramına yeterli önemin verilmesini engellemiştir. Güçlendirmenin önemini daha iyi anlatmak amacıyla mevcut güçlendirme yöntemlerine onanla daha pratik, ekonomik ve kullanıcıyı çok rahatsız etmeyen yöntemler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, betonarme binalarda çerçeveler arasına bina dışından uygulanacak prefabrike panel ilavesiyle yapılan güçlendirmenin farklı tipleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, yapıların, içindeki kullanıcının binayı terk etmesine gerek kalmadan ve bina içinde güçlendirme nedeniyle, özellikle yapıyla ilgili ince işler olan sıva, boya, kaplama vb. gibi ilave işler ortaya çıkmadan güçlendirilebilmesidir. Bu amaçla, çerçeve sistemin binanın dışından uygulanacak prefabrike paneller ile binanın güçlendirilmesi esas alınmıştır. İlave edilecek prefabrike paneller çerçeveye doğrudan birleştirilecektir.

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuarı'nda gerçekleştirilen deneysel çalışmada, deprem davranışı zayıf betonarme yapıyı temsil eden iki katlı iki açıklıklı betonarme çerçevelere yapılan prefabrike panel 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; iki katlı, iki açıklıklı, yaklaşık 1 / 3 geometrik ölçekli, bir adet güçlendirilmemiş çerçeve, iki adet farklı şekillerde tasarlanmış prefabrike paneller ile güçlendirilmiş çerçeve deneyi olmak üzere 3 adet deney yapılmıştır. Betonarme çerçeveler imalatı, ülkemizde sürekli karşılaşılan kusurları içermektedir. Bu kusurlar; düşük beton kalitesi, kolon – kiriş birleşim

bölgesinde kolonlarda etriyelerin devam etmemesi, kolon – kiriş düğüm noktaları civarında etriye sıklaştırmasının yapılmamış olması, kolon alt uçlarında yapılan yetersiz bindirme ekleri ve etriye kancalarının 90^o yapılması şeklinde sıralanabilir.

Deneysel çalışmalardan elde edilmiş olan, yükleme geçmişi, yük – yer değiştirme ilişkisi, dayanım zarfı özellikleri, çerçeve sisteminde meydana gelen rijitlik azalımı ve enerji tüketme kapasitesi özellikleri ve moment – eğrilik ilişkisine ait grafikler 5. bölümde detaylı olarak verilmiştir. 6. bölümde ise deney sonuçlarının karşılaştırması ve değerlendirmesi yapılmıştır. Aşağıda ise, tüm bu karşılaştırmalar, gözlemler ve bulguların değerlendirmesi yapılarak ileride yapılacak olan araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

8.2. Sonuçlar

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deney numunesi 2'nin, deney numunesi 1'e göre ileri çevrimler için % 378, geri çevrimler için % 320 daha fazla yatay yük taşıdığı tespit edilmiştir.
- Başlangıç rijitliği, 2. deney numunesinin 1. deney numunesine göre % 660 daha fazla olduğu görülmüştür.
- 1. deney numunesinde, 2. kat yer değiştirmesi / toplam yükseklik oranı 0.005'ten sonra, 2. deney numunesinde ise bu oranın 0.01 değerinden sonra rijitlik değerlerindeki azalma yavaşladığı belirlenmiştir. Son çevrimde 1. deney numunesindeki rijitlik 0.028 kN/mm' ye, 2. deney numunesindeki rijitlik ise 0.680 kN/mm' ye düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni, akma konumundan sonra sistemin aniden göçmemesidir.
- 2. deney numunesi için kat ötelenme oranı 0.004'e geldiği zaman rijitlik değeri, 1. deney numunesinin başlangıç rijitliğine eşit olduğu tespit edilmiştir.
- Deney sonu itibariyle, 1. deney numunesi 0.048'lik ötelenme oranı anında toplam 16376 kNmm enerji tüketirken, 2. deney numunesi 0.052'lik ötelenme oranı anında 53256 kNmm enerji tüketildiği

belirlenmiştir. Dolayısıyla enerji tüketimindeki artış % 325 olduğu tespit edilmiştir.

- 1. deney numunesinde, maksimum yüke erişildikten sonra yükün azalmasına karşın yer değiştirmelerin azalması sonucunda deney sonlandırılmıştır. Kirişlerin kolonlardan güçlü olmasından dolayı mafsallar kolon uçlarında oluşmuştur. Ayrıca kolon alt uçlarında ezilmelerin başladığı görülmüştür.
- 1. deneyde görülen 1. kat kolon üst uçlarında oluşan çatlaklar ile 2. kat kolon alt ucunda oluşan çatlakların 2. ve 3. deneylerde prefabrike panel kullanılmasıyla büyük ölçüde engellendiği görülmüştür. Böylelikle kirişlerin kolonlardan güçlü olmasından dolayı kolonda oluşması beklenen mafsal oluşumu engellenmiştir. Ancak kolon alt uçlarında ki ezilmeler azalarak devam etmiştir.
- 2. deney numunesinde, prefabrike panellerdeki çatlakların genellikle çerçeve ile birleşim bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür.
- 3 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimler için % 517, geri çevrimler için % 254 daha fazla yatay yük taşıdığı tespit edilmiştir. 2 nolu deney numunesinde de elde edilen benzer sonuçlara göre çerçeveye uygulanan prefabrike panel ilavesi, çerçeveye yatay yük kapasitesi bakımından önemli oranda katkı sağlamıştır.
- Başlangıç rijitliği, 3. deney numunesinin 1. deney numunesine göre % 728 daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- 1. deney numunesinde, 2. kat yer değiştirmesi / toplam yükseklik oranı 0.005'ten sonra, 3. deney numunesinde ise bu oranın 0.01 değerinden sonra rijitlik değerlerindeki azalma yavaşlamaktadır. Son çevrimde 1. deney numunesindeki rijitlik 0.028 kN/mm' ye, 3. deney numunesindeki rijitlik ise 0.581 kN/mm' ye düşmektedir. Bunun nedeni, 2. deney numunesinde de olduğu gibi akma konumundan sonra sistemin aniden göçmemesi, sünek davranışın ortaya çıkmasıdır.
- Deney sonu itibariyle, 1. deney numunesi 0.048'lik ötelenme oranı anında toplam 16376 kNmm enerji tüketirken, 3. deney numunesi

0.052'lik ötelenme oranı anında 48135 kNmm enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla enerji tüketimindeki artış % 294 olmuştur. 2 ve 3 nolu deneylerin sonuçlarının çok yakın çıktığı görülmektedir. Böylece, farklı şekillerde yapılan prefabrike panel ilavesi, enerji tüketimi açısından da çerçeveye önemli katkı sağlamıştır.

- 3. deney numunesi ile 2. deney numunesi yatay yük kapasiteleri bakımından yaklaşık aynı davranışı göstermiştir. 3. numune, 2. numuneye göre toplam yük bakımından, ileri çevrimlerde % 37 daha fazla yük taşırken, geri çevrimlerde ise % 26 daha az yatay yük taşıdığı tespit edilmiştir.
- 2. deney numunesinde, ileri çevrimlerde maksimum 112 kN yük seviyesine çıkılırken, geri çevrimlerde maksimum yük 90 kN olmuştur. İleri ve geri yönde yatay yük kapasitesi bakımından % 24 fark vardır. Bu nedenle, numuneler geri çevrimlerde, ileri çevrimlere göre daha az yük taşıdığı görülmüştür.
- 3. deney numunesi için kat ötelenme oranı 0.01'e geldiği zaman rijitlik değeri, 1. deney numunesinin başlangıç rijitliğine eşit olduğu belirlenmiştir.
- Güçlendirilmiş deney numuneleri arasında en fazla enerji tüketimi 2. deney numunesinde gerçekleşmiştir. 2. ve 3. deney numunelerinin enerji tüketimleri değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Deney sonunda tüketilen toplam enerji bakımından 2. deney numunesi, 3. deney numunesine göre % 11, 1. deney numunesine göre de % 325 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.
- 3. deney numunesi, 1. deney numunesine göre % 32.3'lük fazla yer değiştirme yaptığı ve 2. deney numunesin ise 1. deney numunesine göre % 8.3'lük fazla yer değiştirme yaptığı tespit edilmiştir.
- 2. ve 3. deney numunelerinde de, çerçeve beton dayanımı düşük olmasına rağmen prefabrike panellere ankrajlarında herhangi bir problemin olmaması ankraj detaylandırmasının uygun olduğunun göstermektedir.
- 2. ve 3. deneylerde prefabrike panellerde maksimum yük seviyesinde, kılcal çatlakların dışında önemli bir hasar

oluşmamıştır. Hasarlar prefabrike paneller ile kiriş bağlantı noktalarında yoğunlaşmıştır.

- Betonarme çerçevemiz iki farklı prefabrike panel sistemi kullanılarak güçlendirilmiştir. 2. ve 3. deneylerde elde edilen sonuçların birbirine benzer olması seçilen prefabrike panel sistemlerinin birbirine oldukça benzemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak bu sistemlerin birbirine yakın olmasından dolayı deney sonunda elde edilen sonuçların da birbirine benzer çıkması elde edilen bu değerlerin doğruluğu hakkında bize olumlu bir fikir vermektedir.
- Prefabrike panellerde bırakılan pencere boşluğunun mevcut çerçevenin yatay yük taşıma dayanımını arttırmada herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için tamamen boşluksuz olan bir sistemin de denenerek karşılaştırılmasında çok büyük fayda olacağı düşünülmektedir.
- Güçlendirilmemiş numune olan 1. deney numunesinde, çatlakların kolonlarda yoğunlaşması, kirişlerin kolonlardan güçlü tasarlanmalarının sonucu olduğu belirlenmiştir.
- Temellerde herhangi bir hasar gözlenmemiştir.
- Sap 2000 programı ile yapılan statik itme (pushover) analizine göre bulunan yatay yük kapasiteleri, deney sonuçlarına %7 - % 22 arasında yakınlık göstermektedir.
- Yer değiştirme değerleri deneysel sonuçlara göre daha büyük farklılıklar göstermektedir. Bu duruma neden olarak, SAP2000 programının mafsal tanımlama kısmında ATC – 4 0 ve FEMA – 273 / 356'ya göre yaptığı kabuller nedeniyle, lineer olmayan yönteme göre sistemin 0.02 mertebesinde ötelenme yapması olarak gösterilebilir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında prefabrike panel ilavesi ile yapılan güçlendirmenin, çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu görülmüştür. En önemli sonuçlardan birisi ise,

güçlendirilmemiş çerçevede maksimum yük esnasında çok önemli hasarlar meydana gelmiş iken, güçlendirilmiş çerçevelerde maksimum yük seviyesinde çerçeve elemanında önemli çatlakların ve hasarların oluşmamış olmasıdır. Dolayısıyla, bina taşıyıcı sisteminin düşey yüklere göre herhangi bir problemi yok ise, bina dışından uygulanacak prefabrike panel ilavesinin, güçlendirme için yeterli bir çözüm olabileceği gözlemlenmiştir.

8.3. Öneriler

Betonarme prefabrike panellerin, çerçeve sistemine kazandırdığı önemli dayanım ve rijitlik artışının yanında, sünekliğin de önemli miktarda değişmemesi, bu çalışmanın önemli ve çarpıcı sonuçlarından biridir. Bu çalışmanın vermiş olduğu bilgiler ışığında, aynı yükleme düzeneği ve ölçüm tekniği kullanılarak, ileride yapılacak olan araştırmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

- Çok daha farklı prefabrike panel sistemleri kullanılarak davranıştaki değişim araştırılabilir. Özellikle pencere boşluğu olmadan yapılacak prefabrike panel sistemi ile davranıştaki değişikliğin araştırılmasında büyük fayda olacağı düşünülmektedir.
- Prefabrike panellerin çevresinde kullanılan L profiller olmaksızın prefabrike paneller tasarlanarak L profilinin panellere etkisi incelenebilir.
- Prefabrike panellerinde stabilite problemi oluşup oluşmadığı (düzlem dışı göçme konusu) araştırılabilir
- Deneyler sırasında sadece üst kat kirişi aksından uygulanan yatay yük, gerçek davranışı yansıtabilmek açısından her iki kattan farklı yük seviyelerinde uygulanabilir.
- Deney numunelerinin, mevcut yapı davranışını daha gerçekçi temsil edebilmeleri için 3 boyutlu çerçeve sistemleri ile her iki doğrultuda da dış perde duvarlar ilave edilerek denenebilir.
- Yükleme sistemi değiştirilerek deprem ivmesi simülasyonu ile deney elemanlarına yük uygulanarak davranış araştırılabilir.
- Farklı analitik yöntemler kullanılarak bulunan sonuçlar deney sonuçları ile daha detaylı olarak karşılaştırılabilir.

9. KAYNAKLAR

Akgül, S., 2007, "Betonarme Perde-Çerçeve Sistemlerinin Yatay Yükler Altında Yapısal Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Akın, S.K., 2006, "Betonarme Çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi", Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Altın, S., 1990, "Strengthening of R/C Frames with RC Infill", 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.

Aras, F., 2001, "Nonlinear Response Analysis of the Retrofitted Structures by Different Strategies", PhD Thesis in Civil Engineering, Bogaziçi University.

Arslan, M.H., 2007, "Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., 2007, "What is to be Learned From Damaged or Failure of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey", Engineering Failure Analysis, vol.14, issue 1, pg. 1-22.

Balkaya, C., Durmuş, G., Ay, Z., 2004, "Düzensiz Çelik Yapıların Sismik Performansı", 6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 6-8 Ekim, İstanbul, sayfa 210-220.

Bağcı, M., Atımtay, E., 1999, "Depreme Maruz Karma Sistemlerin Bilgisayar Model", Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, 24-25-26 Kasım, Ankara, sayfa: 321-336.

Balkaya C., Kalkan E., 2002, "Nonlinear Seismic Response Evaluation Of Tunnel Form Building Structure", Computers And Structures Journal , Volume: 81, page153-165.

Bayılı S, Peköz H. A. ve Sucuoğlu H. , 2002, "Düzce' deki Bazı Kamu Ve Özel Binaların 1999 Düzce Depremindeki Sismik Performanslarının İncelenmesi", Prof. Dr. Ergin Çıtıpıtıoğlu Anma Sempozyumu, Ankara, 32-42.

Bayülke, N., 1995, "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Genişletilmiş 3. Baskı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, 256 sayfa, İzmir.

Bayülke, N., 2000, "Structural Damage in Turkey 27 June 1998 Adana-Ceyhan Earthquake", General Director of Disaster of Affairs –Earthquake Research Department.

Bayülke, N., 2006, " Betonarme Yapılarda Güçlendirme Sorunları", Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 444-445, 2006/4-5.

Bechtoula ve ark, 2004, "Simulation of Damage Progression in Lower Stories of 11-Story Buildings", 13 th World Conference of Earthquake Engineering, August 1-6, Canada, paper no: 3246.

Benjamin, J. R., Williams, H. A., 1957, "The Behavior of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls", ASCE, Journal of Structural Division, 83 (ST3): 1254.

Benjamin, J. R., Williams, H. A., 1958, "The Behavior of One-Story Brick Shear Walls", ASCE, Journal of Structural Division, 84 (ST4): 1723.

Beyli, E., 2002, "Betonarme Binalarda Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Brokken, S.T., and Bertero, V.V., 1981, "Studies on Effects of Infill's in Seismic Resistant Reinforced Concrete Construction", Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-81/12, University of California, Berkeley, 62-69.

Borzi, B., Elnashai, A.S., 2000, "Refined force reduction factors for seismic design", Engineering Structures Journal, Volume: 26, page: 257-265.

Burtz, J.L., 2003, "Behavior and Design of Grouted Anchors Loaded in Tension Including Edge and Group Effects and Qualification of Engineered Grout Products", Master Thesis, University of Florida, USA.

Canbay, E., Sucuoglu, H., 1998, "Seismic Assessment of Damaged/Strengthened Reinforced Concrete Buildings", Repair and Strengthening of Existing Buildings" Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 132-151, February, Istanbul, Turkey.

Canbay, E., 2001, "Contribution of RC Infill's to the Seismic Behavior of Structural Systems", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, December.

Cannon, R.W., 1995, "Straight Talk About Anchorage to Concrete-Part 1", ACI Structural Journal, vol.92, no.6, pg.580-586.

Celep, Z., 2002, "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesinde Genel Kurallar", Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Cook, R.A., 1993, "Behavior of Chemically Bonded Anchors", Journal of Structural Engineering (ASCE), v.119, no.9, pg. 2744-2762.

Cook, R.A., Kunz, J., Fuchs, W., Konz, R.C., 1998, "Behavior and Design of Single Adhesive Anchors Under Tensile Load in Uncracked Concrete", ACI Structural Journal, vol.95, no.1, pg. 9-26.

Cook, R.A., Konz, R.C., 2001, "Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors", ACI Structural Journal, vol.98, no.1, pg.76-86.

Demir, İ., Şimşek, O., Yaprak, H., 2009, "Ankraj Donatısı Türünün Ankraj Performansına Etkisi", 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.

Dogangun, A., 2004, "Performance of Reinforced Concrete Buildings During the May 1, 2003 Bingol Earthquake in Turkey", Engineering Structures, vol.26, issue 6, pg. 841-856.

Dörttepe, U., 2001, "Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ecemiş, S., 2000, "Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Epoksi ile Çelik Levha Yapıştırılarak Güçlendirilmesi Üzerine Deneysel Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Eligehausan, R., Make, R., Rehm, G., 1984, "Befetigungen Mit Ver Bunderkern", Betonwerk+Fertigteil-Technik, v.12,686-692.

Erdem, I., Akyüz, U., 2004, "Nonlinear Analyses of Two Strengthened Infilled RC Frames", 6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi (ACI), 6-8 Ekim, İstanbul, sayfa 306-314.

Erdoğan, T.Y.,2003, "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı, Ankara.

Ergin, C., 1998, "Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirme Teknikleri ve Çok Katlı Bir Yapıya Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998, "Behavior of Reinforced Concrete Infilled Frames An Experimental Study", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 292-308, February 1998, Istanbul, Turkey.

Ersoy, U., Özcebe, G., 2001, "Betonarme Temel İlkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap", Evrim Yayınevi, Ankara.

Ersoy, U., 2007, "Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar", 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, sayfa 207-216, 16-20 Ekim, İstanbul.

Eyidoğan, H., 2002, "Mühendislik Sismolojisi", İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, İstanbul.

Faelaa ve ark, 2004, "Seismic Assessment and Retrofitting of R.C. Existing Buildings", 13th World Conference of Earthquake Engineering, August 1-6, Canada, paper no: 84.

Faison, H., Comatin, C.D., Elwood, K., 2004, "Reinforced Concrete Moment Frame Buildings Without Seismic Details", Housing Report, www.world-housing.net, Report no: 111, USA.

Fuchs, W., Eligehausan, R., Breen, E.J., 1995, "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete", ACI Structural Journal, v.92, no.1, pg. 73-94.

Fukuyama, H., Sugano, S., 2000, "Japanese Seismic Rehabilitation of Concrete Buildings After the Hyogoken-Nanbu Earthquake", Cement and Concrete Composites, Volume: 22, page: 59-79.

Fukuyama, H., Higashibata, Miyauchi Y., 2000, "Studies on Repair and Strengthened of Damaged Reinforced Concrete Columns", Cement and Concrete Composites, Volume: 22, page: 81-88.

Gesoglu, M., Ozturan, T., Ozel, M., Guneyisi, E., 2005, "Tensile Behavior of Post Installed Anchors in Plain and Steel Fiber Reinforced Normal and High Strength Concretes", ACI Structural Journal, vol.102, no.2, pg.224-231.

Ghobarah, A., Said, A., 2002, "Shear Strengthening of Beam-Column Joints", Engineering Structures, volume: 24, page: 881-888.

Gürbüz, T., 2007, "Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

Hamutcuoğlu, O.M., Karadoğan, F., Pala S., Girgin C., 2004. "The Nonlinear Behavior of Low Rise Reinforced Concrete Buildings with Common Structural Deficiencies", 6. Uluslar arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi (ACI), 6-8 Ekim, İstanbul, sayfa 412-421.

Hashimoto, J., Takiguchi, K., 2003, "A Study on Pullout Strength of Cast in Place Anchor Bolt in Concrete Under High Temperature", 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, 17-22 August, Prague, Czech Republic.

Hayashi, Y., Niwa, H., Fukuhara, M., 1980, "The Strengthening of Existing R/C Buildings", Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Volume 4, September, Istanbul, Turkey.

Higashi, Y., Kokusho, S., 1975, "The Strengthening Method of Existing Reinforced Concrete Buildings", US-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering, Honolulu HI.

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 1, page 477-484.

Ignatiev, N., 1998, "Some Problems of Existing Buildings with New Structural Components, Repair and Strengthening of Existing Buildings", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 11-42, February, Istanbul, Turkey.

İlgün, A., 2003, "Çok Katlı Betonarme Panel Yapıların Yatay Yük Altında Davranışı: Teorik ve Deneysel Araştırma", Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Inel, M., Ozmen H.B., 2006, "Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings", Engineering Structures Journal, article in press.

Inel, M., Senel, S.M., Un, H., 2008, "Experimental Evaluation of Concrete Strength in Existing Buildings", Magazine of Concrete Research, vol.60, no.4, pg.279-289.

Kahn, L.F., Hanson, R., 1979, "Infilled Walls for Earthquake Strengthening", Journal of the Structural Division, Volume: 5, page: 283-296.

Kaltakcı, M.Y., 2004, "Konya İli Selçuklu İlçesi Kerkük Caddesi'nde 02.02.2004 Tarihinde Göçen Zümrüt Apartmanına Ait İnşaat Mühendisliği Bilirkişi Raporu", Teknik Rapor, Konya.

Kappos, A.J., Manafpour, A., 2001, "Seismic Design of R/C Buildings with the Aid of Advanced Analytical Techniques", Engineering Structures Journal, Volume 23, Issue 4, page 319-332.

Kara, E., 2006, "Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kaya, Y., 2007, "Yapıların Güçlendirilmesi Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

Klingner, R.E., Bertero, V.V., 1978, "Earthquake Resistance of Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Volume: 104, page: 973-989.

Korkmaz A., Sarı A.,1999, "Evaluation Of Lateral Load Pattern In Pushover Analysis" University Of Texas,

(http://www.ce.washington.edu/em03/proceedings/papers/426.pdf)

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.

Lee, H.S., Woo, S.W., 2002, "Seismic performance of a Three Story RC Frame in a Low-Seismicity Region", Engineering Structures, Volume: 24, page: 719-734.

Maheri M., Akbari, R., 2003, "Seismic behavior factor R, for steel X-braced and knee braced RC buildings", Engineering Structures Journal, V. 25, page: 1505- 1513.

Mazılıgüney, L., 2007, "Tensile Behavior of Chemically Bonded Post-Installed Anchors in Low-Strength Reinforced Concrete", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Mcvay, M., Cook, R.A., Krishnamurthy, K., 1996, "Pull-Out Simulation of Post Installed Chemically Bonded Anchors", Journal of Structural Engineering (ASCE), v.122, no.9, 1016-1024.

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.

Mwafy, A.M., Elnashai, A.S., 2002, "Calibration of Force Reduction Factor of RC Buildings", Journal of Earthquake Engineering, Volume 6, Issue 2, page: 239-273.

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 KOBE.net), IIS University of Tokyo, pg: 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, 95 sayfa, İstanbul.

Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O., Mertol, H.C., 2003, "Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP", Research Project, YMAÜ-İÇTAG-1575, NATO SfP977231, March.

Özçep, F., Aşcı, M., Alpaslan, N., Yas, T., Gündoğdu, D., 2005, "Statik ve Dinamik (Deprem) Etkileri Altında Zemin Davranışı", Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, Türkiye.

Öztürk, M., 2005, " Yakut ve Safir Sitelerinin Güvenlik Tahkiklerinin Yapılması ve Güçlendirme Projesinin Hazırlanması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Öztürk, M., 2010, "Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Bağ Kirişli Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

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.

Seyhan, E.C., 2006, "Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

Sonuvar, M.O., 2001, "Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames repaired by Means of Reinforced Concrete Infill's", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, June.

Sucuoğlu H., Gür T., Geriay M.H., 2004, "Performance Based Seismic Rehabilitation of Damaged RC Buildings", ASCE Journal, October, 1475-1586.

Sugano, S., 1980, "Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceedings of the First Seminar on Repair and Retrofit of Structures, US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program, May.

Taşdemiş, M.A., Özkul, M.H., 2002, "Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri", Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tezcan, S.S., İkizoğulları, S., 1998, "Stresses along the Periphery of the Infilled Shear Walls in Retrofitted Frames, Repair and Strengthening of Existing Buildings", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 199-209, February, Istanbul, Turkey.

Türk, A.M., 1998, "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infill Walls", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Bogaziçi University.

Türk A.M., Ersoy U., Özcebe G., 2006, "Effect of introducing RC infill on seismic performance of damaged RC frames", Structural Engineering and Mechanics, Volume:23, Number: 5.

Uçar, T., 2005, "Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Uniform Building Code, 1997, Volume II, 5360 Workman Mill Road, Whittier California, USA, 2-128.

Unterweger, R., Bergmeister, K., 1998, "Investigations of Concrete Boreholes For Bonded Anchors", 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering, pg.1-7.

Vallenas, J.W., Bertero, V.V., and Popov, E.P., 1979, "Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No: UCB/EERC-79/20, 314- 327.

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, Ü.S., 2007, "Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Youssef, M.A., 1999, "Modeling of Existing and Rehabilitated Reinforced Concrete Buildings", PhD Thesis, McMaster University.

Yüksel, E., Karadoğan, F., 1998, "Earthquake Behavior of Frames Strengthened by Added Shear Walls", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 236-247, February, Istanbul, Turkey.

Yüksel, E., İlki, A., Erol, G., Demir, C., Karadogan, H.F., 2006, , "Seismic Retrofit of Infilled Reinforced Concrete Frames With CFRP Composites", Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, edc. T. Wasti and G. Ozcebe, NATO Science Series, pg. 285-300, Springer, Netherlands (Book Chapter).

Yüksel, İ., 2005, "Sistem Akma Deplasmanında Yeni Bir Yaklaşımla Sünek Yapılarda Performans Değerlendirmesi", 23-25 Mart 2005, 2005 Kocaeli Deprem Sempozyumu sayfa: 577-583.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2007, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

ACI 318-99, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute Standard.

ACI Committee 355, 1991, "State of the Art Report on Anchorage to Concrete", American Concrete Institute.

ATC-40, FEMA Reports, 1996, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Applied Technology Council, November 1996, Cilt I ve II, Redwood City, California, USA.

Deprem Şurası, 2004, "Mevcut Yapıların İncelenmesi ve Yapı Denetimi Komisyonu Raporu", Ankara.

FEMA 273/356, Federal Emergency Management Agency, 1996 a. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I, Redwood City, California, USA.

RESPONSE 2000, Nonlinear Reinforced Concrete Analysis Program, http://www.ecf.utoronto.ca/bentz.

SAP 2000, version 7.40, CSI Company, Berkeley, California, USA.

SAP 2000 Kullanım Kılavuzu, 2000, CSI Company, Berkeley, California.

STA4 – CAD Kullanım Kılavuzu, 2003.

TS500 – 2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Nebi ÖZDÖNER
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	KONYA 10.02.1975
Telefon	**:**	0 332 223 2662, 0 535 885 4217
Faks	**:**	0 332 241 0635
e-mail	**:**	nozdoner75@hotmail.com, nebi@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Gazi Lisesi, Meram, KONYA**	**1992**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi MMF, Selçuklu, KONYA**	**1996**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi FBE, Selçuklu, KONYA**	**2003**
Doktora	:	**Selçuk Üniversitesi FBE, Selçuklu, KONYA**	**2011**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
Haziran 1996	**İMO Konya Şubesi**	**Mühendis**
Kasım 1996	**Selçuk Ü. Müh. Mim. Fakültesi**	**Arş. Gör.**