T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TDY 2007'YE GÖRE TASARLANMAMIŞ BETONARME ÇERÇEVELERİN DÜZLEM DIŞI PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

Alptuğ ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz–2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TDY 2007'YE GÖRE TASARLANMAMIŞ BETONARME ÇERÇEVELERİN DÜZLEM DIŞI PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

Alptuğ ÜNAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Yardımcı Danışman: Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI

2012, 354 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI
Yrd. Doç. Dr. Yunus DERE

Ülkemiz Dünya'da depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir. Yaşadığımız depremler sonucu yapılarımızda çok büyük yapım, malzeme ve işçilik hataları olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan araştırma ve inceleme sonuçlarına göre deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük kısmında tasarım ve yapım kusurlarının olduğu da görülmüştür. Bu tasarım ve yapım kusurları, sadece deprem bölgelerinde değil, deprem bölgesi olmayan bölgelerde de mevcuttur. Bu sebeplerden dolayı ülkemizdeki yapı stoğunun bir an önce incelenip, uygun güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Son yıllarda güçlendirme çalışmaları ile ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan güçlendirme çalışmalarında yapıların tamamen boşaltılması gerektiği düşünülmüştür. Ancak, bu durum okul, hastane, yurt gibi kamu binalarında uygulandığında büyük ekonomik kayıplarla karşılaşılacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, güçlendirme için yapılan perde duvarlar düzlem dışına yerleştirildikleri için yapıların boşaltılmasına gerek kalmaması ve ekonomik kayıpların en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında 1/3 ölçekli 4 adet deney elemanı depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Bu numunelerden bir tanesi herhangi bir güçlendirme yapılmayan, ülkemizde sıklıkla görülen yapım kusurları içeren ve deprem dayanımı yetersiz binaları temsil eden betonarme boş çerçevedir. Diğer deney elemanları ise betonarme boş çerçeveye güçlendirme uygulaması yapılmış deney elemanlarıdır. İkinci deney elemanı, eksenel yükten dolayı güçlendirilmesi gereken binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu deney elemanında kolonlar üç taraftan mantolanarak güçlendirilmiştir. Üçüncü deney elemanı, pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu deney elemanı dış cephelerinde pencere boşluğu bulunan binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Son deney elemanı ise düzlem dışı iki betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu numunede pencere boşluklarının bulunduğu yerlere güçlendirme perdesi konulmamıştır.

Test edilen bu deney elemanlarına ait histerezis eğrileri, zarf eğrileri, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafikleri verilmiş, bu deney elemanları arasındaki farklar incelenerek yorumlanmıştır. Son bölümde ise elde edilen deneysel sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, deprem davranışı, düzlem dışı perde duvar, güçlendirme, tasarım ve yapım kusurları

ABSTRACT

MS THESIS

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE FRAMES NOT DESIGNED ACCORDING TO TDY 2007 WITH OUT OF PLANE EXTERNAL SHEAR WALL

Alptuğ ÜNAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Co Supervisor: Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI

2012, 354 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Asst. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Asst. Prof. Dr. Yunus DERE

Turkey is situated on a very active earthquake zone of the world. After the recent earthquakes it was observed that our building stock have several construction, design and detailing mistakes. These flaws not only exist in the earthquake regions but also exist in the non earthquake regions. For this reason the building stock must be evaluated and inconsistent structures strengthened with the proper methods.

Recently repair and strengthening of existing buildings become a popular research topic. The strengthening of buildings necessitates the evacuation of the structure. On the other hand, school, hospital type structures must continue their function. In this study exterior shear wall addition to the existing exterior frames is proposed. Since the application is applied to the exterior of the building, the structure can continue its function during the application.

In this study, 1/3 scaled 4 specimens were tested under reversed cyclic loading simulating the seismic action. First reference specimen was the bare frame and didn't contain a strengthening and tested to see the reference behavior. Specimens have several design mistakes to represent the existing older structures. The other specimens retrofitted with different configurations. The second specimen represent the structure that has to be strengthened due to axial load. This specimen was retrofitted with column jacketing. The third specimen was strengthened with exterior shear walls and contained a window opening. The last specimen was also retrofitted with exterior shear wall but the shear walls were divided into two pieces.

The histerezis curves, envelope curves, relative displacement curves, energy absorption curves and rigidity curves were presented and compared within the thesis. In the conclusion, the capacity increase of the frame was discussed and several recommendations were presented.

Keywords: Earthquake, behaviour, exterior shear wall, strengthening, desing and construction mistakes.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyerek yetişmemi sağlayan İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya, bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, karşılaştığım her zorlukta yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ'a, çalışmama büyük katkıları olan ve her türlü desteği sağlayan Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI'ya şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca laboratuvar aşamasında büyük yardımları olan Öğr. Gör. Fatih Süleyman BALIK ve Öğr. Gör. Fatih BAHADIR'a, teknisyen Yüksel ÇİFTÇİ'ye, bilgi ve desteklerini esirgemeyen tüm İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarına ve asistanlarına çok teşekkür ederim.

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

Alptuğ ÜNAL
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Deprem 3
1.1.1. Depremin oluşumu 3
1.1.2. Deprem türleri 6
1.1.3. Deprem parametreleri 6
1.1.3.1. Odak noktası (Hiposantr) 7
1.1.3.2. Dış merkez (Episantr) 8
1.1.3.3. Odak derinliği 8
1.1.3.4. Eşşiddet (İzoseit) eğrileri 8
1.1.3.5. Depremin şiddeti 9
1.1.3.2. Depremin büyüklüğü (Magnitüd) 11
1.1.4. Fay çeşitleri 12
1.1.4.1. Normal faylanma 13
1.1.4.2. Ters faylanma 13
1.1.4.3. Yanal atımlı faylanma 13
1.1.4.4. Fay kırığında graben (Çöküntü) ve horst (Yükselti) 14
1.1.5. Depremi oluşturan sismik dalgalar 15
1.1.5.1. Cisim dalgaları 16
1.1.5.1.1. P (Primary) dalgası 16
1.1.5.1.2. S (Secondary) dalgası 17
1.1.5.2. Yüzey dalgaları 19
1.1.5.2.1. L:Q (Love) dalgası 19
1.1.5.2.2. LR (Rayleigh) dalgası 20
1.1.6. Türkiye'de deprem 22
1.2. Yapılarda Görülen Kusurlar ve Hasar Çeşitleri 27
1.2.1. Düzensizlikler 27
1.2.1.1. Planda düzensizlik durumları 27
1.2.1.1.1. Burulma düzensizliği 27
1.2.1.1.2. Döşeme süreksizlikleri 29
1.2.1.1.3. Planda çıkıntılar bulunması 30
1.2.1.1. Düşey doğrultuda düzensizlik durumları 31
1.2.1.2.1. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği 32
1.2.1.2.2. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği 33
1.2.1.2.3. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği 34
1.2.2. Betonarme yapılarda deprem hasarları 36
1.2.2.1. Mimari tasarım hataları 36
1.2.2.2. Zemin sıvılaşması 36

1.2.2.3. Binalar arası derzlerin yetersizliği 37
1.2.2.4. Yumuşak kat oluşumu 38
1.2.2.5. Zayıf kat oluşumu 38
1.2.2.6. Burulma etkisi 40
1.2.2.7. Kısa kolon oluşumu 40
1.2.2.8. Yeterli yanal rijitliğin sağlanamaması 41
1.2.2.9. Kirişlerin kolonlardan güçlü olması durumu 42
1.2.2.10. Malzeme kalitesizliği 42
1.2.2.11. Detaylandırmadaki kusurlar 43
1.3. Onarım ve Güçlendirme 44
1.3.1. Onarım 44
1.3.2. Güçlendirme 45
1.3.3. Onarım ve güçlendirme malzemeleri 46
1.3.4. Eleman bazında güçlendirme 48
1.3.4.1. Döşemelerin güçlendirilmesi 49
1.3.4.2. Kirişlerin güçlendirilmesi 50
1.3.4.3. Kolonların güçlendirilmesi 51
1.3.4.4. Perdelerin güçlendirilmesi 52
1.3.4.5. Temellerin güçlendirilmesi 52
1.3.5. Sistem bazında güçlendirme 53
1.3.5.1. Dolgu duvarların güçlendirilmesi 53
1.3.5.1.1. Hasır çelik donatılı özel sıva 53
1.3.5.1.2. Lifli polimer 54
1.3.5.1.3. Prefabrike beton panel 55
1.3.5.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerin perde duvarla güçlendirilmesi 55
1.3.5.2.1. Çerçeve düzlemi içine betonarme perde eklenmesi 56
1.3.5.2.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi 56
1.4. Çalışmanın Amacı 57
1.5. Çalışmanın Önemi 59

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 62

3. MATERYAL VE YÖNTEM 91
3.1. Deney Numuneleri 92
3.1.1. Deney numunelerinin boyutları 93
3.1.2. Deney numunelerinin detayları 97
3.1.2.1. Betonarme çerçeve detayları 97
3.1.2.2. Güçlendirilmiş numune detayları 102
3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri 116
3.1.3.1. Betonarme çerçeve malzeme özellikleri 116
3.1.3.1.1. Beton 116
3.1.3.1.2. Donatı 117
3.1.3.2. Güçlendirilmiş elemanların malzeme özellikleri 118
3.1.3.2.1. Beton 118
3.1.3.2.2. Donatı 120
3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması 121
3.1.4.1. Betonarme çerçevelerin hazırlanması 121
3.1.4.2. Güçlendirme elemanlarının hazırlanması 124
3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği 133
3.2.1. Yükleme düzeneği 133

3.2.2. Ölçüm tekniği 138
3.2.2.1. Yük ölçümleri 139
3.2.2.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi 139
3.2.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği 140
3.2.4. Ölçümlerin değerlendirilmesi 145
3.2.4.1. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi 145
3.2.4.2. Yatay yük-kat deplasmanı ve göreceli kat ötelenmesi-kat deplasmanı grafiklerinin çizilmesi 146
3.2.4.3. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi 149
3.2.4.4. Eğim açısı grafiklerinin çizilmesi 151
3.2.4.5. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi 152
3.2.4.6. Sistem süneklik grafiklerinin çizilmesi 156

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 158
4.1. Deney Sonuçları 159
4.1.1. Deney elemanı-1 (RS) 159
4.1.2. Deney elemanı-2 (CR) 190
4.1.3. Deney elemanı-3 (OSWMSW) 224
4.1.4. Deney elemanı-4 (OSW2P) 273
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 321

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 344
5.1 Sonuçlar 344
5.2 Öneriler 346

KAYNAKLAR 347

ÖZGEÇMİŞ 354

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A : Histerezis eğrisi altında kalan alan, mm^2
Ac : Kolon enkesit alanı, mm^2
Ae : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı, mm^2
Ag : Herhangi bir katta, gözöüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanı, mm^2
Ak : Herhangi bir katta, gözöüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanları, mm^2
A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı, m/sn^2
A_{st} : Kolon boyuna donatı alanı, mm^2
Aw : Kolon enkesiti etkin gövde alanı, mm^2
b : Kolon kesit genişliği, mm
B : Histerezis eğrisi altında kalan alan, mm^2
b_w : Kiriş veya perde duvar kalınlığı, mm
d : Kiriş yada perde duvar faydalı yüksekliği, mm
dA : Histerezis eğrisi altında kalan alan, mm^2
F : Deney elemanının bir katına gelen yük, kN
f_c : Beton basınç dayanımı, MPa
f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı, MPa
f_{ctd} : Beton çekme dayanımı, MPa
f_{su} : Donatı çekme dayanımı, MPa
Ft : Deney elemanına gelen toplam yük, kN
f_{yd} : Donatı akma dayanımı, MPa
f_{yk} : Donatı karakteristik akma dayanımı, MPa
h : Deney elemanının yüksekliği, mm
h_i : Binanın i'inci katı yüksekliği, mm
h_w : Temel üstünden itibaren ölçülen perde yüksekliği, mm
l_b : Donatı kenetlenme boyu, mm
LQ : Love dalgaları
LR : Rayleigh dalgaları
l_w : Perdenin plandaki uzunluğu, mm
Lx : Yapının x yönündeki uzunluğu, mm
Ly : Yapının y yönündeki uzunluğu, mm
Mb : Cisim dalgası
ML : Magnitüd
Mo : Sismik moment
Ms : Yüzey dalgası
Mw : Moment büyüklüğü
N : Sisteme verilen eksenel yük, kN
Nd : Minimum eksenel yük düzeyi, kN
P : Primary dalgası
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S : Secondary dalgası
s : Etriye donatısı aralığı, mm
V_{max} : Sisteme etki eden maksimum kesme kuvveti, kN

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci} : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki} : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
ρ : Kiriş yada perde duvarı yatay donatı oranı
ρ_{min} : Minimum donatı oranı
ρ_t : Kolon boyuna donatı oranı
Δ : Maksimum kat ötelenmesi, mm
Δ_i : i'inci kattaki ötelenme, mm
δ : Yatay deplasman, mm
θ : Eğim açısı
ϕ : Donatı çapı, mm
ϕ_l : Boyuna donatı çapı, mm
α : Deprem derzi boşluklarında kullanılan katsayı
$\sum$: Toplam
φ : Süneklik katsayısı

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI : Amerikan Beton Enstitüsü
CFRP : Karbon fiber ile güçlendirme
CR : Kolonların Mantolanması İle Güçlendirilmiş Çerçeve
Fema : Amerikan Acil Yönetim Kurumu
K : Kiriş harflendirilmesi
max. : En yüksek değer
ort. : Ortalama değer
OSWMSW : Pencere Boşluklu Düzlem Dışı Betonarme Perde ile Güçlendirilmiş Çerçeve
OSW2P : Düzlem Dışı İki Betonarme Perde ile Güçlendirilmiş Çerçeve
RS : Referans Deney Elemanı
S : Kolon harflendirilmesi
TDY : Türk Deprem Yönetmeliği
TS : Türk Standartları
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
T.S. : Türkiye saati ile

1. GİRİŞ

Dünyadaki en yoğun deprem kuşakları; yeryüzündeki depremlerin %81'ininin oluştuğu Pasifik Deprem Kuşağı, %17'sinin oluştuğu Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'dır. Türkiye ise bu deprem kuşaklarından Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nda yer almasından dolayı Dünyada depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Depremlerin yoğun olarak gözlendiği bölgeler yeryüzünde üç ana kuşak oluşturur.

1. Kuşak (Pasifik Deprem Kuşağı): Şili'den kuzeye doğru Güney Amerika kıyıları, Orta Amerika, Meksika, ABD' nin batı kıyıları ve Alaska'nın güneyinden Japonya, Filipinler, Yeni Gine, Güney Pasifik Adaları ve Yeni Zelanda'yı içine alan en büyük deprem kuşağıdır. Yeryüzündeki büyük depremleri %81'i bu kuşak üzerinde gerçekleşir.

2. Kuşak (Alp-Himalaya): Endonezya'dan (Java-Sumatra) başlayıp Himalayalar ve Akdeniz üzerinden Atlantik okyanusuna ulasan kuşaktır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %17'si bu kuşakta oluşur.

3. Kuşak (Atlantik): Bu kuşak Atlantik Okyanusu ortasında yer alan levha sınırı (Atlantik Okyanus Sırtı) boyunca uzanır (Küçük, 2006).

Ülkemizin çok büyük bir kısmının deprem riski taşıdığı düşünüldüğünde, yeni yapıların depreme karşı daha dayanıklı yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Olası büyük depremler sonucunda, bütün yapıların hiç hasar görmeden atlatması ekonomik bir çözüm olmayacaktır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında depremin şiddetine göre belirli düzeylerde hasarlara izin verilmektedir (Kaya, 2007). Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımının esas prensibi;

- Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması,
- Şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasıdır (TDY, 2007).

Yeni yapılarda bu prensiplerin sağlanması gerekmekte, eski yapılarda ise bu prensipler sağlanamıyorsa onarım veya güçlendirme yapılmalıdır. Onarım, bir yapı elemanında yapılan incelemeler sonucunda görünüş, taşıma gücü, rijitliği, sünekliği, ve stabilitesinde önceki durumuna göre azalma olduğunun anlaşılması halinde, o elemanı önceki durumuna getirmek için yapılan işlemdir. Güçlendirme ise, hasarlı olmayan elemanın taşıma gücünü, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini önceki durumdan daha iyi hale getirmek için yapılan iyileştirmedir (Kuşan, 2002).

Günümüzdeki mevcut yapıların büyük bir kısmı;

- bugünkü standart ve yönetmeliklere göre yapılmadıkları,
- inşa edildikleri tarihte yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerin şartlarını da sağlamadıkları,
- ya da bunlara uygun yapılmış olanlarının da zamana ya da yaşanılan depremlere bağlı etkiler nedeni ile deprem yükü taşıma güçlerinde önemli azalmalar oluşabileceğinden deprem güvenliği açısından önemli riskler taşımaktadır.

Bu nedenle, yapısal hasar riskini en aza indirebilmek için temel yaklaşım, riskli olabilecek mevcut yapıların ayrıntılı olarak incelenmesidir. Ülkemizde son otuz yılda, özellikle de son on yılda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçları, deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmının, aşağıda belirtilen tasarım ve yapım kusurlarından dolayı yeterli deprem dayanımına sahip olmadıklarını göstermiştir (Yılmaz, 2007).

Birçok yapı sahibi ve mimar, inşaat mühendisinin mimari tasarım sonuçlandıktan sonra statik sistemi oluşturmasını istemektedir. Bu, ciddi sonuçları olan ve önemli ek maliyete yol açan kötü bir yaklaşımdır. En akıllıca hesaplar ve ayrıntılı tasarım bile binanın mimari tasarımındaki ya da taşıyıcı olmayan elemanların seçimindeki hata ve kusurları gideremez. İyi bir sonuç elde etmek, yapısal güvenliği sağlamak, hasar görme olasılığını azaltmak ve maliyeti sınırlamak için, mimar ile mühendis arasında yapı projesinin en erken planlama aşamasında başlayan sıkı bir iş birliği olması önemlidir. Mimar işin estetik ve işlevsel yanı ile uğraşırken, mühendis güvenli, etkin ve ekonomik bir taşıyıcı sistem üretir (Bachmann, 2003). Mimar ve mühendisin iş birliği ile çalışması çeşitli yapısal kusurlarında giderilmesinde önemli rol oynar. Yapılarda meydana gelen hasarlar yapının ilgili standartlara uygun şekilde tasarlanması ve yapı imalatının gerekli şartları sağlaması ile mümkündür. Bunlar;

I. Mimari tasarım yapılırken deprem yönetmeliğinde bulunan düzensizliklerden kaçınmak ve diğer konsrüktif kurallara uymak.

II. Statik-Betonarme hesaplar yapılırken sadece mimari kaygılara kapılmayarak yapının estetiğine en az zarar verecek şekilde yönetmeliklere uygun bir şekilde tasarım yapmak.

III. İmalat sırasında kullanılacak malzemelerin TSE şartlarını sağlamasına dikkat etmek.

IV. Yapı imalatında, özellikle taşıyıcı sistem inşasında kusursuz işçilik sağlamaktır (Şirin, 2006).

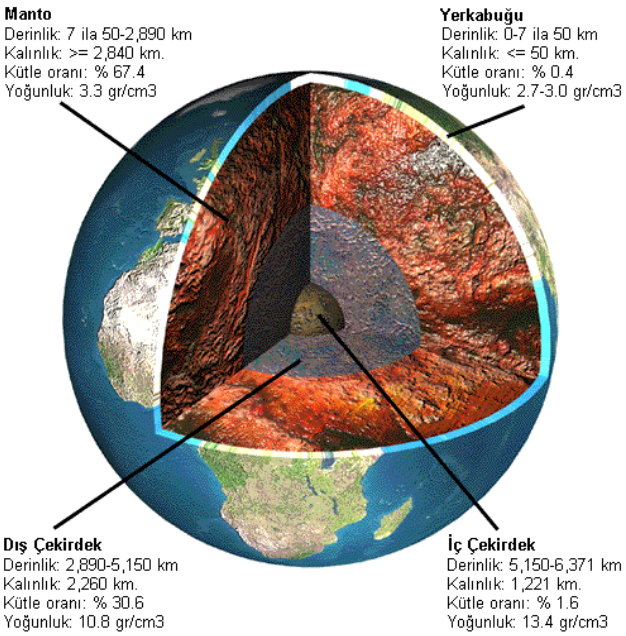
1.1. Deprem

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "deprem" denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır. Depremin nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yerkabuğu içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına sismoloji denir (Anonim, 2012a).

1.1.1. Depremin oluşumu

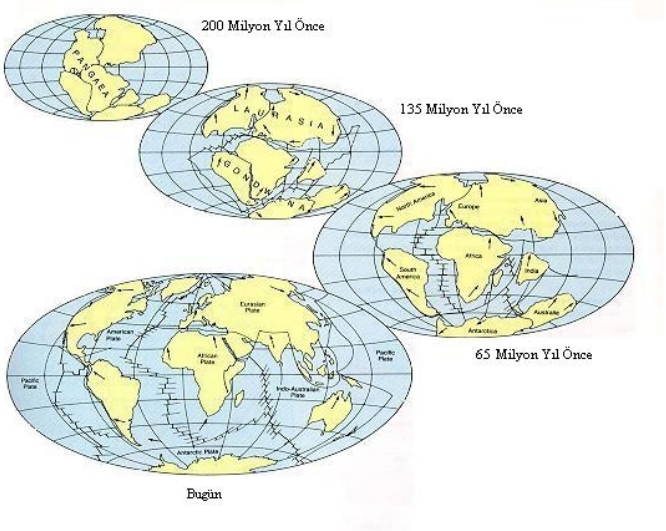
Depremlerin çok büyük bir bölümü, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar kendisini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremlerde ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgaları sönümlenerek uzaklara yayılır (Celep ve Kumbasar, 2004)

Üzerinde yaşadığımız dünyanın iç yapısının bir sonucu olarak depremler oluşmaktadır. Dünyanın kesiti incelenirse en içte kızgın erimiş metallerden oluşan 3600 km kalınlıklı çekirdek bulunur. Bu çekirdeğin üstünde 2900 km kalınlıklı pelte kıvamında manto ve en üstte 60-70 km kalınlıklı taş küre bulunur (Şekil 1.1.).



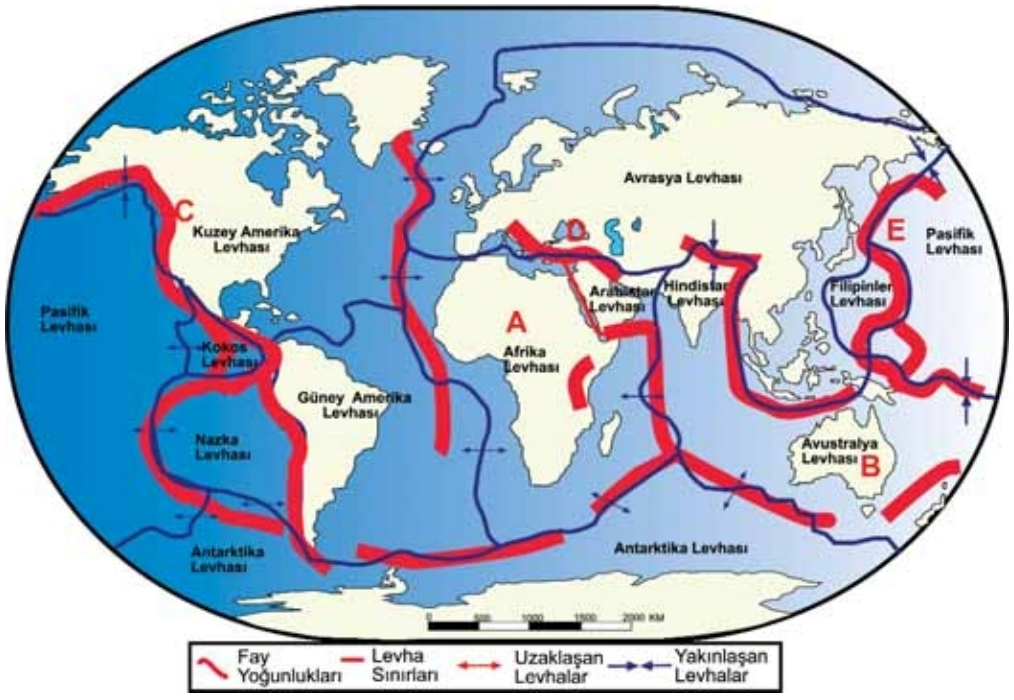
Şekil 1.1. Yerkürenin katmanları (Anonim, 2012b)

Taş küre üzerinde birçok yerinden parçalanmış plakalardan oluşmuştur. Milyonlarca yıl önce bir arada bulunan kıtalar depremler ve yeryüzü hareketleriyle taş küreyi oluşturan levhalar boyunca birbirlerinden zaman içinde ayrılarak bugünkü konumuna gelmiştir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Yeryüzünün 200 milyon yıl öncesinden bugüne kadar olan değişimi (Anonim, 2012b)

Yerin sıcaklığı derinlikle artmakta ve 100 km derinlikte 1000-1500 ^{o}C, 700 km derinlikte 2000 ^{o}C olup bu derinlik depremlerin meydana geldiği derinliktir. Çekirdekte ise bu sıcaklık 4000-4500 ^{o}C'ye çıkmaktadır. Taş kürenin altında "Astenosfer" denilen yumuşak üst manto bulunmaktadır. Bu levhalar, üzerindeki kıtalarla beraber, Astenosfer üzerinde yüzmekte, insanların algılayamayacağı hızla hareket etmektedirler. Burada oluşan kuvvetlerden, ısı akımlarından, taş kabuk parçalanmakta ve bir çok levhaya bölünmektedir. Üst mantoda, radyoaktiviteden oluşan yüksek ısı akımları mevcuttur. Bu akımların yukarıya yükselmesiyle taşkürede, gerilmeler oluşur ve levhaların zayıf kısımları kırılır. Üzerinde yaşadığımız taş kürede kıtalar okyanus tabanları, dağlar, ovalar, vadiler oluşmuştur. Yerkabuğunu oluşturan kayaçlar, basınç altında çeşitli şekilde kırılırlar. Kırılmalarda kayaçlar çeşitli parçalara ayrılır, bu dilimler arasında gelişen yüzeyler boyunca aniden kayarlar. Kayma yüzeylerine fay denilmektedir (Mertol ve Mertol, 2002). Şekil 1.3.' de Dünyadaki başlıca levhalar ve tektonik faylar gösterilmiştir.



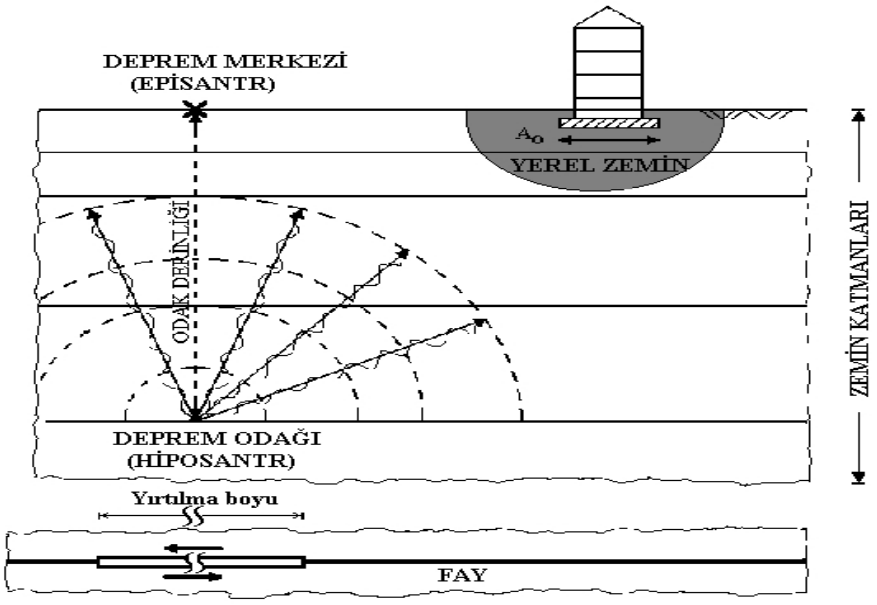
Şekil 1.3. Yeryüzündeki levhalar ve tektonik faylar (Anonim, 2012c)

1.1.2. Deprem türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "tektonik" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "volkanik" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır. Bir başka tip depremler de "çöküntü" depremlerdir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan blokunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır fazla zarar getirmezler (Anonim, 2012a).

1.1.3. Deprem parametreleri

Herhangi bir deprem meydana geldiğinde, bu depremin açıklanabilmesi için “Deprem Parametreleri” adı verilen bazı kavramlardan söz edilmektedir (Şekil 1.4.).

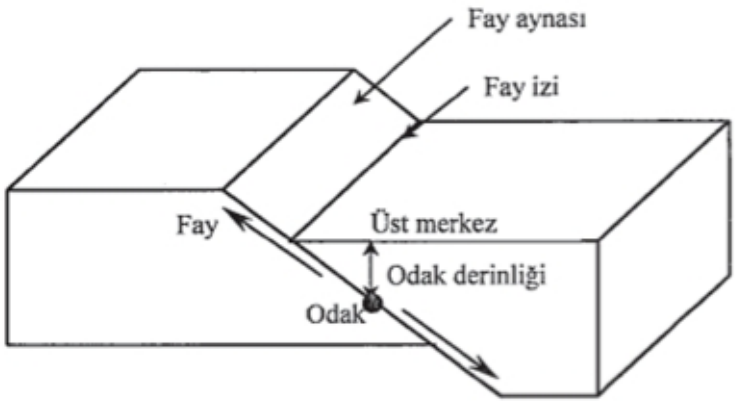


Şekil 1.4. Deprem parametreleri (Kaltakcı, 2010)

Bu kavramları kısaca özetlenmek gerekirse;

1.1.3.1. Odak noktası (Hiposantr)

Merkez odak noktası, yerin içinde deprem enerjisinin çıktığı nokta olup depremin kaynağı olarak adlandırılır. Gerçekte enerjinin ortaya çıktığı yerin bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir (Şekil 1.5.). Depremin odak noktasına uzaklığını bulmak için, sismogramdaki P ve S dalgalarının varış zamanları arasındaki fark kullanılır (Mertol ve Mertol, 2002).



Şekil 1.5. Odak noktası

1.1.3.2. Dış merkez (Episantr)

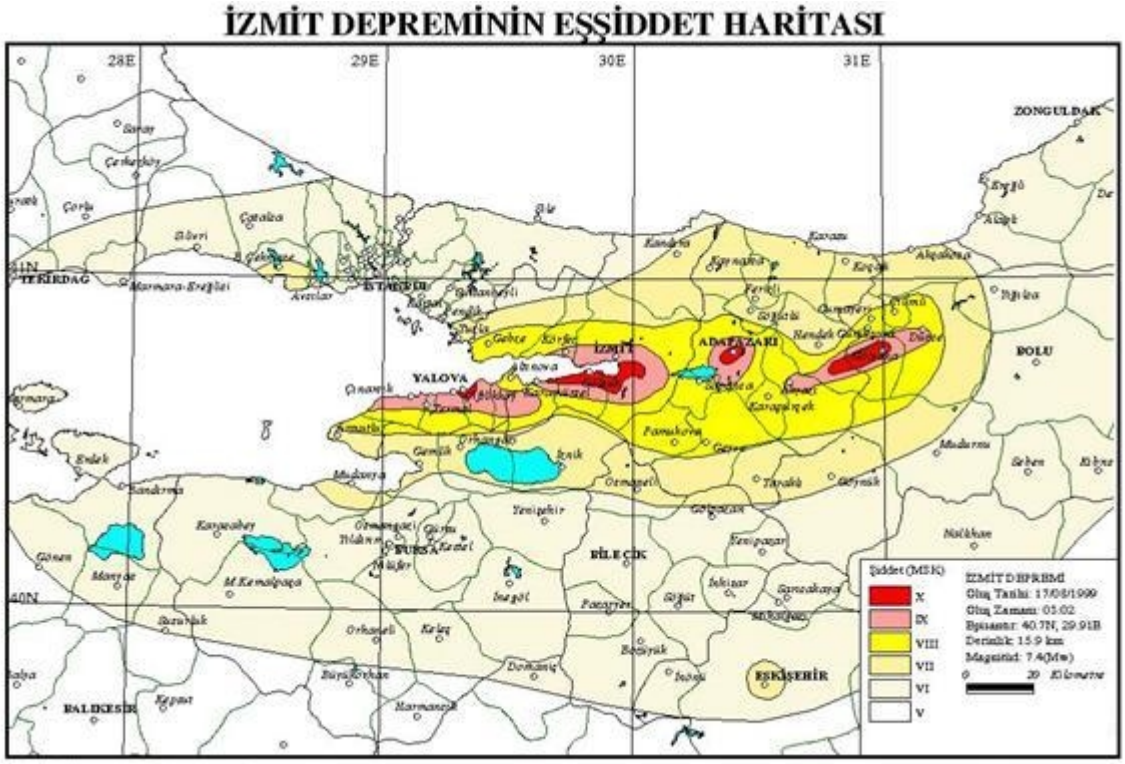
Odak noktasına en yakın olan yer yüzeyindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli hissedildiği noktadır. Aslında bu bir noktadan çok alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir (Kuşan, 2002).

1.1.3.3. Odak derinliği

Depremde enerjinin ortaya çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı odak derinliği olarak adlandırılır. Odak derinliği depremler için aynı zamanda bir sınıflandırma aracı da olmaktadır (Gökçe, 2002). Depremin odak derinliği, depremin şiddetinin en önemli etkenlerinden bir tanesidir. Bu derinlik ortalama olarak 70 km'den az ise sığ, 70-300 km arasında ise orta derinlikte ve 300 km'den fazla ise derin deprem olarak sınıflandırılabilir Yıkıcı depremler çoğu özellikle yüzeye yakın olan depremlerdir. Tablodan da anlaşılacağı gibi Türkiye'deki depremlerin hepsi sığ depremlerdir ve genellikle 10 – 30 km derinlikte meydana gelmektedir.

1.1.3.4. Eşşiddet (İzoseit) eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara "eşşiddet eğrileri" denir. Bu eğrilerin taranmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Şekil 1.6.' da 1999 İzmit depreminin eşşiddet haritası verilmiştir. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır (Kuşan, 2002)



Şekil 1.6. İzmit depremi eşşiddet haritası

1.1.3.5. Depremin şiddeti

Bir depremin şiddeti, yeryüzünün belirli bir noktasında tanımlanır ve bu noktada yaptığı etkinin derecesi ile belirlenir. Bu konuda farklı şiddet tanımları olmakla ve farklı şiddet cetvelleri geliştirmekle beraber, en yaygın olanı Mercalli Şiddet Cetvelidir. Değiştirilmiş biçimi ile kullanılan bu cetvel Çizelge 1.1.'de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi en düşük şiddet I, duyarlı aletlerle kaydedilen depremi; en büyüğü XII, tam yıkıma karşı gelen depremi göstermektedir. Bu şiddet ölçüsü yapıların hasar ve yıkılma düzeyini esas aldığından, depremin mutlak bir ölçüsü olarak alınamaz. Meydana gelen hasar, yapıların dayanım düzeyi ile çok yakından ilişkili olduğu için; aynı deprem, sağlam yapılardan oluşan bir bölgede daha az şiddetli, dayanım düzeyi düşük olan yapılardan oluşan yörede ise daha şiddetli görülebilir.

Çizelge 1.1. Mercalli şiddet cetveli

Şiddet	**Tanım**	**Zemin İvmesi (m/s^2)**
I	Yalnız duyarlı aletler algılar.	~0.01
II	Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kimseler tarafından hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir.	0.02~0.03
III	Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran otomobiller yanından kamyon geçmiş gibi sallanır.	0.03~0.07
IV	Bina içinde çoğunlukla ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kimseler uyanır, kap-kacak, kapı-pencere sallanır.	0.07~0.15
V	Hemen herkes hisseder. Bazı tabakalar, sıvalar, pencereler kırılır, uzun cisimler oynar.	0.15~0.30
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar düşer. Hafif hasarlar olur.	0.30~0.70
VII	Herkes dışarı kaçar. Yapıda sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücüleri de algılar.	0.70~1.50
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılıp dışarı fırlar. Anıtlar, bacalar, duvarlar devrilir. Kum ve çamur fışkırır.	1.50~3.00
IX	Yapılar temelinden ayrılır, çatlar, eğilir. Zemin ve yer altı boruları çatlar.	3.00~7.00
X	Kargir ve çerçeve yapıların çoğu tahrip olur. Zemin çatlar, raylar eğilir. Toprak kaymaları olur.	7.00~15.00
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler tahrip olur. Yer altı boruları kırılır. Toprak kayar. Raylar bükülür.	15.00~30.00
XII	Hemen her şey harabolur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.	30.00~70.00

1.1.3.6. Depremin büyüklüğü (Magnitüd)

Bir depremin büyüklüğü hakkında bilgi verebilecek en iyi ölçü hareket sırasında ortaya çıkan enerji miktarıdır. Ancak bunu ölçmek veya hesaplamak çok güç hatta imkansız olduğu için daha değişik büyüklük tarifleri getirilmiştir. Deprem yer kabuğu içinde yayılan bir dalga hareketi şeklinde görülürse, bu hareketin en büyük genliği bir ölçü olarak kabul edilebilir. Ancak en büyük genlikleri aynı olan değişik frekanstaki dalga hareketlerinin etki ve enerjileri birbirinden farklıdır. Bir deprem hareketi birçok dalganın üst üste binmesi ile ortaya çıkar. Buna rağmen tanımının yapılmasının basitliği bakımında genliğe dayalı büyüklük kabulleri yaygın olarak kullanılır. (Celep ve Kumbasar, 2004).

1930 yıllarında Amerikalı profesör C. Richter tarafından geliştirilmiştir ve kendi adıyla anılarak Richter Magnitüdü terimiyle ifade edilmektedir. Türkiye'de ise "Richter Ölçeği" olarak adlandırılmaktadır. Prof. Richter, deprem dış merkezinden 100 km uzağa ve sert bir zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0,8 sn ve %80 sönümlü olan bir Wood-Anderson Sismografı ile) kaydedilmiş zaman hareketinin mikron cinsinden ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin büyüklüğü (Magnitüd) olarak tanımlamıştır (Gökçe, 2002). ML= log (A/Ao) olarak tanımlanmaktadır. Burda A yukarıda belirtilen Wood-Anderson Sismografındaki en büyük genlik, Ao ise sıfır kabul edilen referans depreminin aynı şekilde ölçülen genliğini göstermektedir. Burada genlik Ao= 0,001 mm olarak kabul edilmiştir (Mertol ve Mertol, 2002).

Bir depremin Richter ölçeğine göre magnitüdünün hesaplanması için bir sismograf kaydının bulunması gerekir. Magnitüd, o depremin sismograf kaydının zaman süresinden ya da kaydın en büyük genliğinden hesaplanır. Bu nedenle de depremin "aletsel büyüklüğü" olarak da tanımlanır.

Magnitüd, depremin sismografın bulunduğu yerden standart olarak 100 km uzakta olduğu kabulü ile hesaplanır. Kayıt alınan nokta depremin merkezinden hiçbir zaman standart olarak alınan 100 km uzakta olmayacağı için alınan kayıttan hesaplanmış magnitüde bir "uzaklık düzeltmesi" uygulanır. Sonuçta ne kadar uzakta kaydedilirse kaydedilsin bir depremin kayıt alınan her istasyonda magnitüdü aynıdır yada hemen hemen aynıdır (Bayülke, 2001). Çizelge 1.2.' de depremin şiddeti ile magnitüdü arasındaki dönüşümleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Şiddet ve magnitüd arasındaki dönüşümler (Aktürk, 2004)

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4,5	5,1	5,6	6,2	6,6	7,3	7,8	8,4

Magnitüd depremin hasar yapma ve hissedilme enerjisi hakkında fikir vermez. Faydaki yırtılma boyu magnitüde bağlıdır. Deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Aynı magnitüdü olan iki depremden sığ olanı daha çok hasara neden olur. Magnitüd deprem büyüklüğünün bir ölçüsü olarak, uzaklığa bağlı olarak genlik azalımı düzeltmesi yapılmış, mikron cinsinden verilen maksimum yer ötelemesinin tabii logaritması olarak tanımlanmıştır. Deprem merkez üssünden uzaklaştıkça maksimum ivme düşer. Aynı büyüklükte ve uzaktaki bir depremde değişik zeminlerde, değişik etkiler meydana getirebilir. Deprem ivmesi yanında, deprem süresi de hasara etki eder.

Göz önüne alından yer ötelemesi periyoduna göre magnitüd çeşitleri:

a) Yerel ve Richter (ML),

b) Cisim Dalgası (Mb),

c) Yüzey Dalgası (Ms)

d) Moment Büyüklüğü (Mw)

e) Sismik Moment (Mo), olarak ana sınıflara ayrılır.

f) Magnitüddeki bir birim artış, yer hareketi genliğinde 10 katı artışa tekabül eder (Mertol ve Mertol, 2002).

1.1.4. Fay çeşitleri

Levha hareketleri, yerkabuğunda farklı yönlerde gelişen gerilmelerin sonucunda oluşmaktadır. Özellikle birbirine yaklaşan levha sınırlarının çevresinde gelişen gerilmeler, yerkabuğunun bir düzlem boyunca kırılmasına yani fay oluşumlarına neden olurlar. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir Büyük sarsıntılara, genellikle bu faylar boyunca meydana gelen yer değiştirmeler neden olmaktadır. Bu sonuçla, fay hatları boyunca uzanan bölgeler deprem riski en yüksek ve en tehlikeli bölgelerdir (Küçük, 2006; Öztürk, 2001)

Fayların boyutları birkaç santimetreden birkaç bin kilometreye kadar değişebildiği gibi atım (iki blok arasında meydana gelen yerdeğiştirme) miktarları da değişken olabilir. Fayların aktif fay olarak tanımlanabilmesi için, iki milyon yıldan daha kısa bir süre içinde bir hareketin gözlenmiş olması gerekmektedir (Aktürk, 2004). Aktif faylarda uzun sürede fay kırığı boyunca şekil değiştirme enerjisinde yığılma olur, yığılmanın kritik değere gelmesi ile kayma, yırtılma, gevşeme meydana gelir. Gevşemeden sonra oluşan enerjiden titreşimler oluşur. Fayda ortak yüzeyde kayma ve kırılmanın büyüklüğü depremin büyüklüğünü belirler.

Fayların isimlendirmesi hareket yönüne göredir. Yatay hareket sonunda meydana gelen faylara "Doğrultu Atımlı Fay" denir. Düşey hareketlerle meydana gelen faylara "Eğim Atımlı Fay" denir (Mertol ve Mertol, 2002).

1.1.4.1. Normal faylanma

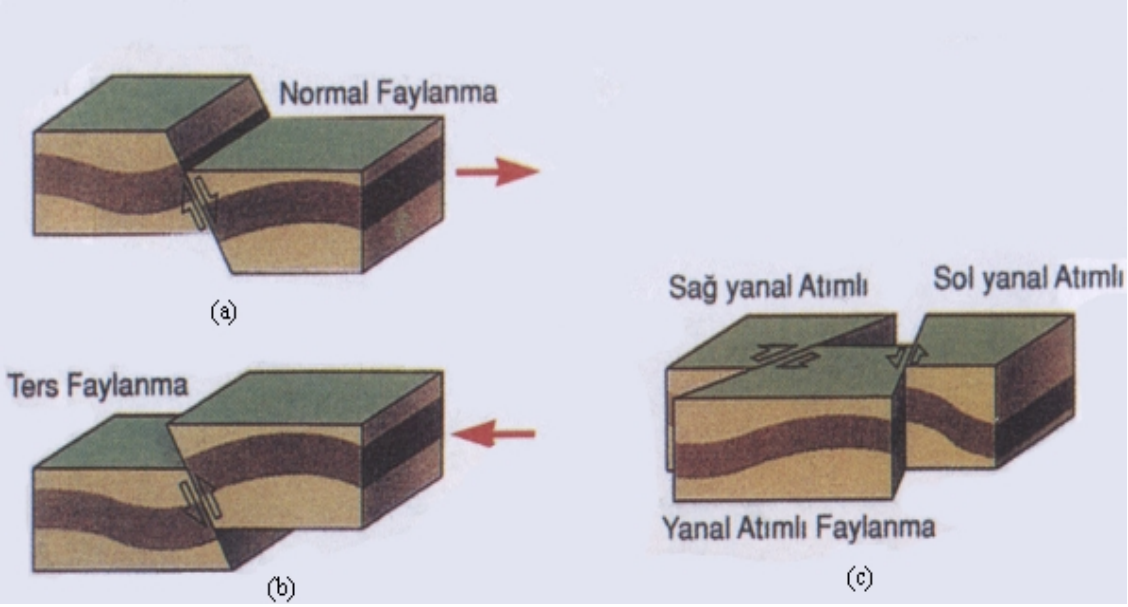
Yatay çekme kuvveti sonucunda bir yüzeyin diğer bir yüzeyden koparak aşağıya düşmesi sonucu oluşan faylanma çeşididir. Aşağıya düşen blokta oluşan hasar üstte kalandan daha fazla olmaktadır (Şekil 1.7.(a)).

1.1.4.2. Ters faylanma

Basınç kuvveti sonucunda normal fay hareketinin tersine, kırılma üstteki bloğu yukarı doğru hareket ettirerek bloğun kopmasına neden olurken alttaki blok sağlam kalır. Toprak kayması üstteki bloğun üzerine doğru olmaktadır (Şekil 1.7.(b)).

1.1.4.3. Yanal atımlı faylanma

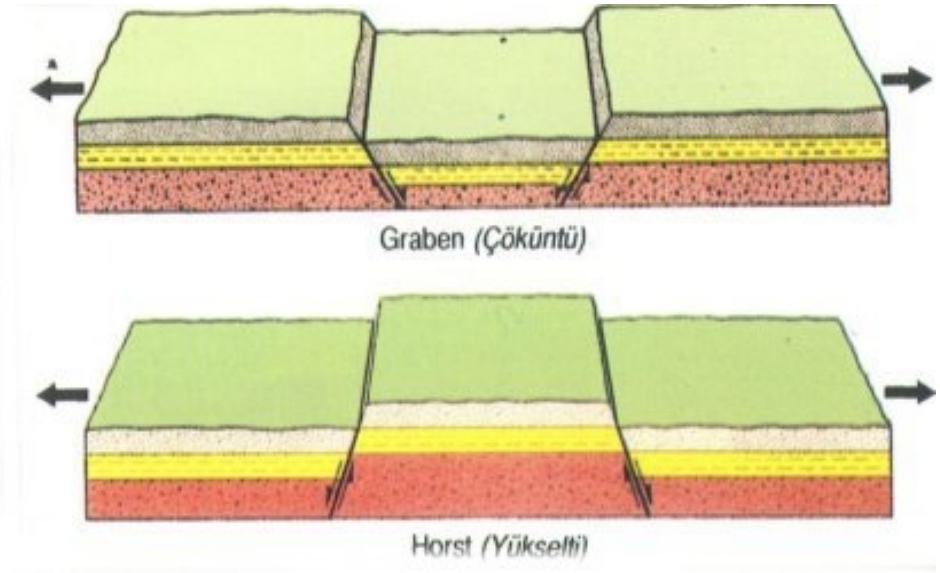
Yanal atımlı fay hareketinde, bloklar birbirlerine göre yatay hareket etmektedir. Yer değiştirme belli bir düzlem üzerinde olmaktadır. Sol yan ve sağ yan atımlı olmak üzere iki türlü hareketle oluşabilir. Şekil 1.7 de görüldüğü gibi plakaların üzerinden bakıldığında yer değiştirme sola doğru ise sol yan atımlı, sağa doğru ise sağ yan atımlı faylanma olarak adlandırılır. Kuzey Anadolu Fayı sağ, Doğu Anadolu Fayı ise sol yönlü atılımlı faylardır (Aktürk, 2004) (Şekil 1.7. (c)).



Şekil 1.7. Normal faylanma, ters faylanma, yanal atımlı faylanma

1.1.4.4. Fay kırığında graben (Çöküntü) ve horst (Yükselti)

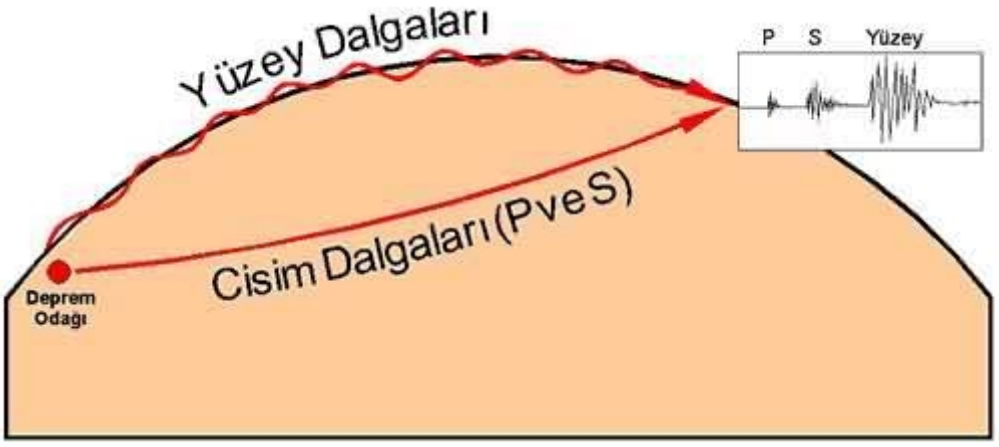
Zemindeki hareketlerin süreksiz olduğu sınır, fay hattıdır. Bu bir düzlem boyunca olan ayrılma, yatay yönde ise yatay fay, düşey yönde ise düşey fay olarak isimlendirilir. Kırılma düzlemine fay düzlemi, bu düzlemin yeryüzüyle kesiştiği noktalara fay çizgisi, kısaca fay adı verilir. Fay düzlemi yerin derinliklerindedir ve yer yüzünde fay çizgisinin görünmesi zordur. Şekil 1.8.' de görüldüğü gibi aktif bir fayda, fayın her iki tarafına zıt yönde kuvvetler tesir eder. İki parça birbirinden ters yönde ayrılır. İki parçanın fay hareketleri düşey ve yatay yönlerde oluşabilir. Normal faylanma arasındaki blok çökerse buna " graben" (çöküntü) denir. İki ayrı normal faylanma arasındaki bir yükselti bloğu kırılırsa buna "horst" (yükselti) denir (Mertol ve Mertol, 2002).



Şekil 1.8. Fay kırığında yükselme- çöküntü

1.1.5. Depremi oluşturan sismik dalgalar

Deprem sırasında, yeryüzü bloklarının (levhaların) ani olarak kayması ile açığa çıkan enerji, ses veya su dalgalarına benzeyen ve "sismik dalgalar" adı verilen dalgalar ile yayılır. Deprem dalgaları; Cisim dalgaları; P dalgaları (Primary), S dalgaları (Secondary) ve Yüzey dalgaları LQ Dalgaları (Love Dalgaları), LR Dalgaları (Rayleigh Dalgaları) olarak ikiye ayrılır. Şekil 1.9.' da Cisim Dalgaları ve Yüzey Dalgaları şematik olarak gösterilmiştir.



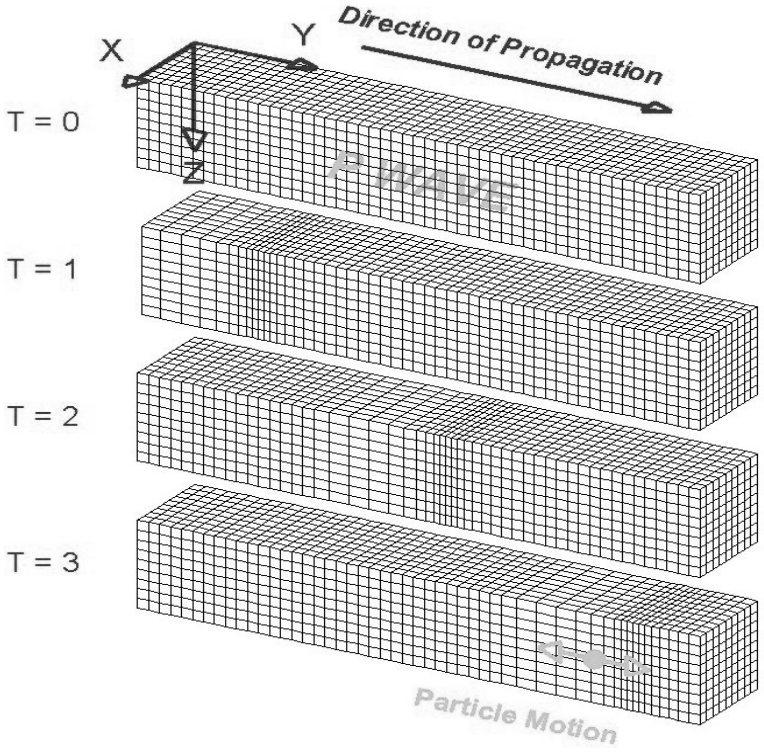
Şekil 1.9. Cisim dalgaları ve yüzey dalgalarının şematik gösterimi

1.1.5.1. Cisim dalgaları

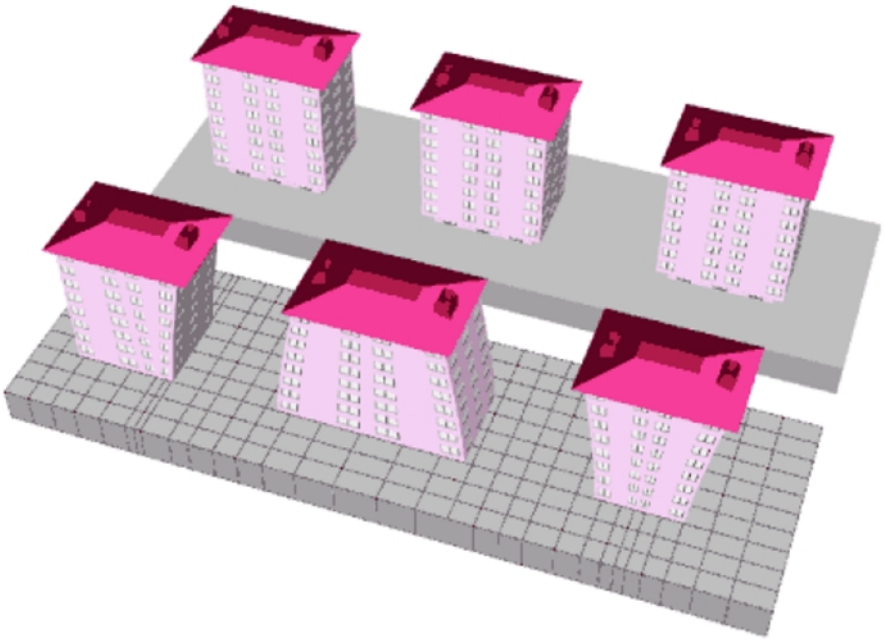
Cisim dalgaları P dalgası ve S dalgası olarak ikiye ayrılır.

1.1.5.1.1. P (Primary) dalgası

P dalgaları, boyuna dalgalardır. Hızları 6 km/sn civarında olup en hızlı dalga özelliği taşımaktadırlar. Dalga yayınımında hacim değişmesi ve şekil değişmesi meydana gelir. Zemin taneleri dalganın yayılma doğrultusunda titreşim yaparlar. Zemin taneleri sıkışıp gevşemektedir. P dalgası ortam zamana bağlı olarak hacimsel değişikliğe uğrarken yayılır. Ana dalga basınç ve çekme dalgası doğrultusunda ve ona dik doğrultuda yer değiştirmeler ve normal gerilmeler oluşur. Boyuna dalga (P), enine dalgalardan (S) daha hızlı yayılır. Bu dalgalar cisim içinde oluşurlar ve bu dalgalara bu yüzden cisim dalgaları denilmektedir (Mertol ve Mertol, 2002). P dalgalarının diğer önemli özelliği de katı kaya kütleleri içinde, sıvılarda ve havada ilerleyebiliyor olmasıdır (Aktürk, 2004). Şekil 1.10.' da P dalgalarının perspektif görünüşü verilmiştir. P dalgalarında, tanecik titreşim hareketi yayılma doğrultusu ile aynı yani paraleldir. Yıkım etkisi düşüktür. Şekil 1.11.' de P dalgalarının bir yapıda oluşturduğu etki gösterilmiştir.



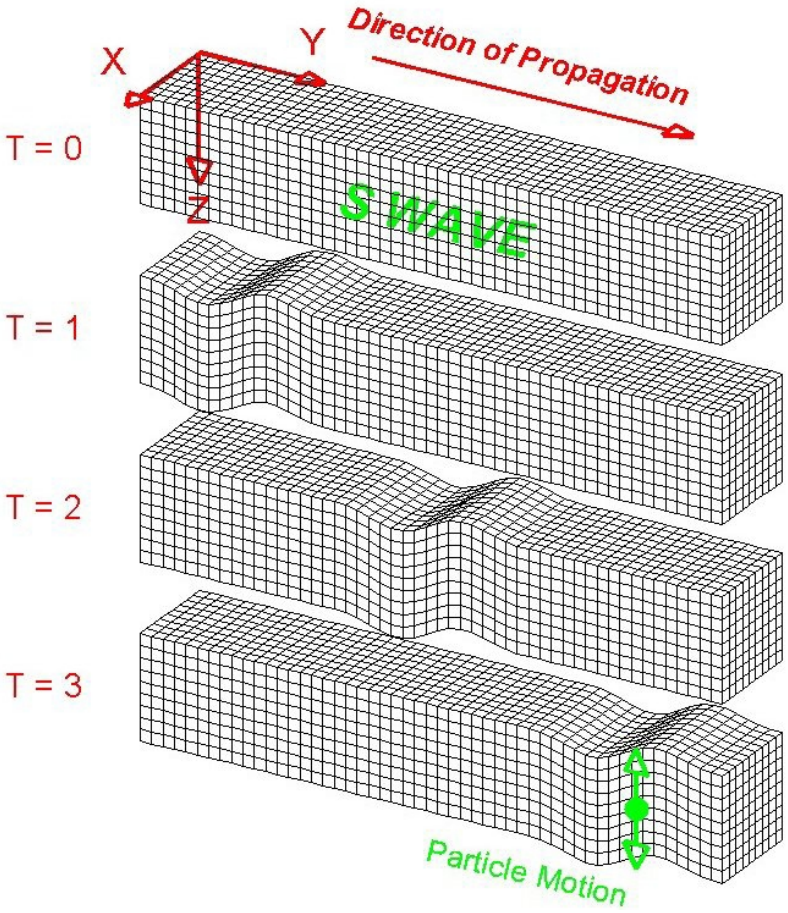
Şekil 1.10. P dalgalarının perspektif görünüşü (İnan, 2010)



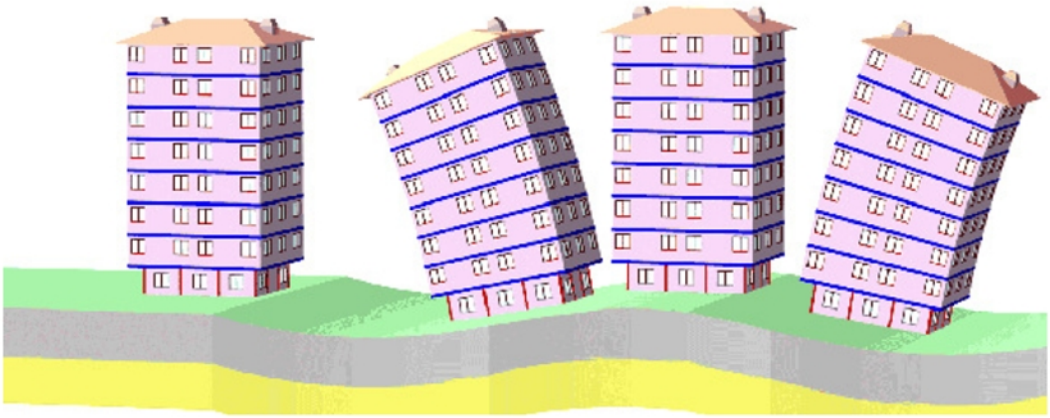
Şekil 1.11. P dalgasının yapı üzerindeki etkisi (Gülmez, 2010)

1.1.5.1.2. S (Secondary) dalgası

S dalgaları İngilizcede ikincil anlamına gelen Secondary kelimesinin baş harfi ile isimlendirilmiş olup ikincil dalga veya kayma dalgası olarak ta isimlendirilir. S dalgaları P dalgalarına göre daha yavaş hareket etmekte olup S dalgalarının hızı saniyede 2-5 km arasındadır. S dalgaları P dalgalarının aksine sadece katı kaya kütlelerinde ilerlemektedir. Bu ilerleme aşağı-yukarı, sağa-sola doğru olabilmektedir. S dalgalarının yıkım etkisi yüksektir. Şekil 1.12.' de S dalgalarının doğrultusu ve perspektif görünüşü verilmiştir. Şekil 1.13.' de P dalgalarının bir yapıda oluşturduğu etki gösterilmiştir.



Şekil 1.12. S dalgalarının perspektif görünüşü (İnan, 2010)



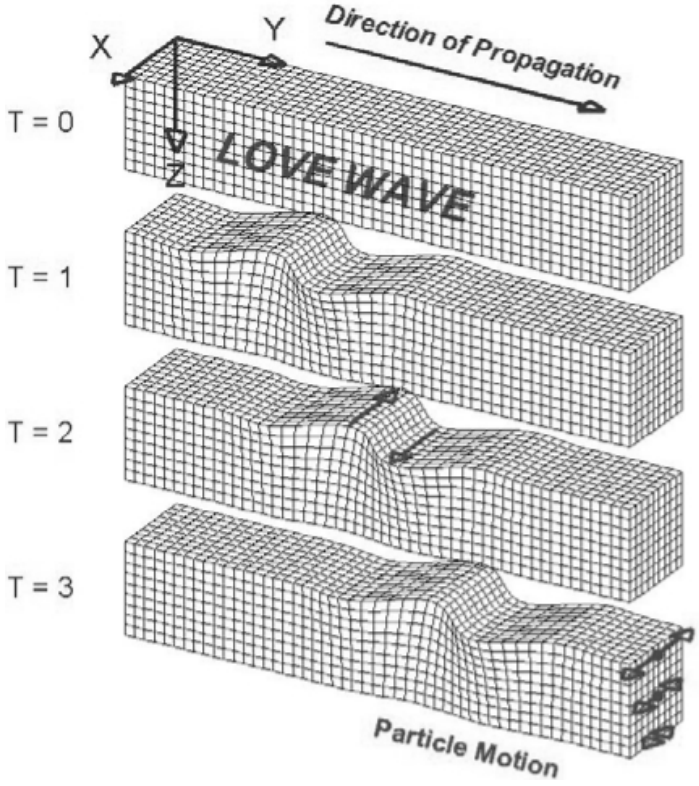
Şekil 1.13. S dalgasının yapı üzerindeki etkisi (Gülmez, 2010)

1.1.5.2. Yüzey dalgaları

Dünya'nın yüzeyi boyunca yayılan, P ve S Dalgaları'ndan sonra kayıtçılara gelen ve depremlerde esas hasarı yapan dalgalardır. S dalgalarının yeryüzündeki yansımaları sonucu oluşurlar. Cisim Dalgaları'na göre daha yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Hızı daha fazla olan Love ve genliği daha büyük olan Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılırlar.

1.1.5.2.1. L:Q (Love) dalgası

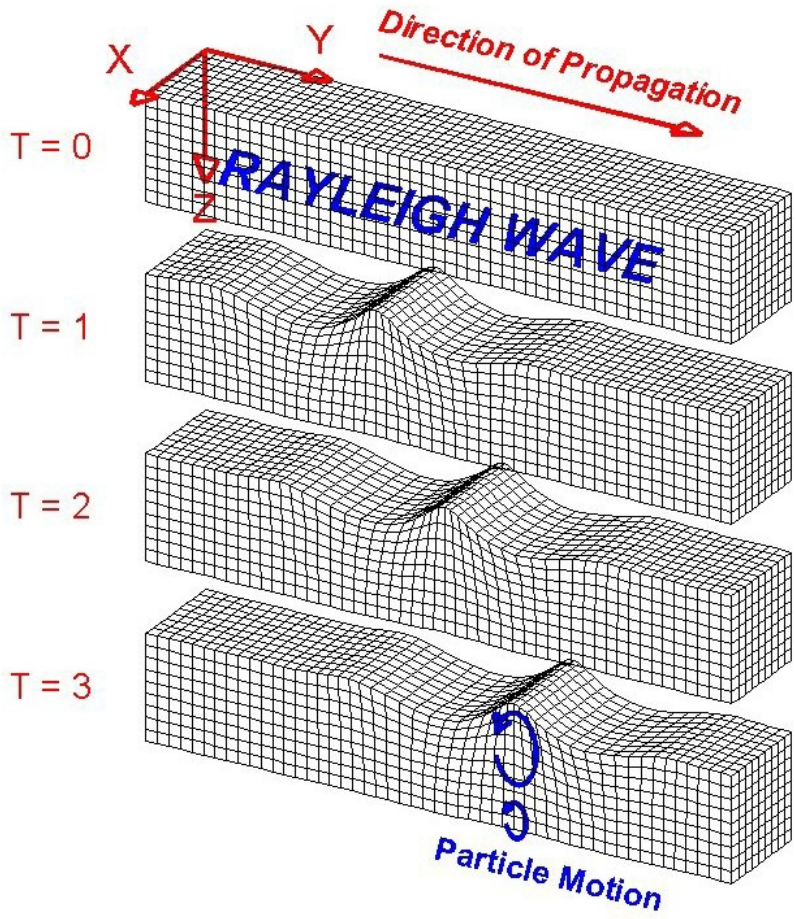
S dalgalarının yeryüzündeki yansımaları sonucu yüzey dalgaları Love ve Rayleigh Dalgaları oluşur. Love dalgaları düşey bileşeni olmayan yalnızca yatay doğrultuda yayılan dalgalardır ve binaların temelinden çıkmasına neden olan ana etkenlerden birisidir (Aktürk, 2004). Love dalgaları S dalgası hızının, üst tabakadakinden büyük olması halinde oluşur. Enine bir dalga olduğundan zemin taneleri yayılma doğrultusuna dik titreşim yapmaktadırlar. Hızları her iki tabladaki S dalgası hızı arasında olup dalga boyuna göre değişmektedir (Mertol ve Mertol, 2002). Love dalgaları Şekil 1.14.' de gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Love dalgalarının doğrultusu ve perspektif görünüşü (İnan, 2010)

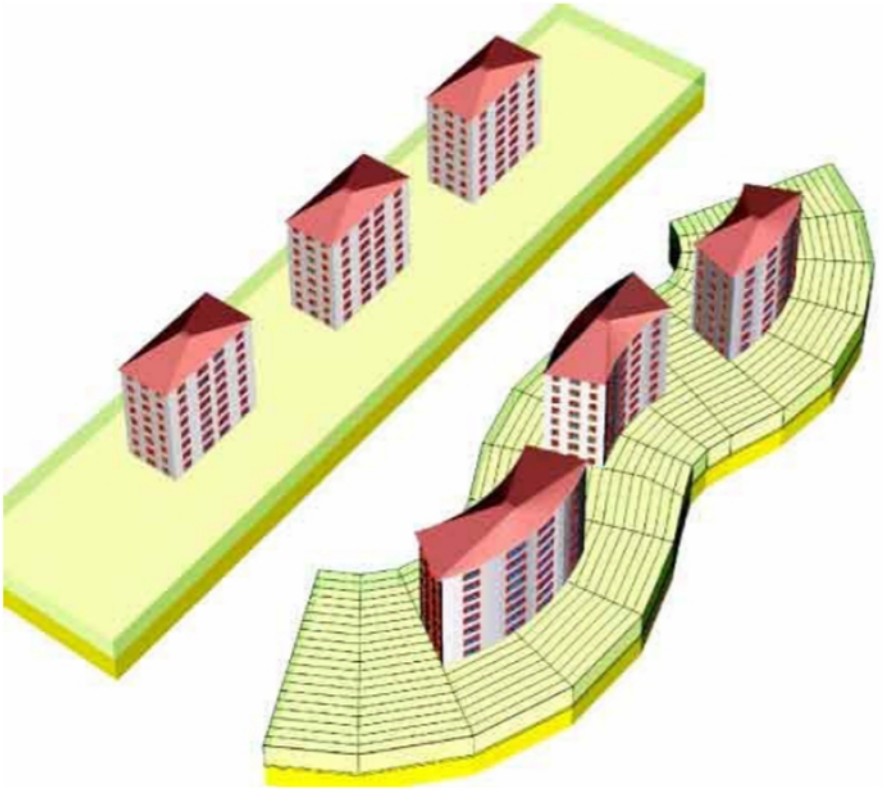
1.1.5.2.2. LR (Rayleigh) dalgası

Bu tür dalgalar deniz dalgalarına benzer, düşey ve yatay doğrultuda karışık salınmalardan meydana gelerek bütün yeryüzü boyunca yayılırlar. Derine doğru etkileri azalır. Bu tür dalgalar oluşurken zemin taneleri yüzeye dik ve harekete paralel bir düzlem içerisinde elips çizerler. Hızları S dalgalarının 0,9 katıdır. Yerdeğiştirmeler ilerleme doğrultusundaki düşey düzlemdedir (Mertol ve Mertol, 2002). Rayleigh dalgaları Şekil 1.15.' de perspektif olarak gösterilmiştir.

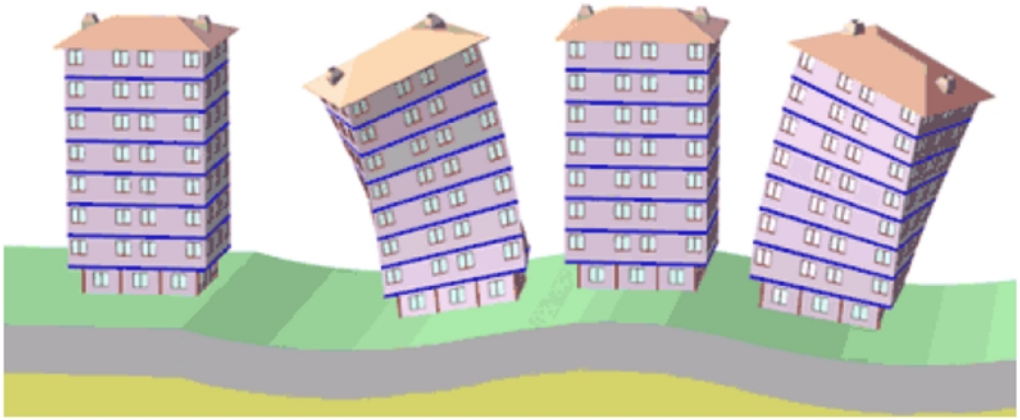


Şekil 1.15. Rayleigh dalgalarının doğrultusu ve şematik olarak gösterimi (İnan, 2010)

Love ve Rayleigh dalgalarının yapı üzerinde oluşturduğu etki Şekil 1.16. da gösterilmiştir. Bu dalgalara ek olarak, ağırlık ve rijitlik merkezlerinin çakışmaması halinde diğer etkilere ilave olarak burulma etkisi oluşur. Burulmanın yapıya oluşturduğu etki Şekil 1.16. ve Şekil 1.17.' de gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Love ve rayleigh dalgalarının yapı üzerindeki etkisi (Gülmez, 2010)



Şekil 1.17. Burulmanın yapı üzerindeki etkisi (Gülmez, 2010)

1.1.6. Türkiye'de deprem

Türkiye'de başta depremler olmak üzere heyelanlar, su baskınları, erozyon, kuraklık, kaya ve çığ düşmeleri başlıca doğal afetlerdir (Anonim, 2012d).

Çizelge 1.3. Türkiye'de doğal afetlerden yıkılmış konut sayısı (JİCA, 2004)

Doğal Afet Türü	Yıkılmış Ünite Sayısı	Toplamın Yüzdesi
Depremler	495.000	76
Heyelanlar	63.000	10
Su Baskınları	61.000	9
Kaya Düşmeleri	26.500	4
Çığ Düşmeleri	5.154	1
TOPLAM	650.654	100

Çizelge 1.3.' de Türkiye'de 20.yüzyılın başından 2004 yılına kadar meydana gelen doğal afetler sonucunda yıkılmış ünite sayısı ve doğal afetlerin yüzdesi verilmiştir. Bu tabloya göre doğal afetler sonucu yıkılan ünite sayısının % 76 gibi büyük bir kısmı depremler sonucu oluşmuştur. Bunun bir sonucu olarak da depremler can kaybı ve ekonomik kayıplar bakımından dünyada doğal afetlerden kaynaklanan en önemli riski oluştururlar. Bu riskin sadece deprem etkinliğinin yüksek olduğu bölgelerde düşünülmemesi gerekir. Çünkü düşük ve orta derece depremselliğin mevcut olduğu bölgelerde de depremler büyük bir risk yaratabilir. Buralarda tehlikenin düşük olduğu düşünülebilir fakat önleyici tedbirlerin bulunmaması hasar görebilme ihtimalini arttırır ve böylece yüksek bir risk ortaya çıkar (Bachmann, 2003). Diğer taraftan depremlerin doğal afetler içerisinde herhangi bir uyarı gözetmeksizin meydana gelmesi, süresi ve etkisinin kestirilememesi ve dinamik bir kuvvet olması açısından kendine has bir özelliğe sahiptir. Daha önce herhangi bir yatay yük etkisi altında bulunmamış olan taşıyıcı sistem kısa bir zamanda önemli bir yatay yük etkisi altına girer. Taşıyıcı sistem kusurları çok kısa sürede ortaya çıkar ve tedbir almak imkânsızdır (Akın, 2006).

Türkiye'de büyük sanayi tesisleri ve barajlar, deprem açısından çok aktif olan bölgeler içerisinde kurulmuştur. 50 yıl içerisinde, %10 ihtimalle aşılacak ortalama pik yer ivmesi esas alınarak hazırlanmış olan, Türkiye'nin resmi Deprem Tehlike Haritasına

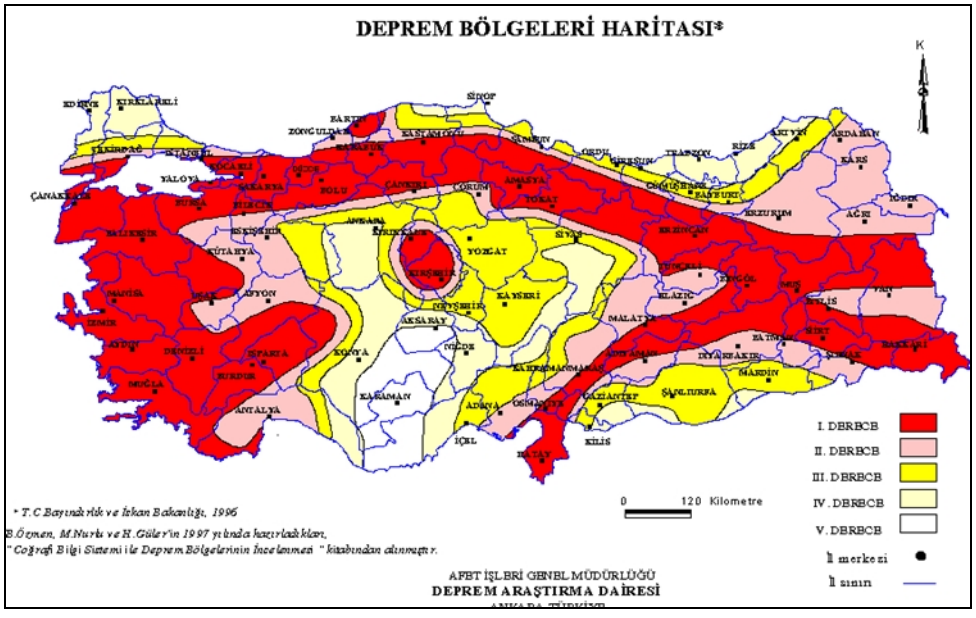
göre, risk altındaki unsurların deprem bölgelerine dağılımları Çizelge 1.4.' de verilmiştir. (Anonim, 2012d).

Çizelge 1.4. Türkiye risk unsurlarının dağılımı (JİCA, 2004)

Deprem Bölgesi	Yüzey Alanı (%)	Nüfus (%)	Endüstri (%)	Barajlar (%)
Bölge 1 (pga >= 0,40 g)	42	45	51	46
Bölge 2 (pga = 0,30 - 0,39 g)	24	26	25	23
Bölge 3 (pga = 0,20 -0,29 g)	18	14	11	14
Bölge 4 (pga = 0,10 -0,19 g)	12	13	11	11
Bölge 5 (pga < 0,10 g)	4	2	2	6
TOPLAM	100	100	100	100

*pga: en büyük yer ivmesi (peak ground acceleration)

Bu verilere göre ülkemizin çok büyük bir bölümü hem nüfus bakımından, hem de ekonomi bakımından büyük bir risk altındadır. Türkiye deprem bölgeleri haritasında da Çizelge 1.4.' de belirtilen bölgeler gösterilmiştir (Şekil 1.18.). Türkiye dünya coğrafyasındaki konumu itibariyle büyük depremler geçirmiştir ve gelecekte de büyük depremlerin olması kaçınılmazdır. Daha önce meydana gelen depremler büyük can kayıpları yaşatmış ve büyük ekonomik zararlar meydana getirmiştir. Çizelge 1.5.' de son 100 yılda Türkiye'de meydana gelmiş 7 büyüklüğünden daha büyük depremler sırasıyla gösterilmiş ve depremin büyüklüğü, şiddeti, depremde oluşan can kaybı, hasarlı bina sayısı ve depremin derinliği verilmiştir.

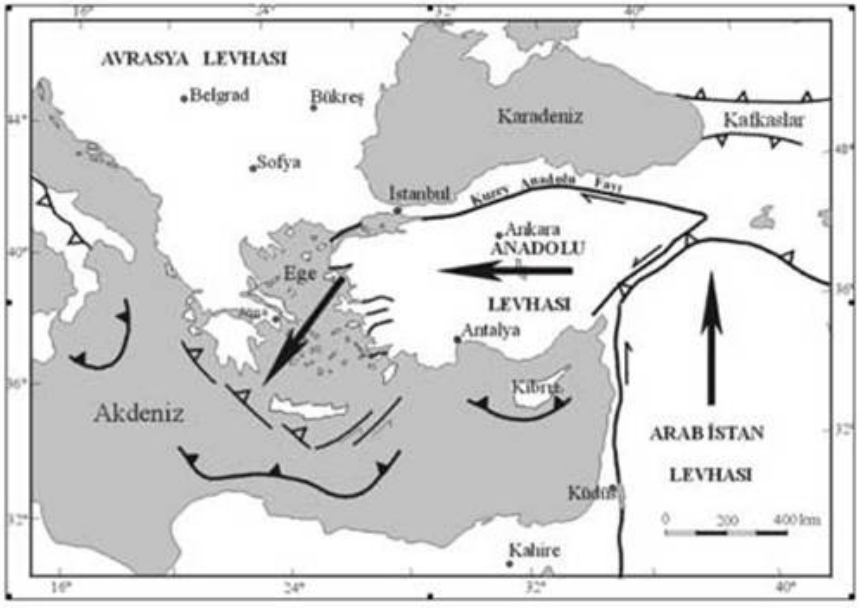


Şekil 1.18. Türkiye deprem bölgeleri haritası (Anonim, 2012e)

Çizelge 1.5. Türkiye'de son 100 yılda meydana gelen MAG MS > 7 olan depremler (Arslan, 2007; Anonim, 2012f)

NO	TARİH	Saat (T.S.)	YER	ŞİDDET	MAG MS	CAN KAYBI	HASARLI BİNA	DERİNLİK (km)
1	09.08.1912	03:29	Mürefte (TEKİRDAĞ)	X	7.3	216	5540	16
2	07.05.1930	00:34	TÜRK –İRAN SINIRI	X	7.2	2514	3000	70
3	27.12.1939	01:57	ERZİNCAN	X-XI	7.9	32968	116720	20
4	20.12.1942	16:03	Erbaa (TOKAT)	IX	7	3000	32000	10
5	27.11.1943	00:20	Ladik (SAMSUN)	IX-X	7.2	4000	40000	10
6	01.02.1944	05:22	Gerede-Çerkeş (BOLU)	IX-X	7.2	3959	20865	10
7	18.03.1953	21:06	Yenice (ÇANAKKALE)	IX	7.2	265	6750	10
8	25.04.1957	04:25	FethiyeRodos(MUĞLA)	IX	7.1	67	3200	80
9	26.05.1957	08:33	Abant (BOLU)	IX	7.1	52	5200	10
10	06.10.1964	16:31	Manyas (BALIKESİR)	IX	7	23	5398	24
11	28.03.1970	23:02	Gediz (KÜTAHYA)	IX	7.2	1086	19291	18
12	24.11.1976	14:22	Muradiye (VAN)	IX	7.5	3840	9232	10
13	17.08.1999	03:01	Gölcük (KOCAELİ)	X	7.8	17480	73342	20
14	12.11.1999	18:57	DÜZCE	IX	7.5	763	35519	11
15	23.10.2011	13:41	Erciş (VAN)	X	7.2	575	72242	10

Türkiye üç farklı levhanın etkisi altındadır. Bunlar; Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarıdır. Anadolu'nun büyük bir bölümü Avrasya Levhasının küçük bir parçası olan Anadolu Levhasıdır. Şekil 1.19.' da bu levhalar harita üzerinde gösterilmiştir.



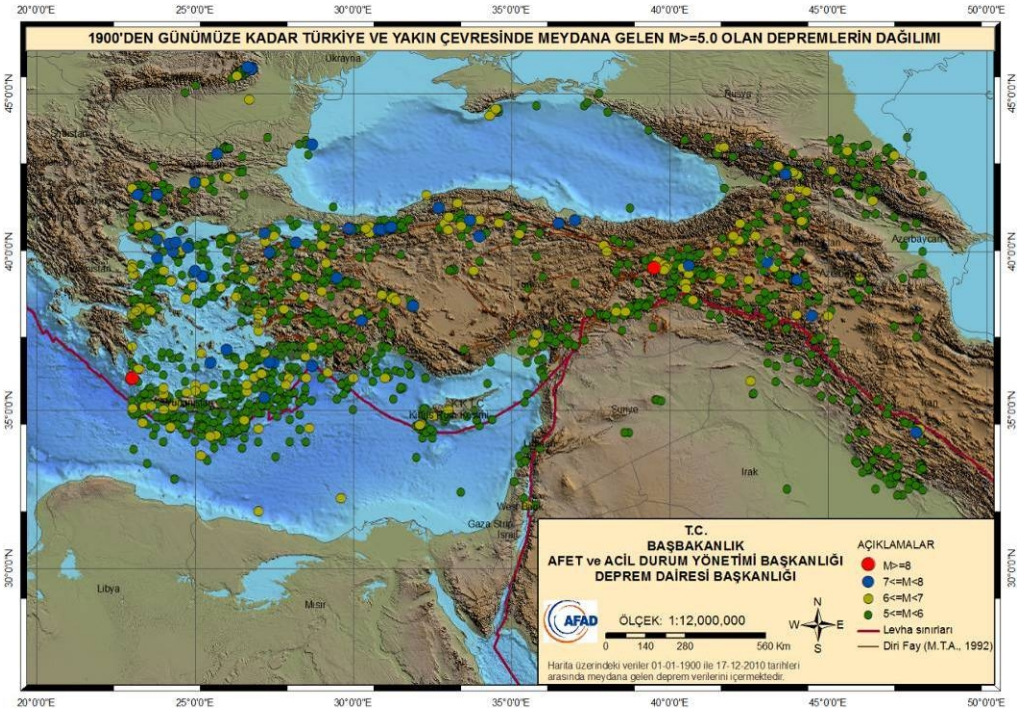
Şekil 1.19. Türkiye'de depremlere neden olan büyük levhalar

Afrika Levhası, Akdeniz'de Helenik- Kıbrıs Yayı denilen bölgede, Avrasya levhasının altına doğru ilerler. Afrika kıtasından kopan Arap Levhası ise 13-15 milyon yıl önce Güneydoğu Toroslar boyunca Avrasya Levhasına çarparak Bitlis Bindirme Zonu'nu oluşturmuştur. Kızıldeniz'deki açılma şimdi de devam ettiği için, Arap Levhası kuzeye doğru hareket ederek, yılda yaklaşık 4 cm olan yaklaşma ile Anadolu Levhasını sıkıştırır (Aktürk, 2004).

Türkiye'de meydana gelen depremlerin çoğu, Suudi Arabistan, Irak ve Suriye'nin bulunduğu Arap Levhasının hareketinden meydana gelmektedir. Avrasya Levhası tarafından hareketi engellenen Arap Levhasının hızı azalmış ve böylece Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatları oluşmuştur. Bu sağ ve sol atımlı faylar boyunca, Anadolu levhası batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareketlerin yanı sıra Afrika Levhası, Avrasya Levhasının altına doğru dalış yaptığı için, levhaları ayıran faylar boyunca sıkışma, kayma, yırtılma yanında dalma ve batma ortaya çıkmakta ve böylece arada sıkışan Ege Çöküntü Bölgesi'nde de çok sayıda deprem meydana gelmektedir. Ege Çöküntü Bölgesi'nde farklı büyüklükte karışık görünüme sahip ve kenarları küçük atımlı faylarla sınırlanan birçok blok bulunmaktadır. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay çizgileri Anadolu'daki iki büyük fay çizgisini oluşturmaktadır (Şekil 1.20.). Özellikle; Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere, Marmara ve Ege Bölgelerinde de pek çok yerel fay çizgilerinin de olduğu tespit edilmiştir (Celep ve Kumbasar, 2004).



Şekil 1.20. Türkiye'deki aktif faylar (Atalay, 1987)



Şekil 1.21. 1900'den günümüze kadar Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen M>=5,0 olan depremlerin dağılımı (Anonim, 2012g)

Şekil 1.21.' de 1900 yılında günümüze kadar meydana gelen M>=5 olan depremlerin dağılımları verilmiştir. Bu harita ile Şekil 1.20' de verilen fay çizgileri karşılaştırıldığında, özellikle Marmara Bölgesi'nden başlayan ve Doğu Anadolu'ya ulaşan Kuzey Anadolu Fay çizgisinin aktif olduğu ve Doğu Anadolu Fay çizgisinin üzerinde bazı depremlerin meydana geldiği görülmektedir. Özellikle bu fay hatlarının birleşim noktası olan Erzincan'da tarih boyunca birçok büyük deprem meydana geldiği ve bu şehrin birkaç kez tamamen yerle bir olduğu bilinmektedir.

Ülkemizin çok büyük bir bölümü deprem bölgesinde olduğundan her zaman bir deprem riski ile karşı karşıya kalmaktayız. Deprem riski altında olan sadece nüfus değil, ekonomik, sosyal ve kültürel varlıklarımızda bu risk altındadır. Bu sebeple yönetmeliklerin öngördüğü şekilde, depreme dayanıklı yapı tasarımı ülkemizin gelişimindeki en büyük etkenlerden biri olacaktır.

1.2. Yapılarda Görülen Kusurlar ve Hasar Çeşitleri

1.2.1. Düzensizlikler

Yapısal düzensizlikler yapının taşıyıcı sisteminin zorlanmasına ve yapıda istenmeyen gerilme deformasyonlarına neden olmaktadır. Yapı planında olabildiğince basit, düzenli, simetrik geometriler tercih edilmelidir. Düzensizlikler; "Planda Düzensizlik Durumları (A Türü Düzensizlikler)" ve "Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları (B Türü Düzensizlikler)" olmak üzere ikiye ayrılır.

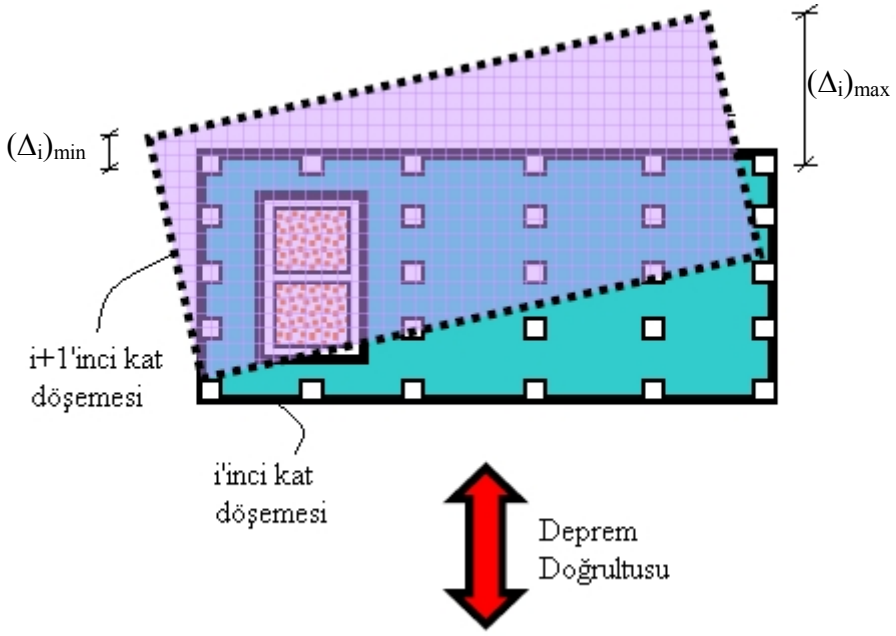
1.2.1.1. Planda düzensizlik durumları (A türü düzensizlikler)

Planda Düzensizlik Durumları kendi arasında üçe ayrılmaktadır.

1.2.1.1.1. Burulma düzensizliği (A1 türü düzensizlik)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden "Burulma Düzensizliği Katsayısı" ηbi'nin 1,2'den büyük olması durumudur (TDY, 2007) (Şekil 1.22.).

$$[\eta bi = (\Delta i)max / (\Delta i)ort > 1,2] \quad (1.1)$$



Şekil 1.22. Burulma düzensizliği durumu (Anonymous, 2012)

Deprem sırasında döşeme üzerindeki yatay deprem enerjisinin büyük bölümü perdeler tarafından taşınacaktır. Kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmadığı durumlarda yapı ağırlık merkezinde oluşacak deprem yükü, yapıyı merkezi etrafında döndürecek bir burulma momenti yaratacaktır. Bu sebeple perdelerin planda simetrik düzenlenmesi ile rijitlik merkezinin planda simetri merkezine yaklaşması sağlanarak yapılarda burulma etkileri azaltılabilir (Konak, 2002; Hünük, 2006). Kolonlar rijitlik merkezinden uzaklaştıkça yatay yer değiştirme artacak ve en uçtaki kolondan itibaren göçmeler meydana gelecektir (Aktürk, 2004).

Burulma düzensizliği sadece perdelerin yerleşimi ile ilgili bir problem değildir. Şekil 1.23.' de gösterilen bir yapıda olduğu gibi bir tarafı asma kat olan ve zemin katının bir tarafı boşta olan durumlarda da burulma düzensizliği meydana gelebilmektedir.



Şekil 1.23. 2 katlı bir yapıda asma kattan dolayı oluşan burulma durumu (Anonymous, 2012)

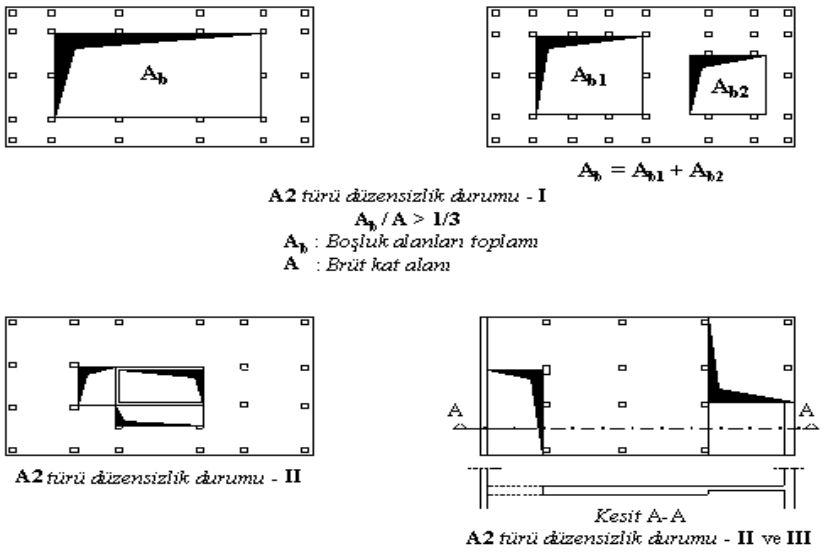
1.2.1.1.2. Döşeme süreksizlikleri (A2 türü düzensizlik)

Herhangi bir kattaki döşemede;

I. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

II. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III. Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur (Şekil 1.24.) (TDY, 2007).

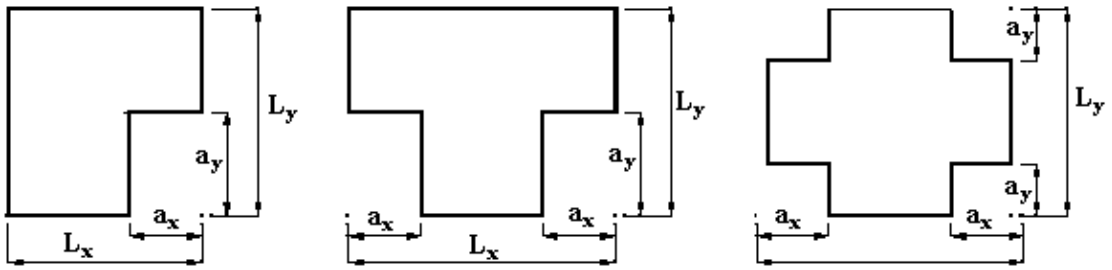


Şekil 1.24. Döşeme süreksizlikleri (TDY, 2007)

Deprem kuvvetinin yapıda kütlenin yoğun olarak bulunduğu döşemelerde meydana geldiğinden dolayı, bu yüklerin döşemelere mesnetlik yapan kiriş, kolon, perde gibi taşıyıcı elemanlara iletilmesi gerekmektedir. Döşemelerde bulunan boşluklar ile bu yükler bazı taşıyıcı elemanlara iletilemeyecek ve diğer taşıyıcı elemanlara daha fazla yük gelecektir. Bunun yanında döşemenin kalınlığında ani sayılabilecek değişikliklerde deprem kuvvetinin iletilmesinde gerilme yığılmalarına sebep olabilmektedir.

1.2.1.1.3. Planda çıkıntılar bulunması (A3 türü düzensizlik)

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur (TDY, 2007) (Şekil 1.25.).



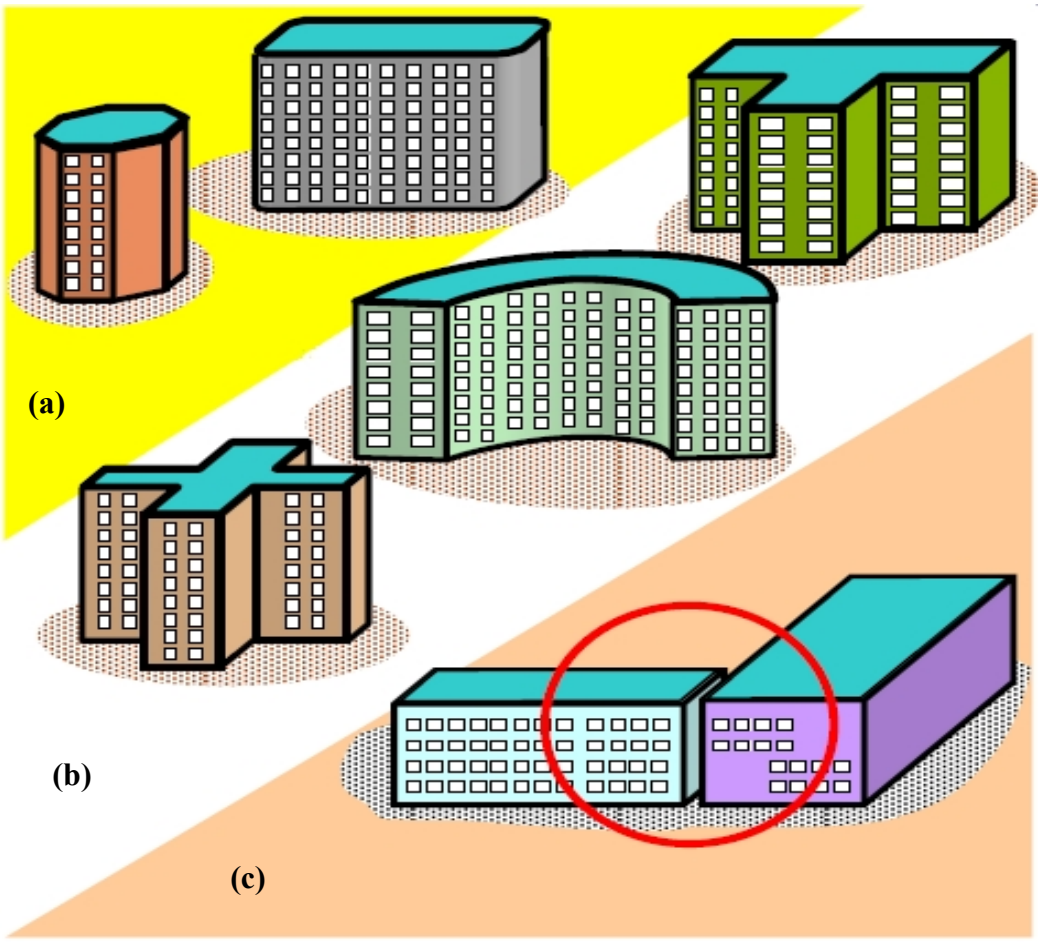
A3 *türü düzensizlik durumu:*
$a_x > 0.2\,L_x$ *ve aynı zamanda* $a_y > 0.2\,L_y$

Şekil 1.25. Planda çıkıntılar bulunması (TDY, 2007)

Asimetrik plana sahip binalarda burulma ve gerilme yığılması nedeniyle yapıların salınımından kaynaklanan enerji yutma kapasitesi düşüktür. Öte yandan, genelde basit biçimler, karmaşık planlı strüktülerin tasarlanması ve gerçekleştirilmesinden daha kolay olan, basit detaylara imkan tanırlar (Zacek, 2002; Aktürk, 2004).

Asimetrik yapılar simetrik yapılardan daha göze hoş gelebilmektedir. Asimetrik yapıların uygulanmasının zorunlu olduğu hallerde Şekil 1.25.'teki gibi yapı derzlerle birbirinde ayrılabilir. Böylelikle dıştan asimetrik olarak görünen yapı, aslında simetrik

olarak inşa edilmiş olmaktadır. Şekil 1.25. (a)'da simetrik ve depreme karşı güçlü yapılar gösterilmekte, (b)'de asimetrik ve depreme karşı güçsüz yapılar gösterilmektedir. (b)'deki yapıların eğri ve köşe kısımlarında gerilme yığılmaları oluşmakta ve yapı aynı zamanda burulmaya da maruz kalmaktadır. (c)'de ise asimetrik olan yapı köşe kısmından derzlerle birbirinden ayrılarak, iki simetrik yapı haline gelmiş ve herhangi bir gerilme yığılması olmadan deprem güvenliği sağlanmış olmaktadır.



Şekil 1.25. Planda çıkıntılar bulunması ve iyileştirme

1.2.1.2. Düşey doğrultuda düzensizlik durumları (B türü düzensizlikler)

Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları kendi arasında üçe ayrılmaktadır.

1.2.1.2.1. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf Kat) (B1 türü düzensizlik)

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanı olarak tanımlanan "Dayanım Düzensizliği Katsayısı" ηci'nin 0,8 den küçük olması durumu olarak tanımlanır (TDY, 2007).

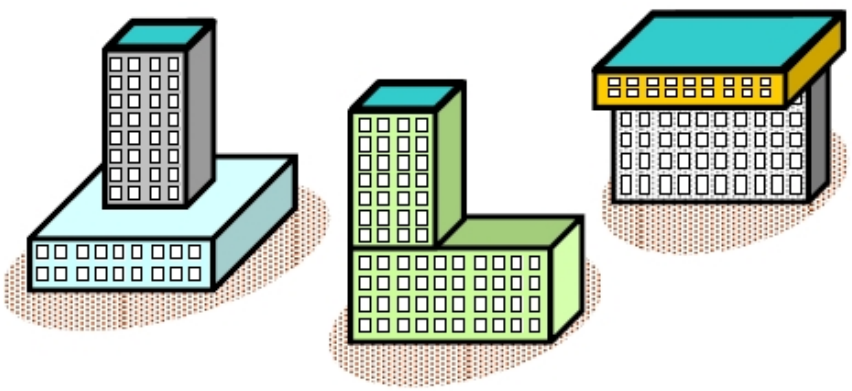
$$[\eta ci = (\sum Ae)i / (\sum Ae)i+1 < 0,80] \quad (1.2)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\sum Ae = \sum Aw + \sum Ag + 0,15 \sum Ak \quad (1.3)$$

Burada "Aw" göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon en kesitli etkili gövde alanı, "Ag" göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda çalışan perdelerin en kesit alanı, "Ak" göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda kagir dolgu duvarları alanlarıdır. Yapılarda depremden doğan kolon ve perde kesme kuvvetleri ve momentleri üst katlara doğru azalır. Buna uygun olarak, bina yüksekliği boyunca kolon ve perde kapasitelerinin yukarıya doğru azalarak değişimi beklenir. Bu suretle taşınması gerekli etki ile taşınabilecek etki arasında uygun bir değişim oluşturulur ve oluşabilecek bir deprem hasarının dengeli bir biçimde dağılmasını sağlar. Katların yatay kuvvet taşıma kapasitesine kagir duvarlar da etkili olur. Birbirini takip eden iki katta düşey kolon ve perde kesitlerinde önemli değişiklik olmamasına rağmen, alt katta kagir duvarların bulunmaması, bu katın taşıma kapasitesini azaltır ve deprem hasarının bu katta yoğunlaşmasına sebep olur (Celep ve Kumbasar, 2002).

Bir binanın yüksekliği boyunca kat planı alanının değiştiği durumlarda bu tür bir düzensizlik durumu meydana gelebilir. Özellikle deprem sırasında diğer katlarla uyum sağlamayan katlar aynı frekansta salınmayacaktır. Bu sebeple kesit değişiminin olduğu katta büyük gerilme yığılması oluşmaktadır (Şekil 1.26.).



Şekil 1.26. Kat planı alanının değişiminden kaynaklanan zayıf kat düzensizliği (Anonymous, 2012)

1.2.1.2.2. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat) (B2 türü düzensizlik)

Birbirine dik dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısını ηki'nin 2,0'den fazla olması durumudur (TDY, 2007).

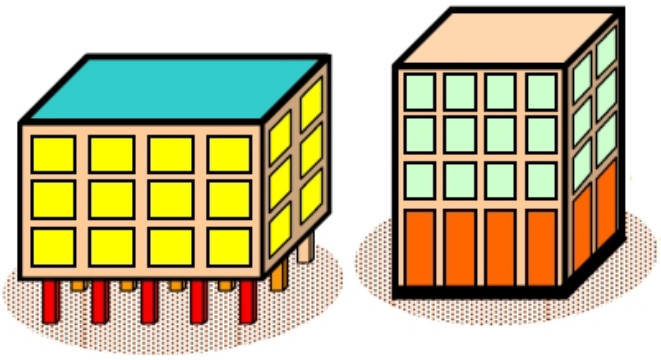
$$[\eta ki = (\Delta i / hi)ort / (\Delta i+1 / hi+1)ort > 2,0] \quad (1.4)$$

veya

$$[\eta ki = (\Delta i / hi)ort / (\Delta i-1 / hi-1)ort > 2,0] \quad (1.5)$$

Yapılarda mimari sebeplerden dolayı bir katın yüksekliği, diğer katlardan yüksek olabilir. Özellikle zemin katları işyeri olarak kullanılan binaların zemin katındaki kolon ve perde yükseklikleri diğer katlardan fazla olmaktadır. Üst katların kolon kesitiyle alt katların kolon kesiti aynıdır. Bu durumda zemin katın rijitliği üst katlardan daha az olacak ve yumuşak kat oluşumuna sebep olacaktır. Yumuşak kat sadece kolon yüksekliği ile oluşmaz, bazen kat yükseklikleri aynı olsa bile üst katlarda yoğun olarak kullanılan, statik hesaba katılmayan dolgu duvarlar üst katların rijitliğini arttırır. Zemin katların, ticari amaçlarla kullanılma endişesi ile çok fazla dolgu duvar

bulunmaması ve hafif malzemelerle bölünmesi nedeni ile rijitliği daha düşüktür ve böylece yumuşak kat davranışı gösterebilirler (Aktürk, 2004) (Şekil 1.27.).



Şekil 1.27. Yumuşak kat oluşumu (Anonymous, 2012)

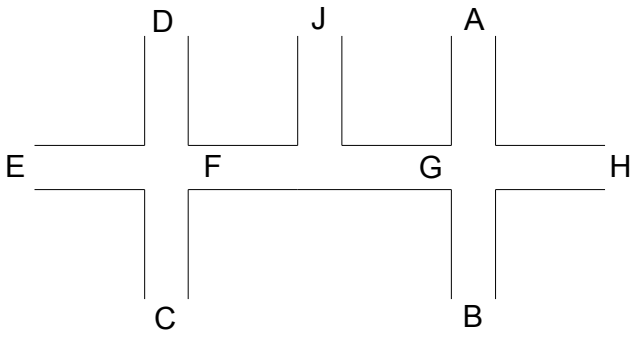
1.2.1.2.3. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3 türü düzensizlik)

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur.

a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 1.29a).

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır (Şekil 1.29b).

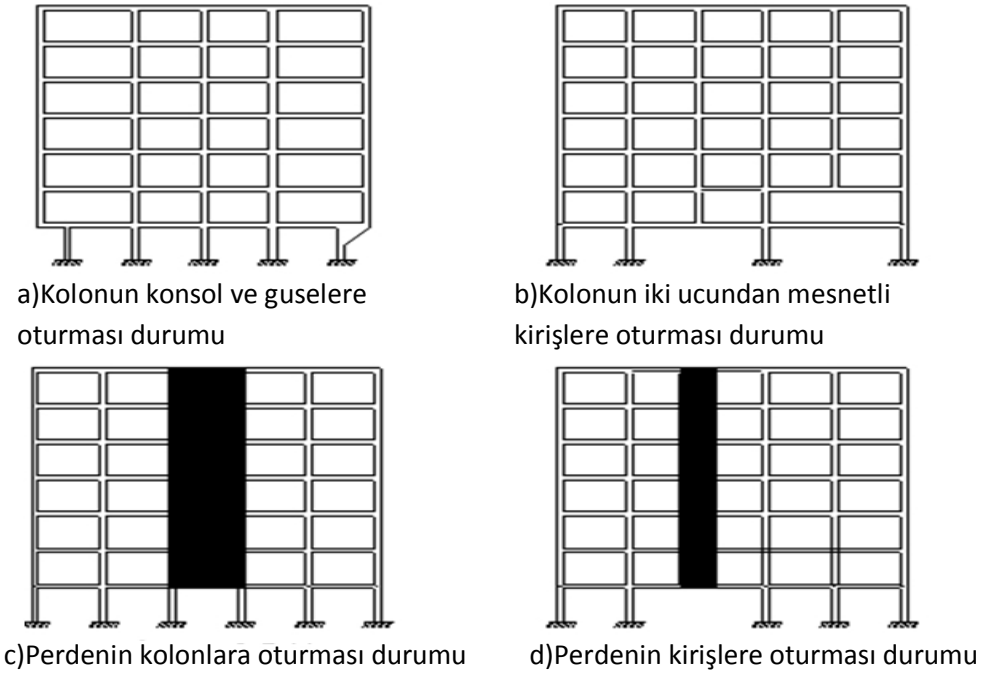
Şekil 1.28.' de görüldüğü gibi "J" kolonu "F" ve "G" kirişlerinin üzerine oturmaktadır. Bu durumda TDY2007'ye göre "A", "B", "C", "D" kolonları ve "E", "F", "G", "H" kirişlerinin statik hesap sonucu bulunan kesit zorlamaları % 50 artırılmalıdır.



Şekil 1.28. Kolonun iki ucu mesnetli kirişe oturması durumu

c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 1.29c).

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (TDY, 2007) (Şekil 1.29d).



Şekil 1.29. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

1.2.2. Betonarme yapılarda deprem hasarları

Betonarme yapılarda deprem sırasında oluşan hasarların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

1.2.2.1. Mimari tasarım hataları

Betonarme yapılarda deprem sırasında meydana gelen hasarların büyük bir bölümü mimari tasarım hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple mimar ile inşaat mühendisi arasındaki işbirliği hayati öneme sahiptir. Bu işbirliği sağlanmadığı takdirde onarılması çok zor olan yapı hasarları meydana gelebilmekte ve önemli bir ekonomik kayıp söz konusu olabilmektedir.

1.2.2.2. Zemin sıvılaşması

Deprem titreşimine maruz, özel kompozisyona sahip zeminlerde, "sıvılaşma" olarak tanımlanan bir olay ortaya çıkabilir. Sıvılaşma genellikle, suya doygun ve dane büyüklükleri birbirine yakın zeminlerde oluşur. Deprem titreşimlerine maruz zemin içinde, hücre su basıncı artar ve daneler arası sürtünme kaybolur ve böylece zemin dayanımı çok azalır. Sıvılaşma sonucunda, zeminin taşıma gücü kaybolarak yapı ağırlığını taşıyamaz duruma gelir. Devrilme momenti etkisiyle, zemin veya yapıdaki simetri bozukluklarının etkisiyle, yapı bir rijit kütle olarak devrilebilir (Atımtay, 2009). Bu sebeple zemin özelliklerinin iyi incelenmesi gerekmektedir (Şekil 1.30.).



Şekil 1.30. Zemin sıvılaşması (Anonim, 2012h; 2012ı)

1.2.2.3. Binalar arası derzlerin yetersizliği (çekiçleme etkisi)

Birbirlerine bitişik olarak inşa edilen, fakat aralarında yeteri kadar deprem derzi bulunmayan yapılar, deprem sırasında birbirlerine çarparak hasar görebilirler (Arslan, 2007). Bu sebeple bitişik yapılan yapılar yeteri kadar deprem derzleriyle birbirlerinden ayrılmalıdırlar (Şekil 1.31.).



Şekil 1.31. Çekiçleme etkisi (Anonim, 2012i)

TDY2007'de belirtildiği gibi bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir. Ayrıca bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenecektir. Bu şartlara göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Gözönüne alınacak kat yerdeğiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış d_i yerdeğiştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.

- Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha = R / 4$ alınacaktır.
- Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = R / 2$ alınacaktır.

Yukarıda belirtilen şartlara rağmen arsaya sığacak maksimum alanı müteahhitlerin kullanmak istemesi gibi sebeplerden dolayı derz boşlukları olması gerektiğinden az bırakılmaktadır. Bunun sonucu olarak da depremlerde çekiçleme etkisiyle yapılar hasar görmektedir.

1.2.2.4. Yumuşak kat oluşumu

1.2.1.2.2.'de belirtilen "Yumuşak Kat" oluşumu genellikle zemin katlardaki rijitlik azalması sebebiyle meydana gelmektedir. Kolonların alt ve üst uçlarındaki plastik şekil değiştirmeler, kolon uçlarında büyük bir elastik sınır ötesi şekil değiştirme birikimiyle beraber, tehlikeli bir yatay ötelenme mekanizmasına yol açar ve çökme çoğu zaman kaçınılmazdır (Şekil 1.32.).



Şekil 1.32 Yumuşak kat oluşumu (Anonim, 2012j)

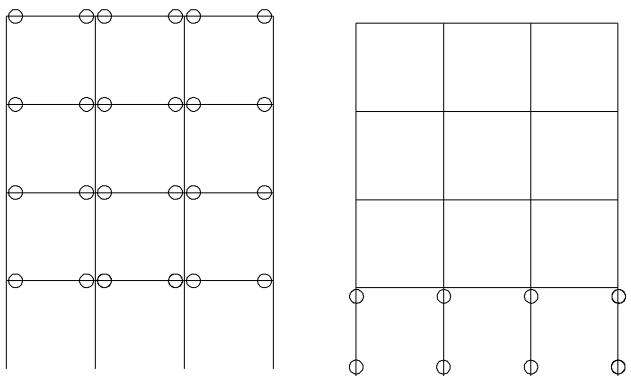
1.2.2.5. Zayıf kat oluşumu

1.2.1.2.1.'de belirtilen zayıf kat oluşumu, iki komşu kat arasındaki etkili kesme alanına bağlı olarak yapılarda hasarlara sebep olabilmektedir (Şekil 1.33).



Şekil 1.33. Zayıf kat oluşumu (Şirin, 2006)

Şekil 1.34.' de kirişlerde ve kolonlarda mafsal oluşumu ile göçme durumu verilmiştir. Şekil 1.34.(a)'da kirişlerin mafsallaşması ile oluşabilecek göçme durumunda sistemde çok fazla mafsal oluştuğundan, sistem çok fazla enerji tüketerek göçecektir. Şekil 1.34.(b)'de ise sistemde çok az mafsal oluştuğundan, enerji tüketilemez ve ani göçmelere sebep olur. Alt kat kolon uçları mafsallaşan bir yapı üst katlarda hiçbir hasar oluşmadan göçebilmektedir. Bu bakımdan zayıf kat ve yumuşak kat oluşumunun engellenmesi son derece önemlidir.



Şekil 1.34. (a) kirişlerde mafsal oluşumu ile göçme, (b) kolonlarda mafsal oluşumu ile göçme

1.2.2.6. Burulma etkisi

Planda asimetrik taşıyıcı perde duvar yerleştirilmesi depremlerde yapıların yıkılmasının sık karşılaşılan bir nedenidir. Eğer planda dayanım merkezi ile kütle merkezi çakışmazsa eksantrisite ve burulma meydana gelir. Bina yatay bir düzlemde rijitlik merkezi çevresinde burulur. Bu burulma özellikle rijitlik merkezinden en uzaktaki kolonların alt ve üst uçlarında önemli miktarda ötelenme farkları oluşturarak bu kolonların kırılmasına sebep olabilir (Bachmann, 2003) (Şekil 1.35.).



Şekil 1.35. Burulma etkisi (Anonim, 2012k)

1.2.2.7. Kısa kolon oluşumu

Kolon yüksekliklerinin çeşitli nedenlerle kısalma etkisine uğraması sonucu oluşan bir tür kesme hasarıdır. Taşıyıcı olmayan elemanların, kolonların yatay deformasyon yapmasını önlemesi ile kolonun projede öngörülenden daha rijit bir duruma gelmesi ve bunun sonucu olarak ta daha fazla kesme kuvvetine maruz kalması nedeniyle oluşur (Gökçe, 2002).

Kısa kolonlardaki kesme kırılması deprem sırasında yıkılmanın sık rastlanan bir nedenidir. Başka bir deyişle bodur kolonlarda, yüksekliklerine göre daha kalın, çoğunlukla güçlü kiriş ve döşemelere bağlı kolonlarda kesme kırılması ortaya çıkar. Çerçeveli yapılardaki narin kolonlar parapet dolgularla kısa kolonlara dönüşebilir (Bachmann, 2003) (Şekil 1.36.).



Şekil 1.36. Kısa kolon oluşumu (Anonim, 2012l)

1.2.2.8. Yeterli yanal rijitliğin sağlanmaması

İkinci mertebe etkilerinin azaltılması ve taşıyıcı olmayan eleman hasarlarının önlenmesi için yapının yanal ötelenmesi, yönetmelikte verilen minimum şartların altına çekilmelidir. Yapılarda oluşabilecek fazla deplasman, her iki doğrultuda yerleştirilecek perde duvarlarla önlenebilmektedir (Arslan, 2007) (Şekil 1.37.).



Şekil 1.37. 17 Ağustos depreminden bir görünüş (Anonim, 2012m)

1.2.2.9. Kirişlerin kolonlardan güçlü olması durumu

Bir betonarme binada deprem sırasında oluşacak hasarın, eksenel yük seviyesi yüksek olduğu için gevrek davranış gösteren kolonlarda değil, daha sünek davranan kirişlerde oluşması istenmektedir. Bu nedenle, TDY2007'de de belirtildiği gibi bir düğüm noktasında birleşen kolonların taşıma güçleri toplamı, kirişlerin taşıma güçleri toplamından en az % 20 daha fazla olmalıdır (Öztürk, 2010). Bu sebeple yapıda oluşabilecek plastik mafsalların kolonlarda değil de kirişlerde olması istenir. Bu kuralın sağlanamadığı durumlarda yapı göçme tehlikesi ile karşı karşıyadır (Şekil 1.39.).



Şekil 1.39. Kuvvetli kiriş zayıf kolon oluşumu (Anonim, 2012n)

1.2.2.10. Malzeme kalitesizliği

Ülkemizdeki betonarme binaların deprem etkisi altında ağır hasar görmesi veya yıkılmasında beton dayanımının yetersizliği önemli bir parametredir. Son yıllarda ülkemizde hiçbir dinamik etki olmamasına rağmen, kendi ağırlığını taşıyamayarak yıkılan ve çok sayıda can kaybına yol açan binalar bulunmaktadır. Bu binaların yıkılmasındaki en önemli nedenlerinden biri sünme etkisidir. Sünme etkisi beton kalitesinin düşüklüğü ile doğru orantılı olduğundan, yapılarda dikkat edilecek hususlardan bir tanesi de kaliteli malzeme kullanılmasıdır. Deprem sonrasında yapılan gözlemlerde beton dayanımının istenilen düzeyde olmadığı, agrega boyutlarının bazen çok büyük olduğu, bazen de un gibi ufalandığı, donatıların da öngörülen dayanım şartlarını sağlamadığı, paslanıp çürüdüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 1.40. Malzeme kalitesizliği (Anonim, 2012o; 2012ö)

1.2.2.11. Detaylandırmadaki kusurlar

Depremlerde yapıların ayakta kalabilmesi için yapıya gelen enerjinin tüketilmesi gerekmektedir. Bu enerji yapıda oluşan plastik mafsallar sayesinde tüketilebilmektedir. Bu sebeple yapıda deprem enerjisinin tüketilebilmesi için belirli hasarlara izin verilebilir, fakat bu hasarların bizim öngördüğümüz yerlerde, yani, kolon uçlarında değil de, kiriş uçlarında meydana gelmesini isteriz. Betonarme yapılarda bu sebeplerden dolayı kolon ve kirişlerin uç bölgelerine yakın yerlerine etriye sıklaştırılması yapılması gerekmektedir. Ayrıca donatıların yeterli bindirme boylarına göre düzenlenmiş olması, kenetlenme sorunu da ortadan kaldıracaktır. Depremde hasar gören binalarda gözlenen bazı detaylandırma kusurları;

- Kolon ve kiriş uçlarının yeterli sarılmaması,
- Minimum ve maksimum donatı oranlarına uyulmaması,
- Bindirme boylarının yetersiz olması,
- Kenetlenme eksiklikleri olarak sıralanabilir (Arslan, 2007).



Şekil 1.41. Detaylandırmadaki kusurlar (Anonim, 2012p; 2012r; 2012s)

1.3. Onarım ve Güçlendirme

Yapı hasarlarının giderilmesinde genel olarak iki düzey bulunmaktadır. Yapı ya da yapı elemanının dayanımı hasar öncesi düzeye getirilir veya yapı elemanının ya da yapının hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanımı olması sağlanır. Genellikle yapıları veya yapı elemanlarını hasar öncesi dayanım düzeyine getirmek "onarım", hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım düzeyine getirmek ise "güçlendirme" olarak adlandırılmaktadır (Bayülke, 2001).

1.3.1. Onarım

Görünüş veya kullanım açısından hasar görmüş bir yapıda veya yapının bir ya da birkaç elemanında, yapının eski dayanım, yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik ve görünüşüne gelmesi için yapılan çalışma ve değişikliklerdir (Yılmaz, 2007).

Yapıda hasar yapan yükler yani deprem yükleri normal kullanım yükleri gibi sürekli etkiyen yükler değillerdir. Depremde hasar gören bir yapının deprem öncesi bir

yük taşıma problemi olmadığı durumlarda yapının deprem öncesi durumuna getirilmesi yeterli olabilmektedir. Yapının eskisinden daha dayanıklı olması için gerekli harcamalar, aynı düzeye getirmek için gerekenden fazladır. Diğer yandan aynı büyüklükte bir depremin yapının ekonomik ömrü içinde bir kez daha olma olasılığı az olabilir. 50 yılda bir olması beklenen büyüklükte bir depremde hasar görmüş bir yapı 35 yıl sonra yıktırılıp tekrar yapılacaksa, 50 yıl sonra tekrar olması beklenen aynı büyüklükteki ikinci bir depreme dayanacak düzeyde onarılması ekonomik değildir.

Şiddetli bir depremden sonra orta düzeyde hasar görmüş bir yapının deprem öncesi dayanımına yükseltilmesi yeterlidir. Çünkü yapı tasarım depreminde bir başka değişle beklenen en şiddetli depremde kendini kanıtlamıştır. Hasar onarılabilir düzeyde olmuştur. Yapı dayanımı deprem öncesi düzeyine getirilirse tekrar olacak aynı şiddette depremde hasar yine aynı düzeyde olacaktır (Bayülke, 2001).

1.3.2. Güçlendirme

Bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını, hasar öncesi veya hasar görmeden mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliklerdir. Başka bir deyişle, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir (Yılmaz, 2007).

Depreme dayanıklı tasarlanmış bir binanın olası şiddetli bir depremde taşıyıcı olan ya da olmayan elemanlarında hasar beklenir. Depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uyulmadan inşa edilmiş binalarda ise genellikle daha ağır hasarlar gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Bu durum, güçlendirme gereğini doğurur. Öte yandan proje ve yapım hatası nedeniyle güçlendirilmesi gereken yapılar da vardır. Bazen mimari nedenlerle ve kullanım ihtiyaçlarıyla binanın taşıyıcı sistemi değiştirilir; bu durumda güçlendirme gereği ortaya çıkabilir. Güncel deprem şartnamelerine uyum sağlanması ve/veya değişen deprem beklentileri nedeniyle de mevcut binaların güçlendirilmesi gerekebilir. Bunlar dışındaki nedenlerden bazıları ise, binanın konumu, işlevi veya tarihi önemidir. Güçlendirmede maliyet de belirleyici unsurlardan biridir. Bu işlemin yapılabilmesi için, güçlendirme maliyetinin binanın yıkım ve yeniden yapım maliyetine oranı kabul edilebilir düzeyde olmalıdır. Güçlendirmenin amacı, binanın deprem güvenliğini en iyi ve uygun teknik yöntemlerle, en kısa zamanda ve bina sakinlerine en az zorluk çıkararak istenen düzeye eriştirmektir. Güçlendirme kararının teknik olduğu kadar

sosyal, ekonomik ve hukuki boyutları da vardır. Bu nedenle, bölgedeki yetkililer deprem etkisi altında risk taşıyan binalara yapılacak müdahaleye karar verirken, bütün bu boyutları dikkate almalıdır. Bu noktada verilen kararın bir ölçüde öznel olacağı da unutulmamalıdır. Depreme karşı güçlendirme kararı verilirken, yerinde yapılan incelemeler ve testler önemlidir. Elde edilen bilgiler ışığında ve önerilen hesap yöntemleriyle binanın deprem güvenliği saptanır. Mevcut durumun istenen performans düzeyinin altında kalması durumunda, güçlendirmeye başvurulur. Bir binanın hedeflenen performans düzeyine erişmesi için şu işlemlere başvurulur:

- Deprem hasarlarına neden olacak kusurların giderilmesi,
- Deprem güvenliğini artırmaya yönelik yeni elemanlar eklenmesi,
- Yapının ağırlığının azaltılması,
- Kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması (İSMEP, 2009)

1.3.3. Onarım ve güçlendirme malzemeleri

Taşıyıcı elemanların onarım ve güçlendirilmesinde uygulamada en çok kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir;

- **Tamir harcı:**

Tamir harçları elemanlarda yerel olarak ortaya çıkan beton hasarlarının giderilmesinde yaygın biçimde kullanılır. Kiriş, kolon, perde ve döşemelerde korozyon ve yapım kusurları sebebiyle beton dökülmesi meydana gelmiş ve donatı ortaya çıkmış ise hazır tamir harcı uygulaması tavsiye edilir. Yüksek basınç dayanımına ve aderans özelliğine sahip bu harçların kullanımında, yükleme durumunda ve sıcaklık değişmelerinde ek gerilmelerin ortaya çıkmaması için, uygulandığı beton yüzeye iyi yapışmasına, alt tabaka ile aynı elastisite modülü ve genleşme katsayısına sahip olmasına dikkat edilmelidir (Öztürk, 2010).

- **Püskürtme beton:**

Püskürtme betonun, özellikle kalıp yapmanın zor olduğu veya ekonomik olmadığı, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasının güç olduğu veya betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gerektiği yerlerde kullanılması uygundur. Püskürtme beton

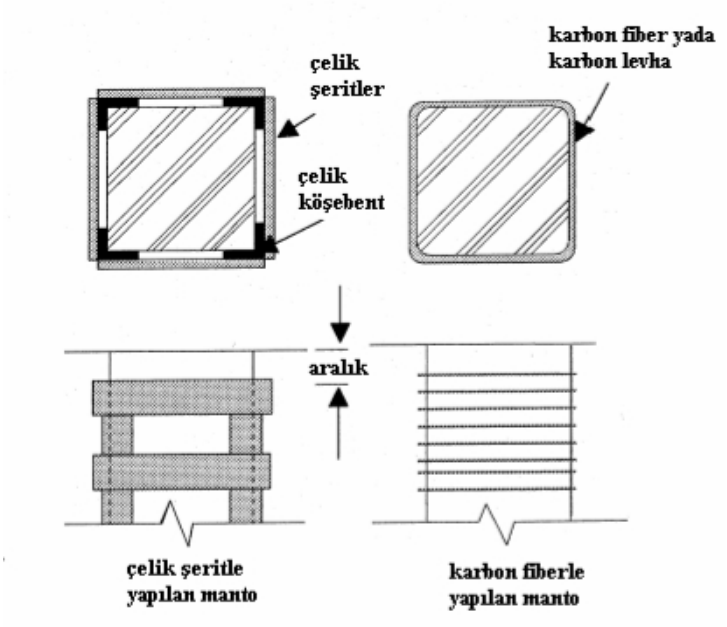
en çok eski yapıların onarım ve güçlendirilmesi işlerinde kullanılır. Donatıların etrafında, betonun boşluk bırakmadan püskürtülmesini sağlayacak kadar mesafe bulunmalıdır. Ayrıca püskürtme beton uygulamasında püskürtülen betonun bir kısmının yüzeye, donatıya veya daha önce yapılan betona çarparak geri sıçrayacağı ve bu sıçrama oranının döşeme gibi yatay yüzeyler için %5-%15, duvar gibi düşey yüzeyler için %15-%30 ve tavanlar için %25-%50 arasında değişebileceği unutulmamalıdır (Öztürk, 2005; Öztürk 2010).

- **Epoksi reçinesi:**

Epoksi ve benzeri reçineler, perdeler, kolonlar, döşemeler ve kirişlerdeki beton çatlaklarını doldurmak ve ince çelik elemanları betona yapıştırmak amacıyla kullanılır. Epoksi ifadesi, bu türden olan sıvı reçineler için (epoksi, poliester, poliüretan, akrilik) genel anlamda kullanılır. Reçinenin betona, yığma duvara ve çeliğe yapışma özelliği çok iyidir ve bu bağ nemle azalmaz. Epoksi kullanımının yerel çatlak onarımı için yapıldığı unutulmamalıdır. Bir elemanı veya bir bölgeyi güçlendirmek için tek basına kullanılmaz. Yangına karsı dayanıksızlığı ve 80°C'nin üstünde dayanımını kaybetmesi epoksinin zayıf yönüdür. Ayrıca, derinlere inen kılcal çatlaklara epoksi enjeksiyonu düşük bir basınç altında uygulanmalıdır (Öztürk, 2005; Öztürk 2010).

- **Çelik şeritler ve lif takviyeli plastik levhalar:**

Betonarme elemanlar enine ve boyuna doğrultuda, çelik şeritler veya lif takviyeli elemanlarla sarılarak güçlendirilebilir. Dayanımı yüksek olan çelik şeritler, kirişin alt ve yan yüzlerine ve kolon-kiriş birleşim bölgelerine epoksi reçinesi ile yapıştırılır. Şeritlerin uygulanmasında beton yüzeyle bütünleşme sağlanması için beton dayanımının yeterli olması gerekir. Hazır çelik şeritler yerine çelik lamalar kullanılarak da uygulama yapılabilir. Şerit veya lama uygulamasında eleman kesitlerinin eğilme momenti ve kesme kuvveti kapasiteleri artırılırken, sarılan elemanlar bu bölgede enine basınç oluşturarak betonun, dolayısıyla elemanın sünekliğini artırır (Öztürk, 2010), (Şekil 1.42.).



Şekil 1.42. Kolon kesme kapasitesini artırmaya yönelik olarak çelik şerit ve lif takviyeli elemanlarla yapılan güçlendirme (Arslan, 2007)

1.3.4. Eleman bazında güçlendirme

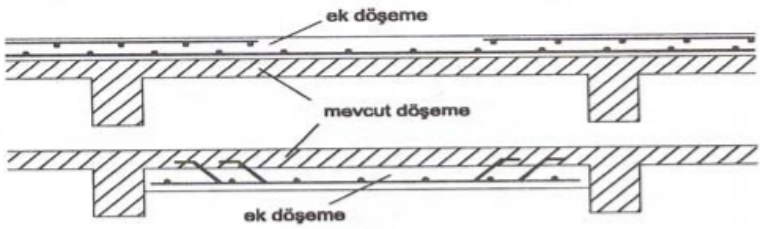
Orta veya büyük depremlerde yapının güvenliğini tehlikeye sokacak çeşitli yerel sorunların bulunması ve yapının tümünün güçlendirilmesinin gerekmediği durumlarda, tüm sistemin güçlendirilmesi yerine eleman bazında güçlendirme uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Eleman bazında uygulanan tekniklerin, yapının davranışına sağladığı katkıların yanı sıra genellikle temel müdahaleleri gerektirmemesi ve daha az mimari soruna yol açması gibi avantajları bulunmaktadır.

Eleman seviyesinde sıklıkla karşılaşılan bazı yetersizlikler şunlardır;

- Yetersiz eksenel yük kapasitesi
- Yetersiz eğilme momenti kapasitesi
- Düşük süneklik
- Yetersiz kesme kuvveti kapasitesi
- Kötü işçilik ve donatı detayı
- Zamana ve çevresel şartlara bağlı hasarlardır (Gürol, 2007).

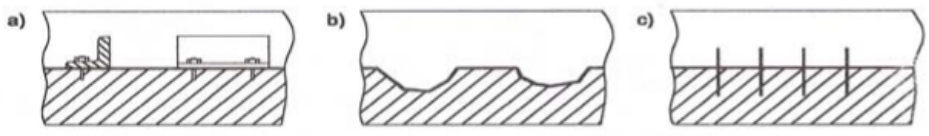
1.3.4.1. Döşemelerin güçlendirilmesi

Gerçekte düşey yükleri taşımak için projelendirilen döşemeler, yatay yük etkisi altında bu yükleri düşey taşıyıcılara iletecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları arzu edilir. Hasarlar genellikle döşemelerin büyük boşluk kısımlarında veya doğrudan perdeye mesnetlendiği yerlerde meydana gelmektedir. Hasarın onarılmasının yanında kalınlığı yeterli olmayan döşemenin kalınlığının arttırılması veya eklenen yeni perde duvarlarıyla olan yük aktarımının sağlanması gerekir. Yerel çatlak veya hasarlar epoksi, çimento şerbeti veya püskürtme beton ile onarılabilir. Döşemelerde, parçalanmış beton kırılmış veya burkulmuş olan donatılarda çıkarılıp yerine yenisinin konması gerekmektedir. Bozulmuş olan kısım çıkarıldıktan sonra yeni donatı yerleştirilerek kaynaklanır ve beton dökülür. Döşeme kalınlığının artması ile kesitin eğilme rijitliği arttırılır. Döşeme kalınlığı üstten beton tabakası ile arttırılabileceği gibi alttan da püskürtme yöntemi ile yapılabilir (Şekil 1.43.).



Şekil 1.43. Döşemenin kalınlaştırılarak güçlendirilmesi

Bu durumda ilave edilen kısım ile mevcut döşemenin aderansının sağlanması oldukça önemlidir. Şekil 1.44.' de görüldüğü gibi yeni ve mevcut döşeme arasındaki kayma gerilmesinin akışını sağlamak amacıyla yüzeyin pürüzlendirilmesinin yanında, donatı veya çelik profil parçalarından da faydalanılabilir (Celep ve Kumbasar, 2004).



Şekil 1.44. Mevcut döşeme ile yeni döşeme arasındaki kayma gerilmesi bağının sağlanması, a) çelik profil parçalarıyla, b) yüzeyi pürüzlendirilerek, c) epoksi ile donatı eklenerek

1.3.4.2. Kirişlerin güçlendirilmesi

Betonarme bir kirişin güçlendirilmesi çekme kapasitesinin arttırılması, moment kapasitesinin arttırılması, kesme kuvveti taşıma gücünün arttırılması veya bunların hepsinin birden yapılması şeklinde olmaktadır. Bunlardan hangisinin uygulanacağına ise gerekli analizler yapıldıktan sonra karar verilebilir (Gökçe, 2002). Kirişler güçlendirilirken komşu kolonlarda dikkate alınmalı, kuvvetli kiriş- zayıf kolon oluşumu önlenmelidir. Kirişler gerektiği durumlarda bir veya iki taraftan genişletilebilirler. Güçlendirme kesitinin eski kiriş ve döşeme ile bağlantılarının yapılması gerekir (Gülmez, 2010).

- **Betonarme manto ile güçlendirme**

Betonarme manto oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Bu metot, mevcut kirişe yeni donatılar ve etriyeler ekleyip en kesit alanının genişletilmesi suretiyle uygulanmaktadır. Yeni eklenen enine ve boyuna donatılar ile kirişin kesme ve eğilme kapasitesi geliştirilmektedir. Söz konusu yöntemin performansı genel olarak iki unsura bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan ilki, eski ve yeni kesitin birlikte çalışması ve kuvvet aktarımının sağlanabilmesi açısından önem kazanan yüzey hazırlığı çalışmasıdır. Bunun için kirişin kabuk betonunu kaldırarak epoksi ile kesite agrega yapıştırmak veya kesitte kesme yuvaları oluşturmak gereklidir.

- **Çelik levhalar ile güçlendirme**

Çelik levhalar ile güçlendirme, kirişlerin yüzeylerine çelik plakalar yapıştırmak veya bulonlamak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Kiriş alt yüzeyine yapıştırılan levha eğilme kapasitesine katkı sağlarken yan yüzeylere yapıştırılan levhalar kesme dayanımını arttırmaktadır. Hem eğilme hem kesme dayanımının geliştirilmesinin gerektiği durumlarda ise U şeklinde plakalar kullanılabileceği gibi ayrık levhalar yüzeylere yapıştırılıp köşelerde kaynaklanabilmektedir (Gürol, 2007).

- **CFRP ile güçlendirme**

Kirişlerin çekme yüzüne, karbon lifle donatılmış plastik şeritlerin (CFRP) epoksi aracılığıyla yapıştırılması işlemidir. Genellikle kolon kiriş birleşimine uygulanan bu

yöntem ile kirişin eğilme kapasitesi arttırılmaktadır. Bu yöntem sadece kirişin çekme yüzeyine uygulanabileceği gibi tüm kiriş kesitine de uygulanabilmektedir.

1.3.4.3. Kolonların güçlendirilmesi

Kolonların güçlendirilmesi, eksenel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin arttırılması ile yapılır. Bu uygulama genellikle betonarme kesitin arttırılması yoluyla yapılırken, kolonun çelik bir kafes içine alınarak dayanımının artırılması da tercih edilebilir.

- **Betonarme manto ile güçlendirme**

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinden yaygın olarak kullanılan iyileştirme ve güçlendirme yöntemi mantolamadır. Kat yüksekliğince yapılan mantolama ile kolon yalnız eksenel kuvvet ve kesme kuvveti karşılama yönünden güçlenir. İlave boyuna donatıları döşemede açılan deliklerden geçirilerek düğüm noktalarında da mantolama kolon eğilmeğe karşı da güçlenir. Kiriş ve döşeme ile birleşim bölgesinde kolon boyuna donatısının iyi sarılması gereklidir. Tek yandan yapılan mantolamada ilave boyuna donatının etriyelerle mevcut donatıya çok iyi bağlanması gereklidir. Yeni etriye kancaları mevcut beton içinden delik açılarak geçirilir veya etriyeler mevcut etriyelere kaynaklanır. Kaynak yapılacak bölgede beton boyuna donatıya kadar çentilir. Eski betonda kayma dişleri oluşturulur ve Z veya V şeklinde bükülmüş çubuklarla veya çelik levhalarla eski ve yeni donatı birbirine kaynaklanır. Böylece eski ve yeni betonun birlikte çalışması sağlanır. Etriyelerin boyuna donatıları çok iyi kuşatması ve yeterince kapalı olması gerekir, uçlarına kanca yerine kaynak yapılması veya bulonla sıkıştırılarak bağlanması sargılamanın daha etkili olmasını sağlayacaktır.

- **Cam karbon lifli dokumalar ile kolonların güçlendirilmesi**

Lifli dokumalar kolonların eksenel normal kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti taşıma kapasitelerini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu suretle kolonun rijitliğinde önemli bir değişiklik olmadığı için taşıyıcı sistemde bir iç kuvvet değişimi

ortaya çıkmaz. Lifli dokumaların çelik levhalarla güçlendirmeye karşı iki avantajı vardır. Bunlardan ilki zamanla çelik levhada oluşan paslanma, diğeri ise ağır çelik levha elemana yapışana kadar geçen süre içindeki desteklenme sorunudur. Sentetik dokumaların yüksek dayanımlı liflerin oluşturduğu ince bir bez olması ve epoksi emdirilerek elemana yapıştırılması nedeni ile betonarme elemana kolayca sarılabilmektedir ve paslanma sorunu olmamaktadır (Şirin, 2006).

1.3.4.4. Perdelerin güçlendirilmesi

Perdeler, yapıya gelen yatay yüklerin karşılanmasında yüksek mukavemetinden dolayı yapının en önemli elemanlarından biridir. Perdeler, yapının yanal ötelenmelerini büyük ölçüde kısıtlayarak ikinci mertebe momentlerinden dolayı kesitlerin daha çok zorlanmasını önlerler. Bu özelliklerinden dolayı perdelerin onarım ve güçlendirilmesi titizlikle yapılmalıdır. Deprem yükü taşımak üzere düzenlenen betonarme perdelerde hasarlar kayma ve eğilme taşıma gücünün yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden kaynaklanabilir. Hasarlı veya hasarsız perdelerin mukavemetlerinin yetersiz olduğu durumlarda boyutları arttırılarak güçlendirilir. Perdelerde hasarlar kesme ve eğilme mukavemeti yetersizliğinden kaynaklanır. Perdelerde kesme mukavemeti yetersiz ise perde kalınlığı arttırılır. Eğilme momenti mukavemeti yetersiz ise perdenin her iki ucuna flanşlar eklenir. Eğer her iki durumda yetersiz ise hem gövde kalınlığı arttırılır, hem de perde uçlarına flanş eklenmesi yapılır (Şirin, 2006).

1.3.4.5. Temellerin güçlendirilmesi

Temeller genel olarak iki sebepten ötürü güçlendirilmektedir. Bunlar temellerin hatalı tasarımı ve yetersiz detaylandırmaya sahip olması veya yapı güçlendirmesi sebebiyle yeni eklenen elemanların doğurduğu ilave zorlamaların etkilerinin ortadan kaldırılmasıdır. Böylece üst yapının deprem yükleri altında performansını sergilemesi mümkün olmakta ve yapı güvenliği sağlanabilmektedir. Temel güçlendirilmesi yapılacak yapılarda eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışması ve yük aktarımının sağlanabilmesi gerekmektedir. Genişletilen kesitlerde donatılar birbirlerine kaynaklanarak süreklilik sağlanmaktadır. Ayrıca yeni eklenen temeller mümkün olduğu kadar dış merkezlik yaratmayacak şekilde düzenlenmeli farklı temel türleri bir arada

kullanılmamalı ve yeni eklenen temellerin imalatında mevcut temellere zarar verilmemesine özen gösterilmelidir (Gürol, 2007).

1.3.5. Sistem bazında güçlendirme

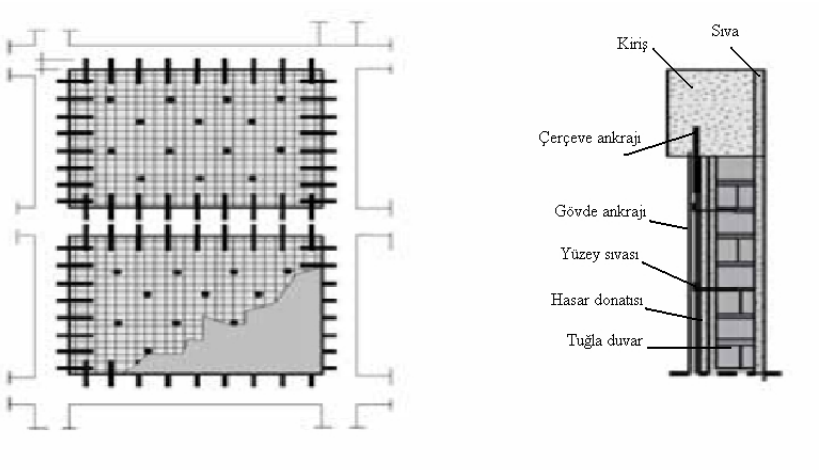
Ülkemizde yaşanan depremlerden çıkarılan sonuçlara göre yapılarda karşılaşılan sorunlardan en önemlileri, yapının yeterli yanal rijitliğe sahip olmaması veya burulma etkilerine karşı güvenli bir tasarım yapılmamış olmasıdır. Eğer yapıda yerel bazda kapasite aşımları değil de genel davranış bozuklukları varsa yapıya eleman seviyesinde müdahale etmek hem istenilen performansa ulaşmayı genelde sağlayamamakta hem de ekonomik olmamaktadır. Bu durumda yapıya sistem bazında müdahale etmek gerekmektedir (Gürol, 2007).

1.3.5.1. Dolgu duvarların güçlendirilmesi

Dolgu duvarların güçlendirilmesi bodrum hariç en fazla 3 katlı binalarda, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlara uygulanabilir. Güçlendirilme hasır çelik donatılı özel sıvayla, lifli polimerle veya prefabrike beton panellerle yapılabilir.

1.3.5.1.1. Hasır çelik donatılı özel sıva

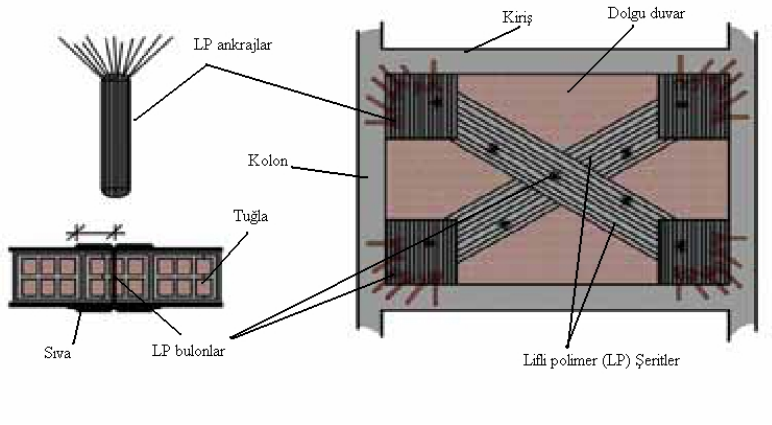
Şekil 1.45.' de gösterildiği gibi dolgu duvarlar hasır çelik donatılı özel sıvayla güçlendirilebilir. Uygulamada kullanılacak olan özel sıva tabakasının karışımı, kalınlığı, hasır donatının aralıkları, malzeme özellikleri ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen şartları sağlamalıdır. Öte yandan güçlendirilen dolgu duvarları da oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi de yapılmalıdır.



Şekil 1.45. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıvayla güçlendirilmesi

1.3.5.1.2. Lifli polimer

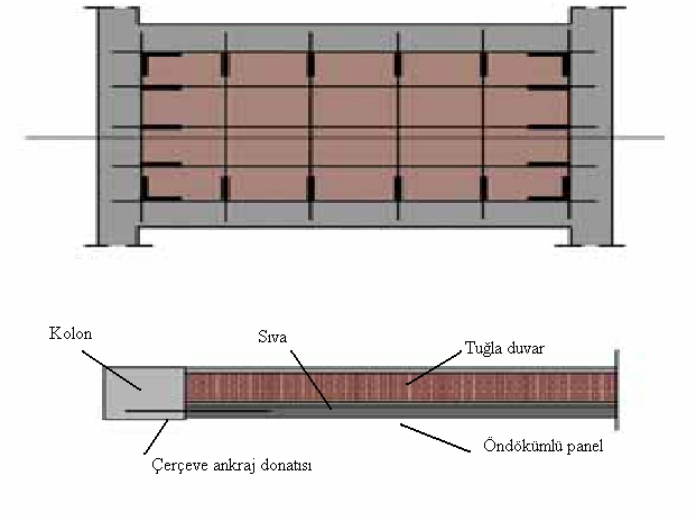
Köşegen lifli polimer uygulaması, uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında olan duvarlara Şekil 1.46.' da gösterildiği gibi yapılabilir. Lifli polimerlerin malzeme özellikleri, kalınlıkları, genişlikleri ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de belirtilen koşulları sağlamalıdır. Köşeden köşeye uygulanan lifli polimer şeritlerini dolgu duvara ankrajlanmaları epoksi kullanılarak sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi de yapılmalıdır.



Şekil 1.46. Dolgu duvarların lifli polimer bantlarla güçlendirilmesi

1.3.5.1.3. Prefabrike beton panel

Dolgu duvarların öndökümlü (prefabrike) panellerle güçlendirilmesinde, öndökümlü paneller mutlaka çerçeve içinde kalacak şekilde ve tam ortalanarak yerleştirilmeli, çerçeveye yük aktarımı sağlanması için ankrajlar düzenlenmelidir (Şekil 1.47.). Bu tür güçlendirme, uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında olan duvarlara uygulanabilir. Öndökümlü beton paneller epoksi esaslı bir yapıştırıcıyla duvara tutturulmalı, panellerin malzeme özelliği, kalınlığı, üretimi ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen koşulları sağlamalıdır (İSMEP, 2009).



Şekil 1.47. Dolgu duvarın prefabrike beton panellerle güçlendirilmesi

1.3.5.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerin perde duvarla güçlendirilmesi

Dayanımı ve yanal rijitliği yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler betonarme perde duvarlarla güçlendirilebilir. Burada amaç, yapıya daha çok yatay yük taşıyacak elemanlar konmasıdır. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeveye bitişik olarak düzenlenebilir.

1.3.5.2.1. Çerçeve düzlemi içine betonarme perde eklenmesi

Yapıya yeni perde duvarlar ekleyerek güçlendirme teknikleri, mevcut yapıların yanal dayanımlarını arttırmakta ve kat arası göreceli ötelemeleri sınırlamakta son derece etkili olmaktadır. Yanal dayanımı zayıf binalarda tercih edilen bu güçlendirme metodu aynı zamanda yapı stabilitesini bozabilecek kesme göçmesine meyilli gevrek elemanların bulunması durumunda da, ötelenmeleri sınırlayarak gevrek elemanların kesme yükünü hafifletmek amacıyla da kullanılabilmektedir. Perdelerin plandaki konumu belirlenirken mümkün olduğu kadar düzenli bir yapı sistemi oluşturulmalı ya da mevcut düzensizlikleri giderici yönde çözümler üretilmelidir. Ayrıca yapı ile yeni elemanların birlikte çalışmasını sağlayıcı detayların üretilmesi ve ek perdelerden aktarılan ilave zorlamaların, mevcut elemanlara olan etkisinin de incelenmesi gerekmektedir. Yapının durumuna ve güçlendirme stratejilerine bağlı olarak yeni perde elemanların imalatında yerinde döküm veya öndöküm duvar panelleri seklinde farklı yöntemler uygulanabilmektedir (Gürol, 2007).

Bu uygulamada perde duvarın herhangi bir katta kesilmesi binada o katta gerilme birikimi ve deprem davranışının ani değişimine sebep olacağından, eklenen perde duvarlar binanın temelinden başlayarak en üst kata kadar aralıksız devam etmelidir. Dikkat edilmesi gereken diğer önemli nokta, perdelerin bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubuklarıyla bağlanarak birlikte çalışmalarının sağlanmasıdır. Yeni konulan perde duvarların altına, sistemde oluşan kuvvetleri güvenle temel zeminine aktaracak perde temelleri tasarlanacaktır. Ankraj çubuklarının ve perde temellerinin tasarımı Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen kurallara göre yapılacaktır (İSMEP, 2009).

1.3.5.2.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi

Bu güçlendirme metodunun temel amacı yapıya yanal dayanım kazandırmaktır. Diğer dıştan güçlendirme yöntemlerinde geçerli olduğu üzere yapı kullanımda iken güçlendirme çalışmaları yapılabilmektedir. Fakat bu yöntemin diğerlerinden üstünlüğü, yapı çevresinde fazla bir boşluğa gerek duyulmadan uygulanabilmesidir. Çerçeve aksı dışına perde eklenerek yapılacak güçlendirme de, diğer perde duvarlar ile müdahale teknikleri ile benzer detay ve tasarım ilkelerine sahiptir. Burada da özellikle dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Bunlar; eklenecek perdelerin temelden yapı üst kotuna kadar sürekli olması, düzensizliklerin yarattığı zorlamaları hafifletecek

perde plan ve düşey yerleşimlerinin teşkil edilmesi ve eski ve yeni elemanların beraber çalışmasını mümkün kılan ankrajların, mevcut yapı ile yeni elemanların ara yüzünde oluşacak kesme gerilmelerini karşılamak üzere yeterli dayanımda olması olarak sayılabilir. Ayrıca komsu elemanlara perdeden etkiyen ilave gerilmelerinde göz önüne alınması gerekmektedir (Gürol, 2007).

1.4. Çalışmanın Amacı

Türkiye dünyada yıkıcı depremlerin olduğu bir coğrafya üzerindedir. Ülkemiz dünyadaki depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir. Türkiye topraklarının % 96'sı deprem tehlikesiyle karşı karşıyadır. Nüfusunun % 98'i de deprem riski altındadır. Herhangi bir yapının proje safhasından uygulama aşamasındaki mühendislik hizmetlerinin temel hedefi emniyetli, isteğe uygun ve ekonomik yapılar yapmaktır. Ancak yaşadığımız depremler bu aşamalarda çok büyük tasarım, malzeme ve işçilik hatalarının yapıldığını göstermektedir. Ayrıca son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçlarına göre deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmında tasarım ve yapım kusurlarının olduğu da bilinmektedir. Gelecekte oluşacak depremlerde bu yapılar göçme veya ağır hasar olma potansiyeline sahiptir. Depreme karşı yetersiz yapıların tamamının yenilenmesi pratik bir çözüm olmadığından, yapısal güçlendirme ve onarım yöntemleri son yıllarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle mevcut betonarme yapıların elden geçirilerek deprem güvenliğinin artırılması gereklidir. Güçlendirilen ya da onarılan binalarda temel amaç, binayı yönetmelik koşullarını sağlayacak deprem güvenliği seviyesine getirebilmektir.

Ülkemizde betonarme yapılarla ilgili 2007 yılında yürürlüğe giren "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" dünyadaki çağdaş şartnameler gibi yapıların yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik şartlarını sağlamasını öngörmektedir. Ancak taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapıların önemli bir bölümü çeşitli nedenlerden dolayı mevcut yönetmeliğin öngördüğü yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik şartlarını sağlamamaktadır.

Deprem güvenliği olmayan betonarme yapıların güçlendirilmesi ve deprem güvenliğinin artırılması için bir çok teknik geliştirilmiştir. Güçlendirme uygulaması eleman düzeyinde yapılabileceği gibi sistem düzeyinde de yapılabilir. Ülkemizdeki betonarme yapıların genellikle tasarım ve yapım aşamalarından kaynaklanan kusurlar

sonucunda deprem yüklerine karşı yanal dayanımları, süneklik ve yanal rijitlikleri yeterli değildir. Bu nedenle deprem kuvvetlerine karşı sadece eleman düzeyinde iyileştirme yetersiz kalmakta, taşıyıcı sistem düzeyinde iyileştirme gerekmektedir. Yapıyı oluşturan çerçevelerin içine yanal rijitliği çok büyük olan yerinde dökme betonarme dolgu duvarların ilave edilmesi ile yapının deprem güvenliğinin artırılması uygulamada yaygın olarak kullanılan başarılı bir tekniktir.

Son yıllarda yapılan araştırmaların sonucu olarak, çok sayıda güçlendirme tekniği üretilmiş olmasına rağmen; bu yöntemlerin birçoğunun pratik olarak uygulanması çok zor gözükmektedir. Günümüzde pratik, ekonomik ve bina kullanıcısını rahatsız etmeyen yöntemler önemli hale gelmiş ve araştırmalar giderek bu konu üzerine yönlenmiştir.

Yapılan çalışmaların çoğunda betonarme perde duvar çerçeve düzlemi içerisine yerleştirilmiş ve bu perde duvarların dayanıma etkisi incelenmiştir. Özellikle M. E. Kara ve S. Altın'ın "Behaviour of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Partial Infills" adlı makalesinde iki katlı tek açıklıklı çerçeve düzleminin içerisine yerleştirilen parçasal betonarme perdenin çerçeve dayanımına etkileri incelenmiştir. Ö. Anıl ve S. Altın'ın "An Experimental Study of Reinforced Concrete Partially Infilled Frames" adlı makalesinde de tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve düzleminin içerisine yerleştirilen parçasal betonarme perdenin çerçeve dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu araştırmaların haricinde birçok yeni araştırma yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda genellikle betonarme perdeler çerçeve düzlemi içerisine yerleştirilmişlerdir. Yapılan çalışmalar ışığında çerçeve düzlemi içerisine yerleştirilen betonarme perdelerin davranışa etkisi bilinmektedir. Fakat çerçeve düzlemi dışına kolon ve kirişlere teğet olarak yerleştirilmiş betonarme perde duvarların davranışa etkisi tam olarak bilinmemektedir.

Bu araştırmanın amacı betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde çerçeve düzlemi dışına, kolon ve kirişlere teğet olarak, ankraj çubukları yardımıyla yerleştirilen betonarme perdelerin ve yerleştirilen bu perdelerdeki boşlukların davranışa etkisinin belirlenmesidir. Tez çalışmasında ülkemizdeki betonarme yapıların çoğunda gözlemlenen bazı yapım ve tasarım kusurları olan betonarme çerçeve, deney elemanı olarak kullanılacaktır. Bu tür sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme çerçevenin davranışına, dayanımına, sünekliğine, rijitliğine ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. 4 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.

Bulunan bu değerlendirmelerin ışığında amaç:

1) Düzlem dışı betonarme çerçevenin betonarme perde duvarla güçlendirilerek yatay yük etkisi altındaki dayanımına katkısının araştırılması,

2) Betonarme çerçevenin düzlem dışı betonarme perde duvarla güçlendirilerek betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki rijitliğine katkısının araştırılması,

3) Deprem yükleri altındaki bir yapıda enerji tüketme kapasitesinin oldukça önemli bir özellik olduğu dikkate alınarak, betonarme çerçevenin düzlem dışı betonarme perde duvarla güçlendirilerek betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki enerji tüketme kapasitelerinin araştırılması,

4) Betonarme çerçevenin düzlem dışı betonarme perde duvarla güçlendirilerek göçme şekillerinin ve buna bağlı olarak düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar durumunun ve derecesinin belirlenmesi,

5) Deney sonuçlarının ve davranışların birbirleri ile karşılaştırılması olarak sıralanabilir.

1.5. Çalışmanın Önemi

İnsanlar, yaşamlarının büyük bir bölümünü inşa ettikleri bu yapılarda geçirmektedirler. Dolayısıyla yapıya deprem, sel, rüzgâr gibi bir ilave yükün tesir etmesi durumunda; yapıların, insan hayatını ve malını tehdit etmeyecek şekilde uygun inşaat teknikleri kullanılarak teşkil edilmesi gerekmektedir. Fakat yaşamış olduğumuz ve inşaat teknolojisinin oldukça gelişmiş olduğu günümüzde dahi yapılar veya yapıların bazı bölümleri, kendisine tesir eden ilave yüklerden dolayı yıkılarak ölümlere ve maddi hasarlara sebep olmaktadırlar. Depremlerin geçmişteki örneklerinin gözlem ve incelemelerine dayanarak büyüklüğü, şiddeti, meydana gelebileceği yerler ve benzeri özellikleri önceden tahmin edilebilmesine karşın, plansız yapılaşma, denetim eksikliği ve bilgisizlik nedeniyle can ve mal kayıplarının önüne geçilememektedir. Yapılaşmada

deprem tehlikesinin yeterince dikkate alınmaması, her yıl önemli ölçüde insanımızın can kaybına ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Türkiye'de nüfusun ve ekonomik değerlerin büyük kısmı önemli deprem etkilerine maruz bölgelerde bulunmaktadır. Bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri küçük hasarlarla ya da hasar görmeden atlatan binaların, yeni bir depremde hasar görme ihtimalleri ise artmaktadır. Deprem etkisine karsı güçlendirilmesi gereken bu ve benzeri binalarda kullanılacak güçlendirme yönteminin ekonomik olması, güvenli olması, imalat hızının artırılması ve güçlendirme işlemine de acilen başlanılması gerekmektedir.

Çok katlı bir betonarme binanın depreme dayanıklı hale getirilmesi, çok uzun ve yorucu bir süreçtir. Özellikle, güçlendirilecek olan binanın etkin olarak kullanımına engel olabilecek güçlendirme yöntemleri yüzünden, çoğu zaman çok acil ve önemli olmasına rağmen bu binaların güçlendirilmesinden vazgeçilmektedir.

Ülkemizdeki binalarda yumuşak kat ve/veya zayıf kat oluşumu, burulma, yapı ağırlığının çok fazla artması, kısa kolon oluşumu, binalar arası derzlerin yetersizliği yeterli yanal rijitliğin sağlanamaması, detaylandırmadaki kusurlar, deprem etkisi altındaki zemin davranışı vb. konularda çeşitli kusurlar bulunmaktadır. Ülkemizdeki yapı stoğunun çoğu depreme karşı dayanıksız olduğundan acilen güçlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Belirtilen bu nedenlerle yeni bir güçlendirme metoduna ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, güçlendirilecek binaların halen kullanılıyor olması ve güçlendirme işleminin bireyler ve ülke ekonomisine etkisi göz önüne alınarak, değişik bir yöntemin kullanılması önerilmekte ve araştırılmaktadır. Bu modelde, diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, kullanıcıların imalat sırasında binayı terk etmeden, dışarıdan yapılan dış perde ile bina güçlendirilmektedir. Dış perde duvar ilavesi, Türkiye'de okul, sağlık ocağı ve hastane gibi tip proje ile üretilmiş binalarda ve konutlarda kullanılabilecektir.

Günümüzdeki mevcut yapıların büyük bir kısmının; bugünkü standart ve yönetmeliklere göre yapılmadıkları, hatta inşa edildikleri tarihte yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerin şartlarını da sağlamadıkları bilinmektedir. Geçmişte mevcut yönetmeliklere uygun yapılmış olanlarının da zamana ya da yaşanılan depremlere bağlı etkiler nedeni ile deprem yükü taşıma kapasitelerinde önemli azalmalar oluşabileceğinden, deprem güvenliği açısından önemli riskler taşımaktadır.

Yapılan bu çalışmada da; deprem gibi yatay yüklerin yapıya etkimesi durumunda, güçlendirilmiş yapılardaki çerçeve düzlemine bitişik olan dıştan betonarme perde duvar yerleşim ve boyutları, kolonların mantolanması ve betonarme perde duvarlarda pencere boşluğunun bulunması durumlarının yapı davranışını nasıl etkilediği konusunda fikir edinilebilecektir. Böylelikle bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlara göre mevcut betonarme çerçeveli yapılarda pencere boyutuna göre düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirilmesinin tasarım ve uygulama aşamasında hangi hususlara dikkat edileceği büyük ölçüde belirlenmiş olacaktır. Böylece güçlendirilen yapının olası bir depreme karşı güvenliği en üst düzeyde sağlanabilecek ve hasar riski en aza indirgenebilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan bu tez çalışmasında güçlendirme üzerine bir çalışma yapıldığı için, genellikle güçlendirme üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bunun yanında güçlendirme metotları, düzensizlikler, ankraj çalışmaları ve mimari tasarım üzerine yapılan çalışmalar da incelenmiştir. Aşağıda incelenen makale ve tez çalışmaları ile ilgili özetler verilmiştir.

Altın (1990) yaptığı tez çalışmasında 1/3 geometrik ölçekte, iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve elemanları betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş, tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada; betonarme dolgu duvarın donatı düzeni, betonarme dolgu duvar ile çerçeve arasında bağlantıyı sağlayan donatıların detaylandırılması, çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı gibi değişkenler incelenmiştir. Çalışmadan çerçeve ile dolgu arasında yük aktaran donatıların davranış ve dayanımı önemli oranda etkilediği, kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yük düzeyinin davranış ve dayanımı olumlu etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Buna ek olarak dolgu duvarların çerçeve elemanının dayanım ve rijitliğini artırdığı sonuçları elde edilmiştir.

Sittipunt ve Wood (1995) yaptıkları çalışmada boşluksuz ve bir adet pencere boşluklu perdenin tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışı analitik olarak incelemişlerdir. Yapılan bu analitik çalışma 1970 yılında Portland Çimento Birliği tarafından yapılmış 13 adet perde duvarın deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca betonarme perdelerde karşılaşılan rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi büyüklükleri bakımında istenmeyen gövdede kesme kırılması göçme modunu ortadan kaldıracak şekilde gövde donatısı geliştirmek amacıyla ek analizler yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Analitik çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu modellemede beton için lineer olmayan malzeme modeli ve çelik için pekleşmeyi içeren malzeme modeli kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analiz modeli, bir adet boşluk içeren ve tam dolu perdeler için yapılan deneysel araştırma sonuçları ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş olup aynı model kullanılarak çeşitli gövde donatısı tipleri için analizler yapılmıştır.

Kato ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada üzerinde bir adet boşluk olan ön üretimli dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü yönteminin uygulanması ve boşluk etrafındaki donatı düzenlemesinin davranışa olan etkisi analitik olarak incelenmişlerdir.

Çalışmada dolgu ortasında yer alan pencere veya kapı boşluğunun yanal dayanım ve yanal rijitlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dolguda yer alan boşluğun etrafına yerleştirilecek donatı detayları hakkında da bir araştırma yapılmış ve sadece taşıma gücü yaklaşımı kullanılarak bu tür duvarlar için bir analiz yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem deneysel sonuçlarla da karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Akakın (1998), Türk Standartları ve Deprem Yönetmeliği'ne göre yaptığı numerik bir araştırmada; değişken olarak 3 farklı kat sayısı, 4 farklı beton sınıfı ve 2 farklı deprem bölgesi kullanmıştır. Yaptığı bu kombinasyonların maliyet analizleri hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada, bir bilgisayar dizayn programı kullanılmış ve sonuçları yapı modelleme programları ile karşılaştırılmıştır.

Türk (1998) yaptığı çalışmada 1/3 geometrik ölçekli iki katlı tek açıklıklı 9 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Çalışmada hasar görmüş betonarme çerçeve elemanlara sonradan eklenen yerinde dökme betonarme dolgu duvarların davranış ve dayanın üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada; dolgu duvarla çerçeveyi bağlayan donatı düzenlemesinin dayanımda büyük oranda etkili olduğu, kolon donatılarında bindirmeli ekin olmasının elemanın dayanımı olumsuz etkilediği ve onarılacak çerçevenin hasar düzeyinin dayanımı önemli düzeyde etkilemediği görülmüştür. Çerçeve elemanlarına göre dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanları 8-13 kat daha fazla dayanım göstermişlerdir.

Taylor ve ark. (1998) alt kısmında bir adet boşluğu olan, yüksekliği genişliğine göre çok büyük betonarme perdeler üzerine deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Analitik araştırmada düşey donatıların deplasmana bağlı bir yöntemle seçilmesi ve yatay donatıların da kafes kiriş analojisi yöntemi kullanılarak belirlenmesi tekniği araştırılmıştır. 1/4 geometrik ölçekli 2 adet deney elemanı sabit eksenel yük altında tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneysel sonuçların önerilen analitik yöntemlerle belirlenen deney elemanlarının davranış ve süneklik düzeyi olarak başarılı olduğu belirlenmiştir.

Kato ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada birdöküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde bulunan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin davranış ve yanal dayanım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla üretilen 6 adet deney elemanı test edilmiştir. Dört adet deney elemanında perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğü, diğer iki elemanda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde araştırma yapılmıştır. İncelenen bir diğer değişken de duvarların boşluk tarafındaki kenarına yerleştirilen donatı miktarının değişimidir. Deney sonuçlarında

boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan bölümü tarafından taşındığı, elemanların eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdelere göre çok fazla değişim göstermediği gözlemlenmiştir.

Sittipunt ve Wood (1999) yaptıkları çalışmada yüksekliği uzunluğuna göre büyük olan betonarme perdelerde kullanılan gövde donatısının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında davranışa etkisini incelemişlerdir. Dört adet deney elemanı üretilmiş perde donatısı iki elemanda ortogonal düzende, diğer iki elemanda ise diyagonal doğrultuda oluşturulmuştur. Elemanlar arasında dayanım olarak önemli farklılıklar görülmüştür. Deney sonucuna göre gövde donatısının diyagonal olarak düzenlendiği deney elemanlarında kesme çatlağı genişliği daha sınırlı kalmış ve elemanlar daha fazla enerji tüketmişlerdir.

Buonopane ve White (1999) yaptıkları bu çalışmada 1/2 ölçekli, iki açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgulu betonarme çerçeveler dinamik yükleme altında test edilerek, sistemin deprem davranışı incelenmiştir. İkinci kat tuğla duvarlarında pencere boşluğu yer almaktadır. Çalışmada deney sonuçları kullanılarak sistemin yanal rijitlik ve deplasman kapasitesini tahmin etmek için farklı diyagonal basınç çubuğu biçimleri analitik olarak incelenmiş ve deneysel sonuçlara en uygun diyagonal basınç çubuğu modeli incelenmiştir. Ayrıca deney elemanlarının dayanımının tahmini için analitik model geliştirilmiş ve geliştirilen bu model kullanılarak elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sonuvar (2001) tarafından yapılan bir çalışmada betonarme dolgular ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışını araştırmak için, 5 adet 2 katlı, tek açıklıklı, 1 / 3 oranında betonarme çerçeveler hazırlamıştır. Deney numuneleri pratikte sıkça rastlanılan hatalara sahip olarak üretilmiştir. Üretilen bu çerçeveler, yatay durumda tersinir tekrarlanır yükler altında hasara uğratıldıktan sonra yerinde dökme dolgu duvarlar ve ilave güçlendirme vasıtalarıyla güçlendirilmiş ve yeniden tersinir tekrarlanır yatay yükler altında denenerek performansları araştırılmıştır. Çerçevelerin dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve ötelenme özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılan modellemede ise, betonarme dolgu duvarların eşdeğer çubuk elemanlar ile modellenmesi üzerine çalışılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle ve bir analitik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda;

- Betonarme dolguların performansının özellikle kamalara ve işçiliğe bağlı olduğu tespit edilmiştir.

- Yatay yük-deplasman grafikleri incelendiğinde, betonarme dolgu ilavesinin yanında, uygulanan bölgesel güçlendirme tekniklerinin oldukça etkili olduğu gözlenmiştir.

- Dolgulu çerçevelerde boş çerçevelere göre 10-20 kat arasında yatay yük taşıma kapasitesi artışı gözlenmiştir.

- Çerçevenin beton kalitesi birleşim çubuklarının ankrajında etkili olmaktadır.

- Hemen hemen bütün dolgulu çerçeveler eğilme taşıma gücü kapasitesine ulaştığı belirtilmiştir.

- İyileştirme çalışmaları ile çerçevelerin enerji tüketme kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır.

Canbay (2001) yaptığı çalışmada 1/3 geometrik ölçekli iki katlı üç açıklıklı, temel kirişi üzerinde içte kalan iki kolonun boyuna donatılarında bindirmeli eki olan betonarme çerçeve kullanmıştır. Betonarme çerçeveye ilk önce hasar verilmiş, daha sonra betonarme dolgu duvarı ile onarılmış ve tekrar tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Gerçek yapılarda uygulanan dolgu duvarıyla onarım işlemi sonucunda, yapıyı oluşturan diğer çerçeve elemanları ile betonarme dolgu duvarın ilave edildiği çerçeve arasındaki yatay yük paylaşımının özel bir ölçüm düzeneğiyle incelenmesi hedeflenmiştir. Araştırma sonucunda çerçeve kolonlarının boyuna donatılarının akmasından önce uygulanan yatay yükün %90'ının dolgu duvarı tarafından taşındığı, kolon boyuna donatılarında kullanılan 40ϕ boyundaki bindirmeli ekin yetersiz olduğu görülmüştür.

Anıl (2002) yaptığı çalışmada 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli, bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçeveleri tersinir tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Üretilen elemanlardan bir tanesi boş çerçeve, bir tanesi birdöküm çerçeve ve diğerleri ise güçlendirilmiş çerçevelerdir. Çalışmada betonarme dolgulardaki boşluk alanı ve yerinin değişimi incelenmiştir. Tüm deney elemanlarında bağlantı aynı şekilde yapılmıştır. Epoksi kullanılarak çerçeveye kenetlenen filiz donatıları, çerçeve ile

betonarme dolgu duvarları arasındaki bağlantıyı sağlamak için kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda;

- Deprem bölgelerinde var olan betonarme çerçeve türü yapıların dolgu duvarlar ile güçlendirilmesinin uygun ve geçerli bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.
- Dolgu duvarı, çerçevenin dayanım ve rijitliğini büyük ölçüde artırmaktadır.
- Kenar kolona yapılan perdeler ile güçlendirilen deney elemanlarında bos çerçeveye göre 3-6.5 kat daha fazla yatay yük tasıma kapasitesi gözlemlenmiştir.
- Birdöküm deney elemanlarının, dolgu duvarlarla güçlendirilen deney elemanlarından yaklaşık %81-%295 oranında daha büyük dayanıma sahip olduğu görülmüştür.
- Dolgu duvarlı elemanlar boş çerçeveye göre daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahiptir. Birdöküm elemanlar bos çerçeveden 7 kat daha fazla enerji tüketmiştir.
- Birdöküm deney elemanı, dolgu duvarlı deney elemanından 1.5-2.6 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

Kuşan (2002), bir binanın mevcut durumunu tespit ederek gerekli testler uygulamış, malzemeler hakkında detaylı bilgeler elde etmiş ve daha sonra incelediği binayı 1997 Deprem Yönetmeliği'ne göre mevcut verilerle çözerek güçlendirme projesini hazırlamıştır.

Gökçe (2002) tarafından yapılan çalışmada, depreme dayanıklı betonarme yapılarda uygulanması gereken mimari tasarım ilkeleri, yapıların deprem etkisi altındaki davranış biçimleri ve 1998 Ceyhan-Adana depremindeki yapısal hasarı bu açıdan incelenmiştir.

Özcebe ve ark. (2003), çalışma kapsamında ülkemizde sıklıkla görülen zayıflıkları içeren 1 / 3 ölçekli, iki katlı, tek açıklıklı yedi adet betonarme çerçeve üretilmiş, çerçeve açıklıkları 1 / 3 ölçekli delikli tuğla duvar ile kapatılmış, ülkemizdeki genel uygulamaya uygun olarak duvarların her iki yüzü de sıvanmıştır. Bu şekilde üretilen deney elemanları, daha sonra farklı CFRP örtü uygulamaları ile güçlendirilerek test edilmiştir. Bu çalışmada üretilen betonarme çerçevelerin özellikleri;

- Kolon ve kirişlerin uç bölgeleri yetersiz sargı donatısına sahiptir.
- Etriyelerin kancaları 90^o dir.
- Düğümlerde enine donatı kullanılmamıştır.
- Kiriş alt donatıları, yeterli ankraj boyuna sahip değildir.
- Beton dayanımı düşüktür.

Dayanım, rijitlik ve enerji yutma karakteristikleri dikkate alınarak deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Burtz (2003) yaptığı tez çalışmasında, tekil ve grup ankraj kapasitelerini ve ankrajların kenara olan mesafelerinin dayanıma olan etkisini Çalışmada iki ayrı deney serisi test edilmiştir. Deneylerde amaç ankraj deliği delme tekniğinin ve ankrajın bir kenara daha yakın olmasının davranış üzerindeki etkisini araştırılmasıdır. Birinci grup numunede, numunelere beton dökülürken bırakılan çekirdek kısımlarına ankrajlar ekilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. İkinci grupta ise numunelere delik açılarak ankrajlar yerleştirilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Bu iki gruptaki numunelerde kenar etkisini yok etmek için ankrajın kenarlara mesafesi 38 cm yapılmıştır. Son grupta ise ankrajlar bir kenara 19 cm, 15 cm ve 11 cm mesafede oluşturulmuştur. Böylece kenar etkisinin dayanım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ankraj donatısının çapı 16 mm olarak, ankraj derinliği ise 13 cm seçilmiştir. Grup deneyleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci grupta 4 adet Ø16'lık ankrajdan oluşan seride, ankrajlar arası mesafe 12 cm, ikinci grupta ise 4 adet Ø19 luk ankrajdan oluşan seride, ankrajlar arası mesafe 22 cm seçilmiştir. Sonuç olarak; beton dökülürken bırakılan çekirdek kısmına yerleştirilen ankrajların çekme dayanımı, numuneler delinerek yerleştirilen ankrajların çekme dayanımına göre ortalama %8 daha fazla dayanım elde edilmiştir. Kenar mesafenin 19 cm den, 11 cm e inmesi kırılma yükünün azalmasına neden olmuş ancak beklendiği gibi bir düşüş olmamıştır. En büyük davranış biçimi farkı grup ankrajlarında görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda 16 mm çapında ve ara mesafesi 12 cm olan 4 ankraj ortalama 28 ton yük taşırken, ankraj çapının 19 mm ye ara mesafenin de 22 cm'e çıkmasıyla ortalama kırılma yükü 45 ton'a çıkmıştır.

İlki ve ark. (2003) yaptıkları bu çalışmada daha önce sabit eksenel yük ile yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında denenmiş betonarme numuneler epoksi enjeksiyonu ve tamir harcı ile onarıldıktan sonra boyuna doğrultuda çelik korniyer ve

lamalar ile, enine doğrultuda ise çelik lamalar ile güçlendirilmiştir. Onarılmış ve güçlendirilmiş numuneler aynı yükleme şartları altında tekrar denenmiş, uygulanan onarım ve güçlendirme tekniğinin numune davranışına katkısı değerlendirilmiştir. Güçlendirilmiş betonarme kesitler için analitik moment-eğrilik ilişkileri de incelenmiş ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel ve analitik çalışmaların sonucunda, incelenen bu ekonomik onarım ve güçlendirme tekniğinin hasarlı betonarme kesitlerin performanslarını da büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Kesit ve numune davranışında elde edilen iyileşmenin yapı sistemlerinde de geçerli olabilmesi için, güçlendirilen elemanların kapasitelerindeki artışlar göz önünde bulundurularak birleşimlerinde güçlendirilmesi gerektiğini açıklamışlardır.

Türk ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada çeşitli sebeplerle depreme karşı yeterli dayanımı sağlayamayan ve sünek olmayan çerçeveli binaların dolgu duvarlar ile onarım ve güçlendirilmesi incelenmiştir. Tek açıklıklı, iki katlı 1/3 ölçekli çeşitli yetersizliklere sahip bu çerçeveler, boş halde ve sonra dolgu duvar eklenerek tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve davranışları incelenmiştir. deney sonuçlarında ise hasarlı ve hasarsız betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvar ile güçlendirilmesinde, yanal yük ve dayanımında önemli artışlar meydana gelmiştir. Yapılan deneyler sonucunda;

- Hasarlı boş çerçevelere betonarme dolgu duvarlar eklenmesiyle oluşan dolgulu çerçevelerin yanal dayanımı boş çerçeveye göre 9 ile 14 kat arasında arttığı görülmüştür.

- Dolgu duvar eklenmesi ile yanal rijitlikte boş çerçeveye göre 13 ile 24 kat arasında artış sağlanmıştır.

- Kolon boyuna donatı oranının dolgulu çerçevenin eğilme kapasitesine büyük etkisi olduğu görülmüştür.

- Beton kalitesi çerçeveye ekilen donatı filizlerinin performansın önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Bechtoula ve ark. (2004), 11 katlı bir binayı temsil eden iki katlı tek açıklıklı 1/4 geometrik ölçeğinde modellenmiş 2 adet betonarme çerçeve üzerinde yaptıkları deneysel ve analitik çalışmada değişken olarak eksenel yük alınmıştır. Eksenel yük seviyesi $N = 0.3\times b \times h \times f_c$ ve $N = 0.5\times b \times h \times f_c$ 'dir. Çalışmada eksenel yükün çerçeve davranışında çok az bir değişikliğe sebep olduğu görülmüştür. Yüksek eksenel yük seviyesinde kolon donatılarında burkulma meydana gelmiştir.

Faella ve ark. (2004), İtalya'da deprem dayanımı düşük binalar üzerine araştırma yapmışlardır. Seçilen binaların özellikleri,

- Kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde yetersiz sargı donatısı oluşturulmuştur.
- Etriyelerin kancaları 90^o dir.
- Kolon kiriş birleşim bölgelerinde enine donatı yoktur.
- Kiriş alt donatıları, yeterli ankraj boyuna sahip değildir.
- Beton dayanımı düşüktür.

Bu özelliklere sahip binalara farklı tipte güçlendirme metotları uygulanmıştır. Bunlar çelik çaprazlar ile kolon ve kirişlerin mantolanmasıdır. Yapılan analitik çalışma ile davranış özellikleri incelenmiştir. Kolon ve kirişleri mantolanan çerçevelerin, çelik çapraz ile güçlendirilen çerçevelere göre eleman bazında daha iyi bir davranış gösterdiği belirtilmiştir.

Aktürk (2004), yaptığı bu çalışmanın 1998 yılında yayımlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te söz edilen düzensizlik tipleri, düzensiz yapılarda deprem nedeniyle oluşan hasarlar ve bu hasarların oluşmasına engel olabilecek mimari çözüm önerileri araştırılmıştır. Ayrıca mimari açıdan depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken temel öğeler üzerinde durulmuş ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kurallarına uymanın önemi üzerinde durulmuştur.

Sezer (2004)' in yaptığı araştırmada, orta hasarlı binalara uygulanabilecek, deplasman talebini azaltarak yapının sismik performansını yükseltebilecek pratik bir güçlendirme yöntemi yapılmıştır. Yapılan bu güçlendirme yönteminde fabrikada imalatı yapılmış çelik paneller kullanılmıştır. Bu panellerin; hafiflikleri, taşıma ve inşa kolaylıklarının yanı sıra ucuz olmaları, kalıp ihtiyacının olmaması ve bu iş için özel elemana ihtiyaç duyulmaması gibi özelliklere sahip olması nedeniyle seçildikleri ifade edilmiştir. Mevcut çalışmada bu konsepti test etmede; ½ ölçekte 3 boyutlu betonarme bir çerçeve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde inşa edilmiş ve gerçek bir deprem kaydı altında orta hasar seviyesine ulaşıncaya kadar incelenmiştir. Daha sonra hasarlı durumdaki betonarme çerçeve çelik panellerle güçlendirilerek aynı deprem kaydı altında test edilmiştir. Numunenin

güçlendirmeden önceki ve sonraki performansı Deprem Yönetmeliği (2007)'ye göre değerlendirilmiş ve ortaya çıkan sonuçların önerilen sistemin yararlılığını doğruladığı rapor edilmiştir.

Yavuz (2005), deprem yüküne karsı dayanımı ve rijitliği yetersiz olan, üretimde sıklıkla yapılan hatalara sahip, 2 katlı 2 açıklı betonarme çerçevelerin, tersinir tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışını incelemiş, daha sonra kullanım amacına göre bırakılan boşlukları dikkate alacak şekilde hasarsız çerçeveye kısmi betonarme perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem güçlendirmesi sonucunda ortaya çıkan davranış incelenmiştir. Bu amaçla 1 / 3 ölçekli, 2 adet bos ve 4 adet de orta kolonundan kısmi betonarme perde ilavesi ile güçlendirilmiş toplam 6 adet deney numunesi tersinir tekrarlanır yatay yükleme ile test edilmiştir. Toplam 4 adet güçlendirilmiş çerçevenin güçlendirme perdesi uzunluğu 600 mm ve 900 mm'dir. Elde edilen sonuçlara göre,

- Güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük tasıma kapasiteleri güçlendirilmemiş çerçevelere göre 2.35-3.67 kat artmış göstermiştir.
- Güçlendirilmiş çerçeve, güçlendirilmemiş çerçeveye göre rijitlikte 4.95-14.53 kat artış meydana gelmiştir.
- Bütün elemanlarda göçme modu eğilmedir.
- SAP2000 programı ile yapılan analitik çalışma sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri ile gerçek deneysel sonuçlar birbirlerine çok yakındır.

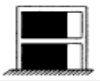
Ertaş (2005), tarafından prefabrik yapılarda moment aktarabilen sünek kolon-kiriş birleşimleri üzerine yapılan bir çalışmada; deprem riski yüksek bölgelere göre tasarlanmış olan 4 adet sünek ve moment aktarabilen prefabrik kolon-kiriş birleşimi ile referans deney olarak konvansiyonel eleman test edilmiştir. Test edilen bu detaylar, yerinde dökümlü, kaynaklı kompozit ve bulonlu birleşim olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Sonuç olarak bulonlu birleşimin konvansiyonel sisteme göre, gösterdiği yapısal performansın yanı sıra ucuz ve kolay uygulanabilir bir detay olması nedeniyle deprem bölgelerinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Yapılan bir başka çalışma kapsamında, olumsuz etkileri ortadan kaldıracak yeni bir güçlendirme yöntemi önerilmesinin yanı sıra yetersiz bindirme boyunun çerçeve davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, 2/3 ölçekli bir katlı bir açıklıklı betonarme çerçeveler üretilerek yatay yükler altında incelenmiştir. Mevcut çalışmada

bir numune, sürekli boy donatısı kullanılarak ve en son sismik yönetmeliğin hükümlerine uygun olarak üretilmiş, diğer iki numune ise temelin hemen üzerinde, yetersiz bindirme boyu kullanılarak ve bu bölgede daha az etriye kullanılarak üretilmiştir. Bindirme boyu olan numunelerin birinde, CFRP ve çelik ankrajların birlikte kullanılmasıyla orijinal bir güçlendirme tekniği geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Sargılama etkisinin arttırılması için yatay yönün yanı sıra, kolonların eğilme kapasitesini arttırmak amacı ile kolonların her iki tarafında, boyuna yönde de CFRP uygulaması yapılmıştır. Test sonuçları, güçlendirilen numunenin sünekliğinde olumsuz bir etki olmadan yatay yük kapasitesinin önemli bir artış gösterdiği görülmüştür. (Kaya, 2009)

Kara ve Altın (2006)'ın yaptığı çalışmada, sünek olmayan betonarme çerçevelerin parçasal betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmesi incelenmiştir. 7 adet tek açıklıklı, 2 katlı 1/3 ölçekli deney elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deney elemanlarının özellikleri ve görünümleri Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir. Deney elemanlarının çerçeveleri ülkemizde betonarme yapılarda karşılaşılabilen bazı yapı kusurlarını içermektedir. Test edilen numunelerde, parçasal dolgu duvar uzunluğunun yüksekliğe oranı ve parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde düzenleniş biçimleri, bu çalışmanın değişkenleridir. Test edilen bu numunelerde çerçeveye eklenen betonarme dolgu duvarlar, ankraj çubukları yardımıyla sisteme eklenmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney No	Dolgu				f_c, MPa (ksi)	
	Görünüm	l_w, mm (in.)	h_w, mm (in.)	l_w /h_w	Çerçeve	Dolgu Duvarı
1		—	—	—	12.2 (1.8)	—
2		1300 (51.2)	750 (29.6)	1.73	13.4 (1.9)	26.0 (3.8)
3		325 (12.8)	750 (29.6)	0.43	12.0 (1.7)	25.7 (3.7)
4		650 (25.6)	750 (29.6)	0.87	14.0 (2.0)	26.2 (3.8)
5		975 (38.4)	750 (29.6)	1.30	12.4 (1.8)	27.0 (3.9)
6		2-487.5 (2-19.2)	750 (29.6)	1.30	13.6 (2.0)	27.7 (4.0)
7		650 (25.6)	750 (29.6)	0.87	14.5 (2.1)	26.8 (3.9)

Bu çalışma sonucunda;

- Güçlendirilen deney elemanları dayanımının, çerçeve deney elemanı dayanımına oranının yaklaşık 2 ile 8 kat arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Çizelge 2.2.'de verilen deney elemanlarının göçme mekanizmaları eğilme, kesme, eğilme + kesme şeklindedir.
- Betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarında, çerçeve deney elemanına göre yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir.
- Çerçeve elemanlarında bulunan yapım kusurları, parçasal dolgu duvarıyla güçlendirmede dayanım ve davranışı etkilemiştir.
- En başarılı sonuçlar, parçasal dolgu duvarın çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olduğu deney elemanlarında elde edilmiştir.

- Aynı *l*/h oranında, parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde farklı düzenlendiği deney elemanlarında yaklaşık olarak aynı dayanım elde edilmesine rağmen, dolgu duvarın çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olduğu deney elemanlarının başlangıç rijitliği, dolgu duvarın sadece kirişlere bağlandığı deney elemanlarının başlangıç rijitliğinden % 45 daha büyük olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.2. Deney sonuçlarının özetleri

Deney No	İleri çevrimler			Geri Çevrimler			Göçme Mekanizması
	Maks. yük (kN)	1.Katın Yatay Ötelenme Oranı (%)	*	Maks. yük (kN)	1.Katın Yatay Ötelenme Oranı (%)	*	
1	20 (4.50)	1.89	—	21 (4.72)	1.75	—	Eğilme
2	156 (35.06)	0.49	7.8	155 (34.84)	0.66	7.38	Kesme
3	60 (13.49)	1.62	3.00	50 (11.24)	1.39	2.38	Kesme
4	92 (20.68)	0.70	4.60	90 (20.23)	0.88	4.29	Eğilme ve Kesme
5	140 (31.47)	0.69	7.00	136 (30.57)	0.68	6.48	Eğilme ve Kesme
6	133 (29.90)	0.91	6.65	130 (29.22)	0.85	6.19	Kesme
7	87 (19.56)	1.01	4.35	86 (19.33)	1.15	4.10	Kesme

*Güçlendirilen deney elemanlarının dayanımlarının, çerçeve deney elemanının dayanımına oranı

Akın (2006), yapmış olduğu, 1 / 5 ölçekli üç katlı üç açıklıklı betonarme sistem deneylerinde yeni bir güçlendirme metodunudenemiştir. 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 tasıma kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada çekmeye çalışan çapraz çubuklar (inşaat demiri) kolon-kiriş birleşim bölgelerine basitçe ankrajlanmıştır. Bu çalışmanın kapsamını değişik yapısal özellikteki 10 adet 1 / 5 ölçeğinde modellenmiş betonarme çerçeve sistemi oluşturmaktadır. Deneysel çalımsa 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 kapasitesinin artışı sağlanmıştır..

- 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 yapmıştır.

- Etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmesi, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellemiş ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olmuştur.

- Kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanması sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olmuştur.

- Beton kalitesi epoksi ile yapılan ankrajın kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilemektedir.

- Sünekliği kontrol altında tutmak için kuşaklamalar binanın orta bölgelerinde yapılmalı, kenar açıklılarda yapılması halinde ortaya çıkan boşluklu perde davranışı sonucu oluşan süneklik azalmasından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir.

- Dolgu duvarlar yatay yük tasıma kapasitesini artırmakla beraber, özellikle kenar açıklıklarda ciddi süneklik azalmasına sebep olmaktadır.

Kara (2006) yaptığı tez çalışmasında betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde Türkiye'deki uygulamalarda sıkça kullanılan çerçeve içini doldurmayan parçasal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranış etkilerini incelemiştir. Türkiye'de betonarme yapıların çoğunda görülen 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 tüketme kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, duvar yüksekliğine (l / h) oranındaki değişimin, aynı l / h oranındaki dolgu duvarların çerçeve içinde düzenleniş biçimlerinin, dolgu duvarda uç elemanı varlığının dolgulu çerçevelerin davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada dolgu duvar betonunun sonradan dökülmesi ile çerçeve ile birlikte bir döküm olarak dökülmesi arasındaki değişiklikler incelenmiştir. 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli, iki katlı tek açıklıklı deney elemanı üretilmiş ve tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar davranış, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda;

- Çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük tasıma kapasiteleri, çerçeve deney elemanına göre 3 ile 7 kat arasında değişen oranlarda arttığı tespit edilmiştir. Başlangıç rijitliği çerçeve deney elemanına göre 6 ile 28 kat arasında değişen oranlarda arttığı görülmüştür. Parçasal dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük tasıma kapasitesi artış göstermiştir.

- Çerçevenin kolonlarına ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının kolonlarında kesme kırılması gelişmiş ve deney elemanının yatay yük tasıma kapasitesini ve davranışını olumsuz etkilemiştir. Çerçevenin kirişlerinde önemli derecede hasarlar oluşmamıştır.

- Betonarme çerçevenin tam dolu dolgu duvarı yerine uç elemanlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi davranış ve dayanımını etkilemiştir. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük tasıma kapasitesi %10; %50 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yük tasıma kapasitesi %41; %75 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük tasıma kapasitesi %61 oranında azaldığı görülmüştür.

- 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 tasıma kapasiteleri

önemli oranda etkilenmediği görülmüştür. Fakat, kirişlerde gelişen kesme kırılmasının önemli oranlarda arttığı görülmüştür.

- Uç elemansız dolgu duvarın, uç elemanlı dolgu duvara göre başlangıç rijitliği %18, süneklik %38, enerji tüketimi %28 oranında azalmıştır.

- Betonarme çerçeve deney elemanı maksimum yük düzeyinde büyük yatay deplasmanlar yaptığı görülmüştür. Deney elemanının kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar oluşmuş, kolon uçlarında plastik mafsallar oluştuğu belirtilmiştir. Deney elemanının başlangıç rijitliği ve enerji tüketim düzeyleri, dolgu duvarlı deney elemanlarına göre çok düşük olduğu görülmüştür.

- Birdöküm dolgu duvar, çerçeve düzlemine sonradan eklenen dolgu duvara göre daha fazla dayanıma ulaşmıştır.

Türk ve ark. (2006) yaptığı bu çalışmada tek açıklıklı, iki katlı 1 / 3 geometrik ölçekli 9 adet deney elemanını test etmişlerdir. Testler sonunda hasar görmüş olan çerçeveler dolgu duvarlar ile onarılmıştır. Çerçeve ile dolgu duvarlar arasındaki bağlantı, epoksi yardımıyla çerçevelere ekilen donatı filizleri yardımıyla sağlanmıştır. Betonarme dolgular eklenerek onarılan betonarme çerçeveler, tekrar aynı şekilde depremi benzeştiren tersinir–tekrarlanır yatay yük altında test edilmişlerdir. Deney sonuçları, dayanım, rijitlik, tepki eğrileri, enerji tüketimi ve kat ötelenmeleri dikkate alınmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Deney parametrelerinin elemanların genel davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın en önemli sonuçları; çerçeve kolonlarda katlar seviyesinde yapılan yetersiz uzunluktaki bindirme ekleri dolgulu deney elemanın dayanım ve sünekliği büyük ölçüde azaltmıştır, dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının özellikle çerçeve ve dolgu arasındaki etkileşime bağlı olması ve uygulanan eksenel yükün davranışı önemli ölçüde etkilenmiştir. Çalışmanın sonunda dolgulu çerçevelerin yanal dayanımının bos çerçevelerin dayanımından yaklaşık 8-13 kat, başlangıç rijitliğinin ise yaklaşık 19-24 kat büyük olduğu görülmüştür.

Erdem ve Akyüz (2004), 1 / 3 geometrik ölçekli, 2 katlı 3 açıklıklı hasar görmemiş betonarme çerçevelerin güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını incelemiş ve iki güçlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan ilki iç açıklığın iki kat boyunca iç perde ile doldurulması diğeri ise 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 içerecek şekilde üretilmişlerdir. Çerçeveler tersinir–tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. 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 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 meydana gelmiştir. Rijitlikte 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, ani olarak güç kaybı yaşamış ve parçalanmıştır.

Şirin (2006) yaptığı çalışmada bir yapı tasarlanırken hangi kıstaslar göz önünde bulundurulması gerektiği ve yapının daha sonra olası deprem hasarları veya diğer hasarlardan etkilenmemesi için ne tür önlemler alınması gerektiğine değinilmiştir. Yapılarda meydana gelen hasarların genel özellikleri hakkında ayrıntılı bir biçimde bilgi verilmiş olup bu konuda da alınması gerekli önlemleri açıklanmıştır. Çalışmada yapıların onarım ve güçlendirilmesine başlamadan önce onarılacak veya güçlendirilecek bölgenin iyice tetkik edildikten sonra gerekli çalışmalar yapılarak onarım ve güçlendirilmeye hazır hale getirilmesini sağlamak için ne tür işlemler yapıldığına değinilmiş ve genel olarak yapı elemanlarında onarım ve güçlendirme yapılırken ne tür yöntemler kullanıldığı ve hangi yöntemin ne kadar etkili olduğu anlatılmıştır.

Küçük (2006), deprem zararlılarını azaltma çalışmalarında mimarlık eğitiminin yeri üzerine yaptığı çalışmada, Dünya ve Türkiye'nin depremselliği incelenmiş ve Türkiye'de yaşanan büyük depremler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca Türkiye'de meydana gelen deprem hasar ve kayıpları incelenmiştir. Meydana gelen bu zararın kabul edilebilir düzeyin çok üzerinde olduğu açıklanarak zarar azaltma çalışmalarının önemi belirtilmiştir.

Hünük (2006), depremde ayakta kalabilecek ve bina içinde yaşayanların depremi minimum zararla atlatmasını sağlayabilecek yapıların, uygun form ve buna bağlı uygun strüktür sistemine sahip olduğu mimari tasarım ölçütlerini belirlemiştir. Bunun için depremlerde hasar görmüş betonarme binalar incelenmiş ve hasara neden olan tasarım kriterlerini ortaya çıkarmıştır. Bu kriterler depreme dayanıklı olarak tasarlanmış betonarme binalarda kullanılan tasarım ile karşılaştırılarak depreme dayanıklı mimari tasarım ölçütleri belirlenmiştir.

Ceritli (2006), depremde hasar görmüş yapıların mantolama ve güçlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, depremde hasar görmüş kullanılabilecek düzeyde olan yapılarda meydana gelmiş hasara göre binanın statik sistemini sağlayacak şekilde mantolama ve perde duvar ile güçlendirilmesi konularına değinilerek hasar türleri ve nedenleri araştırılmıştır. Olası bir depremde yapının dayanıklılığının sağlanması ve herhangi bir can kaybına yol açmayacak şekilde boyutlandırmanın yapılmasının önemine değinilmiştir.

Çiçek (2006), uygulamadan sıkça karşılaşılan taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli binaların onarım ve güçlendirilmesinden bahsetmiş ve betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla güçlendirmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu konuda yapılan deneyler ile ilgili özet bilgi ve sayısal örnek verildikten sonra örnek yapının güçlendirilmesi incelenmiştir.

Ediz (2006), model tuğla duvarların kendiliğinden yerleşen beton ve standart beton ile güçlendirildikten sonraki yük altındaki davranışlarını incelemiştir. Araştırma amaca uygun olarak seçilmiş model tuğla duvarlar üzerinde yapılmıştır. Deneysel çalışmada hazırlanmış tuğla duvarların, kendi düzlemi içerisinde yatay ve düşey yük bileşkesinin 45 ° açı olarak düşünüldüğü ve bu açının ile tek eksenli şekilde yüklendiği ifade edilmiştir. Mevcut çalışmanın sonucunda, deneysel çalışmadan elde edilen verilerin tablolar ve grafik anlatım kullanılarak sunulduğu, değişik serilerde üretilen model tuğla duvarların sonuçları karşılaştırılarak incelendiği vurgulanmıştır.

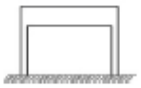
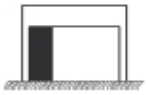
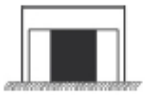
Shahshenas (2009)' ın yaptığı çalışmada dış merkezli çelik çapraz ile güçlendirilmiş tipik mevcut betonarme binanın sismik performansı araştırılmıştır. Sünek olmayan betonarme binalar kısaca alçak (4 kat), orta (7 kat) ve çok katlı (10 kat) binalar olarak sınıflandırılarak binaların iyileştirilmesinde dış merkezli çelik çaprazların yanal dayanıma katkısı incelenmiştir. Bu çalışma ile çelik çaprazların betonarme çerçeve yüksekliği boyunca dağılımının iyileştirilmiş binanın sismik performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sismik aktiviteler sırasında yapının gerçek davranışının hesaplanması için FEMA 356'dan "Doğrusal Dinamik Analiz" ve "Doğrusal Olmayan Statik Analiz" olmak üzere iki adet prosedür seçilmiştir. Binanın performansı kat kayması ve hasar belirtisi açısından hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışma ile mevcut bina detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve dış merkezli çapraz çerçevelerin etkin güçlendirme stratejisi olarak sunulmuştur.

Bir başka çalışmada; hasarlı olarak tamir edilen ve güçlendirilen dolgulu betonarme çerçeveler üzerinde hasar etkisi ve bu etkinin hasarsız güçlendirilmiş

numunelerlere karşılaştırılmasını mühendislik özellikleri bakımından (rijitlik, dayanım, enerji yutma, düktilite vs.) deneysel ve nümerik olarak değerlendirilmiştir. Hasarlı numune; 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı ve düşey olarak test alanına yerleştirilen 2 farklı seviyede, statik tersinir yanal yükler altında test edilmiş ve düşey ve yatay yükler birbirinden bağımsız olarak numuneye etki ettirilmiştir. İki numune de hasarlı olarak karbon lifleriyle güçlendirilerek çatlak bölgelerine epoksi enjeksiyonu uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan numuneler, 1998'den önce Türkiye'de yapılan yapılarda yaygın bir şekilde görülen kusurlara sahiptir. Mevcut kusurları azaltmak, çatlaklardan oluşan hasarın getirdiği kapasite azalmasını kompanse etmek ve sismik performanslarını arttırmak için tek yönlü karbon fiberli kompozit yaygılar düşey şeritler ve/veya eğik diyagonaller biçiminde dolgu duvarın her iki tarafına da yapıştırılmış ve betonarme çerçeveye ankrajlanmıştır. Tüm tuğla kayıpları giderilerek, çatlamış yüzeylerin özel bir epoksi malzemeyle doldurulup tamir edildiği bildirilmiştir. Hasarlı numunelerin deneysel kapasiteleri hasarsız güçlendirilmiş numuneler üzerinde yapılan teorik ve deneysel değerlerle karşılaştırılarak yakın değerlere ulaşıldığı ifade edilmiştir (Karataş, 2009).

Anıl ve Altın (2007) tarafından yapılan bir çalışmada; 9 adet 1/3 geometrik ölçekli bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin betonarme dolgularındaki boşluk alanı ve yerin değişimi incelenmiştir. Test edilen numunelerde, parçasal dolgu duvar uzunluğunun yüksekliğe oranı ve parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde düzenleniş biçimleri, bu çalışmanın değişkenleri olarak düşünülmüştür. Bu numunelerin özellikleri Çizelge 2.3.'de verilmiştir. Test edilen bu numunelerde çerçeveye eklenen betonarme dolgu duvarlar, ankraj çubukları yardımıyla sisteme eklenmiştir. Mevcut çalışmada, iç perde duvarın boyutlarının artırılması durumunda sistemin rijitliğinin ve yatay yük tasıma 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. Yapılan deneylerin sonucunda, Çizelge 2.4.' de görüldüğü üzere, güçlendirilen deney elemanları dayanımının, çerçeve deney elemanı dayanımına oranının yaklaşık 3 ile 15 kat arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 2.3. Deney numunelerin in özellikleri

Deney No	Dolgu duvar				f_C (MPa)	
	Görünüm	l_w (mm) (3)	h_w (mm) (4)	l_w / h_w (5)	Çerçeve	Dolgu duvar
1		–	–	–	21.8	–
2		1300	750	1.73	25.3	25.3
3		1300	750	1.73	24.2	20.7
4		325	750	0.43	22.5	20.1
5		650	750	0.87	24.3	22.5
6		975	750	1.30	20.0	22.0
7		2 × 487.5	750	1.30	20.1	22.8
8		650	750	0.87	23.9	25.3
9		1300	750	1.73	22.9	22.1

Çizelge 2.4. Deney sonuçlarının özetleri

Deney No	İleri çevrimler			Geri çevrimler			Göçme modu
	Maks. Yük (kN)	Maks. yükteki göreceli kat ötelenmesi oranı (%)	*	Maks. Yük (kN)	Maks. yükteki göreceli kat ötelenmesi oranı (%)	*	
1	24.6	1.33	1.00	26.3	1.31	1.00	Eğilme
2	351.0	0.57	14.27	323.0	1.10	12.28	Kesme
3	247.9	0.78	10.08	226.0	0.73	8.59	Kesme
4	88.6	1.27	3.60	98.1	1.57	3.73	Kesme
5	150.3	0.59	6.11	150.1	0.65	5.71	Kesme
6	193.8	0.74	7.88	185.4	0.74	7.05	Kesme
7	155.9	1.15	6.34	150.9	1.18	5.74	Kesme
8	126.4	1.28	5.14	131.3	1.23	4.99	Kesme
9	173.1	0.69	7.04	179.5	0.79	6.83	Kısa kolon oluşumu

* Güçlendirilen deney elemanlarının dayanımlarının, çerçeve deney elemanının dayanımına oranı

Arslan (2007) çalışmasında okul, hastane gibi binalara yönelik ve bu yapıların kullanım programlarını aksatmayacak, ekonomik ve emniyetli bir güçlendirme yöntemi olan, çerçeve sisteminde binanın dışına doğru yeni betonarme perdeler yapılması konusunda tez çalışması yapmıştır. Bu amaçla, deprem dayanımı zayıf olan ve kolonlarında düşük seviyede normal kuvvet bulunan betonarme çerçevelerin, dış perde duvar ile güçlendirilmesi konusu incelenmiştir. Araştırmada temel değişken, kolonların boyuna donatı oranlarının değişimidir. Deneysel araştırmada, 1 / 3 ölçekli, 2 adet bos çerçeve ve 2 adet dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeveler test edilmiştir. Üretilen betonarme çerçeveler, ülkemizde sıklıkla karşılaşılan kusurlara örnek olarak üretilmiştir. Bu kusurlar; düşük beton kalitesi, düz yüzeyli donatı kullanımı, kolon – kiriş birleşim bölgesinde kolonlarda etriye devam etmemesi, kolon – kiriş düğüm noktaları civarında etriye sıklaştırmasının yapılmamış olması, kolon boyuna donatılarının kat hizasında yetersiz bindirmeli ek seklinde yapılmış olması ve etriye kancalarının 90^o yapılması olarak düşünülmüştür.

Deneyler sonucunda ;

- Deney numunesi 2'nin deney numunesi 1'e göre yatay yük tasıma kapasitesi, ileri çevrimler için %30 geri çevrimler için % 47 daha fazla olduğu görülmüştür.

- 1. grup çerçevelerde güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçeveler arasında yapılan karsılaştırmaya göre, yatay yük tasıma kapasitesindeki artış oranı ileri çevrimde %366, geri çevrimde ise % 352 olmuştur.

- 2. grup çerçevelerde güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçeveler arasında yapılan karşılaştırmaya göre, yatay yük tasıma kapasitesindeki artış oranı ileri çevrimde %304, geri çevrimde ise % 325 olmuştur.

- Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarda dış perde duvar ilavesi ile yapılan güçlendirilmenin, güçlendirilmemiş çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu görülmüştür.

Yılmaz (2007) tez çalışmasında, dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilen betonarme çerçevede, kolonlara uygulanan normal kuvveti daha yüksek seviyede (basınç kırılması oluşturabilecek seviyede) tutmuş ve güçlendirme yönteminin etkinliğini araştırmıştır. 1. grup deneylerde (kolonlarda boyuna donatı oranı ρt=0.013), boş çerçeve sistemine göre, betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeve 3.98 kat daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. 2. grup deneylerde ise (kolonlarda boyuna donatı oranı ρt=0.023), boş çerçeve sistemine göre, dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeve 3.72 kat daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Ayrıca tüketilen enerji değerlerinde de 3.99 ile 4.76 arasında değişen oranlarda artış gözlemlenmiştir.

Gürbüz (2007) yaptığı tez çalışmasında, beş farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak farklı ankraj çaplarında, farklı derinliklerde, farklı donatı çaplarında ve farklı yüzey hazırlığında seksen adet ankraj imalatı yapılmış ve bu ankrajların eksenel çekme yükleri altındaki davranışlarını araştırmıştır. Ankrajların yapıldığı beton plakların dökümünde mevcut yapı stokunu temsil edebilmek amacıyla C16 beton sınıfı kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçları su şekilde özetlenebilir;

- Ankraj deliği çapındaki değişim diğer değişkenlere de bağlı olarak ankraj davranışını farklı şekillerde etkilemektedir. Beton ile yapıştırıcı arasında yapışmanın kaybolduğu ve sıyrılma seklinde göçen ankrajlarda ankraj deliği çapının artması ankraj dayanımın da artmasına sebep olmuştur.

- Ankraj derinliğindeki değişim ankraj davranışını etkilemiştir. Farklı değişkenlere bağlı olarak ankraj derinliğinin etkisi de değişmiştir. Beton yüzeyle yeterli dayanımına sahip olmayan malzemelerle yapılan ankrajlarda ankraj derinliğinin artması ankraj dayanımını artırmıştır. Ankraj dayanımındaki değişime karsın ankrajlarda göçme tipinde herhangi bir farklılaşma olmamıştır. Beton yüzeyle yeterli yapımsa dayanımına sahip olan yapıştırıcıların kullanıldığı ankrajlarda ise ankraj derinliğinin artması ankraj dayanımını ve göçme tipini etkilemiştir.

- Ankraj imalatında kullanılan yapıştırıcı malzeme ankraj davranışını doğrudan etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğu görülmüştür. Yapıştırıcıların beton ve çelik yüzeylerde sağlamış oldukları yapışma dayanımı, reçine ve sertleştirici tiplerine, polimer yapılarına ve fiziksel kıvamlarına göre değişmektedir.

Kaya (2007) yaptığı tez çalışmasında, yapıların güçlendirilmesinde kullanılan tam ve kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme davranışlarını araştırmıştır. Çalışma kapsamında, deprem güçlendirmelerinde karşılaşılan uygulama boyları esas alınarak, referans yapışma dayanımı numuneleri, tam bağlı ankrajlar ve kısmi bağlı ankrajlar olmak üzere üç grup eksenel çekme deneyi yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Bütün ankraj donatıları 16 mm nervürlü donatı olup, aynı mekanik ve kimyasal özelliklere sahiplerdir. Referans yapışma deneylerinin tümü kısmi bağlı ankraj detayı ile gerçekleştirilmiştir. 6Ø serbest derinlik bütün numunelerde sabit olmak üzere 4Ø, 6Ø, 8Ø ve 10Ø derinliklerde temiz yüzeylerde 4Ø ve 8Ø derinliklerde, tozu atılmış ve temizlenmemiş yüzeylerde olmak üzere üç farklı yüzey temizliği koşullarına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Tam bağlı ankrajlara ait deney grubunda ise, hâlihazırda deprem güçlendirmelerinde uygulanan, ankraj donatısının ankraj deliği boyunca yapıştırıldığı ankraj detayı araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Kısmi bağlı ankrajlar, uygulamalarda kullanılan tam bağlı ankrajlara göre daha yüksek göçme dayanımları göstermişlerdir. Bir kısmi bağlı ankrajın, aynı derinlikteki tam bağlı bir ankraja göre iki kat mertebesinde daha güçlü olduğu deneylerden elde edilen sonuçlardan biridir.

- Kısmi bağlı tasarlanmış ankrajların tamamında, aynı özelliklere sahip referans yapışma dayanımının %90'ına ulaşıldığı tespit edilmiştir.

- Tozu atılmış yüzeylerde yapışma dayanımları, temiz yüzeylerdekilere çok yakın sonuçlar vermiştir. Tozu atılmış numunelere ilişkin hesaplanan enerji yutma büyüklüklerine ilişkin değerler ise diğer tüm tiplerden büyük çıkmıştır.

- Temizlenmemiş yüzeylerde hazırlanan numunelerde göçme yükleri çeşitlilik göstermiş, kimi numunelerde temiz ya da tozu atılmış numuneler mertebesinde yüklere ulaşılırken genelde bu değerlerin altında kalmıştır.

Mazılıgüney (2007) yaptığı tez çalışmasında, sonradan yapılan kimyasal ankrajların düşük dayanımlı betonlardaki çekme davranışlarını araştırmıştır. Ülkemizde deprem dayanımı için takviyeye ihtiyacı olan binaların, mevcut beton basınç dayanımlarının 5 MPa ile 16 MPa arasında değiştiği göz önünde bulundurularak, deneylerin gerçeği yansıtması amacıyla, incelemesi yapılan ve düşük beton kalitesinin de etkisiyle yıkım kararı verilen bir binada çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Çalışmada incelenen parametreler ankraj çapı, ankraj derinliği, beton dayanımı ve delik temizliğidir. Ankraj çapı olarak 16 mm ve 20 mm çaplı S420 donatı sınıfı kullanılmıştır. Her bir donatı çapı için, 10Ø, 15Ø ve 20Ø ankraj derinliklerine sahip 45 adet çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Deneyler, beton dayanımlarına göre sınıflanan 12 kolonda yapılmıştır. Kolonların 6 sı 10 MPa 'dan düşük dayanımlı, 6'sı ise 10 MPa'dan yüksek dayanımlıdır. Deneylerde ankrajlar arası mesafe gömülme boyu kadar yapılmıştır. Epoksi malzemesi olarak Sikadur 31 epoksi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, ACI 349-85' de önerilen beton kapasite dizayn metodu yöntemine göre elde edilen çekme dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar su şekilde özetlenebilir ;

- Düşük dayanımlı betonlarda ankraj derinliğinin vakum yapılmadan sadece tel fırça ile temizlenmesi kırılma yükü açısından ihmal edilebilir bir değerdir.
- Beton dayanımının önemli etkileri gözlenmemiştir.
- Ankraj derinliği, kırılma yükü üzerinde beton dayanımından daha yüksek bir etkiye sahiptir.
- Beton kapasite dizayn metodu, deney sonuçlarına göre daha yüksek kırılma yükü vermektedir.

Gürol (2007) yaptığı tez çalışmasında mevcut yapıların sismik etkilere karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemleri incelemiştir. Bu çalışmada güçlendirme uygulamalarının yapının davranışına etkisini ele almadan önce genel itibariyle yapı taşıyıcı elemanlarının depreme benzeyen yükler altındaki davranışlarına değinilmiştir. Uygulama yeri ve sekline göre çeşitli etkileri olan güçlendirme yöntemleri, elde edilen bilgiler doğrultusunda, eleman ve sistem bazında olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Her bir güçlendirme yönteminin yapı davranışına etkisi literatürde yer alan çeşitli deneysel çalışmalar yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada, güçlendirme yöntemlerinin davranışa etkisi ve temel tasarım ilkeleri belirlendikten sonra mevcut bir yapı ele alınmıştır. Seçilen yapı ABYYHY–2006 kuralları çerçevesinde irdelenmiş ve

deprem dayanımının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla, yapının durumuna göre bir güçlendirme yöntemi seçilip doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yardımıyla yapısal kapasiteler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak binanın performans düzeyi kriterlerine göre irdelenmiştir.

Nohutçu (2007), prefabrik betonarme endüstri yapıların dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, mevcut betonarme sanayi yapılarının deprem davranışı deneysel olarak incelenmiş ve dış perde uygulaması ile güçlendirilmesi yapılmıştır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar ile mevcut bu çalışma karşılaştırılarak yapıların ortak özellikleri ve zayıflıkları tespit edilmiştir.

Alsancak (2007), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hasır çelikli betonarme plaklarla güçlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada; dolgu duvarlar dikkate alınarak yedi katlı beş açıklıklı bir yapı ele alınmıştır. Sap2000 programı kullanılarak FEMA 356'da Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi ile yapı performans hesapları yapılmıştır. Dolgu duvarların ise yeni deprem yönetmeliğinde yer alan koşullara göre çapraz elemanlar olarak modellendiği ifade edilmiştir. Hasır donatılı beton tabakası ile takviye edilmiş duvarlarda, yeni yönetmelik koşulları esas alınarak, doğrusal olmayan analiz yardımıyla değerlendirilmiştir. Hasır donatılı beton tabakası ile güçlendirme yönteminin çelik şeritlerle, FRP ile ve perde ile güçlendirme yöntemleri arasındaki performansı araştırılmıştır. Dolgu duvarların ve takviyeli dolgu duvarların katkıları ortaya koyulan bu çalışmada; bina hasarların onarılması için kullanılan malzeme ve yöntemler incelenmiş, güçlendirme yönteminin hangisinin daha verimli olacağı üzerinde çalışılmalar yapılmıştır. Buna ek olarak, duvarların sadece bir ayırıcı eleman olarak değil, taşıyıcı olarak da önem arz ettikleri, güçlendirilerek kapasitelerinin arttırılmasının ucuz ve etkili bir güçlendirme yolu olduğu ifade edilmiştir.

Onar (2007), tarafından yapılan araştırmada; ilk aşamada yığma yapılarında meydana gelen hasar türleri ve nedenleri incelenmiş, güçlendirme kavramı ele alınmış ve uygulamada yığma yapıların güçlendirme metotları incelenmiştir. Tuğla duvarların CFRP şerit ve dokuma malzemesi kullanılarak güçlendirilmesinin duvar davranışı ve dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Model tuğla duvarların güçlendirilme programı seriler halinde yapılarak her bir seride 12 adet numune olmak üzere 3 adet seri oluşturularak toplam 36 adet numune duvar örülmüştür. Sonuç olarak, dokuma CFRP ile yapılan güçlendirmenin en yüksek dayanımı gösterdiği, şerit (lamine) CFRP ile yapılan güçlendirmede de tuğla duvar dayanımının önemli ölçülerde artış

gösterdiği belirlenmiş ve model duvarların yer değiştirmelerinin kayda değer derecede artış olduğu ifade edilmiştir.

Altın ve ark., (2008) sünek olmayan betonarme çerçevelerin, betonarme dolgu ile güçlendirilmesi ile yanal yükler altındaki davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, toplamda 6 adet ikisi referans deney elemanı olmak üzere 1/3 ölçekli, tek açıklıklı iki katlı sünek olmayan betonarme çerçeveler üretilmiştir. Genellikle pratikte kullanılan yapılarda bulunan kusurları içermekte olan deney çerçeveleri, betonarme dolgu ile güçlendirilerek yatay yükler altında test edilmiştir. Yapılan deneylerde, ankraj boyları ve yerleşiminin incelenmesi, bindirmeli ek bölgelerindeki donatı koşullarının incelenmesi araştırılmıştır. Bu deneylerden beş tanesinde, bindirmeli ekler kat hizasında yapılmıştır. Bu güçlendirme teknikleri şu şekilde gerçekleştirilmiştir: I) iki kat arasına sürekli boyuna donatılar kullanılarak betonarme dolguların üretilmesi, II) dolgu duvarının iki tarafına yeni kolonların eklenmesi, III) bindirmeli eklerin kaynak ile yapılması şeklindedir. Tüm deney elemanlarında betonarme çerçevede kullanılan betonun dayanımı 15 MPa, güçlendirme elemanlarında kullanılan betonun dayanımı 30 MPa' dır. Tüm yüklemelerde toplam yatay yükün 1/3' ü alt kata, 2/3' ü üst kata uygulanmış ve eksenel yük ihmal edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda;

- Çizelge 2.5.' de görüldüğü gibi, referans numuneye göre güçlendirilmiş elemanlarda, 5 ile 12 kat arasında dayanımda artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Güçlendirilmiş elemanların dayanım, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerinin referans boş çerçeveye göre yüksek olduğu bulunmuştur.

- Yetersiz bindirmeli eklerin olduğu boş çerçevenin, dolgu duvar ile güçlendirildiğinde dayanım ve rijitliğin arttığı tespit edilmiştir.

- Analitik çalışma ile deneysel çalışma yaklaşık aynı sonuçları vermiştir.

Çizelge 2.5. Deney sonuçlarının özeti

Deney sonuçlarının özeti

Deney elemanları	Maksimum yatay yük (kN)				Maksimum yatay yükteki göreceli kat ötelenmesi oranı (%)		Göçme Mekanizması
	İleri	[a]	Geri	[b]	İleri	Geri	
1	13.94	1.00	−15.46	1.00	2.01	−2.01	Kolon mekanizması
2	156.00	11.19	−155.00	10.03	0.27	−0.30	Kesme
3	82.61	5.93	−82.54	5.34	0.33	−0.34	Eğilme-kesme
4	127.02	9.12	−111.97	7.24	0.29	−0.21	Eğilme-kesme
5	136.53	9.79	−136.18	8.81	0.31	−0.25	Eğilme-kesme
6	165.25	11.85	−174.25	11.27	0.32	−0.33	Eğilme-kesme

[a] İleri çevrimlerde güçlendirilmiş elemanın ulaştığı maksimum yükün referans boş çerçevenin ulaştığı maksimum yüke oranı
[b] Geri çevrimlerde güçlendirilmiş elemanın ulaştığı maksimum yükün referans boş çerçevenin ulaştığı maksimum yüke oranı

Özmen (2008), 5 tanesi idealize edilmiş parametrik model, 2 tanesi de yapılmış gerçek binalara dayalı model olmak üzere toplam 7 analitik model incelemiştir. İncelediği modellerin mimari geçerliliği ise Bolu şehrinde bulunan yıkılmış 3 adet gerçek proje üzerinde denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda depreme dayanıklı strüktürel tasarımın toplam yapım maliyetini sadece %4-8 kadar arttırdığı görülmüştür.

Ersubaşı (2008), yaptığı çalışmada yığma yapılarda uygulanabilecek ekonomik yöntemlerin deprem dayanımına olan katkısı, dinamik bir deney düzeneğinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Dinamik yükleme için 1/10 ölçekli ve tek odalı bir yapı modeli oluşturulmuş ve sarsma masasında test edilmiştir.

Yıldırım (2008), deprem etkisindeki betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi üzerine yaptığı bir çalışmada, örnek bir yapı üzerinde yeni deprem yönetmeliğinde yer alan performans esaslı hesap yöntemindeki temel kavramları irdelenmiş ve yöntemlerin uygulanmasındaki zorluklar belirlenmiştir. Ayrıca seçilen binada çeşitli güçlendirme alternatifleri için maliyet kıyaslaması yapılmış ve en uygun modelin istenilen performans düzeyinde olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Gültekin (2008), tarafından yapılan çalışmada; 2007 yılında yürürlüğe giren TDY2007'ye uygun olarak mevcut bir binanın depreme dayanıklılığının değerlendirilmesi ve gerekli olması halinde güçlendirme projelerinin hazırlanması hedeflenmiştir. Bu nedenle öncelikle proje mühendislerince yaygın olarak kullanılan Sta4-Cad ve IdeStatik yapı analiz programları yardımıyla basit çerçeveli 5 katlı bir bina üzerinde Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak analizler yapılarak ortaya çıkan sonuçlar uluslararası çevrelerce kabul gören Etabs yapı analiz programının sonuçları ile mukayese edilmiştir. Mevcut çalışma ile Etabs ile büyük ölçüde uyumlu olduğu anlaşılan Sta4-Cad programı ile Adana ili Ceyhan ilçesinde bulunan bir okul binası herhangi bir deprem durumunda yeterli olup olmadığını görmek için analiz edilmiş ve gerekli görülmesi üzerine güçlendirme yapılmıştır.

Terzioğlu (2011) yaptığı çalışmada deprem yüklerine karsı sıklıkla kullanılan kısa betonarme perde duvarların yatay yük ve deformasyon kapasitelerini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmada kısa perde duvarların yatay dayanımları ve enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Yapı Laboratuvarında, değişik en-boy oranlarında, farklı donatı oranlarına sahip 11 kısa duvar numunesi denenmiştir. Numuneler yatay tersinir yükler altında yüksek deplasman seviyelerine kadar test edilmiştir. Elde edilen kesme kapasiteleri ve yatay yük–deplasman zarf eğrileri,

Amerikan ve Türk şartnamelerinde betonarme kısa perde duvarlar için tanımlanmış dayanım hesaplarıyla ve kısa duvarlar için öne sürülen kesme kuvveti – şekil değiştirme zarf eğrileriyle kıyaslanarak sunulmuştur.

Demir ve ark. (2009), ankraj malzemesi olarak uygulamada yaygın biçimde kullanılan S220 ve S420 sınıfı donatılar seçmiş ve donatıların betona ekilmesinde reçine bazlı epoksi kullanarak numuneler üretmişlerdir. Numunelere çekip-çıkarma testi uygulanmış, ankraj delik çapı ve ankraj gömme derinliğinin test sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına göre; delik çapının donatı çapına yakınlığının sıyrılma direncini arttırdığı, nervürsüz (BÇI) donatılarda aderans tükenmesinin epoksi ile donatı arasındaki sıyrılma sonucu oluştuğu, nervürlü (BÇIII) donatılı ankrajlarda ise aderans tükenmesinin epoksi ile beton arasındaki yetersizlik sonucu oluştuğu ve betonda konik çatlakların meydana geldiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Baran ve ark. (2010), geliştirdikleri güçlendirme yöntemi ile yapının boşaltılmasına gerek kalmadan ve konut kullanıcılarına fazla rahatsızlık vermeden uygulanabilmektedir. Bu amaçla toplam 18 adet boşluklu tuğla duvarlı çerçeve, tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Bu çalışmada deney elemanları 6 farklı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, yüksek dayanımlı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilen boşluklu tuğla dolgu duvarları hem eşdeğer çapraz çubuk elemanları ile hem de eşdeğer kalınlığa sahip duvarlar ile modellenmiştir. Deney sonuçları bu iki yaklaşımın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre;

- Her iki yöntemle de tasarım için gerekli olan çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesi yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

- Her iki yöntemle de maksimum yatay yük sonrası davranış doğru şekilde yakalanamamıştır.

- Yöntemlerin her ikisi de güçlendirme tasarımında, mevcut yapıların elastik çerçeve modellemelerine kolaylıkla adapte edilebilmekte ve böylece zamandan ve emekten tasarruf edilebilmektedir.

Öztürk (2010) yaptığı 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 incelenmiştir. Bu

kapsamda 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 test edilmiştir. 5. deney olarak da güçlendirme amacıyla sisteme ilave edilen dış perdenin bireysel olarak dayanımı ve davranışı araştırılmıştır. 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 test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmiş ve 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 karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Gülmez (2010) yaptığı çalışmada Türkiye'de var olan yapı stoğunun depreme karsı güçlendirilmesinde izlenmesi uygun olan yöntemleri incelemiştir. Bu çalışmada hangi durumda nasıl bir güçlendirme yöntemin seçilebileceği anlatılmıştır. Türkiye'de pek de bilinçli olmadan uygulanmakta olan bu yöntemlerin dayandığı temel ilkeler gerekçeleriyle birlikte tanımlanmış, uygulamada önem taşıyan bazı kavramlar vurgulanmıştır.

İnan (2010) tarafından yapılan çalışmada; plan düzlemindeki ve düşey doğrultudaki yapı düzensizlikleri TDY2007'ye dayandırılarak detaylı bir biçimde araştırılmıştır. Plan düzlemindeki her yapı düzensizliği 4 ana örnek çalışma ile örneklendirilmiştir. Modeller simetrik veya asimetrik plan geometrisi ve düzenli veya düzensiz rijitlik dağılımı şeklinde oluşturulmuştur. Tüm modeller, IdeCAD Statik yapı analiz programı ile analiz edilerek binaların, kat sayısı, aks sayısı, taşıyıcı elemanların konfigurasyonu, döşeme açıklıkları, plan ve düşey doğrultudaki çıkma durumlarına göre deprem davranışları ele alınmıştır. Yapılan analizle sonucunda en dikkat çekici sonuç, plan geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımından tamamen simetrik binalarda dahi, yanlış taşıyıcı sistem seçiminden dolayı yapı düzensizliklerinin görülebilmesidir.

Özdöner (2011) yaptığı çalışmada, mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında bina kullanıcıları binayı terk etmeden binanın dışından sistemin iyileştirilmesi yöntemi incelemiştir. Bu amaçla, ülkemizdeki mevcut

betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 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 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 güçlendirilmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'de 1970'li yıllardan itibaren betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvar ile güçlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalar sürmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte son yıllarda betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalarda da artış gözlenmiştir. Bu çalışmaların sebeplerinde biri de dünyada ve ülkemizde bulunan yapı stoğunun istenilen deprem dayanımını sağlayamaması ve inşa edilen yapıların özen gösterilmeden ve bilinçsizce yapılmasıdır. Güçlendirme çalışmaları günümüzde de güncelliğini korumakta ve yeni güçlendirme teknikleri geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle tek katlı tek açıklıklı ve iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeveler betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmektedir. Betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirme yönteminin etkinliği ve dolgu duvarın, betonarme çerçevenin davranış ve dayanımı üzerindeki etkileri incelenmektedir (Kara, 2006).

Ülkemizde konu ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda mevcut betonarme çerçevelerdeki kusurlar çerçevelere yansıtılmakla beraber, bu çalışmalarda betonarme dolgu duvar çerçeve düzemlinin içine yerleştirilerek test edilmiştir. Ancak çerçeve düzlemi içine betonarme dolgu duvar ilavesi sırasında, hesaplarda göz önüne alınmayan fakat yapının dayanımına katkısı olana tuğla duvarların yıkılması gerekmektedir. Ayrıca bu güçlendirme yöntemlerinde bina sakinlerinin evlerini boşaltmaları gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı yapılan bu çalışmada betonarme perde duvar çerçeve düzlemi içine değil, betonarme çerçeve düzlemine bitişik olarak imal edilerek, hem mevcut tuğla duvarın korunması hem de bina sakinlerinin binayı boşaltmasını gerektirmeyecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu bölümde, deprem güvenliği olmayan yani depreme dayanıklı betonarme bina yapım kurallarına uymayan ve uygulamada sıkça karşılaşılan tasarım ve yapım kusurlarını içerecek şekilde imal edilmiş 4 adet deney numunesinin geometrik özellikleri, malzeme özellikleri, yükleme ve ölçüm sistemleri açıklanmıştır.

Deneysel çalışmada O.D.T.Ü ve Gazi Üniversiteleri'nde S. Altın, M. E. Kara ve Ö. Anıl'ın çalışmalarında kullanılan deney elemanı ile aynı geometrik boyutlarda, iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli betonarme çerçeve kullanılmıştır. Türkiye'de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan sistemlerde gözlemlenen bazı kusurlar, deney

elemanlarının hazırlanmasında da göz önünde tutulmuştur. Betonarme çerçeve deney elemanlarının tasarlanıp üretilmesinde uygulanan kusurlar şunlardır;

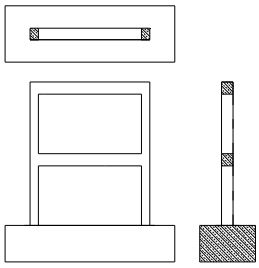
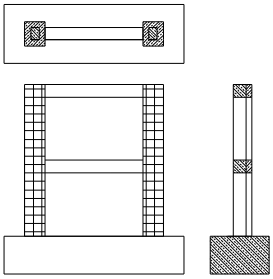
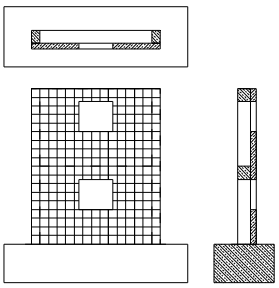
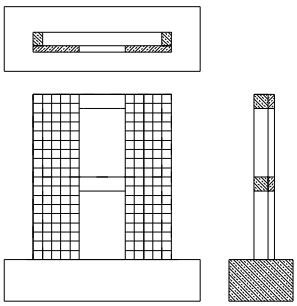
a) Beton dayanımının düşük olması,
b) Kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde etriyelerin devam ettirilmemesi,
c) Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması,
d) Donatı dayanımının istenilen düzeyde olmaması,
e) Etriye kancalarının 90^o olması,
f) Kuvvetli kiriş-zayıf kolon birleşimi.

3.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada kullanılan betonarme çerçeveler 2 katlı olup tek açıklıklı olarak üretilmişlerdir. Tüm deney elemanlarında çerçevelerin geometrik boyutları ve donatı detayları aynıdır. Çerçevelerde kat yüksekliği 900 mm, çerçeve açıklığı ise dıştan dışa 1500 mm'dir. Kuvvetli kiriş – zayıf kolon uygulaması için, kirişlerin boyutu 150x150 mm ve kolonların boyutları ise 100x150 mm'dir. Betonarme çerçeve 500x700x2500 mm boyutlarında bir temel kirişine mesnetlenmiştir.

Deney programı içerisinde 4 adet deney numunesi hazırlanmış ve tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney elemanları ve deneysel çalışmada bulunan değişkenler Çizelge 3.1.' de verilmiştir. Deney programında ilk deney referans numune olarak üretilen betonarme boş çerçevedir. İkinci deney ise piyasada sıkça kullanılan betonarme çerçevenin mantolanması ile güçlendirilen betonarme çerçeve incelenmiştir. Diğer iki numunede ise betonarme boş çerçeveye düzlem dışı betonarme perde eklenmesi düşünülmüştür. Dış çerçevelerde genellikle pencere boşluğu bulunduğu için üçüncü numunede pencere boşluğu bırakılmış ve bu pencere boşluğunun menfi etkisi incelenmiştir. Dördüncü numunede ise pencere boşluğunun sağında ve solunda dış perde duvarlar oluşturulmuş bunların arasındaki betonarme bağ kirişleri imal edilmemiştir (Kaltakcı ve ark., 2011).

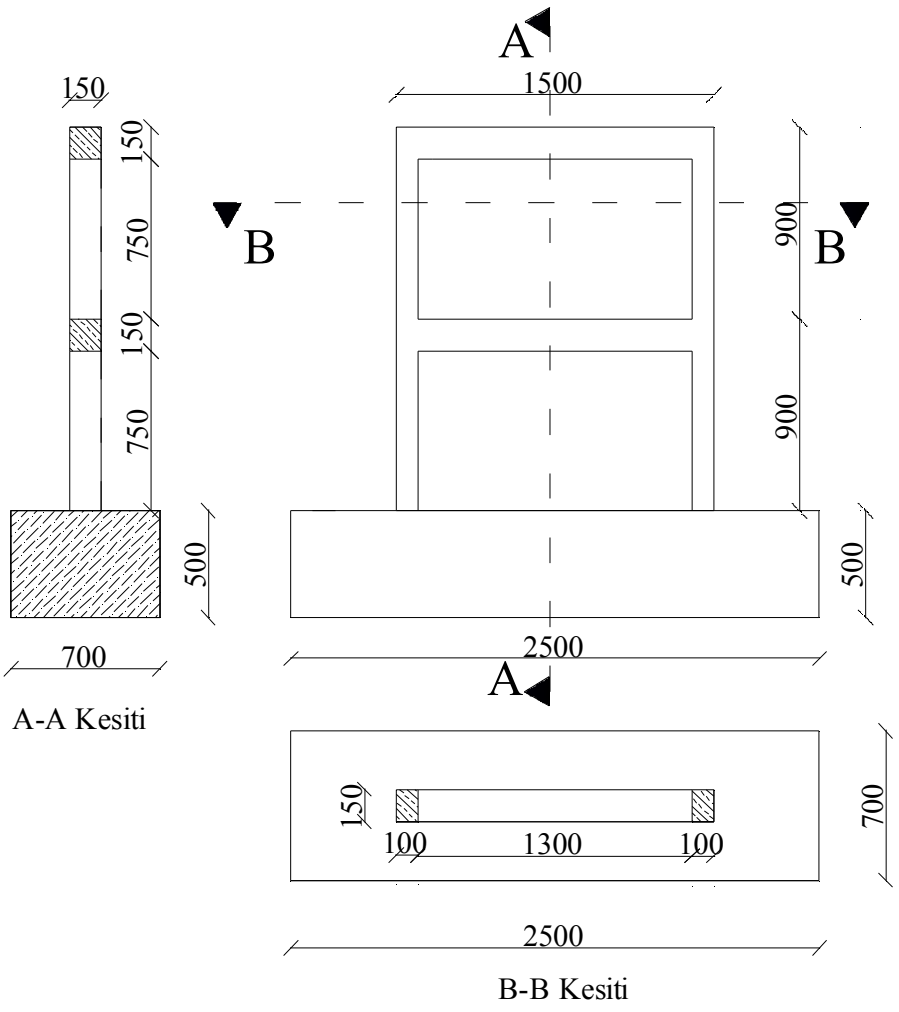
Çizelge 3.1. Deney numunelerinin genel özellikleri

Deney Numarası	Deney Numunesinin Özellikleri	Deney Numunesinin Resmi
1.Deney	Betonarme Boş Çerçeve RS (Reference Specimen)	
2.Deney	Kolonların Mantolanması İle Güçlendirilmiş Çerçeve CR (Column Retrofitted)	
3.Deney	Pencere Boşluklu Düzlem Dışı Betonarme Perde İle Güçlendirilmiş Çerçeve OSWMSW (Outer Sherawall With Middle Small Window)	
4.Deney	Düzlem Dışı İki Betonarme Perde İle Güçlendirilmiş Çerçeve OSW2P (Outer Shearwall With 2 Pieces)	

3.1.1. Deney numunelerinin boyutları

Betonarme boş çerçeve tasarlanırken mevcut binalardaki açıklık ve yükseklik ile kolon kiriş boyutları dikkate alınarak belirlenmiş ve çerçeve boyutlarının 1/3 geometrik ölçeği ile hazırlanmıştır. Betonarme çerçevede açıklık dıştan dışa 1500 mm, kat yüksekliği ise temel üstünden 1. Kat kirişinin üst seviyesine kadar 900 mm'dir. Temel

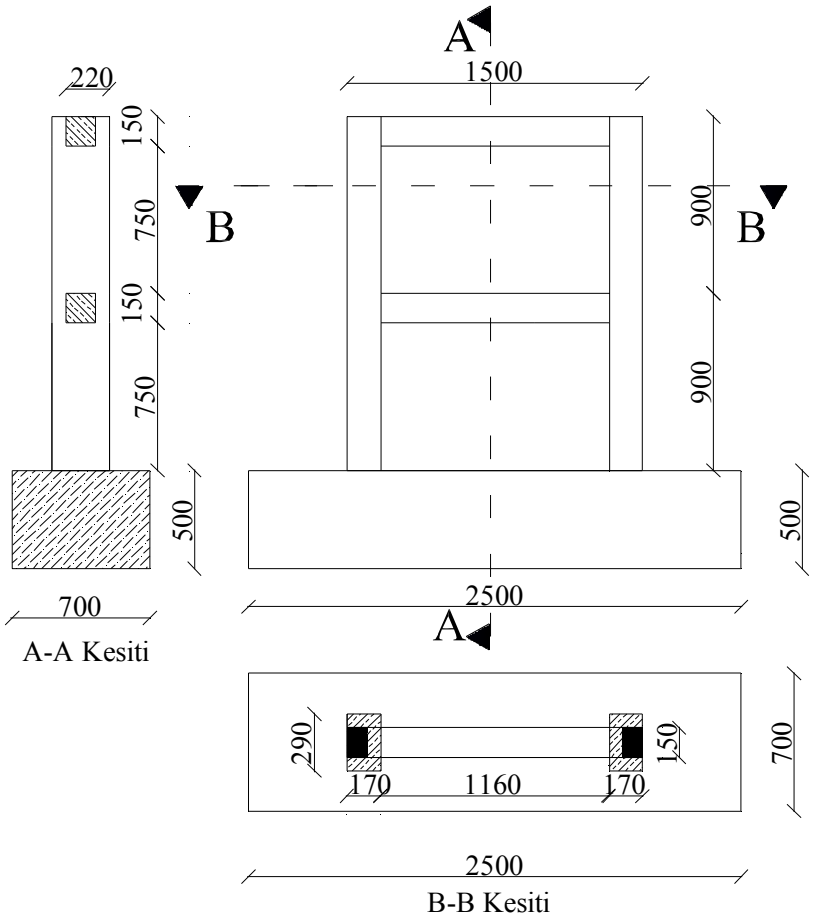
bölgesinde herhangi bir ölçüm yapılamayacağı için temel boyutları oldukça rijit seçilmiş olup 500x700x2500 mm boyutlarında bir temel kirişi imal edilmiştir. Kolon boyutları olarak 100x150 mm'lik, kiriş boyutları olarak da, kuvvetli kiriş zayıf kolon oluşumu için 150x150 mm'lik bir kesit seçilmiştir. Referans boş çerçevenin boyutları Şekil 3.1.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Referans boş çerçevenin boyutları (ölçüler mm'dir)

Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçeve de referans boş çerçeveyle aynı boyutlara ve donatı düzenine sahiptir. Referans numuneye göre ek olarak kolonlar mantolanmıştır. Kolonlar mantolanırken tersinir tekrarlanır yükün çerçeveye verilmesi amacıyla kolonlar üç taraftan mantolanmış, kolonların bir yüzü mantolanmamıştır. Laboratuvarımızda halen yapılmakta olan Öğr. Gör. Fatih Bahadır'ın çalışmalarıyla

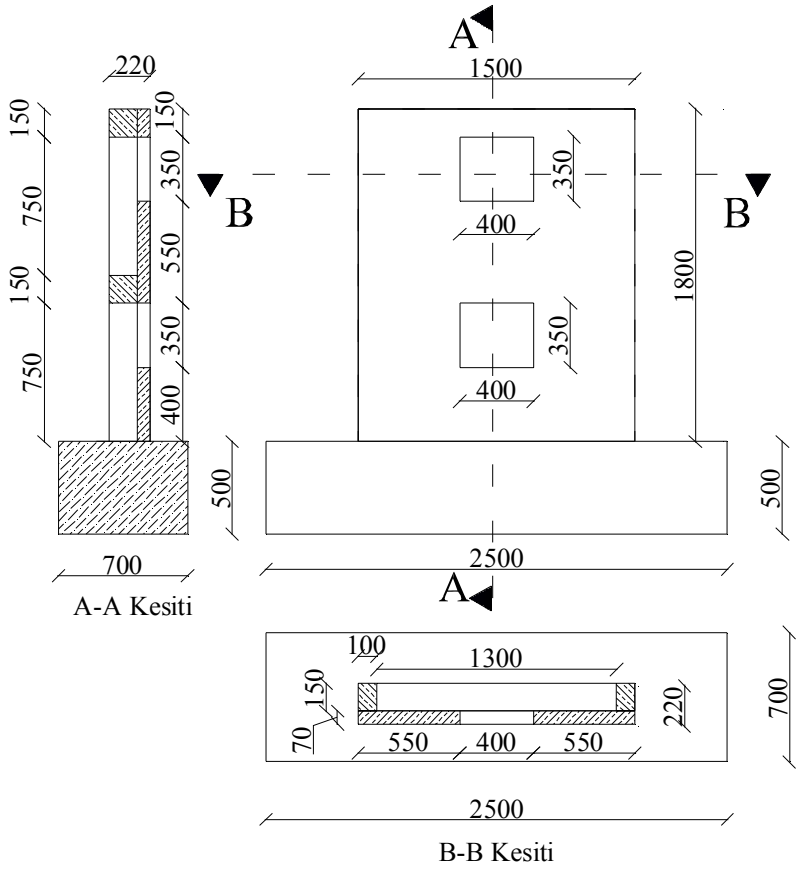
kıyaslamak amacıyla da üretmiş olduğumuz numunede, manto kalınlığı 70 mm olarak uygulanmıştır. Bu numuneye ait boyutlar Şekil 3.2.' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçevenin boyutları (ölçüler mm'dir)

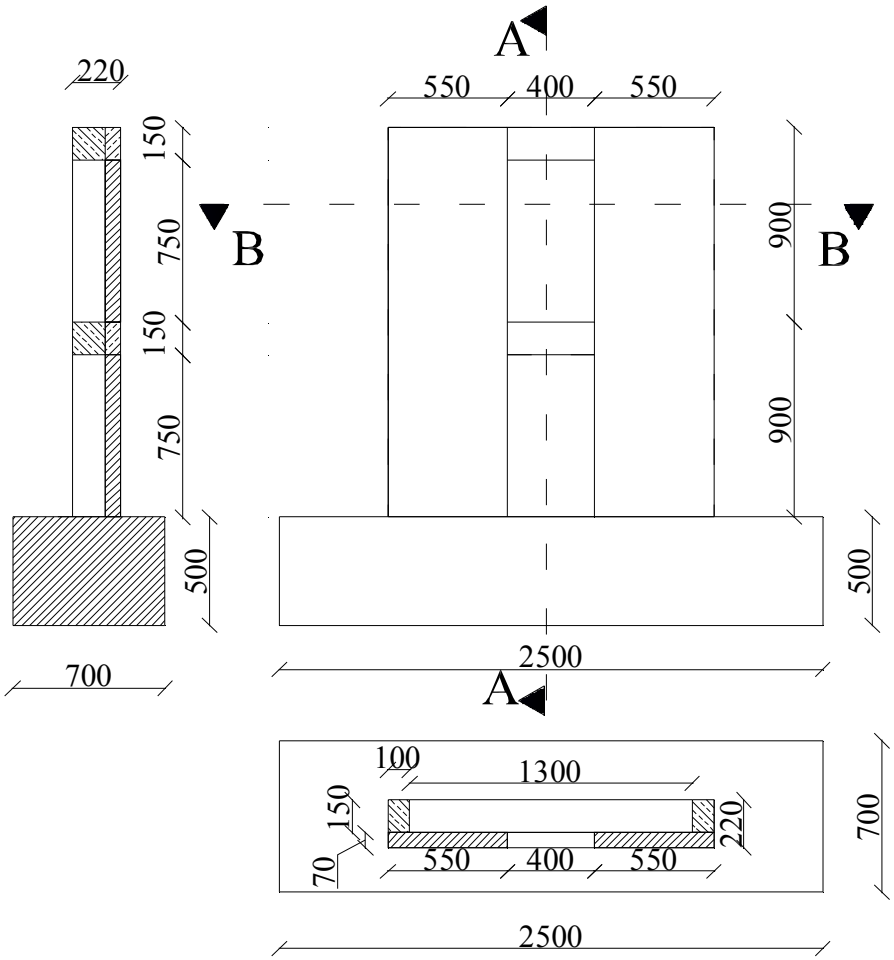
Pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçeve, referans boş çerçeve ile aynı geometrik boyutlara ve donatı düzenine sahiptir. Bu deney elemanında ek olarak düzlem dışı betonarme perde uygulaması yapılmış ve binaların büyük bir kısmında bulunan pencere boşluklarının dayanıma etkisi incelenmek istenmiştir. Bu amaçla hazırlanan deprem numunesi TDY2007'de belirtilen minimum perde kalınlığı olan 200 mm göz önüne alınmıştır. Buna göre numunelerimizin boyutları 1/3 oranında küçültüldüğünden, perde kalınlığı 70 mm olarak uygulanmıştır. Pencere boyutları da gerçek pencere ölçüleri referans alınarak hazırlanmış ve 1/3 oranında küçültülerek 350x400 mm olacak şekilde imal edilmiştir. Bu deney numunesi de Öğr. Gör. Fatih BALIK ve Öğr. Gör. Fatih BAHADIR'ın halen devam etmekte olan doktora

çalışmalarındaki pencere boşluklu numuneler ile farkları karşılaştırılacaktır. Bu deney numunesine ait boyutlar Şekil 3.3.' de verilmiştir.



Şekil 3.3. Pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevenin boyutları (ölçüler mm'dir)

Düzlem dışı iki betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numune de, referans boş çerçeve ile aynı geometrik boyutlara ve donatı detaylarına sahiptir. Bu numunede pencere boşluklarının altlarında kalan betonarme kısımların dayanıma etkisinin anlaşılması amacıyla pencere bulunan bölgelerde perde imal edilmemiş ve iki perdeli olacak şekilde hazırlanmıştır. Perde genişliği 550 mm olacak şekilde iki perdeden oluşturulmuştur. Bu numunede de perde kalınlığı, pencere boşluklu numunede olduğu gibi 70 mm seçilmiştir. Şekil 3.4.' de bu numuneye ait boyutlar verilmiştir.



Şekil 3.4. Düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevenin boyutları (ölçüler mm'dir)

3.1.2. Deney numunelerinin detayları

3.1.2.1. Betonarme çerçeve detayları

Bu çalışmada kullanılan beton ve donatı detayları, Türkiye'de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda sıkça karşılaşılan bazı yapım kusurlarını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçevede kullanılan betonun basınç dayanımının f_c=16 MPa, betonarme manto ve perde ile güçlendirilen deney numunelerinin manto ve perdelerindeki betonun basınç dayanımının f_c=25 MPa olması hedeflenmiştir.

Çerçevelerde kullanılan donatının düz yüzeyli (S220) olması hedeflenmişse de, piyasadan nervürsüz donatı temin edilemediği için, nervürlü donatı (S420) kolon ve kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılmıştır.

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde açıklıkta altta 3ϕ10 eğilme donatısı ve üstte 3ϕ10 montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde pilye kullanılmamış, açıklıkta ve mesnette donatı oranı sabit tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı; ρ=0,0105'tir. Bu donatı oranı TS500'de belirtilen sınırlar dahilindedir.

$$0.02 > \rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{3 \times 79}{150 \times 150} = 0.01053 \geq \rho_{\min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \times \frac{0.85}{3.65} = 0.00186 \quad (3.1)$$

Kolonlarda ise 4ϕ10 boyuna donatı kullanılmış olup donatı oranı ρ=0.02106 olmaktadır. Bu donatı oranı yönetmelikte belirtilen sınırlar dahilinde olmaktadır.

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{4 \times 79}{150x100} = 0.02106 \geq \rho_{\min} = 0.01 \quad (3.2)$$

Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzeyine kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren kiriş yüksekliği boyunca (150 mm) yukarı ve aşağı yönde bükülmüştür. Kolon donatılarında ise boyuna donatı yerleşiminde sürekli donatı detayı uygulanmış ve bindirmeli ek yapılmamıştır. Korkmaz ve Ark. (2010) çalışmalarında yetersiz bindirmeli ek yapılarak üretilen kolonlarda boyuna donatı sıyrılması deneyleri olumsuz yönde etkilemiş ve deneyde incelenen parametrelerin etkisinin görülmeden deneylerin sonlanmasına sebep olmuştur. Bu nedenle tez çalışması kapsamındaki numunelerde boyuna donatılar sürekli olarak yapılmıştır.

Kolon ve kirişlerde ϕ6/100 mm aralıklarla enine donatı (etriye) kullanılmıştır. TS-500-1984'de minimum etriye çapı 8 mm olarak verilmiştir. TS-500-2000 ve TDY2007'de ise etriye çapı için minimum değer 8 mm, etriye aralığı için ise en fazla 12ϕ ya da 200 mm'dir.

Kolonlar için;

Etriye çapı en az $\phi_\ell / 3 = 8/3 = 2.67mm$ (3.3)

Etriye aralıkları $s \leq \begin{matrix} 12\phi_\ell = 12 \times 10 = 120mm \\ 200/3 = \quad 67mm \end{matrix}$ (3.4)

Kirişler için;

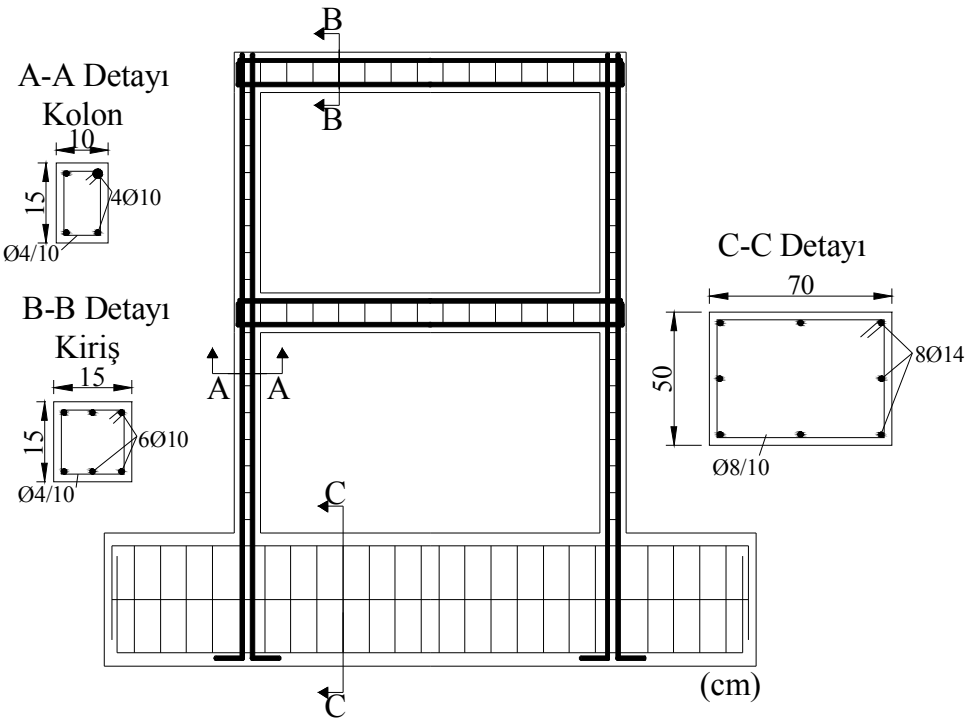
Etriye çapı en az $\phi_\ell / 3 = 8/3 = 2.67mm$ (3.5)

Etriye aralıkları sarılma bölgesi dışında $s \le d/2 = 100/2 = 50mm$ (3.6)

Bu sebeplerden dolayı 1/3 ölçekli deney elemanlarında kolon ve kirişlerde ϕ6/50 mm enine donatı kullanılması uygundur. Fakat etriye aralıklarının ilgili yönetmelik ve standartlara uygun yerleştirilmemesinin etkisi incelendiği için, etriye aralıkları 100 mm olacak şekilde düzenlenmiştir.

Betonarme çerçevelerde temel donatısı olarak 8ϕ14 boyuna donatı kullanılmış, ϕ8/100 mm enine donatı kullanılmıştır.

Şekil 3.5.' de betonarme çerçevelerin donatı detayları verilmiştir. Bu şekilde A-A kesiti kolon donatılarının detayını, B-B kesiti kiriş donatılarının detayını ve C-C kesiti de temel donatılarının detayını göstermektedir.



Şekil 3.5. Betonarme çerçevelerin donatı detayları

Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları, uygulamadaki durum dikkate alınarak 90^o olacak şekilde düzenlenmiştir. Bütün deney elemanlarında paspayı, donatı yüzünden itibaren 10 mm olarak yapılmıştır. Şekil 3.6.' da donatıları yerleştirilmiş çerçeveler görülmektedir.



Şekil 3.6. Donatıları yerleştirilmiş çerçeve numunesi

Şekil 3.7.' de temel donatılarının düzenlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Temel donatılarının düzenlenmesi

Şekil 3.8.' de ise bindirmeli ek yapılmayan kolon donatılarının, temel içine uzatılması ile oluşturulmuş donatı detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Bindirmeli ek yapılmayan kolon donatılarının temel içine uzatılması

Şekil 3.9.' da numune birleşim donatı detayları verilmiştir. Bu detaylarda etriye kancalarının 90^{o} olarak yapıldığı, kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının yapılmaması ve etriye aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.9. Kolon ve kiriş donatılarının düzenlenmesi

3.1.2.2. Güçlendirilmiş numune detayları

Kolonların Mantolanması ile Güçlendirme, Pencere Boşluklu Düzlem Dışı Betonarme Perde ile Güçlendirme ve Düzlem Dışı İki Betonarme Perde ile Güçlendirilmiş çerçevelerde kullanılan beton dayanımının f_c=25 MPa olması hedeflenmiştir.

TDY-2007'de yeni yapılacak betonarme perdeler ile mevcut çerçeveler arasında ankraj uygulamasının gerekliliğinden söz edilmekte ve bu ankrajların minimum çaplarının ϕ16 mm olması gerektiği, ankraj aralıklarının maksimum 400 mm olması gerektiği ve ankraj derinliğinin en az, çubuk çapının 10 katı kadar olması gerektiğinden söz edilmektedir. Bu verilere göre 1/3 ölçekli numunemizde;

16/3 = 5.3 mm lik çubuk kullanmak,
400/3 = 133 mm lik bir ankraj aralığı,
10ϕ = 10x10 = 100 mm ankraj derinliği kullanmak yeterli olacaktır.

Deneylerimizde güçlendirilmiş çerçevelerin çeşitli özelliklerini incelemek hedeflenmiştir. Güçlendirilmiş çerçevelerin ankraj sıyrılması ile dayanımlarında oluşabilecek azalmalar, bu numunelerde inceleyeceğimiz parametreleri olumsuz yönde etkileyecek ve bu parametreleri sağlıklı bir şekilde yorumlamamızı engelleyeceğinden, ankraj donatılarını öngörülenden daha güçlü yapmak hedeflenmiştir. Bu bağlamda 5.3 mm çapında ankraj çubuğu yeterli iken 10 mm çapında ankraj çubuğu kullanılmış, 150 mm ankraj aralığı ile yerleştirilmiştir. 100 mm ankraj derinliği yeterli iken temeldeki ankrajlarda 200 mm, kolon ve kirişlerdeki ankrajlarda 100 mm ankraj derinliği kullanılmıştır. Şekil 3.10. 'da kolon ve kirişlerde kullanılan ankraj çubukları, Şekil 3.11.' de ise temelde kullanılan ankraj çubukları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kolon ve kirişlerde kullanılan ankraj donatıları



Şekil 3.11. Temellerde kullanılan ankraj donatıları

Düzlem dışı betonarme perdelerde donatı detayları, TDY-2007'nin vermiş olduğu kriterlere göre aşağıdaki şartlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Perde Kalınlığı;

$$\left.\begin{aligned} b_w &\geq \frac{h}{20} = \frac{900}{20} = 45mm \\ b_w &\geq \frac{200}{3} = 66.67mm \end{aligned}\right\} \text{seçilen } b_w = 70 \text{ mm} \qquad (3.7)$$

Perdenin plandaki uzunluğu, perde genişliğinin en az 7 katı olmalıdır. Bu sebeple seçilen

$L_w = 70 \text{ x } 7 = 490 \text{ mm} < 1500 \text{ mm}$ (OSWMSW numunesi için) (3.8)

$L_w = 70 \text{ x } 7 = 490 \text{ mm} < 550 \text{ mm}$ (OSW2P numunesi için) (3.9)

boyutlar uyundur.

Perde uç bölgeleri;

$\frac{H_w}{L_w} > 2.0$ olan perdelerde, her iki uçta perde uç bölgeleri oluşturulmalıdır.

OSWMSW numunesinde bu oran 2.0'dan küçük olduğu için perde uç bölgeleri oluşturulmayacaktır. Fakat Öğr.Gör.Fatih Bahadır'ın doktora tezinde kullandığı mantolu güçlendirme teknikleri ile kıyaslama yapılabilmesi için perdelerin uçlarına sarılma bölgesi yapılmış, ancak perde uç bölgesi olarak değerlendirilmemiştir. OSW2P numunesi ile OSWMSW numunesini karşılaştırmak amacı ile OSW2P numunesine de başlık bölgesi yapılmamış ve pencere boşluğunun altında kalan betonarme bölümün etkisi incelenmiştir.

Gövde donatıları;

TDY-2007 3.6.3.1 maddesinde belirtildiği üzere perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. Hw / ℓw ≤ 2.0 olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak göz önüne alınacaktır. 1 m için bu hesaplar yapılırsa;

$$A_{sgövde} = 0.0025 \times b_w \times L_w = 0.0025\text{x}70\text{x}1000=175 \text{ mm}^2 = 1.75 \text{ cm}^2 \quad (3.10)$$

donatı yerleştirilmesi gerekmektedir.

Hasır donatı olarak piyasadan temin edilen 6 mm çapında nervürlü inşaat çeliği kullanılmıştır. Hasır donatı aralıkları düşeyde ve yatayda 15 cm aralıklarla oluşturulmuştur. Bu sebeple m^2'ye düşen donatı 100cm/15cm= 6,67 adet olup, yaklaşık olarak 6 alınmıştır. Böylece m^2'ye düşen donatı alanı, 6ϕ6 mm için, 1.70 cm^2 olup iki yüzde toplam 1.70x2=3.40 cm^2'dir. Bu alan düşey ve yatay donatıların her biri için hesaplanmıştır. Bu sebeple 3.40 cm^2 > 1.70 cm^2 olduğundan hasır donatı kullanıma uygundur. Güçlendirme numunelerinde kullanılan hasır donatılar Şekil 3.12' de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Güçlendirme numunelerinde kullanılan hasır donatılar

Hasır donatılar uçlarından bükülemediği için, hasır donatılarının başlarına ⊂ şeklinde gövde donatıları eklenmiştir. Bu donatılar hasır donatı aralıkları gibi 15 cm aralıklarla yerleştirilmiş olup, kenetlenme boyu kadar uzatılmıştır.

$$l_b = \left(0{,}12\frac{f_{yd}}{f_{ctd}}\phi\ \right) \geq 20\phi \tag{3.11}$$

$$l_b = \left(0{,}12\frac{3650}{9}10\right) = 486{,}67mm \tag{3.12}$$

$$20\phi = 20x10 = 200mm \tag{3.13}$$

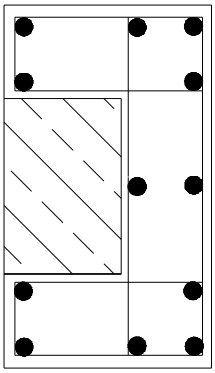
Bu verilere göre l_b=50 cm seçilmiştir. Dolayısıyla ⊂ şeklindeki gövde donatılarının boyları da 50 cm olarak seçilmiştir. Güçlendirme numunelerinde kullanılan ⊂ şeklindeki gövde donatıları Şekil 3.13' de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Güçlendirme numunelerinde kullanılan ⊂ şeklindeki gövde donatıları

CR numunesinde ise kolonların mantolarında boyuna donatı olarak 8ϕ10 boyuna donatı düşünülmüş olsa da, konstrüktif amaçlarla 12ϕ10 boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Enine donatı olarak ϕ5.5/5 cm enine donatı kullanılmıştır. Kolonların mantolanması daha öncede belirtildiği gibi 3 taraftan yapılmıştır. Şekil 3.14.' de çerçeveye eklenen mantonun üst görünüşü ve donatı yerleşim planı verilmiştir.

Mantonun kolonu tamamen sarmamasının nedeni, çerçeve kolonlarına yatay yük verilip ankraj donatıları yardımıyla bu yükün manto kısmına aktarılabilmesini sağlamaktır. Bu sebeple manto kolonu üç taraftan sarmaktadır.



Şekil 3.14. Çerçeveye eklenen mantonun üst görünüşü ve donatı yerleşim planı

Kolonlarda boyuna donatı oranı standart ve yönetmeliklerde belirtilen sınırlar dahilinde olup, donatı oranı mevcut kolon donatısı göz önüne alınmadan ρ=0,0191, mevcut kolon donatısı göz önüne alınarak ρ=0,02547 olarak düzenlenmiştir.

Mevcut kolon donatısı göz önüne alınmadan oluşan donatı oranı;

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{942}{290x170} = 0.0191 \geq \rho_{\min} = 0.01 \tag{3.14}$$

Mevcut kolon donatısı göz önüne alınarak oluşan donatı oranı;

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{1256}{290x170} = 0.02547 \geq \rho_{\min} = 0.01 \tag{3.15}$$

olacak şekilde tasarlanmıştır.

Etriyeler ise aşağıda belirtilen sınır değerleri dahilinde olup ϕ5.5/50 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.

Etriye çapı en az $\phi_\ell / 3 = 8/3 = 2.67mm$ (3.16)

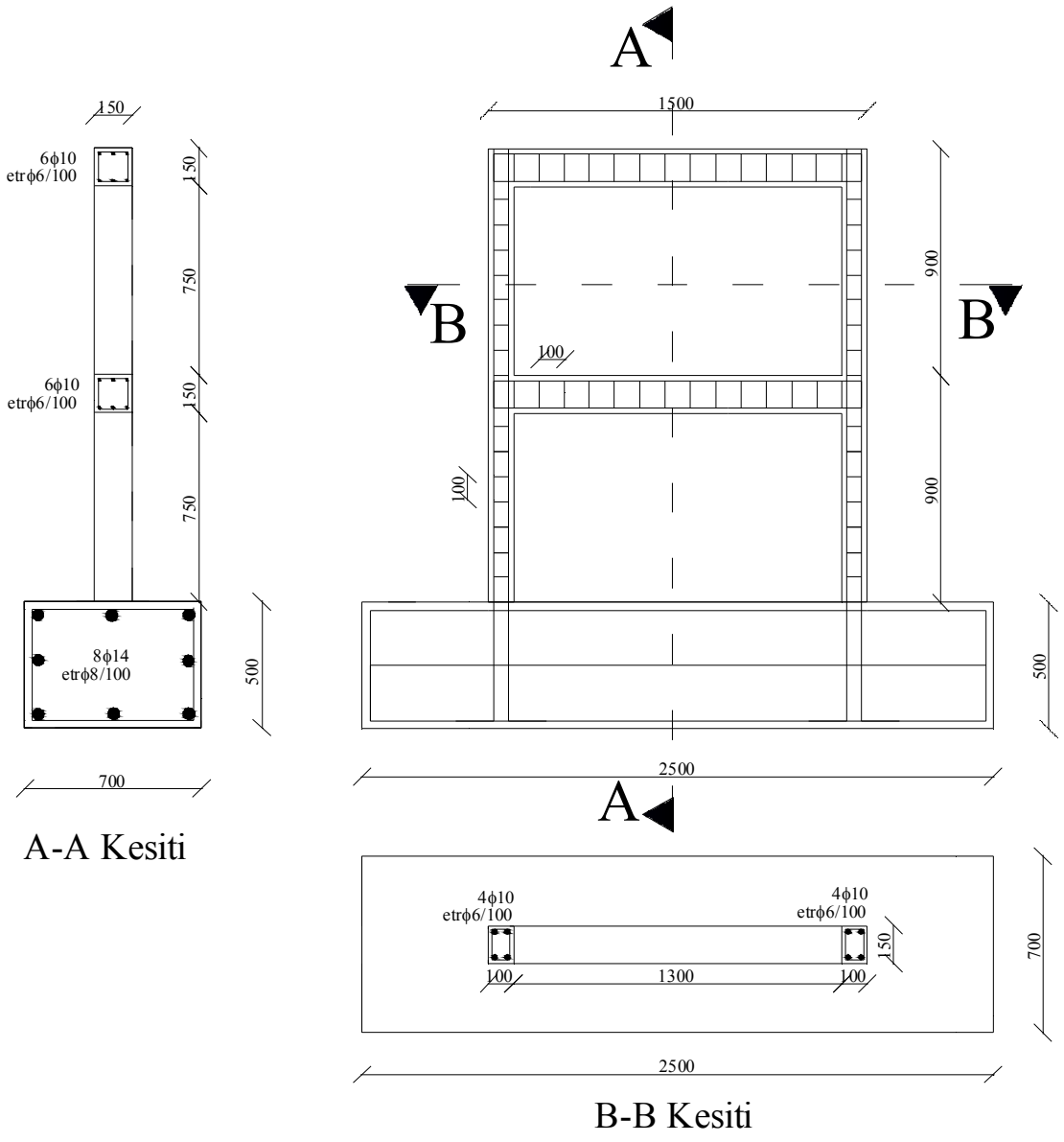
Etriye aralıkları $s \leq \begin{matrix} 12\phi_\ell = 12 \times 10 = 120mm \\ 200/3 = \quad 67mm \end{matrix}$ } seçilen ϕ5.5/50 mm (3.17)

Şekil 3.15’ de çerçevelerin mantosunda kullanılan kolon donatıları görülmektedir. Bu birleşimler numune üzerinde hazırlanmamış, numuneden ayrı olarak hazırlanıp numuneye sonradan ilave edilmiştir.

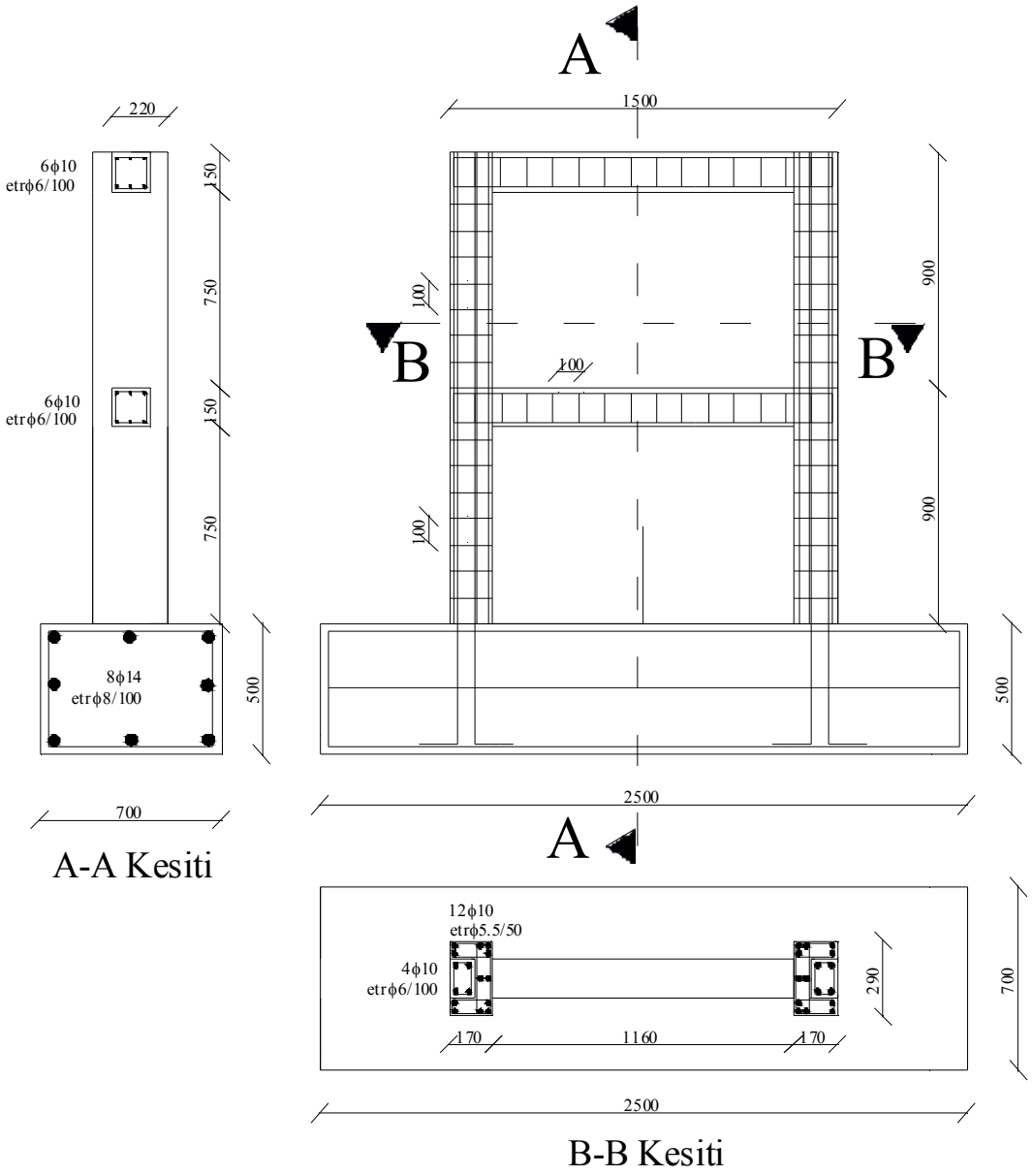


Şekil 3.15. Çerçevelerin mantosunda kullanılan kolon donatıları

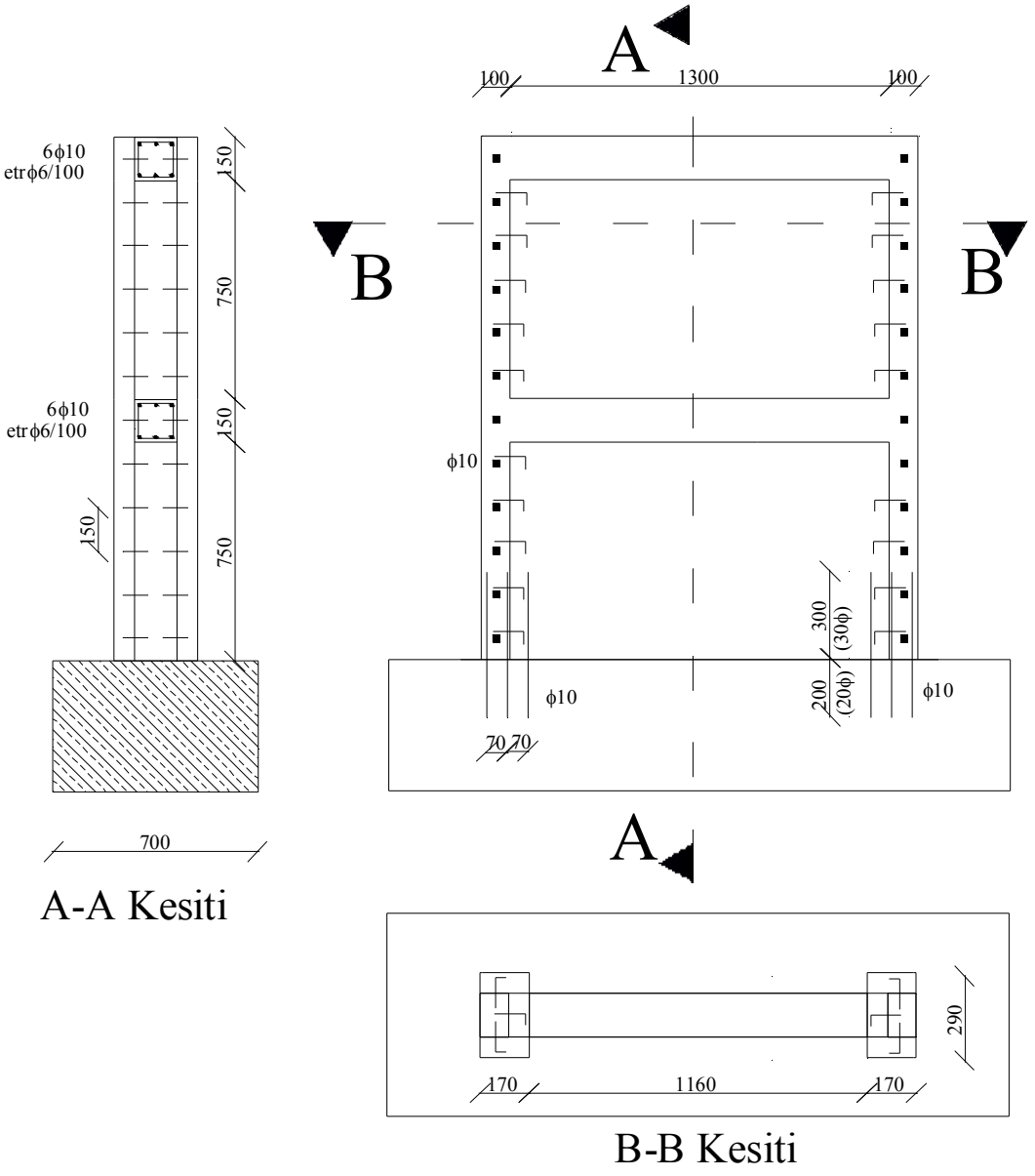
Deney numunelerinin donatı detayları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.16.’ da RS numunesinin donatı detayı, Şekil 3.17.’ de CR numunesinin donatı detayı, Şekil 3.18.’de CR numunesinin ankraj detayı, Şekil 3.19. ’da OSWMSW numunesinin donatı detayı, Şekil 3.20.’ de OSWMSW numunesinin ankraj detayı, Şekil 3.21.’ de OSW2P numunesinin donatı detayı, Şekil 3.22.’ de OSW2P numunesinin ankraj detayı verilmiştir.



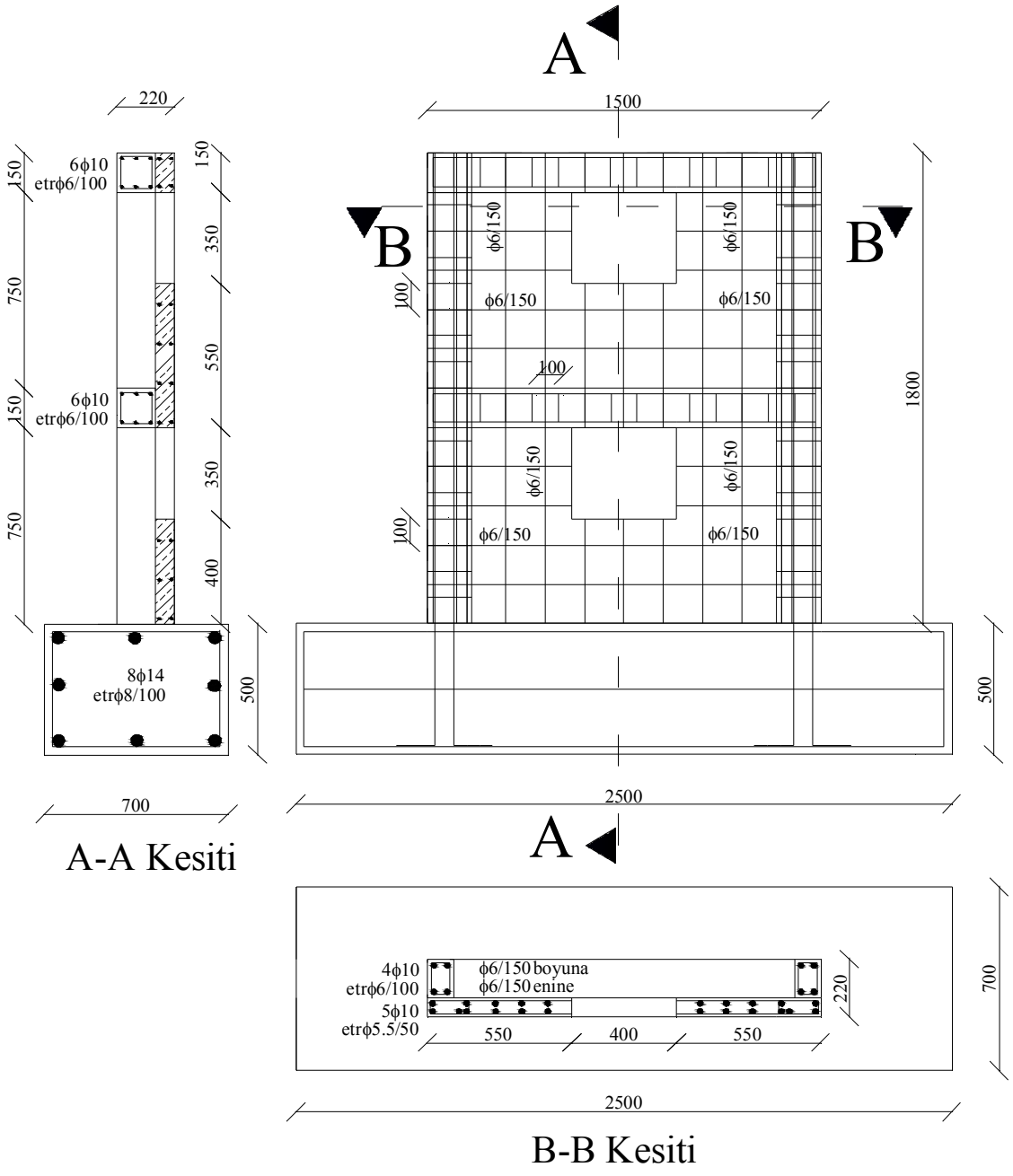
Şekil 3.16. RS numunesinin donatı detayı



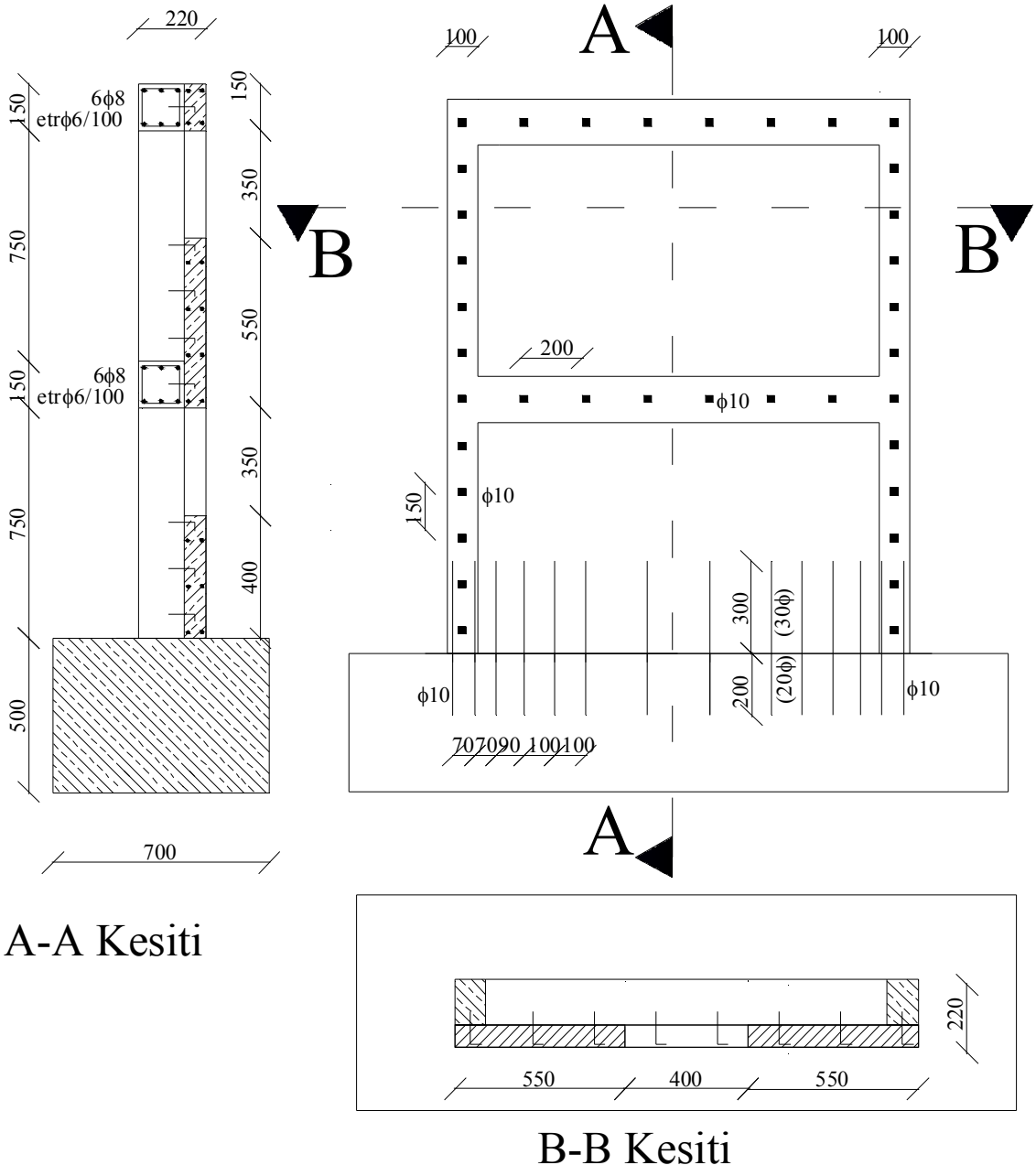
Şekil 3.17. CR numunesinin donatı detayı



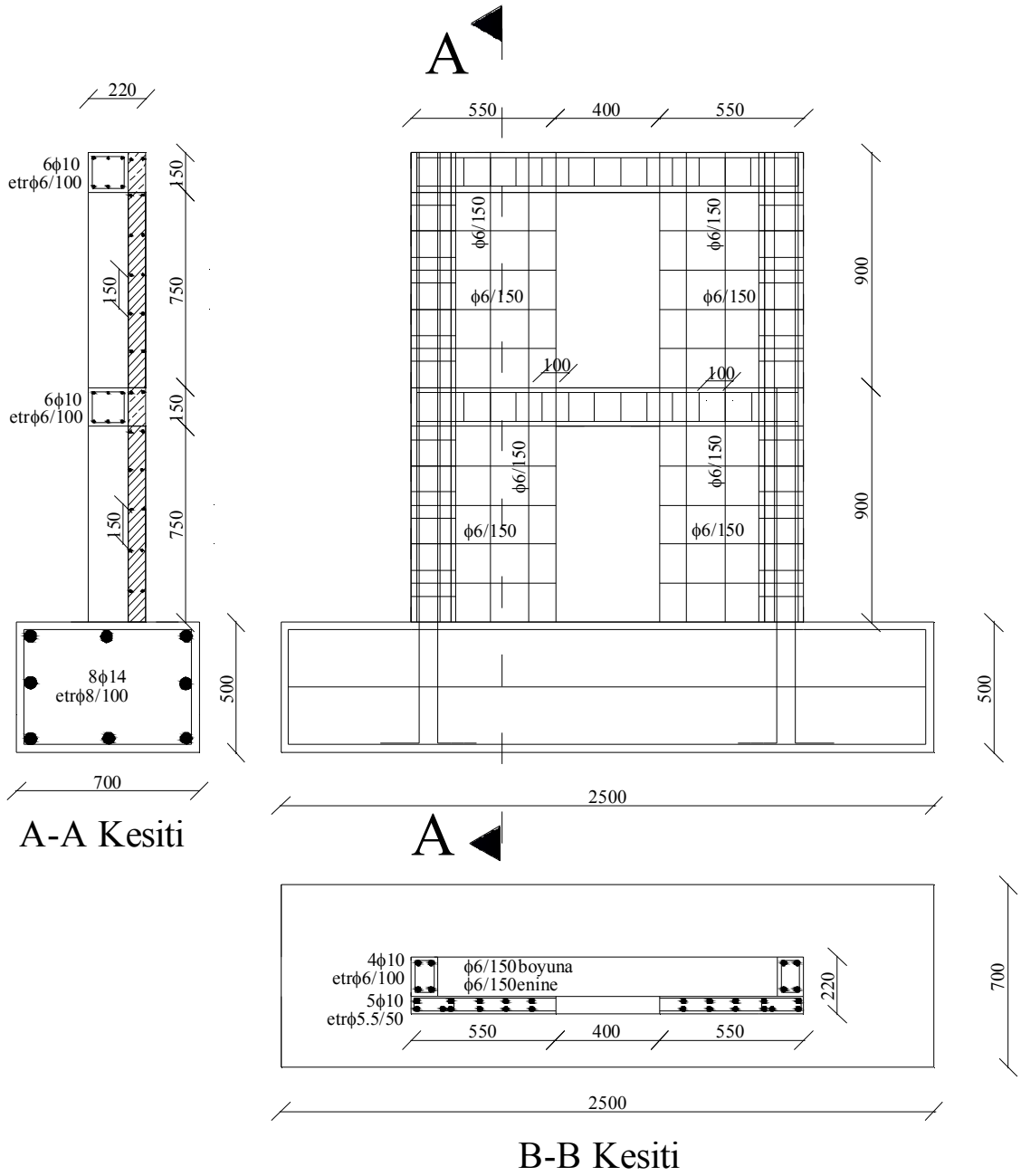
Şekil 3.18. CR numunesinin ankraj detayı



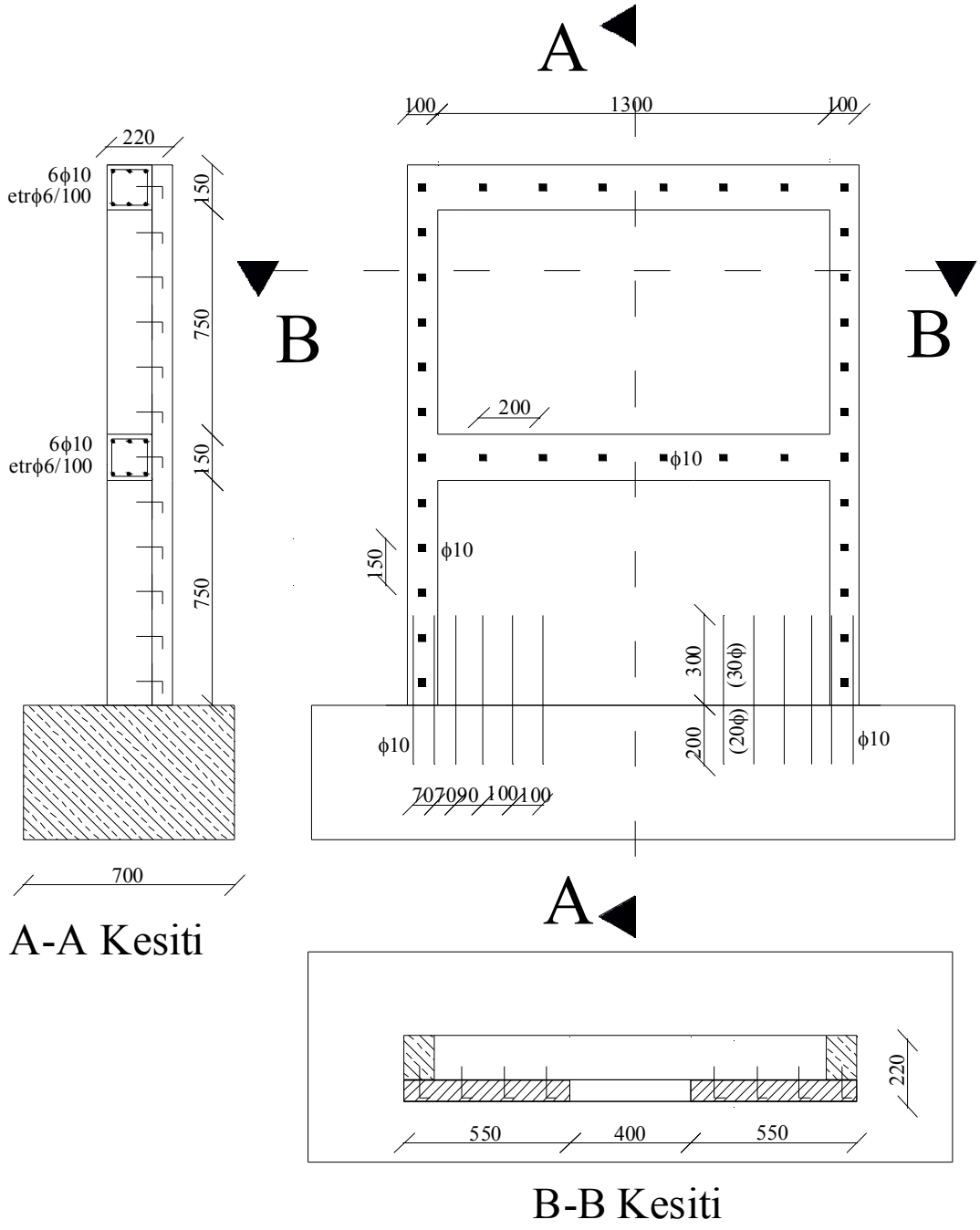
Şekil 3.19. OSWMSW numunesinin donatı detayı



Şekil 3.20. OSWMSW numunesinin ankraj detayı



Şekil 3.21. OSW2P numunesinin donatı detayı



Şekil 3.22. OSW2P numunesinin ankraj detayı

3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri

Deney elemanlarında kullanılan malzeme özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla çerçeve elemanlarının ve güçlendirme elemanlarının malzeme özellikleri ayrı ayrı verilmiştir.

3.1.3.1. Betonarme çerçevenin malzeme özellikleri

3.1.3.1.1. Beton

Deney için hazırlanan betonarme çerçeveler S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Deney elemanlarında kullanılan betonun dayanımının yaklaşık 16 Mpa olması amaçlanmıştır. Ülkemizde daha önce yapılan binalarda beton dayanımının 16 MPa'dan çok daha düşük olduğu bilinmektedir, fakat düşük kalitede beton, sistem davranışına olumsuz etkiler göstermekte ve inceleyeceğimiz parametrelerde olumsuz sonuçlar doğurabileceğinden daha yüksek beton dayanımı tercih edilmiştir. Beton santralinden sipariş edilen beton mikserler vasıtasıyla hazırlanan kalıplara yerleştirilmiştir. Beton dökümü numuneler yatay konumdayken gerçekleşmiştir.

Betonarme çerçeveler ülkemizde kusurlu yapıları temsil etmektedir. Deprem dayanımı yetersiz binalarda beton kalitesinin belirlenmesi amacıyla binalardan karot alınmaktadır. Bu sebeple ürettiğimiz çerçevelerin beton dayanımının belirlenebilmesi amacıyla, deney elemanları test edildikten sonra her bir deney elemanından karotlar alınarak beton dayanımı test edilmiştir.

Her bir betonarme çerçeveden 2 adet karot alınmıştır. Karotlar 98 mm çapında olup, yaklaşık 100 mm boyunda kesilmişlerdir. Şekil 3.23.'de alınan karotların test edilmesi gösterilmiştir. Çizelge 3.2.'de ise alınan karotların beton basınç dayanımları ve ortalamaları gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda beton basınç dayanımları ortalama olarak 19 Mpa'dır.



Şekil 3.23. Beton basınç dayanımlarının belirlenmesi

Çizelge 3.2. Deney numunelerinde ortalama beton basınç dayanımları

Deney Elemanı	Dayanım (ton)		Dayanım (MPa)		Ortalama Dayanım (MPa)	Tüm Numuneler İçin Ortalama Dayanım (MPa)
	1.Karot	2.Karot	1.Karot	2.Karot		
RS	16.1	14.9	20.58	19.04	19.81	19.24
CR	13.7	15.4	17.51	19.69	18.60	
OSWMSW	10.3	14.9	13.17	19.05	16.11	
OSW2P	15.6	19.2	19.94	24.54	22.24	

3.1.3.1.2. Donatı

Ülkemizde deprem davranışı zayıf, sünek olmayan yapılardaki donatılar genellikle nervürsüz donatılardır. Deney elemanlarında nervürsüz donatı kullanılması düşünülmüşse de piyasadan nervürsüz donatı temin edilemediği için, kolon, kiriş ve donatıları nervürlü olarak temin edilmiştir. Kolon ve kirişlerde enine donatılar düz olarak temin edilebilmiş ve deney elemanlarında etriye olarak kullanılmışlardır.

Kullanılan bu donatılar S.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda 80 ton kapasiteli çelik çekme cihazında test edilmiştir. Kullanılan donatının

karakteristik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla 3'er adet 400 mm uzunluğunda numuneler alınarak test edilmiştir. Donatıların test edilme aşamasındaki görünümü Şekil 3.24.'de, donatı çubuklarının test sonuçları ise Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Donatı çeliği çekme deneyi

Çizelge 3.3. Donatı çubuklarının test sonuçları

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_{yk} (MPa)		Maksimum çekme dayanımı f_{su} (MPa)		Donatı türü ve kullanıldığı yerler
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	
ϕ8	384	390	486	489	S420, Temel enine donatıları
	402		497		
	384		483		
ϕ10	394	394	644	643	S420, Kolon ve kiriş boyuna donatıları
	396		645		
	391		640		
ϕ16	363	367	452	456	S420, Temel boyuna donatıları
	375		456		
	364		459		

3.1.3.2. Güçlendirilmiş elemanların malzeme özellikleri

3.1.3.2.1. Beton

Betonarme çerçevelerin hazırlanmasının ardından güçlendirme elemanlarının hazırlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan betonarme çerçeveler dik konuma

getirilmiş ve dik olarak güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Üretilen numunelere beton santralinden sipariş verilen hazır beton mikserler vasıtasıyla yerleştirilmiştir. Güçlendirme elemanlarının beton dayanımının 25 MPa olması amaçlanmıştır.

Beton kalıplara yerleştirilirken, bir yandan da daha önce hazırlanan silindir ve küp kalıplara beton basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla örnekler alınmıştır. Şekil 3.25.'de silindir ve küp numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Silindir ve küp numuneler

Silindir numuneler 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde, küp numuneler 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındadır. Alınan bu örnekler 28 gün sonra test edilmiş ve Çizelge 3.4.'de küp numunelerin basınç dayanımları, Çizelge 3.5.'de silindir numunelerin basınç dayanımları gösterilmiştir. Küp numunelerinin basınç dayanımları 0.8 katsayısı ile çarpılarak silindir numunelerle karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 3.26.' da ise silindir ve küp numunelerin test edilmesi gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda güçlendirme elemanlarının ortalama beton basınç dayanımı 23 MPa olmuştur.

Çizelge 3.4. Küp numuneler için ortalama beton basınç dayanımları

Numune Numarası	Dayanım (ton)	Dayanım (MPa) f_c	Dayanım (MPa) $0.8xf_c$	Ortalama Dayanım (MPa)
1	53.2	23.64	18.92	23.38
2	61.1	27.16	21.72	
3	48.1	21.38	17.10	
4	71.8	31.91	25.53	
5	83.4	37.07	29.65	
6	77	34.22	27.37	

Çizelge 3.5. Silindir numuneler için ortalama beton basınç dayanımları

Numune Numarası	Dayanım (ton)	Dayanım (MPa)	Ortalama Dayanım (MPa)
		f_c	
1	34	19.24	23.65
2	41.7	23.60	
3	44.8	25.35	
4	46.8	26.48	
5	45	25.46	
6	38.5	21.79	



Şekil 3.26. Küp ve silindir numuneler için beton basınç dayanımlarının belirlenmesi

3.1.3.2.2. Donatı

Güçlendirme elemanlarında da nervürlü donatılar kullanılmış ve betonarme çerçeve elemanındaki donatılar gibi S.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Güçlendirme elemanlarındaki donatılarda da 3'er adet 400 mm boyunda numuneler alınarak test edilmiştir. Güçlendirme elemanlarındaki donatıların test sonuçları Çizelge 3.6.'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Donatı çubuklarının test sonuçları

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_{yk} (MPa)		Maksimum çekme dayanımı f_{su} (MPa)		Donatı türü ve kullanıldığı yerler
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	
ϕ8	384	390	486	489	S420, Başlık bölgesi boyuna donatıları, ⊂ şeklinde oluşturulmuş yatay gövde donatıları
	402		497		
	384		483		
ϕ10	394	394	644	643	S420, Kolon, kiriş ve temel ankrajlarında kullanılan donatılar
	396		645		
	391		640		

3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması

Deney numuneleri Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Labaratuvarında hazırlanmıştır. Deney numuneleri hazırlanırken, tüm deney elemanlarının çerçeve özellikleri aynı olacağından 4 adet deney elemanı aynı anda hazırlanmış, daha sonra güçlendirme elemanları bu çerçevelere eklenmiştir.

3.1.4.1. Betonarme çerçevenin hazırlanması

Betonarme çerçeveler hazırlanırken ilk olarak kalıplar hazırlanmış, sonra donatılar hazırlanıp kalıp içine yerleştirilmiş ve son olarak da beton dökülerek numuneler hazırlanmıştır. Deney elemanları yatay şekilde yerde imal edilmişlerdir.

Betonarme boş çerçevenin kalıpları 20 mm kalınlığında sunta kullanılarak imal edilmiştir. İlk olarak temel kalıpları yapılmış kolonların bulunduğu yerler boş bırakılarak donatıların temel içinde oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca temel kalıpları yapılırken Deprem Labaratuvarındaki döşemelere numuneyi sabitlemek amacıyla, daha önceden belirlediğimiz mesafelerden delikler açılmış ve bu deliklere çelik borular yerleştirilerek beton dökümü esnasında bu deliklerin kapanması engellenmiştir. Kolon ve kirişler için ise 20 mm kalınlığındaki suntalar kullanılmış ve istenilen ölçülerde kesilmişlerdir. Kolon-kiriş ve temel-kolon birleşim bölgelerine ek parçalar yapılarak bu bölgelerin herhangi bir durumda kırılmaması veya açılmaması hedeflenmiştir. Şekil 3.27.' de Betonarme Boş Çerçevelerin hazırlanması gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Betonarme boş çerçevelerin hazırlanması

Kalıplar hazırlandıktan sonra donatılar hazırlanmış ve kalıplara yerleştirilmişlerdir. Donatı düzeni yapılırken daha önce öngörülen hususlar dikkate alınarak donatılar düzenlenmiştir. Kolon kiriş ve temel donatıları ayrı ayrı dışarıda hazırlanıp kalıplara yerleştirilmişlerdir. Temellerde üstte 3ϕ16 mm, altta 3ϕ16 mm ve gövde donatısı olarak 2ϕ16 mm donatı kullanılmıştır. Temelde etriyeler ϕ10/100 mm olarak düzenlenmiştir

Kolon boyuna donatıları 4ϕ10 mm olarak hazırlanmış ve ϕ6/100 mm etriye kullanılarak oluşturulmuştur. Kolonlarda sarılma bölgesi yapılmamış, temel ve kiriş birleşim bölgelerinde etriyeler devam ettirilmemiştir.

Kirişlerde ise üstte 3ϕ10 mm, altta 3ϕ10 mm boyuna donatı ve ϕ6/100 mm enine donatı kullanılmıştır. Kirişlerin kolon içerisine giren bölümlerinde etriyeler devam ettirilmemiş ve birleşim bölgelerine yakın yerlerde etriye sıklaştırılması yapılmamıştır.

Kolon, kiriş ve temel donatıları kalıp içinde yapılmayarak, dışarıda yapılmış ve sonradan kalıplara yerleştirilmiştir. Önce temel donatıları yerleştirilen numuneye kolon donatıları konulmuş ve kolon donatıları temel donatılarının içerisine geçirilerek

oluşturulmuştur. Daha sonra ise kolon donatılarının içerisine kiriş donatıları geçirilerek donatılar tamamen kalıba yerleştirilmişlerdir. Şekil 3.28.' de donatıların hazırlanması ve kalıplara donatının yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Donatıların hazırlanması ve kalıplara donatının yerleştirilmesi

Donatıların kalıplara yerleştirilmesinden sonra beton dökülmesi için kalıplar hazırlanmıştır. Bu amaçla kalıpların beton dökülmesi aşamasında açılmaması için laboratuvarda bulundan çeşitli malzemeler yardımıyla kalıplar sabitlenmiştir.

Betonarme çerçeveler tasarlanırken beton basınç dayanımının f_c=16 Mpa olması hedeflenmiştir. Bu sebeple Konya'da bulunan özel bir beton santralinden temin edilen beton Deprem Labaratuvarımıza getirilerek kalıplara dökülmüştür. Bir yandan beton dökülürken diğer yandan vibratör yardımıyla ve çelik bir çubukla şişlenerek betonun kalıplara iyi yerleştirilmesine çalışılmıştır. Tüm çerçeveler aynı anda imal edildiklerinden 4 çerçeveye de aynı anda beton dökülmüştür. Şekil 3.29.' da beton döküldükten sonra numunelerin durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Beton döküldükten sonra numunelerin durumu

Beton yerleştikten sonra prizini alan beton 1 hafta sonra kalıptan çıkarılmıştır. Suntadan imal edilen kalıpların dış yüzeyleri parlak ve kaygan olduğundan beton numuneye yapışmamış ve kolayca kalıptan çıkarılmıştır. Deprem Labaratuvarında bulunan vinç sayesinde yatay konumdan dik konuma getirilen numuneler beton dayanımını alabilmesi için bir ay bekletilmiştir.

3.1.4.2. Güçlendirme elemanlarının hazırlanması

Güçlendirme işlemi yapılacak olan numuneler belirlenerek hangi numuneye hangi güçlendirme çeşidinin yapılacağı kararlaştırılmıştır. İlk olarak Kolonların Mantolanması İle Güçlendirilecek çerçeve hazırlanmıştır. Bu deney elemanı için daha önce belirlenen ankraj çubukları istenilen boylarda kesilmiştir. Temele yapılacak olan ankrajlar 20ϕ temel içinde ve 30ϕ temel üstünde olacak şekilde toplam 50ϕ boyunda yani 500 mm boyunda 14 adet çelik betonarme çubuğu hazırlanmıştır. Kolonlara yapılacak ankrajlar için ise 200 mm boyunda ϕ10 çapında 68 adet donatı kesilmiş, kesilen donatılar hasır donatıyı tutmaları için bükülmüşlerdir. Bu arada numune üzerinde ankraj yapılacak yerlere 12 mm çapında delikler açılarak, 10 mm çapındaki çubukların bu deliklere girmesi amaçlanmıştır. Delikler delindikten sonra bu deliklerde biriken tozları temizlemek için kompresör kullanılmış ve delikler temizlenmiştir. Temizlenen deliklere epoksi sıkılarak ankraj bölgelerine donatılar ekilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Ankraj donatılarının ve deliklerin hazırlanarak donatıların ekilmesi

Ankrajlar ekildikten sonra kolon mantosu için donatılar numune üzerinde değil dışarıda hazırlanarak numuneye konulmuştur. 12 adet ϕ10 çapında boyuna donatıya 50 mm arayla enine donatı yerleştirilmiştir. Enine donatılar kolonu üç taraftan kolonu sarmışlardır. Kolonların mantolanması ve donatılar Şekil 3.31.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Kolonların mantolanması ve donatılar

Kolonların manto donatılarının yerleştirilmesi sonrasında kalıpların çakılması işlemine geçilmiştir. Kalıplar istenilen boyutlarda sipariş verilerek hazırlanmışlardır. 20 mm kalınlığındaki suntadan imal edilen kalıpların yüzleri parlak ve kaygan bir yapıya sahiptir. Bu sayede beton döküldükten sonra kalıplar zarar görmeden betondan sıyrılabilecek şekilde oluşturulmuşlardır. Kalıplar donatıları çepeçevre saracak şekilde düzenlenmiş ve manto kalınlığının 70 mm olması dikkate alınacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Beton yukarıdan dökületeceği için numunenin üst tarafı açık bırakılmıştır. Şekil 3.32.' de kalıpların yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 3.32. Manto kalıplarının yerleştirilmesi

Pencere boşluklu numune hazırlanırken, kolonlar mantolu numunede bulunan mantonun bir yüzü tekrar yapılmıştır. Bunun sebebi kolonların matolanması ile güçlendirilmiş numune ile kıyas yapabilmemizdir. Pencere boşluklu numune de, kolonlar mantolu numune gibi hazırlanmıştır. İlk olarak ankraj donatıları için delikler delinmiş, sonra bu delikler kompresör yardımıyla temizlenmiş ve bu deliklere epoksi sıkılarak ankraj donatıları yerleştirilmiştir. Temele yapılan ankrajlar 10 mm çapında nervürlü çubuklardan yapılmış olup, kolon bölgelerinde 70 mm aralıklarla yerleştirilmiş, orta bölümlerde ise aralıkları açılarak 100 mm ve 200 mm aralık olacak şekilde toplam 14 adet 10 mm çapında donatı yerleştirilmiştir. Bu donatılar 200 mm temel içinde ve 300 mm temel dışında olmak üzere toplam 500 mm olacak şekilde düzenlenmişlerdir. Kolonlarda ise 10 mm çapındaki ankraj çubukları bükülerek epoksi yardımıyla yerleştirilmiş ve bu çubukların aralıklarının 150 mm olması sağlanmıştır.

Kirişlerde ise bu aralık 200 mm olarak düzenlenmiş ve yine 10 mm çapında çubuklardan bükülerek yapılmışlardır. Toplam 24 adet kolonlara ve 12 adet de kirişlere olmak üzere, 36 adet ankraj donatısı kullanılmıştır.

Ankrajlar ekildikten sonra perde uçlarına dışarıda imal edilen 5 adet ϕ8 çapında boyuna donatıya 50 mm arayla enine donatı uygulaması yapılarak numuneye yerleştirilmişlerdir. Daha sonra hasır donatı pencere bölümleri boş kalacak şekilde istenilen boyutlarda kesilmişlerdir. Hasır donatılar perdeye bir ön bir de arka yüze olmak üzere iki adet hazırlanmış ve numuneye yerleştirilmişlerdir. Hasır donatıların uç noktalarını birleştirmek amacıyla $\subset$ şeklinde 10 mm çapında ve bir kolu 500 mm olan çift kollu donatılar imal edilerek perde uç bölgelerine 150 mm arayla yerleştirilmiş ve hasır donatının bir bütün olarak çalışması sağlanmıştır.

Donatıları yerleştirilen numune için kalıplar hazırlanarak numuneye yerleştirilmiştir. Kalıp yapılırken perde kalınlığının 70 mm olmasına dikkat edilmiş ve pencere boşluklarının yapılabilmesi için pencere çerçevesi boyutlarında suntadan yapılan parçalar pencere boşluklarının geleceği yerlere çakılmıştır. Kalıpların beton dökümü esnasında açılmaması için ön ve arka taraflarına tahta destekler yapılmıştır. Şekil 3.33.' de donatı yerleşimi ve kalıpların düzenlenmesi görülmektedir.



Şekil 3.33. Pencereli numuneye donatı yerleştirilmesi ve kalıpların çakılması

İki perdeli numune hazırlanırken, kolonlar mantolu numunede bulunana mantonun bir yüzü yine bu numunede de yapılmıştır. Böylece tüm numuneleri birbirleri ile karşılaştırmak olanaklı hale gelmiştir. Bu numunede de ilk olarak ankraj delikleri 12 mm çapında açılmış, sonra bu delikler kompresör yardımıyla temizlenmiş ve bu deliklere epoksi sıkılarak hazırlanan ankraj donatıları yerleştirilmiştir. Temele yapılan ankrajlar 10 mm çapında nervürlü çubuklardan yapılmış, kolon bölgelerinde 70 mm aralıklarla, orta bölümlerde ise 100 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Toplam 12 adet 10 mm çapında 500 mm boyundaki donatılar temele yerleştirilmiştir. Bu donatıların 200 mm temel içinde 300 mm'si ise temel dışında olacak şekilde düzenlenmiştir. Kolonlarda ise 10 mm çapındaki ankraj çubukları bükülerek epoksi yardımıyla kolonlara yerleştirilmişlerdir. Kolonlarda ankraj aralıkları 150 mm olarak düzenlenmiş ve toplamda 24 adet 10 mm çapında donatı yerleştirilmiştir. Kirişlerde ise 200 mm aralıklarla bu ankraj çubukları ekilmiş ve toplamda 8 adet 10 mm çapında donatı yerleştirilmiştir.

Ankrajlar numuneye yerleştirildikten sonra perde uçlarına 5 adet ϕ10 çapında boyuna donatı düzenlenmiş ve bu donatılara 50 mm aralıklarla 6 mm çapında enine donatılar eklenmiştir. Hasır donatılar ise bir perde de iki yüze gelecek şekilde hazırlanmış ve uçlarına $\subset$ şeklinde 10 mm çapında ve bir kolu 500 mm olan çift kollu donatılar imal edilerek perde uç bölgelerine 150 mm arayla yerleştirilmiş ve hasır donatının bir bütün olarak çalışması sağlanmıştır. Bu numunede iki perde arasına bağ kiriş yapılmamış ve herhangi bir başlık bölgesi hesabı yapılmamıştır.

Donatıları yerleştirilen numune için kalıplar hazırlanarak numuneye yerleştirilmiştir. Yine bu numunede de perde kalınlığı 70 mm olacak şekilde düzenlenmiştir. Kalıpların beton dökümü esnasında açılmaması için ön ve arka taraflarına tahta destekler yapılmıştır. Şekil 3.34.' de donatı yerleşimi ve kalıpların düzenlenmesi görülmektedir.



Şekil 3.34. İki perdeli numuneye donatı yerleştirilmesi ve kalıp çakılması

Donatıları ve kalıpları yerleştirilen numunelere beton dökülmesi için özel bir beton santralinde f_c=25 MPa dayanımında beton siparişi verilmiştir. numuneler 1/3 ölçekli olduğundan donatı aralıkları birbirine 3 kat daha yakın olmaktadır. Bu nedenle beton santralinden istenilen betonun agrega çapı küçük olacaktır. Bu nedenle betonun içerisine kimyasal maddeler karıştırılarak istenilen dayanıma gelmesi santralden istenmiştir. Donatı aralıkları küçük olduğu için kendiliğinden yerleşen beton siparişi verilmiştir. Hazırlanan numunelerin beton dökümü sırasında kalıplarının açılmaması için kalıpların güçlendirilmesi yapılmış ve tahtalarla sıkıştırılarak kalıbın açılması engellenmiştir. S.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Labaratuvarına beton santralinden getirilen kendiliğinden yerleşen beton, bir el arabasına yavaş yavaş dökülmüş, el arabasından ise kovalarla numunelere dökülmüştür. Bir yandan beton dökülürken diğer yandan vibratör yardımıyla betonun yerleşmesi amaçlanmıştır. Bu sırada beton 150x150 mm boyutlarında 6 küp, 150 mm çapında 300 mm uzunluğunda 6 silindir beton numunesi alınmış ve daha sonra dayanımlarının belirlenmesi için saklanmışlardır. Şekil 3.35.' de kalıpların güçlendirilmesi ve beton dökülmesi görülmektedir.



Şekil 3.35. Kalıpların hazırlanması ve beton dökülmesi

3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği

Bu çalışmada iki katlı tek açıklıklı deprem dayanımı zayıf olan betonarme çerçeve, kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçeve, pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçeve ve düzlem dışı iki perde ile güçlendirilmiş betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçeve Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Labaratuvarı'nda tersinir tekrarlanır yük altında test edilmiştir. Test edilen numuneler laboratuvar döşemesinde bulunan delikler sayesinde millerle yere sabitlenmişlerdir. Dayanma duvarında bulunan delikler sayesinde de yükleme sistemi duvara sabitlenmiş ve numuneler test edilmiştir. Deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir.

3.2.1. Yükleme düzeneği

Deprem Labaratuvarında daha önce yapılan deneyler 1/2 ölçeğinde yapılmış ve yükleme düzeneği bu boyutlarda yapılmış olduğu için yükleme düzeneği yeniden imal edilmiştir. Numuneler 1000 kN basma, 500 kN çekme kapasiteli bir hidrolik silindir vasıtasıyla yüklenmiştir. Hidrolik silindire yük ölçümü için yük hücresi (loadcell) bağlanması gerektiğinden hidrolik silindirin ucuna yiv açılmıştır. Bu sayede hem basınçta hem de çekmede yük hücresi-loadcellden yük verileri bilgisayar ortamına aktarılabilecektir. Hidrolik silindirin ucuna bağlanan yük hücresi kapasitesi basma ve çekmede 500 kN'dur (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Deneylerde kullanılan hidrolik silindir ve yük hücresi

Yük hücresi bir plakaya bağlanmış ve bu plakanın ucuna mafsallı bir sistem yapılarak numunenin alt ve üst katlarında oluşabilecek farklı deplasmanlarda sistemin rahat hareket edebilmesi amaçlanmıştır. Bu mafsal 300x300 mm kesitinde 1500 mm boyunda bir kutu profile üst kat kirişinin ortası hizasından 300 mm aşağıya ve alt kat kirişinin ortası hizasından 600 mm olacak şeklide kaynaklanmıştır. Böylece kat yüksekliği 900 mm olan numuneye toplam yatay yükün 2/3'ü üst kata, 1/3'ü ise alt kata olmak üzere yük aktarılması sağlanmıştır. Daha önceki araştırmalarda böyle sistemlerde alt katın tamamen hasar gördüğü ve üst katta herhangi bir hasarın meydana gelmediği, hatta çatlak oluşumunun bile gözlenmediği görülmüştür. Bu durumu engellemek için kutu profil direkt olarak numuneye bağlanmamış, alt ve üst katlar hizasından mafsallı plakalar konularak deprem etkisi tam olarak verilmeye çalışılmıştır. Rijit çelik profil mafsallar vasıtasıyla numune kat hizalarından bağlanmıştır. Kat hizalarında kirişlere paralel şekilde yerleştirilen transmisyon milleri ile yükün çekme çevrimlerinde de uygulanması sağlanmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Yükleme düzeneğinde kullanılan mafsallar ve miller

Eksenel yük ise iki adet hidrolik silindirle ve bu yükü okumak için iki adet yük hücresi kullanılarak oluşturulan eksenel yük sistemi uygulanmıştır. Artan yatay deplasmanlar altında uygulanan eksenel yükün artmaması için eksenel yük sisteminin numune tepesi ile birlikte hareket etmesi gerekmektedir. Bu sebeple döşeme tabanına özel bir makara sistemi yerleştirilmiştir. Laboratuar tabanına mafsal ve makaralar ile mesnetlenen transmisyon milleri dikey olarak numune üstüne yerleştirilen hidrolik silindir ve yük hücrelerinin içinden geçmektedir (Şekil 3.38). Alt taraftan makara sistemine bağlı olan mil "+" şeklinde kutu profilin içinden geçmektedir. Yük hücresi ve hidrolik silindirin içinden geçen mil vidalarla sıkıştırılarak sabitlenmiştir. Makaralar sayesinde artan deplasmanlarda eksenel yükün sabit kalması hedeflenmiştir.



Şekil 3.38. Eksenel yük sistemi

Numuneye uygulanacak eksenel yük miktarı her bir kolona 45 kN olacak şekilde verilmiştir. Bu eksenel yük seviyesi her bir kolonun taşıma kapasitesinin %20'si civarındadır.

TDY2007'ye göre kiriş olarak boyutlandırılıp donatılacak taşıyıcı sistem elemanlarında, tasarım eksenel basınç kuvvetinin $Nd \leq 0.1 \times Ac \times f_{ck}$ koşulunu sağlaması zorunludur. Aksi durumda, bu elemanlar TDY2007 Madde 3.3'e göre kolon olarak boyutlandırılıp donatılacaktır. Bu sebeple kolonlara eksenel yük düzeyi olarak en az "$Nd = 0.1 \times Ac \times f_{ck}$" kadar yük vermek gerekmektedir. Deney elemanlarda eksenel yük düzeyinin %20 civarında olması hedeflenmiştir Bu sebeple;

$$Nd = 0.2 \times 15 \times 10 \times 150 \quad (3.18)$$

Nd = 4500 kg = 45 kN olarak kabul edilmiştir.

Deney sırasında büyük yük okumaları meydana geleceğinden temel hareketinin engellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple numune laboratuar döşemesinde bulunan delikler vasıtasıyla yere sabitlenmiştir. Bunun için 70 mm çapında ve 200 mm uzunluğunda miller kullanılmıştır. Numunenin sağına ve soluna üçer adet olmak üzere toplam 6 adet mil döşemeye bağlanmıştır. Temelin hareketini engellemek amacıyla "I" profilden teşkil payandalar kullanılmış ve bu payandalar ile temel arasına hidrolik silindir konularak temel sıkıştırılmıştır. Ayrıca yapılan tersinir tekrarlanır yükler altında potansiyometrik cetvellerin (LVDT) oynamaması için kutu profillerden bir iskele yapılmıştır. Bu iskele de laboratuvarda bulunan döşemelere miller vasıtasıyla sabitlenmişlerdir (Şekil 3.39).

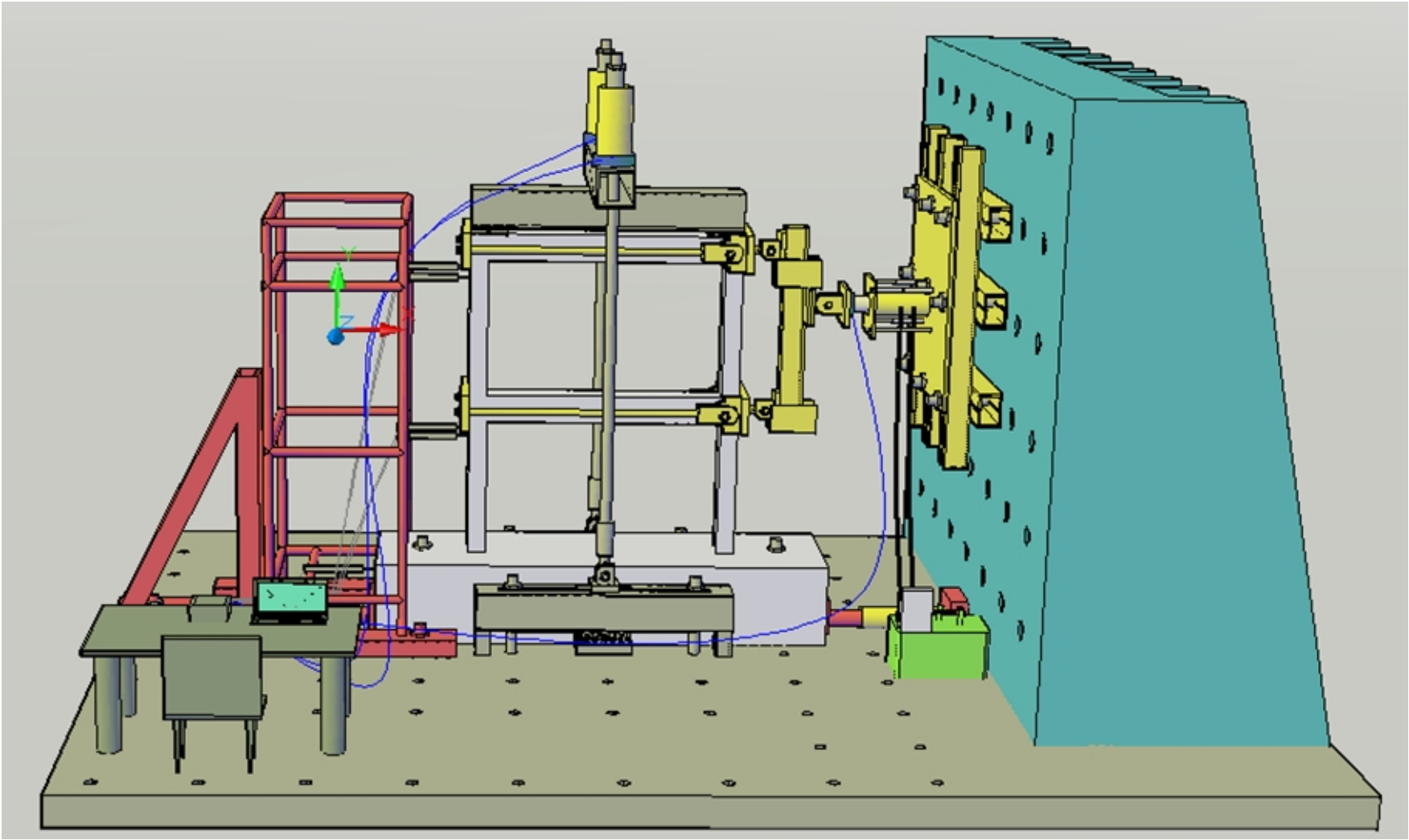


Şekil 3.39. Temeli sabitlemek için kullanılan payanda ve LVDT iskelesi

Şekil 3.40.' da çerçeve yerleştirilmiş yükleme düzeneğinin fotoğrafı, Şekil 3.41.' de ise yükleme düzeneğinin bilgisayar ortamında çizilmiş ayrıntısı gösterilmektedir.



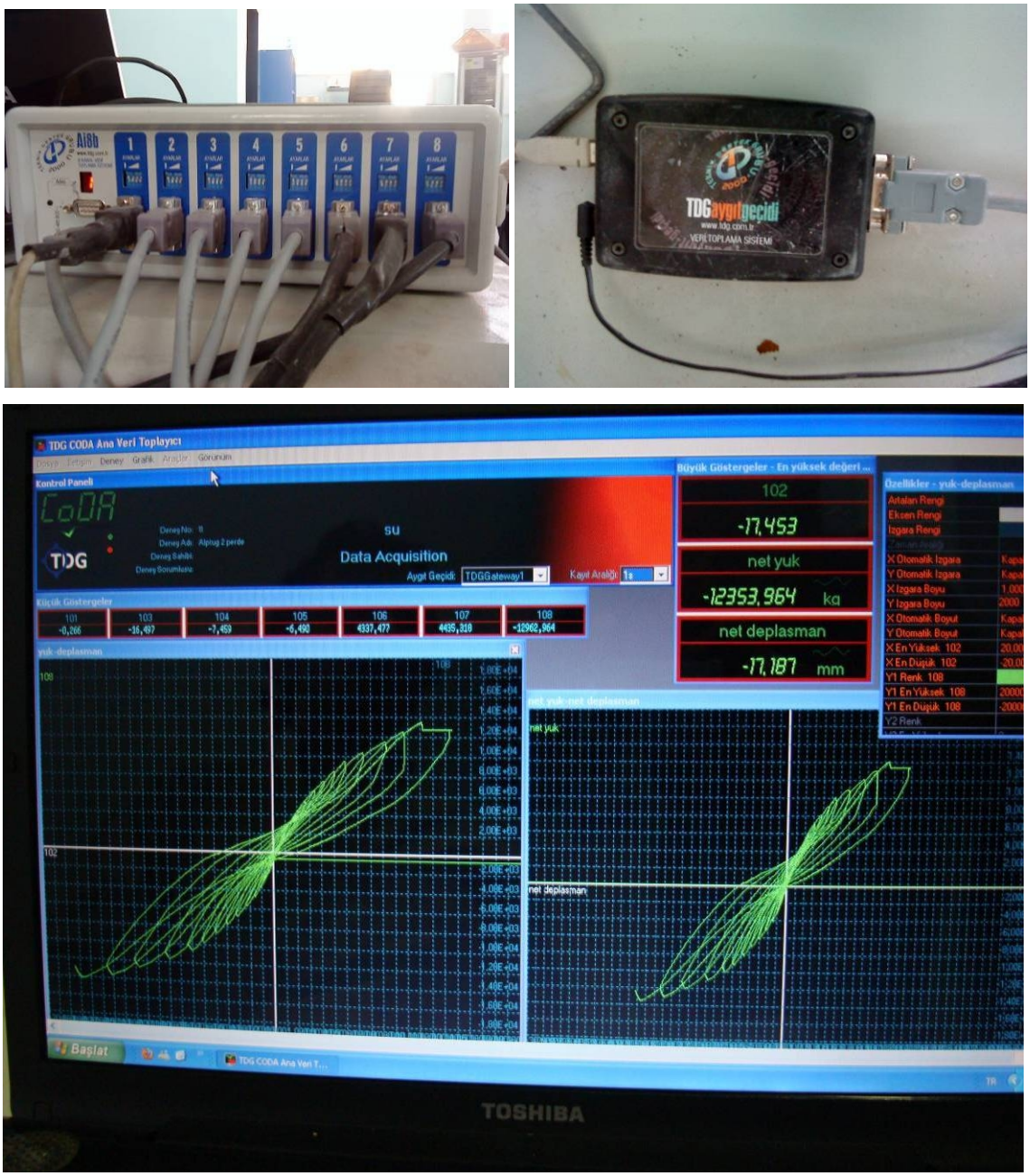
Şekil 3.40. Çerçeve yerleştirilmiş yükleme düzeneği



Şekil 3.41. Yükleme düzeneği

3.2.2. Ölçüm tekniği

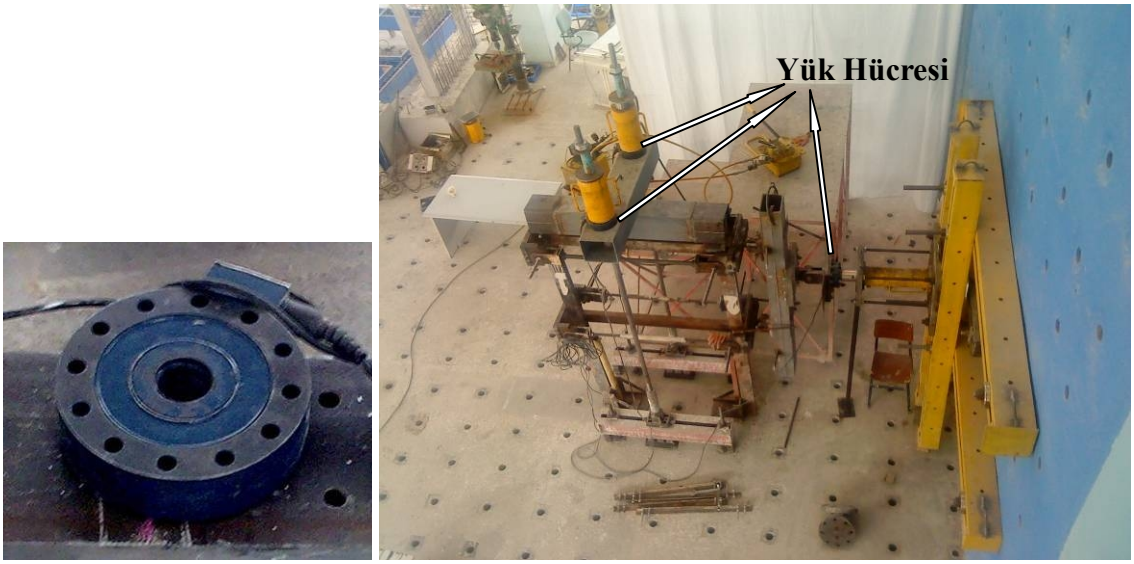
Deneylerde yük ölçümleri yük hücreleri (loadcell) ile, çerçeve sistemindeki yer değiştirmeler LVDT (Lineer variable differential transformer) ile, dönmeler ise Dial-gage'ler kullanılarak yapılmıştır. Bu aletlerden okunan değerler bilgisayara TDG marka veri toplama (data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır Şekil 3.42.).



Şekil 3.42. Veri toplama sistemi

3.2.2.1. Yük ölçümleri

Deneylerde uygulanan yük miktarının okunması yük hücreleri ile gerçekleştirilmiştir. Yatay yük için bir adet, eksenel yük için iki adet 500 kN kapasiteli yük hücreleri kullanılmıştır. Yük hücrelerinde bulunan yivler sayesinde basma ve çekmede ulaşılan yükler okunabilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir. Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlanmış olup, buraya gelen yük okuma değerleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Şekil 3.43.' de bir yük hücresi ve sistemde yük hücrelerinin bulunduğu yerler gösterilmiştir.

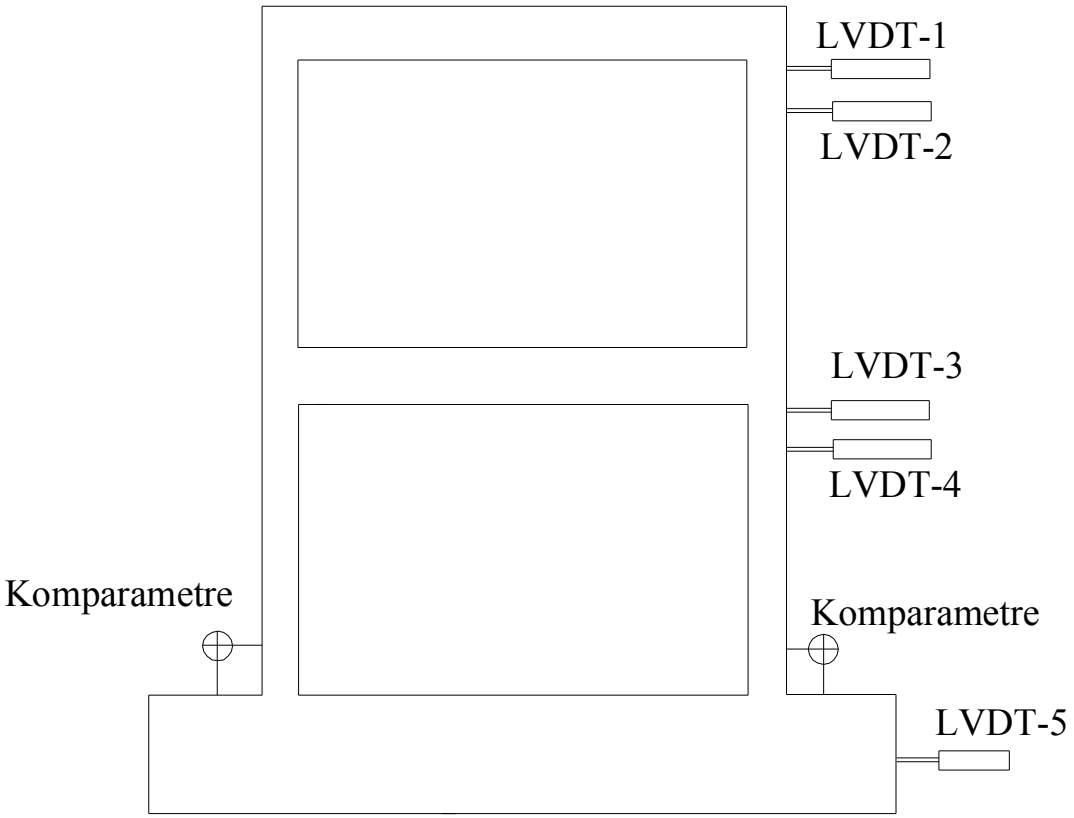


Şekil 3.43. Yük hücresi ve yük hücrelerinin sistemdeki yerleri

3.2.2.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Yapılan deneylerde deplasmanlar elektronik deplasman ölçüm aletleri LVDT kullanılarak ölçülmüştür. Alınan ölçümler data toplayıcı aracılığıyla bilgisayara aktarılıp, bilgisayarda kullanılan yazılımla kaydedilmiştir. Deplasman ölçümleri için 5 adet LVDT kalibre edilmiştir. Her bir kata ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet LVDT kat kirişi hizasından yerleştirilmiştir. Diğer LVDT ise temel hareketlerini ölçmek amacıyla temele yerleştirilmiştir. Deneylerde üst kata bağlanan LVDT'ler 300 mm, orta kata bağlanan LVDT'ler 200 mm, temele bağlanan LVDT ise 150 mm'lik bir okuma yapabilmektedir. Kolon diplerinde oluşan eğrilik ve açı değişimini ölçek için iki adet

komparemetrik saat (dial gage) kullanılmıştır. Sisteme yerleştirilen LVDT ve dial gage'ler Şekil 3.44.' de gösterilmiştir.

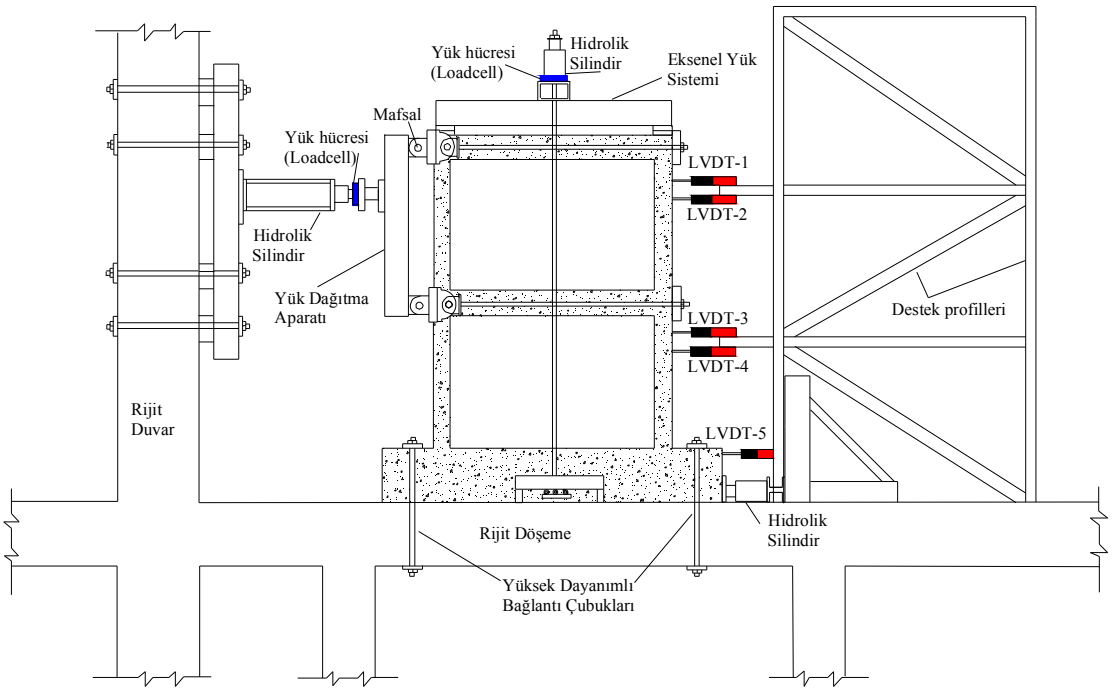


Şekil 3.44. LVDT ve dial gage yerleşimi

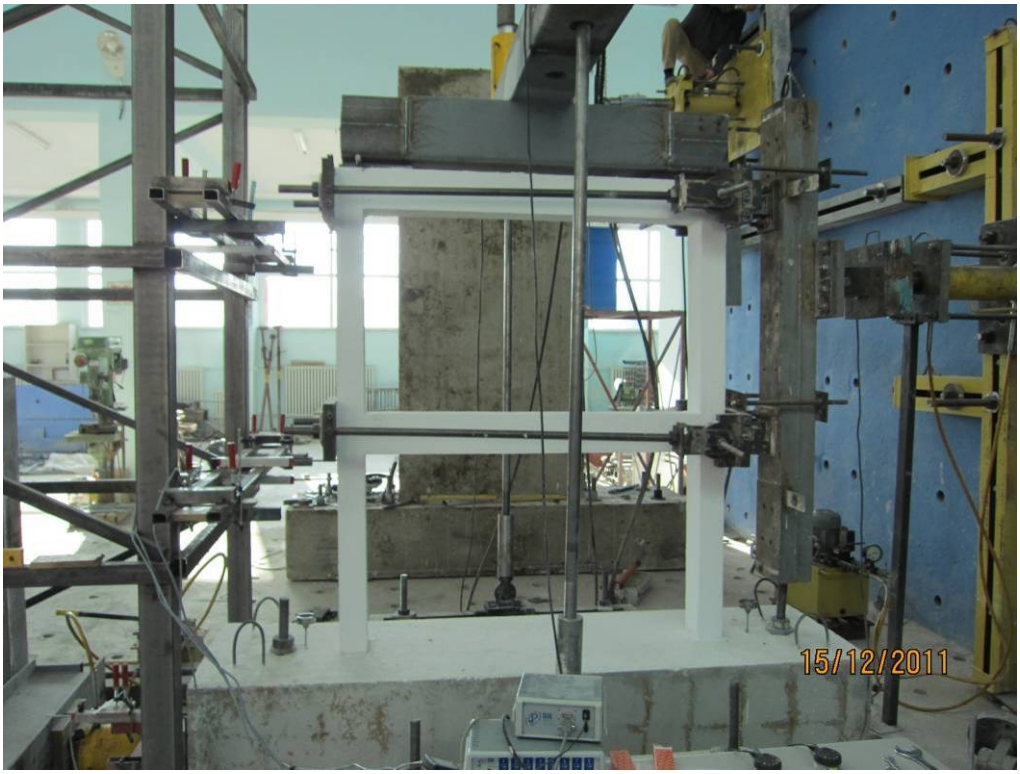
3.2.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği

Yapılan deneylerde yük hücreleri ve LVDT'ler tüm numunelerde sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi için aynı yerlere konulmuştur. Kat deplasmanlarının ölçülmesi için yerleştirilen LVDT'ler kat kirişi hizasının bir miktar altına yerleştirilmiştir. Bunun sebebi numuneye çekme kuvveti uygulanması için imal edilen rijit levhaların kat kirişi hizasında bulunmasıdır. Referans boş çerçevede LVDT yerleşimi ve deney öncesi görünümü verilmiştir (Şekil 3.45.). Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçevede LVDT yerleşimi ve deney öncesi görünümü Şekil 3.46.' da verilmiştir. Pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede LVDT yerleşimi ve deney öncesi görünümü Şekil 3.47.' de verilmiştir. Son olarak

düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede LVDT yerleşimi ve deney öncesi numunenin görünümü Şekil 3.48.' de verilmiştir.

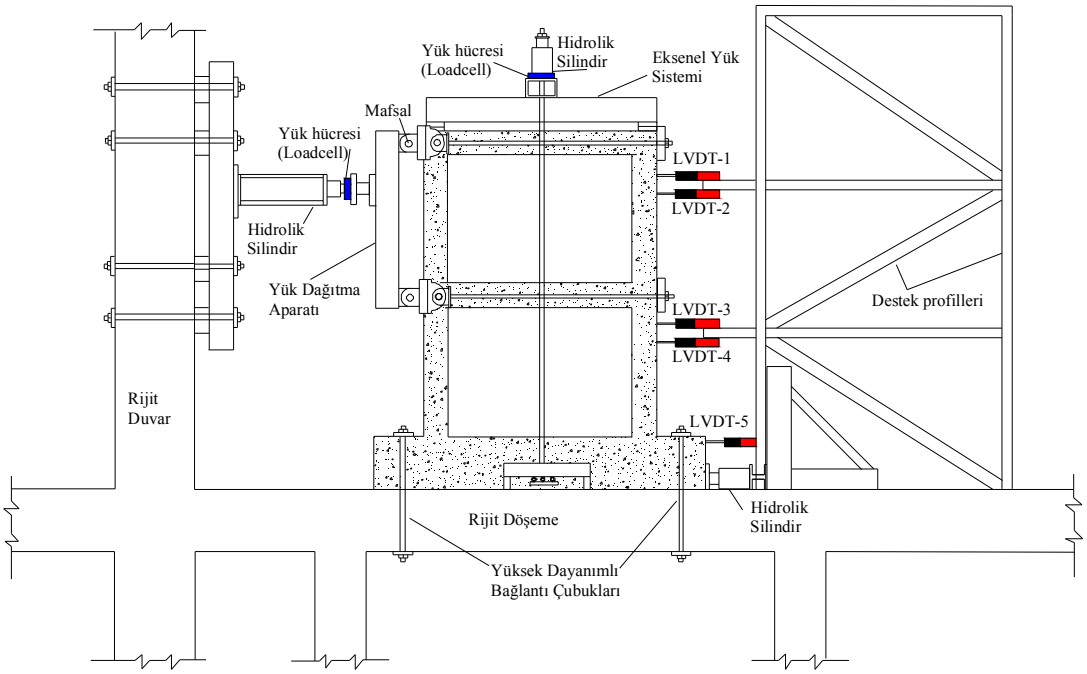


(a)



(b)

Şekil 3.45. Referans boş çerçevede deneyde kullanılan ölçüm düzeneği a) LVDT ve yük hücresi düzeneği b) Deney öncesi görünüş

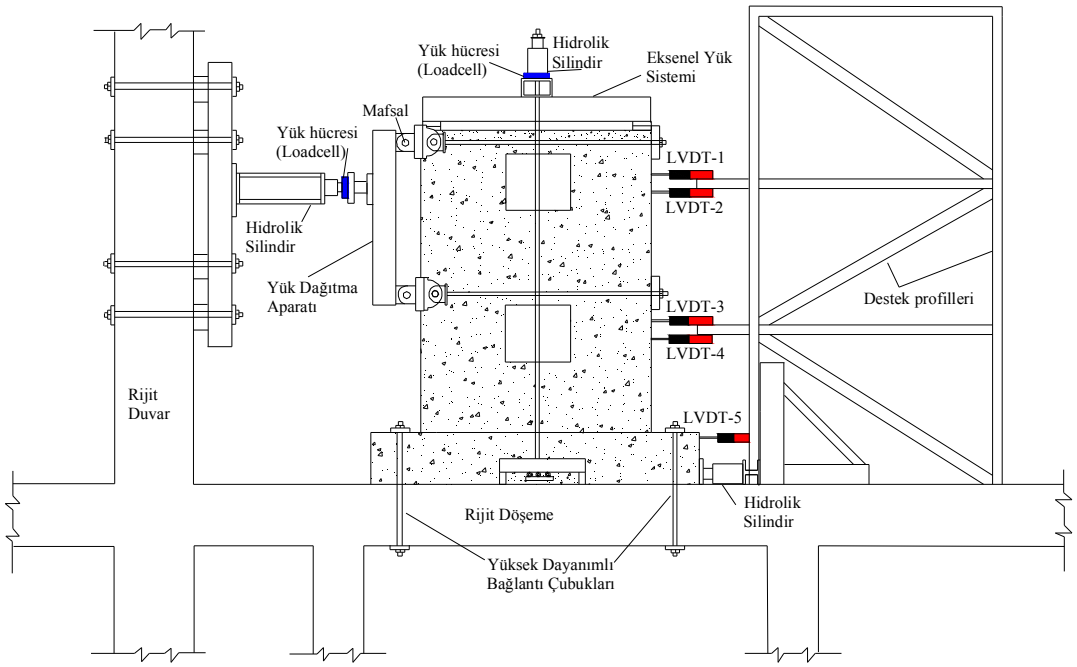


(a)

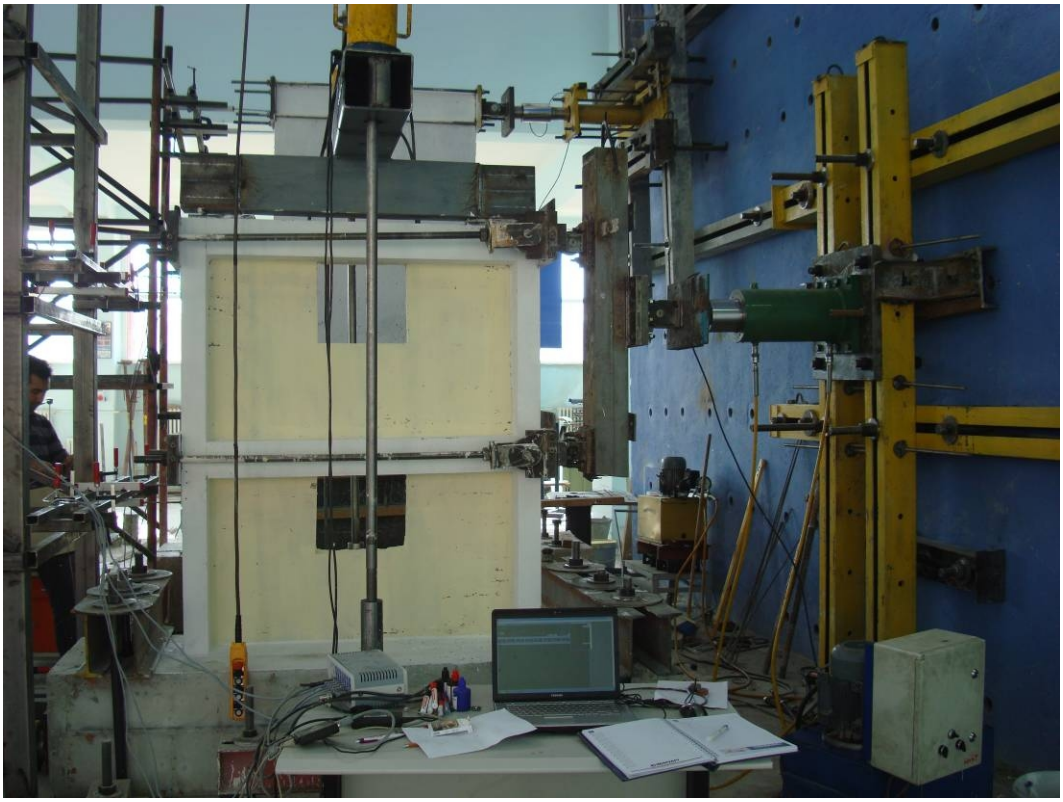


(b)

Şekil 3.46. Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçevede deneyde kullanılan ölçüm düzeneği a) LVDT ve yük hücresi düzeneği b) Deney öncesi görünüş

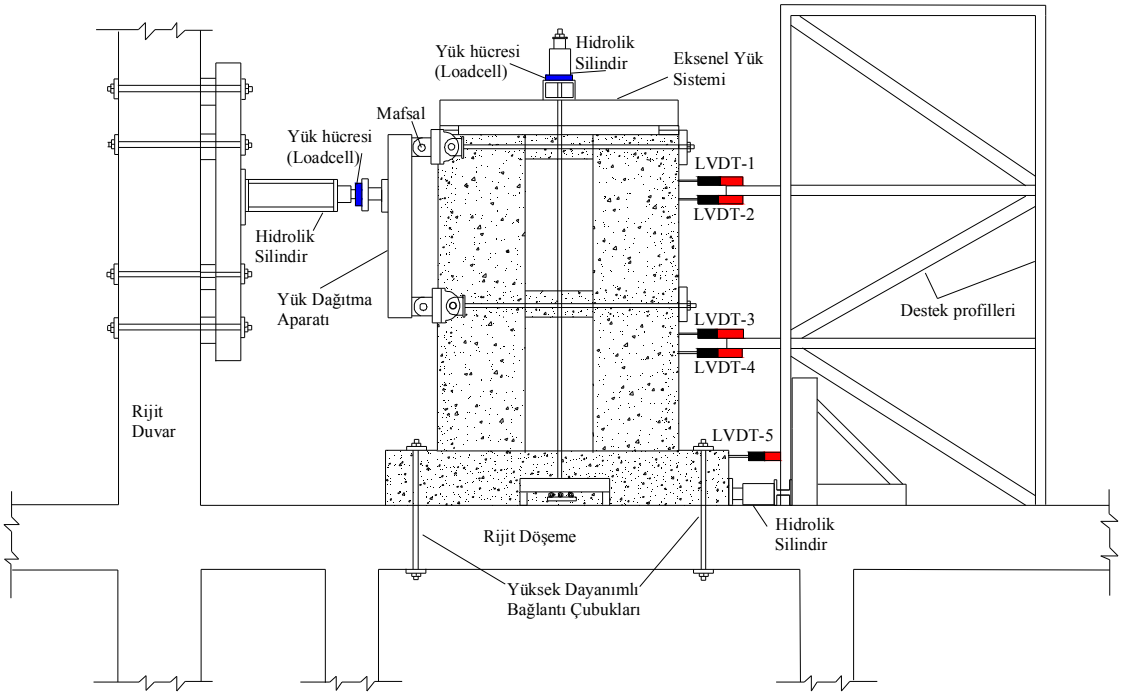


(a)

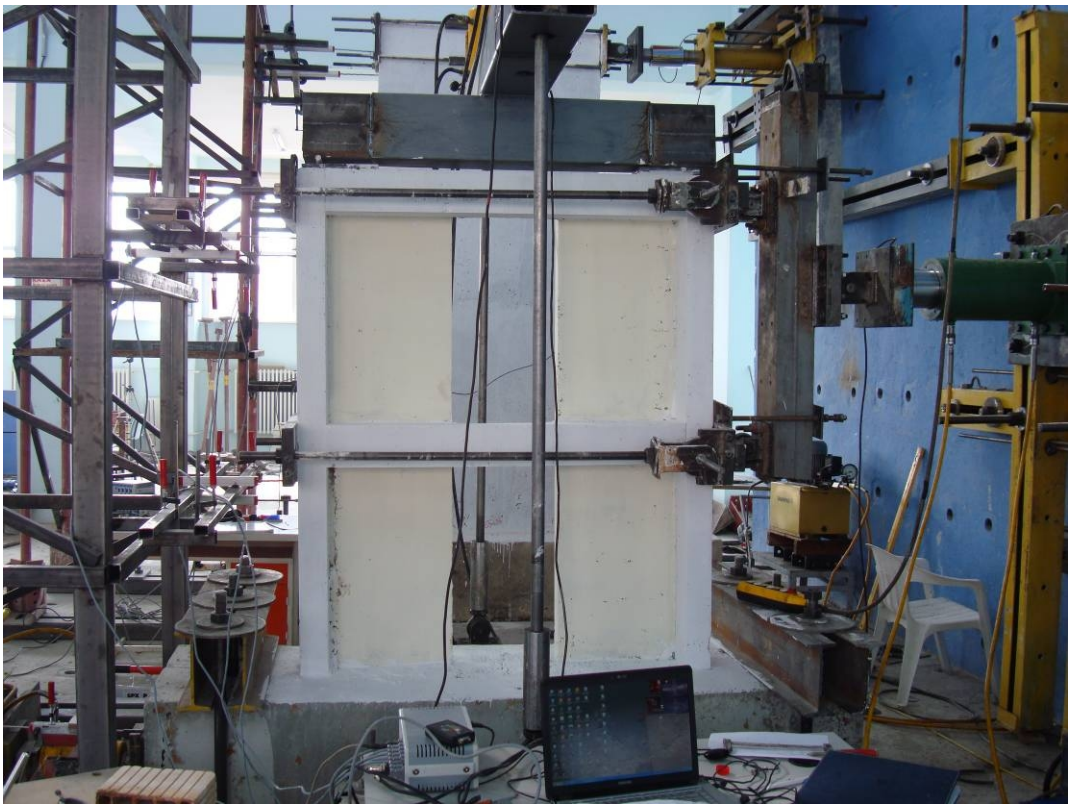


(b)

Şekil 3.47. Pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede deneyde kullanılan ölçüm düzeneği a) LVDT ve yük hücresi düzeneği b) Deney öncesi görünüş



(a)



(b)

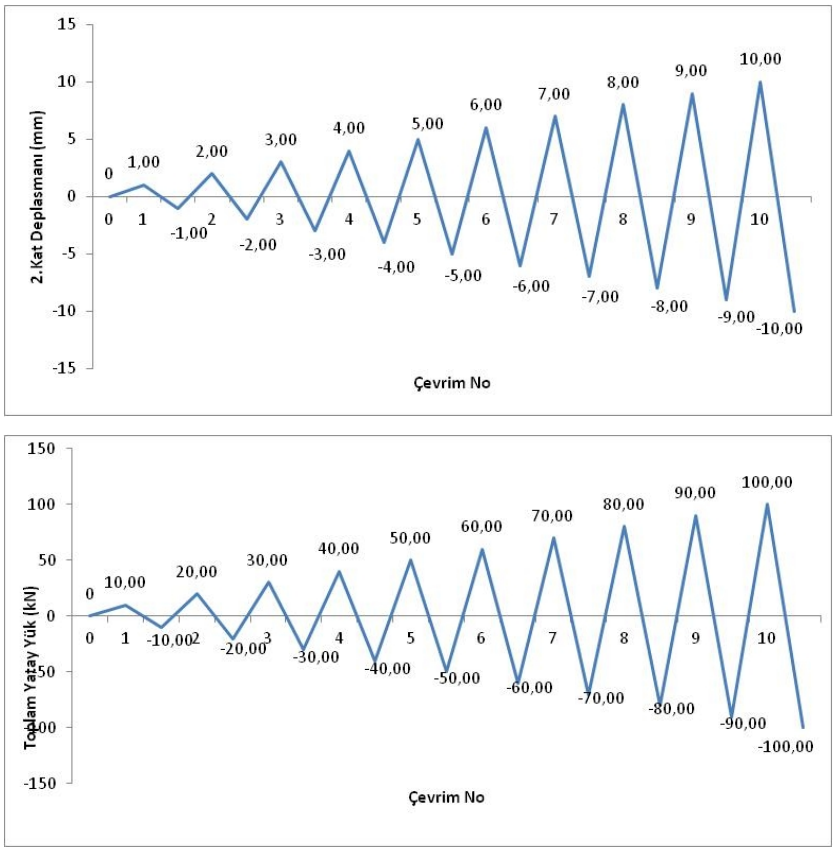
Şekil 3.48. Düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede deneyde kullanılan ölçüm düzeneği a) LVDT ve yük hücresi düzeneği b) Deney öncesi görünüş

3.2.4. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Deneyler sırasında 5 adet LVDT'den ve 3 adet yük hücresinden alınan değerler sayesinde, deney numunelerinde görülen davranış özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla her bir deney numunesi için yük geçmişi, yatay yük-deplasman ilişkisi, dayanım zarfı, rijitlik azalımı ve tüketilen enerji grafikleri çizilmiştir.

3.2.4.1. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi

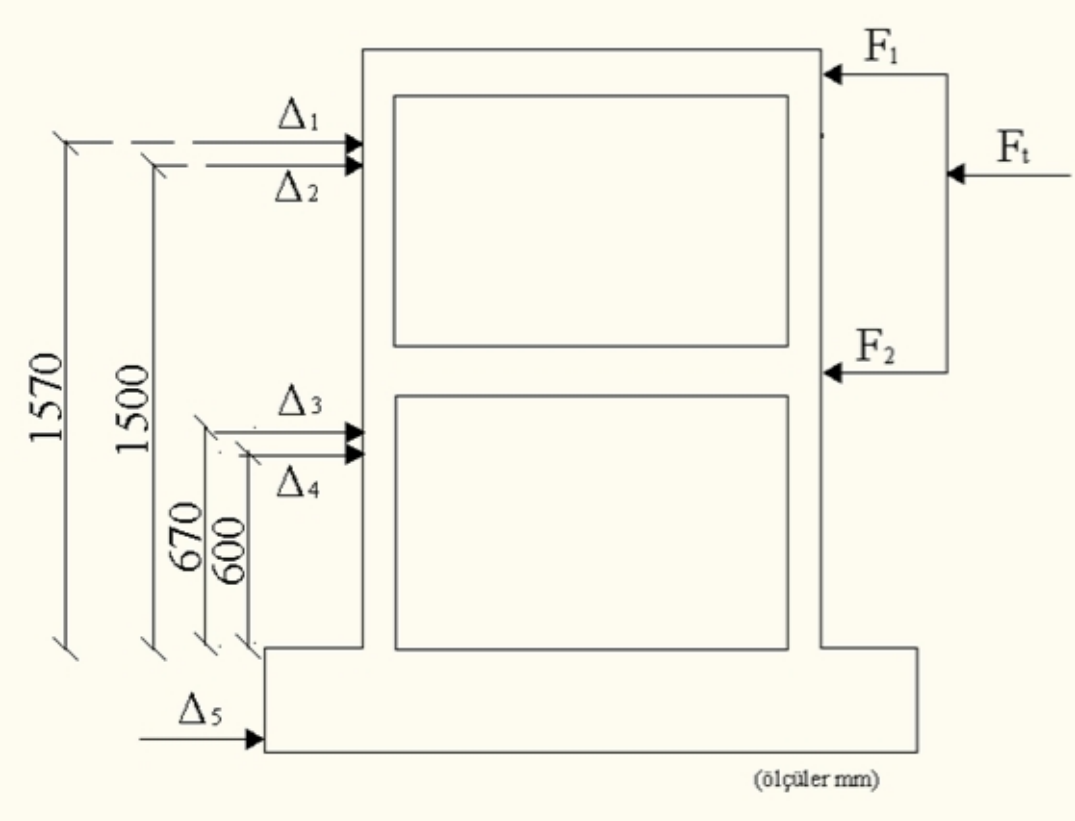
Deney numunelerinin yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi için deney sırasında her çevrimde ileri ve geri çevrimlerde okunan maksimum yük değerleri belirlenmiş, sistemin akma durumundan sonra ise maksimum deplasman değerleri belirlenmiştir. Çevrim ve yatay yük ilişkisi ile, çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.49.' da yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafikleri örnek olarak verilmiştir.



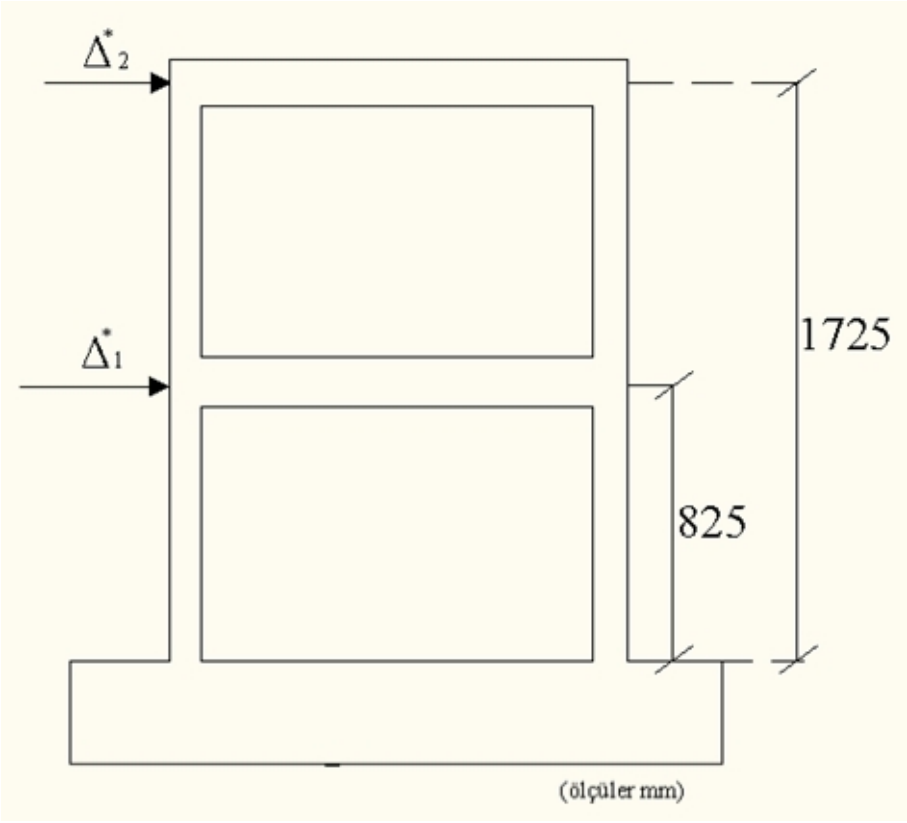
Şekil 3.49. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin örnek gösterimi

3.2.4.2. Yatay yük-kat deplasmanı ve göreceli kat ötelenmesi-kat deplasmanı grafiklerinin çizilmesi

Yatay yük-kat deplasmanı grafiklerinin çizilmesi için deney sırasında yük hücresinden okunan değerler ile LVDT'lerden okunan değerler belirlenmiştir. Şekil 3.50.' de gösterildiği gibi üst kata yerleştirilen iki adet LVDT'den okunan değerler Δ_1 ve Δ_2, alt kata yerleştirilen iki adet LVDT'den okunan değerler Δ_3 ve Δ_4 ve temelin hareketini ölçmek için yerleştirilen LVDT'den okunan değer ise Δ_5 olarak adlandırılmıştır. Sisteme etki eden toplam yük F_t olarak gösterilmiştir. Çalışma kapsamındaki deneyler öncesinde F_1 ve F_2 yüklerinin bulunduğu yerlere de yük hücreleri konulmuş ve mafsallı yükleme sisteminin yük dağılımı incelenmiştir. yapılan ön deneylerde F_2 yükünün F_t yükünün üçte biri, F_1 yükünün ise F_2 yükünün iki katı olduğu görülmüştür. Bu amaçla yaptığımız deneylerde F_t toplam yükünü katlara dağıtmak için üst kata bir birim alt kata ise iki birim uzaklığa yerleştirilen hidrolik silindir sayesinde yükleme yapılmıştır. Bunun sonucu olarak Şekil 3.50.'de de görüldüğü gibi Ft toplam yükü üst kata F_1 ve alt kata F_2 olarak etki ettirilmiştir. Şekil 3.51.' de LVDT'lerden okunan değerlerin temelden olan yükseklikleri verilmiştir, ancak bu yükseklikler kat hizalarında değildir. Bu sebeple Şekil 3.51.' de görüldüğü gibi bu yükseklikler kat hizalarına indirgenmişlerdir. Üst katta okunan LVDT değerleri Δ_1* ve alt katta okunan LVDT değerleri Δ_2* olarak adlandırılmış ve kat hizalarındaki değerler olarak alınmışlardır.



Şekil 3.50. Uygulanan yatay yük ve kat deplasmanlarının düzenlenmesi



Şekil 3.51. Kat hizalarına indirgenen deplasmanlar

Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı üzere LVDT, yük okumalarına ve LVDT'lerin temelden yüksekliklerine göre oluşturulan formüller yardımıyla grafikler çizilmiştir.

$$F_1 + F_2 = F_t \tag{3.19}$$

$$F_1 = 2F_t / 3 \tag{3.20}$$

$$F_2 = F_t / 3 \tag{3.21}$$

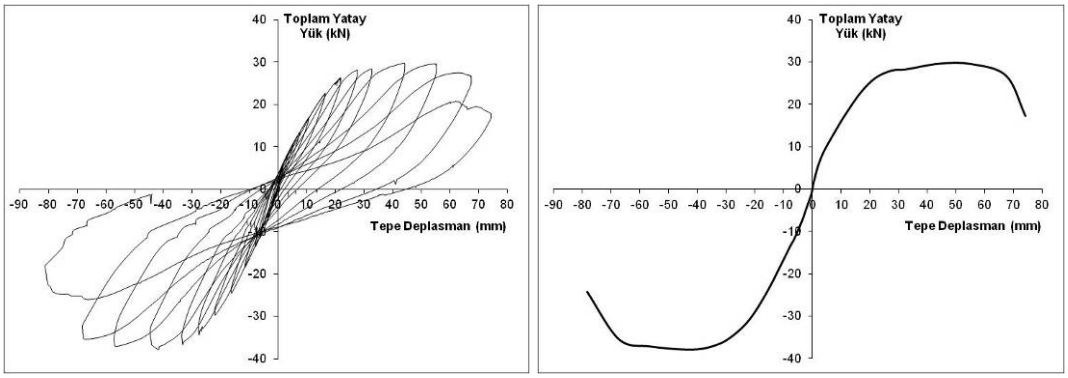
$$\Delta_1^* = (\Delta_3 - \Delta_5) \times 825 / 670 \tag{3.22}$$

$$\Delta_1^* = (\Delta_4 - \Delta_5) \times 825 / 600 \tag{3.23}$$

$$\Delta_2^* = (\Delta_1 - \Delta_5) \times 1725 / 1570 \tag{3.24}$$

$$\Delta_2^* = (\Delta_2 - \Delta_5) \times 1725 / 1500 \tag{3.25}$$

Elde ettiğimiz bu değerlere bağlı olarak istenilen grafikler çizilmiş ve yorumlanmıştır. İlk olarak tüm deney sonuçlarında toplam yüke (F_t) karşılık tepe deplasmanı (Δ_2^*) histerezis eğrisi çizilmiştir. Bu çizimde ileri pozitif ve geri negatif çevrimlerde ayrı ayrı değerler alındığı için grafiğin üst ve alt kısmında sürekli devam eden bir çevrimsel eğri oluşmuştur. Uygulanan toplam yatay yük-yatay tepe deplasman eğrilerine ait dayanım zarf eğrileri her bir çevrimde elde edilen maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu eğrilerin numuneler arasında karşılaştırılması deneylerin ve uygulanan güçlendirmenin karşılaştırılması için önemlidir. Güçlendirilmiş numunelerin referans boş çerçeveye ile karşılaştırılması, yapılan güçlendirmenin etkinliğinin görülmesini sağlamaktadır. Şekil 3.52.' de örnek olarak bir deney elemanının toplam yüke (F_t) karşılık tepe deplasmanı (Δ_2^*) ve bu grafiğin zarf eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.52. Ft-Δ_2* çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

Yine aynı şekilde tepe deplasmanına (Δ_2*) karşılık tepe deplasmanı (F_1), alt kat deplasmanına (Δ_1*) karşılık alt kat deplasmanı (F_2) çevrimsel histerezis eğrileri ve bu eğrilere bağlı olarak zarf eğrileri her bir deneyde çizilmiştir.

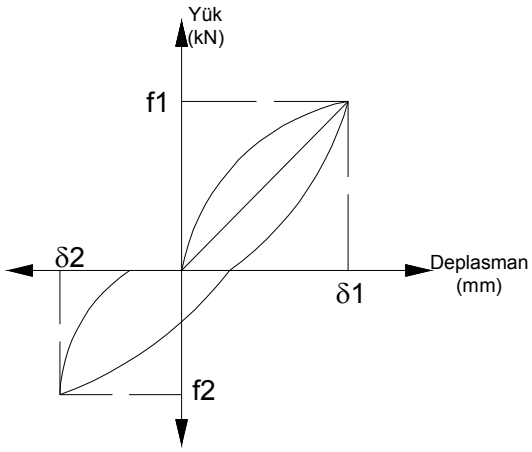
Ayrıca katların birbirleri ile deplasman ilişkilerini incelemek amacıyla göreceli kat ötelemelerinin yüke karşılık çevrimsel histerezis eğrileri ve zarf eğrileri çizilmiştir. Bu amaçla üst kat göreceli kat ötelemesine (Δg_2*) karşılık üst kat yükü (F_1) çevrimsel histerezis eğrisi, alt kat göreceli kat ötelemesine (Δg_1*) karşılık alt kat yükü (F_2) çevrimsel histerezis eğrisi ve bu eğrilere bağlı olarak zarf eğrileri çizilmiştir.

$$\Delta g_2^* = (\Delta_2^* - \Delta_1^*) / (750 + 150) \quad (3.26)$$

$$\Delta g_1^* = (\Delta_1^*) /(900 - 150 / 2) \quad (3.27)$$

3.2.4.3. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi

Deney numunelerinde yatay yükleme altında, plastik mafsal oluşumu nedeni ile rijitliklerinde azalma meydana gelmektedir. Betonarme çerçeve numunelerinin rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmiştir. Şekil 3.53.'de gösterilen çevrimde rijitlik değerlerinin hesaplanması anlatılmıştır ve görüldüğü gibi f1 ve δ1 sıfırdan büyük, f2 ve δ2 sıfırdan küçüktür.

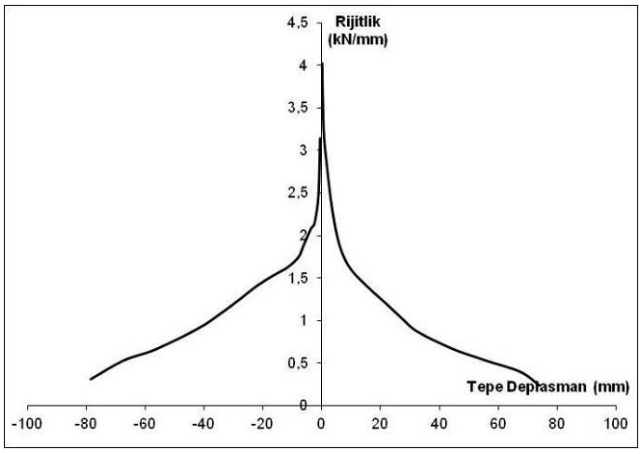


Şekil 3.53. Rijitlik azalımının hesaplanması

$f1 , \delta1 > 0$ (3.28)

$f2 , \delta2 < 0$ (3.29)

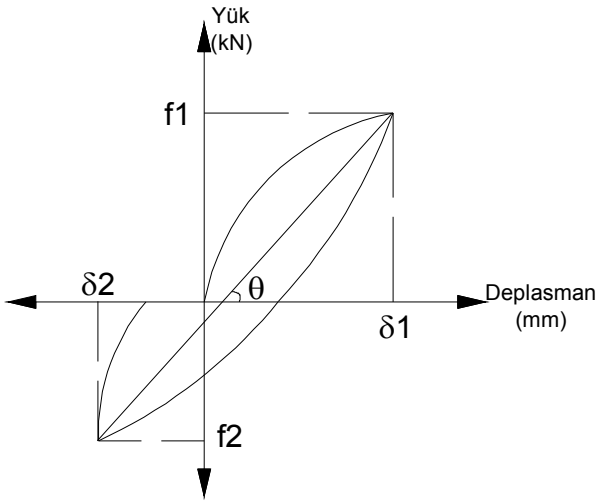
Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesinde her bir çevrimdeki eğim bulunarak hesaplanmış ve pozitif çevrimlerde bu eğime (f1/ δ1) karşılık deplasman (δ1) grafiğinin çizilmesi ile, negatif çevrimlerde ise bu eğime (f2/ δ2) karşılık deplasman (δ2) grafiğinin çizilmesi ile elde edilmiştir. Bu sebeple Şekil 3.54.' de gösterilen grafikte sağ taraf pozitif sol taraf ise negatif değerleri göstermektedir. İleri ve geri çevrimlerdeki pozitif ve negatif değerlerin olmasının sebebi (f1/ δ1) oranına karşılık pozitif deplasman (δ1), (f2/ δ2) oranına karşılık negatif deplasman (δ2) değerlerinin olmasıdır. Şekil 3.54.' de örnek olarak bir rijitlik azalımı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.54. Rijitlik azalımı grafiği örneği

3.2.4.4. Eğim açısı grafiklerinin çizilmesi

Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin daha iyi incelenebilmesi açısından eğim açısı grafikleri çizilmiştir. Bu amaçla her bir çevrimde oluşan eğrilerin eğimleri belirlenmiş ve bu eğimin açıları belirlenerek eğim açısı grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.55.' de bir çevrimin eğim açısının çizilmesi açıklanmıştır.



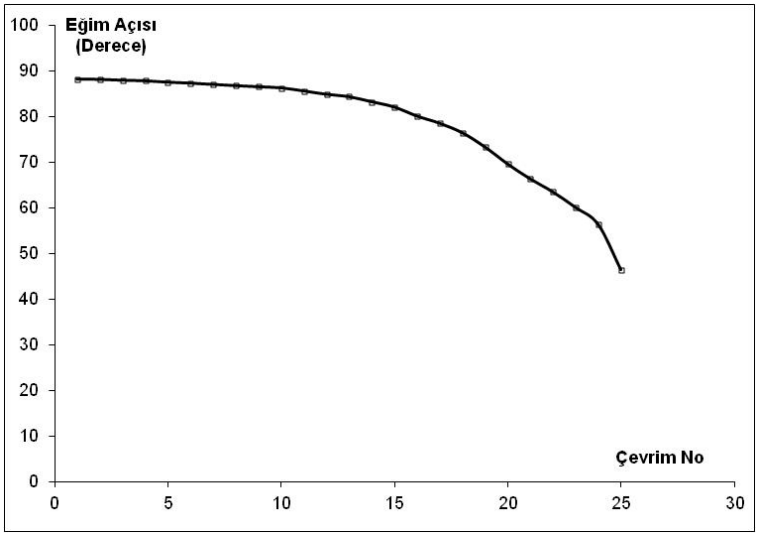
Şekil 3.55. Eğim açısının hesaplanması

Şekil 3.55.' den de anlaşılacağı gibi bir çevrimin eğimi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$\tan(\theta) = \frac{(|f1| + |f2|)}{(|\delta 1| + |\delta 2|)} \tag{3.30}$$

$$\theta = \arctan\left[\frac{(|f1| + |f2|)}{(|\delta 1| + |\delta 2|)}\right] \tag{3.31}$$

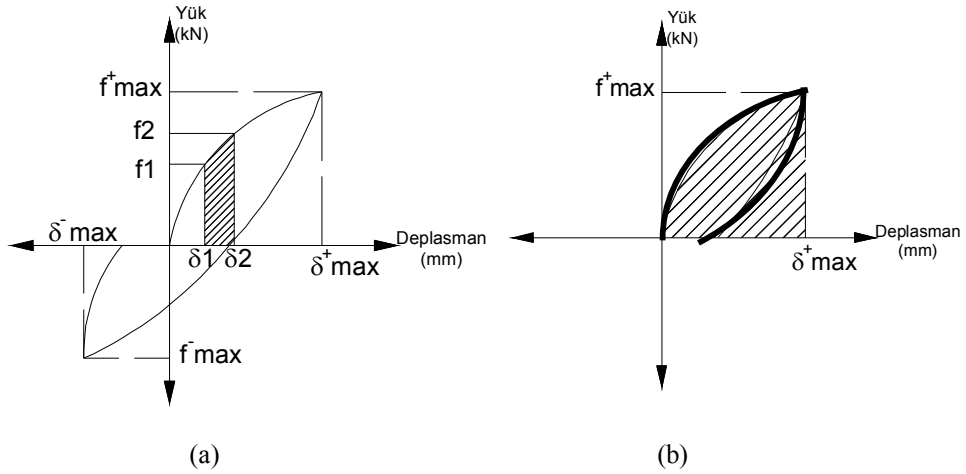
Denklem (3.31)'e bağlı olarak her çevrimde θ açısı başlangıçta yatay eksene yaklaşık dik olarak başlamış, çevrimler ilerledikçe eğrinin yataylaşması ile birlikte açı azalarak devam etmiştir. Bu durumdan da anlaşıldığı gibi eğimin azalması ile birlikte rijitlik ileriki çevrimlerde azalarak devam etmiştir. Eğim açısı grafiğinin bir örneği Şekil 3.56.' da verilmiştir.



Şekil 3.56. Eğim açısı grafiği

3.2.4.5. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

Yatay yük-yatay deplasman histerezis eğrilerinin altında kalan alan çevrimlerde numune tarafından tüketilen enerji miktarını vermektedir. Şekil 3.57 (a)' da tipik bir histerezis çevrimi verilmiştir. bu eğrinin altında kalan alanı bulmak için öncelikle çevrim üzerindeki bir birimlik alanın bulunması ve daha sonra bu alanların maksimum yüke kadar toplanması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere ileri çevrimlerdeki bu alanların toplanmasıyla Şekil 3.57. (b)'deki gibi bir alan elde edilmiş olacaktır. Bu sebeple histerezis eğrisi içinde kalan alanın hesaplanabilmesi için yüklemede toplanan değerlerden, boşaltmada toplanan değerlerin çıkarılması gerekmektedir.

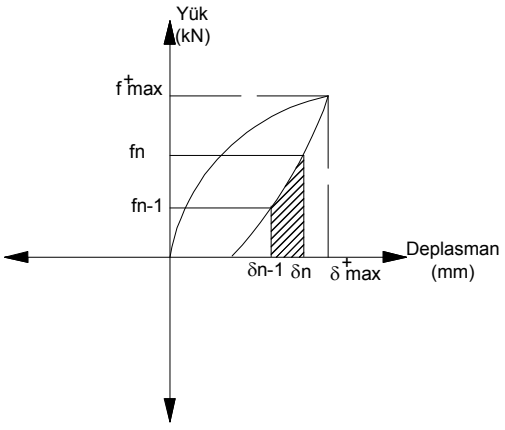


Şekil 3.57. Tüketilen enerjinin hesaplanması

Şekil 3.57. (a)'da yükleme durumunda oluşan yük-deplasman eğrisinin grafiği verilmiştir. Bu grafikte taralı olan kısmın alanı;

$$dA = (\delta 2 - \delta 1)\frac{(f1 + f2)}{2} \tag{3.32}$$

olarak bulunmuştur. Burada fl ve f2 anlık yük okumalarıdır. Bu yük okumalarının sürekli devam ettiği düşünülürse, $f^{+}max$'a kadar Denklem (3.32)'te bulunan alanlar toplanarak devam ettirilmiş ve Şekil 3.57. (b)'de taralı olarak gösterilen alan meydana gelmiştir. Bu sebeple boşaltma durumundaki alanların çıkarılması ile çevrimsel histerezis eğrisi içindeki alan hesaplanabilecektir.



Şekil 3.58. Boşaltma durumunda eğrinin altında kalan alanın çıkarılması

Şekil 3.58.' de gösterilen eğride boşaltma durumundaki alanın çıkarılması için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Denklem (3.35)).

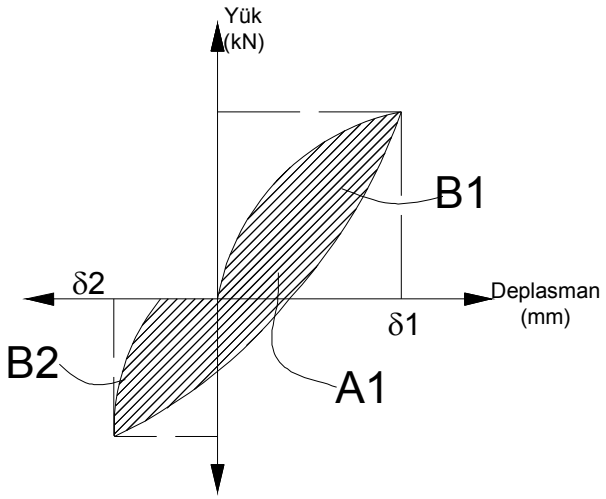
$$\delta_{n+1} - \delta_n < 0 \quad (3.33)$$

$$(f_{n+1} - f_n) / 2 < 0 \quad (3.34)$$

$$dA = (\delta_{n+1} - \delta_n) \times (f_{n+1} + f_n) / 2 \quad (3.35)$$

Bu formüllere bağlı olarak bir çevrimdeki histerezis eğrisinin içindeki alanı bulmak için yükleme ve boşaltmada alanların toplanması gerekmektedir. Bu durumda bulunan alanların toplanması integral yardımıyla Denklem (3.36) da verildiği gibi hesaplanmış ve Şekil 3.59'da bulunan alan gösterilmiştir.

$$\int dA\,(yükleme) + dA\,(boşaltma) \quad (3.36)$$



Şekil 3.59 Histerezis eğrisi içerisinde kalan alan

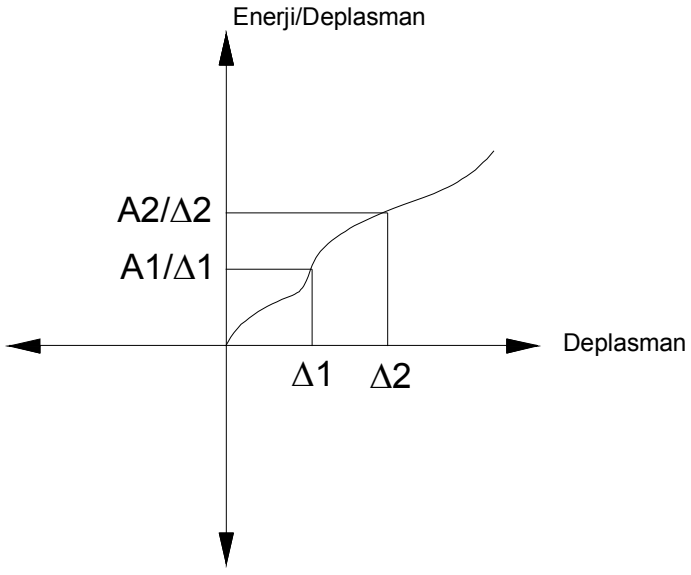
Şekil 3.59'da iki alanın toplamı, yani toplam alan A1 olarak gösterildiği gibi ileri çevrimde B1, geri çevrimde ise B2 gösterilmiştir. Tüketilen enerji grafiği çizilirken her çevrimdeki alanların toplanması ile oluşacak grafik sürekli artış göstereceğinden ve deplasmanın miktarına bağlı olarak çok deplasmanda çok enerji tüketimi olacağından

sağlıklı veriler elde edilememektedir. Bu sebeple tüketilen enerjinin çevrim deplasmanına bölünmesi ile oluşturulacak enerji grafiğinin daha anlamlı olacağı sonucu çıkmıştır. Yapılan deneylerde iki adet enerji grafiği çizilmiştir. Enerji birimi olarak kNm yerine Joule birimi kullanılmıştır. Birinci enerji grafiği bir çevrimde oluşan toplam enerjinin toplam deplasmana oranı ile bulunmuş, ikinci enerji grafiği ise ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı bulunarak yorumlanmıştır.

Birinci enerji grafiğinde bulunan toplam enerji miktarı Şekil 3.59'da da gösterildiği gibi ileri ve geri çevrimde oluşan alanların (B1 ve B2) toplamıdır. Aşağıdaki denkleme bağlı olarak tüketilen enerji grafiği çizilmiştir. Bu denklemde δ1ve δ2 ileri ve geri çevrimde ulaşılan deplasmanları göstermektedir.

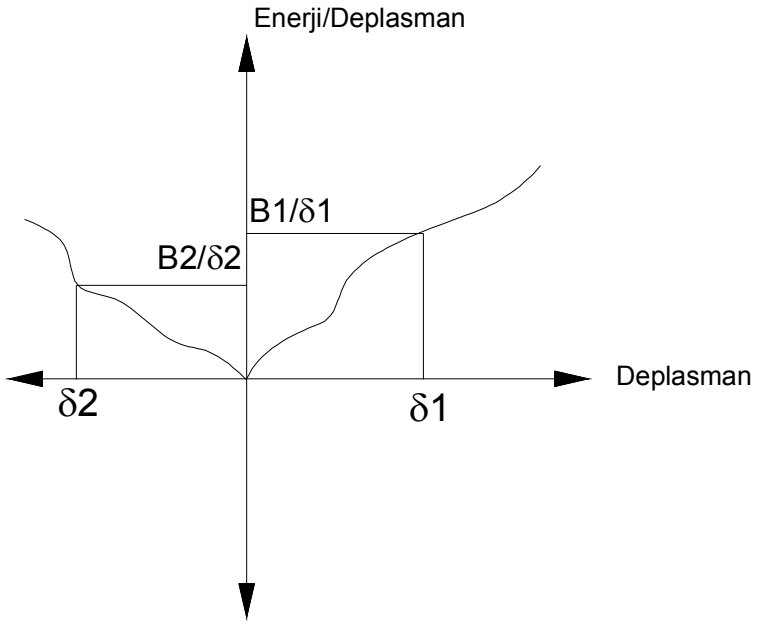
$$A1 = (B1 + B2) / (\delta1 + \delta2) \tag{3.37}$$

Her bir çevrimde bu denklem kullanılmış ve toplam alan olarak A1, A2, A3 … olarak alanlar bulunmuştur. Birinci çevrimdeki ileri ve geri çevrimlerdeki deplasmanların toplamı Δ1 olarak gösterilmiştir. Tüm çevrimlerdeki ileri ve geri çevrimle bu şekilde adlandırılmış (Δ1, Δ2, Δ3...) ve grafik bu değerlere göre oluşturulmuştur. Grafiğin yatay ekseni deplasmanı, düşey ekseni ise enerji/deplasman oranını göstermektedir. Şekil 3.60'da birinci enerji grafiğine ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.60 Birinci enerji grafiği

İkinci enerji grafiğinde ise ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı enerjiler hesaplanmış ve grafik çizilmiştir. Bu grafikte yatay eksen ileri ve geri çevrimlerdeki deplasmanları, düşey eksen ise ileri çevrimde oluşan alanın ileri deplasmana oranı (B1 / δ1) ve geri çevrimde oluşan alanın geri deplasmana oranı (B2 / δ2) olarak gösterilmiştir. Böylece ileri ve geri çevrimlerde tüketilen enerji miktarları ayrı ayrı gösterilmiş olmaktadır. Şekil 3.61'de ikinci enerji grafiğine bir örnek verilerek açıklanmıştır.



Şekil 3.61 İkinci enerji grafiği

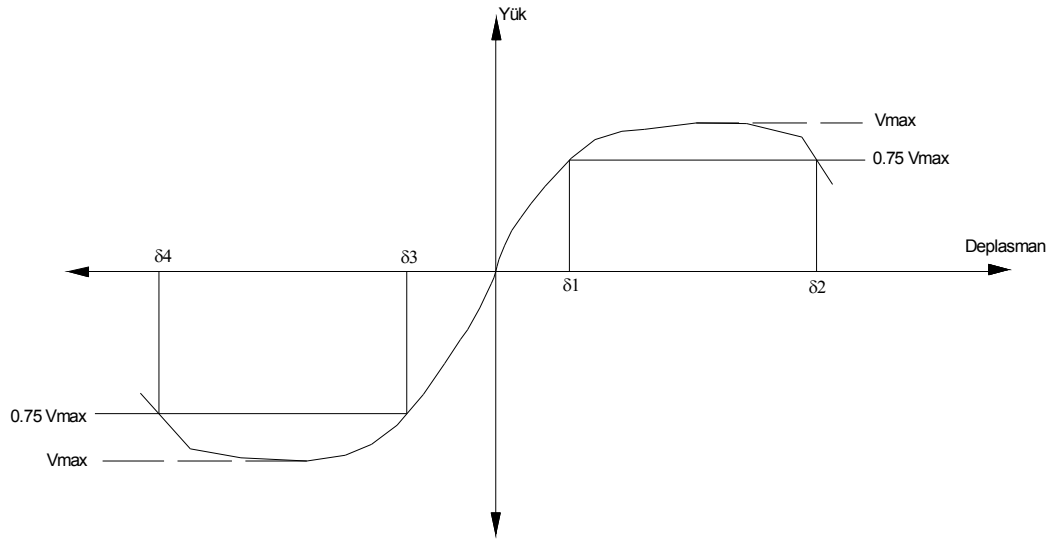
3.2.4.6. Sistem süneklik grafiklerinin çizilmesi

Deprem yükleri altında betonarme çerçeve açısından süneklik son derece önemlidir. Süneklik sistemin taşıdığı yükte önemli bir düşüş olmadan ulaşabildiği maksimum deplasmanın, akma deplasmanına oranı olarak tanımlanabilir. Histerezis eğrilerinden elde edilen zarf eğrilerinden sistemin sünekliğiyle ilgili yorum yapabilmek için grafiksel bir yöntem önerilmiştir (Şekil 3.62). İlk olarak zarf eğrisi Autocad ortamında çizilmiştir. Daha sonra ileri ve geri çevrimler için maruz kalınan maksimum yatay yük seviyesi işaretlenmiştir (Vmax). Maksimum yükün %25 düştüğü noktaya karşılık gelen nokta zarf eğrisinde işaretlenmiş ve karşılık gelen δ2 deplasman değeri okunmuştur. Zarf eğrisine çizilen teğet ile yatay yükte %25 düşüşe karşılık gelen eğrilerin kesişim noktasına karşılık gelen δ1 deplasman değeri elde edilmiştir. Han ve

Jee (2005)'nin "Seismic Behaviors of Columns in Ordinary and Intermediate Moment Resisting Concrete Frames" adlı makalelerinde de süneklik değerlerinin elde edilmesi amacıyla maksimum yatay yükün %25 daha azaldığı noktalardaki deplasman değerlerini incelemişlerdir. Yaptığımız deneylerde de sistemin sünekliliğini incelemek amacıyla maksimum yatay yükün %25 azaldığı yerlerdeki deplasmanlar incelenmiştir. Sistemin süneklik katsayısı;

$$\varphi = \delta 2 / \delta 1 \qquad (3.38)$$

denklemi ile hesap edilmiştir.



Şekil 3.62 Sistem süneklik değerinin hesaplanması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde deney elemanlarının tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmesi ve bu testlerin sonuçları açıklanmıştır. Deney elemanları farklı dayanımlarda olduğu için özdeş bir yükleme programı uygulanamamıştır. Test edilen deney elemanlarında üçgen yük dağılımı prensibiyle 2. kata 2 birim, 1. kata 1 birim yük gelecek şekilde yüklenmiştir. Tüm deneylerde yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanmış, yük deplasman eğrisi yatay konuma geldiğinde (nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman), deplasman kontrollü olarak devam edilmiş, deney elemanında büyük hasarlar meydana gelene kadar deneyler devam ettirilmiştir. Sistem nominal akma sınırına ulaştıktan sonra güçlendirilmiş elemanlarda yaklaşık 5 mm, boş çerçevede ise 10 mm deplasman artışları ile deneye devam edilmiştir.

Yapılan deneylerde sonuçların daha iyi anlaşılması ve karşılaştırılması bakımından bazı grafikler verilmiştir. Bu grafikler;

- Toplam yük-2. kat deplasmanı grafiği
- 2. kat yükü-2. kat deplasmanı grafiği
- 1. kat yükü-1. kat deplasmanı grafiği
- Toplam yük, 1. ve 2. kat yükleri için dayanım zarfları
- Toplam yük, 1. ve 2. kat yükleri için rijitlik azalım grafikleri
- Tüketilen enerji-2. kat ötelenme oranı grafiği
- Kümülatif toplam tüketilen enerji-2. kat ötelenme oranı grafiği
- Toplam yük, 2. kat yükü ve 1. kat yüküne bağlı ötelenme oranı grafikleri
- Yük geçmişi grafiği
- Deplasman geçmişi grafiği

Yapılan bu çalışmada deney esnasında oluşan çatlaklar işaretlenerek numaralandırılmış ve bu çatlaklar fotoğraflanmıştır. Deney elemanlarında son çevrimden sonra oluşan hasarlar fotoğraflanarak verilmiş, bilgisayar ortamında oluşan çatlaklar ve hasarlar çizilmiştir. Deney sonuçlarının açıklanmasının ardından yapılan çalışmaların birbirleri ile karşılaştırmaları grafiklerle gösterilmiş ve deney sonuçları yorumlanmıştır.

4.1. Deney Sonuçları

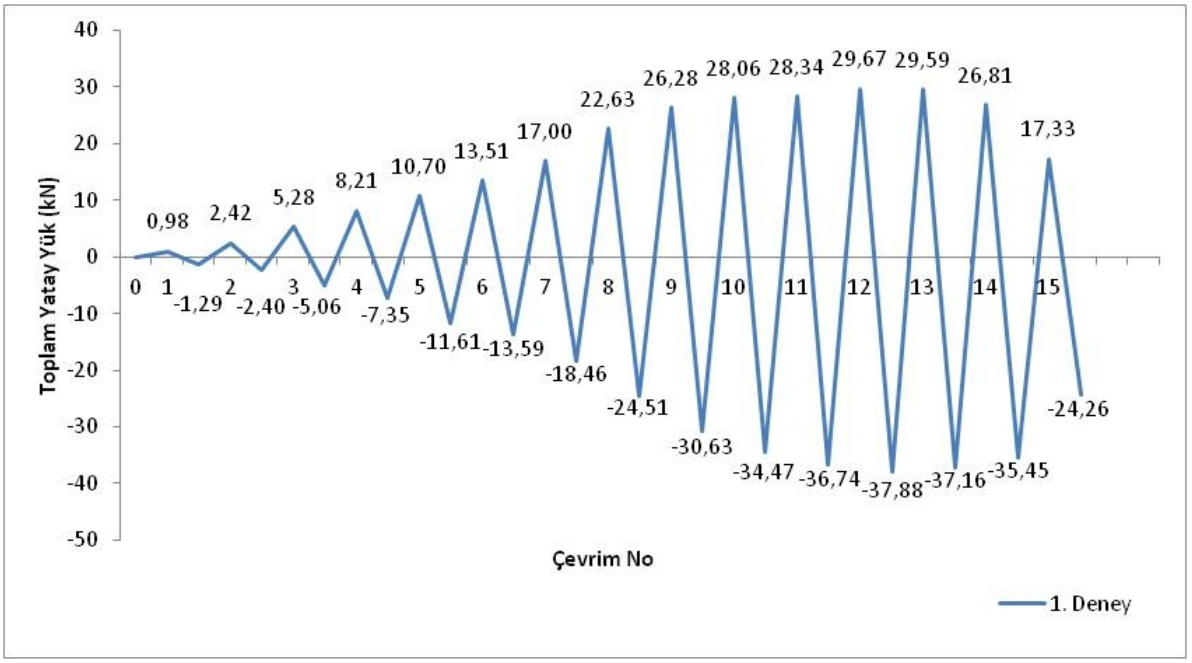
4.1.1. Deney elemanı-1 (RS)

İlk test edilen numune hiçbir güçlendirme elemanı içermeyen referans boş çerçevedir. Türkiye'deki mevcut yapı stoğununun önemli bir bölümünü temsil eden bu numunede, çerçeve beton dayanımı için yapılan basınç testine göre beton basınç dayanımı 19 MPa'dır. Bu numunenin kirişleri kolonlardan daha güçlü olarak tasarlanmış, etriye aralıkları mevcut yönetmelik ve standartlara uygun yapılmamış, kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye devam ettirilmemiş, etriye sıklaştırılması yapılmamış, etriye kancaları 90^{o} yapılmış ve beton dayanımı düşük numuneyi temsil etmektedir. Bu deney elemanı deprem davranışı düşük olan numuneyi temsil etmiş olup, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans boş çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.1.' de görülmektedir.

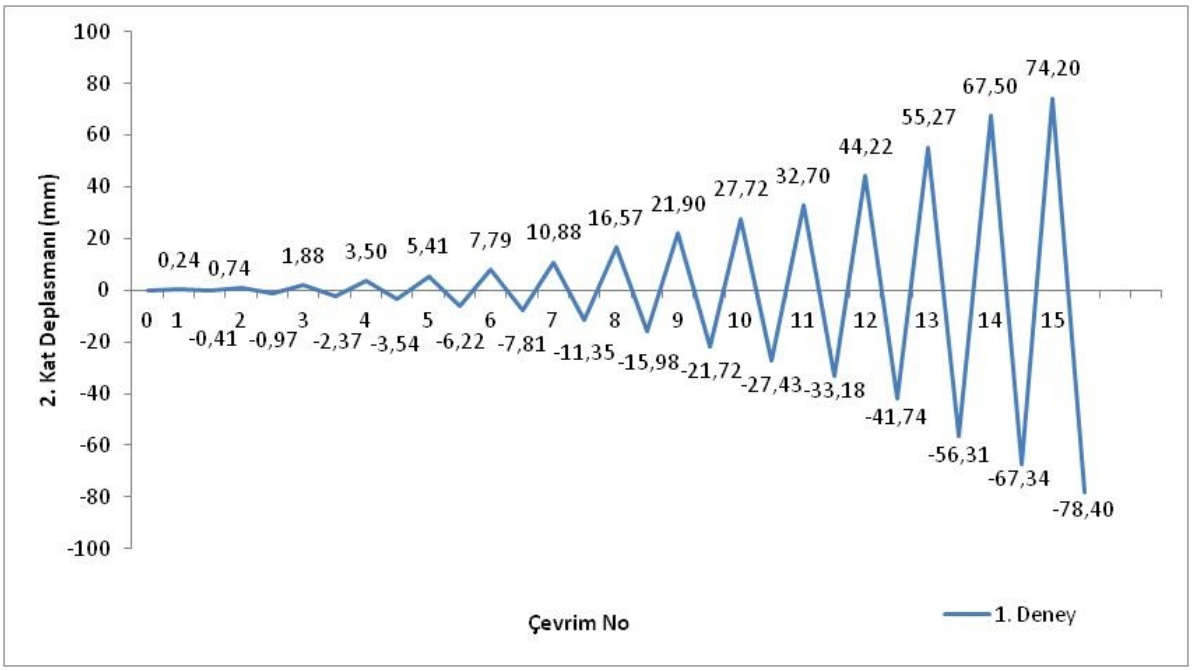


Şekil 4.1. Referans boş çerçevenin deney öncesi görünümü

Referans boş çerçeveye uygulanan yük geçmişi Şekil 4.2.' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. 1. Deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b)Tepe deplasmanına göre

Şekil 4.2.’ de de görüldüğü gibi yükleme geçmişi çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere yapılan deneyde yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. ±1 kN olacak şekilde yükleme kontrolüyle başlayan deney, daha sonra ±3 kN ve ±5 kN olacak şekilde devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede ise ±5 mm deplasman artışları ile deney sonlanmıştır. 12. çevrimde yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney 16. çevrimde büyük hasarlar meydana geldiği için sonlandırılmıştır. Deney numunesi ileri pozitif çevrimlerde maksimum 29.67 kN yatay yüke ulaşırken geri negatif çevrimlerde maksimum -37.88 kN yatay yüke dayanmıştır.

Deney numunesine eksenel yük olarak toplam 86 kN yük verilmiştir. Bu her bir kolon için 43 kN eksenel yük demektir. C16 sınıfı beton kullanılması hedeflendiği ve kolonlar 150x100 mm boyutlarında olduğu için kolonlara taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20 si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney sırasında kayıt edilen ve numune üzerinde işaretlenen çatlakların çevrimlere göre dağılımı Çizelge 4.1.’ de özetlenmiştir. Çatlakların işaretlenmesinde pozitif çevrimlerde siyah renk ve negatif çevrimlerde kırmızı veya mavi renk kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Deney sırasında oluşan çatlakların çevrimlere göre dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yükte Ölçülen Tepe Deplasmanı (mm)	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numaraları
+1	0,24	0,98	
-1	-0,41	-1,29	
+2	0,74	2,42	
-2	-0,97	-2,40	
+3	1,88	5,28	
-3	-2,37	-5,06	
+4	3,50	8,21	
-4	-3,54	-7,35	
+5	5,41	10,70	+1,+2(ilk çatlak oluştu)
-5	-6,22	-11,61	-1,-2
+6	7,79	13,51	+3,+4,+1’
-6	-7,81	-13,59	-3,-5,-6,-1’,-2’
+7	10,88	17,00	+5,+6,+7,+8,+9,+10,+11,+12
-7	-11,35	-18,46	-7,-8,-4’,-4’’
+8	16,57	22,63	+13,+14,+15,+16,+17,+18,+19,+20,+21,+1’,+2’,+3’,+7’,+8’,+9’
-8	-15,98	-24,51	-9,-10,-11,-12,-13,-14,-15,-8’,-8 ile +7 birleşti
+9	21,90	26,28	+22,+23,+24,+25,+26,+27,+28,+29,+30,+31,+32,+33,+34,+35,+36, +3’’,+11’+13’,+14’
-9	-21,72	-30,63	-16,-17,-18,-19,-20,-21,-9’,-10’,-11’,-12’,-15’
+10	27,72	28,06	+37,+38,+39,+40,+41,+4’,+15’,+16’,+21’,+23’,+33’
-10	-27,43	-34,47	-22,-23,-24,-3’,-6’,-12’’
+11	32,70	28,34	+42,+43,+44,+45,+46,+47,+15’’,+26’,+36’
-11	-33,18	-36,74	-25,-26,-27,-9’’,-19’’
+12	44,22	29,67	S101 kolonunda kesme kırılması oluştu (+36)
-12	-41,74	-37,88	-28,-29
+13	55,27	29,59	
-13	-56,31	-37,16	
+14	67,50	26,81	
-14	-67,34	-35,45	
+15	74,20	17,33	
-15	-78,40	-24,26	

Deneyde ilk 4 çevrimde herhangi bir belirgin çatlak gözlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir. Deneyde ilk çatlaklar pozitif 5. çevrimde S101 kolonunda +1 ve S102 kolonunda + 2 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.3) ve 10.70 kN toplam yük ve karşılık gelen 5.41 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Bu çatlaklar kolonların temel ile birleştiği bölgelerde oluşmuştur.



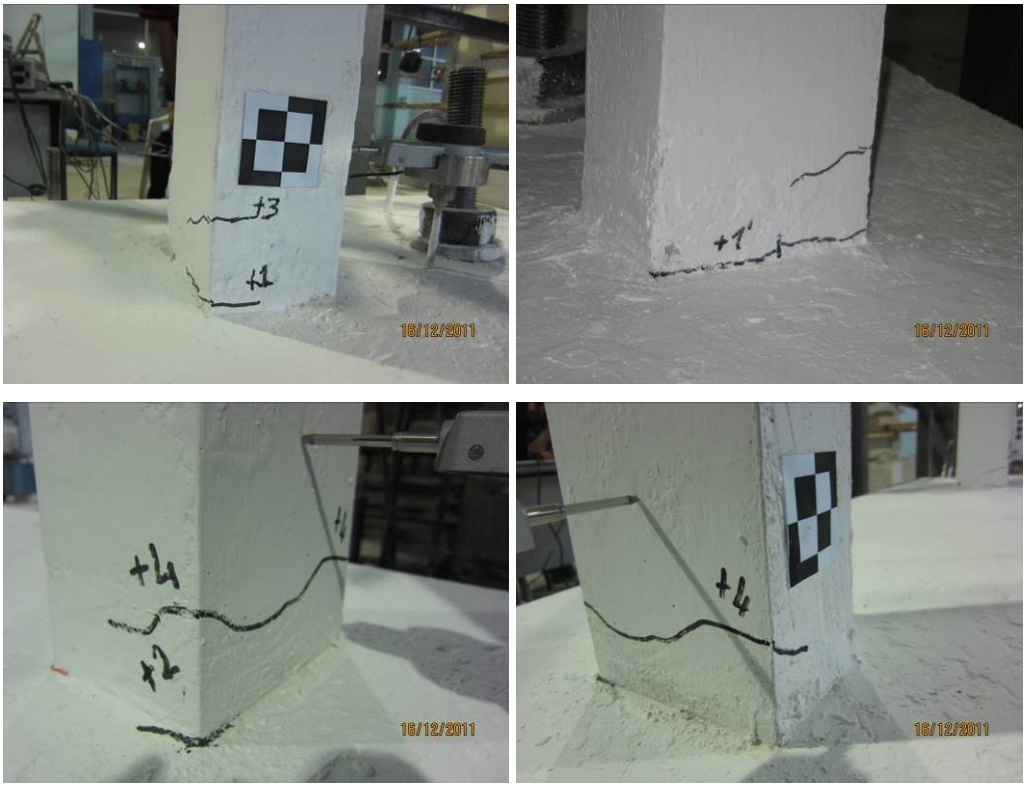
Şekil 4.3. Pozitif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 5. çevrimde -1 ve - 2 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.4) ve -11.61 kN toplam yük ve karşılık gelen -6.22 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Bu çatlaklarda pozitif çevrimdeki çatlakların ters tarafında oluşmuş ve yine kolon ile temelin birleştiği yerlerde meydana gelmişlerdir.



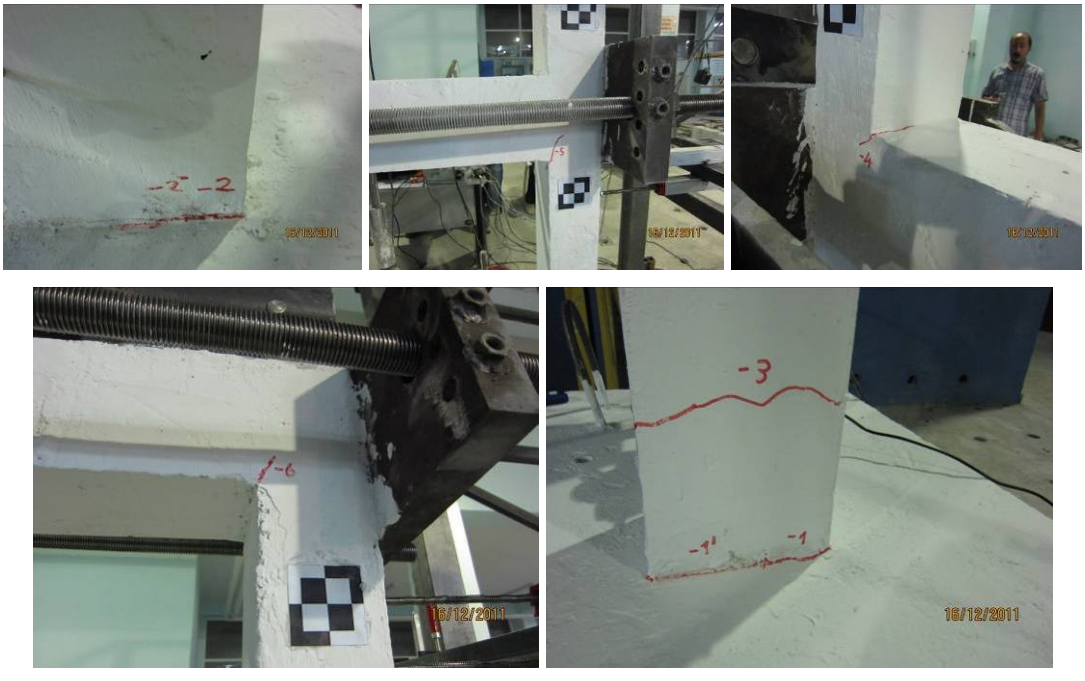
Şekil 4.4. Negatif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 6. çevrimde +3, +4, ve +1' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.5.) ve 13.51 kN toplam yük ve karşılık gelen 7.79 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. +1' çatlak numarası gösterimi; +1 numaralı çatlağın ilerlemesini ifade etmektedir.



Şekil 4.5. Pozitif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 6. çevrimde -3, -4, -5, -2', -6 ve -1' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.6) ve -13.59 kN toplam yük ve karşılık gelen -7.81 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



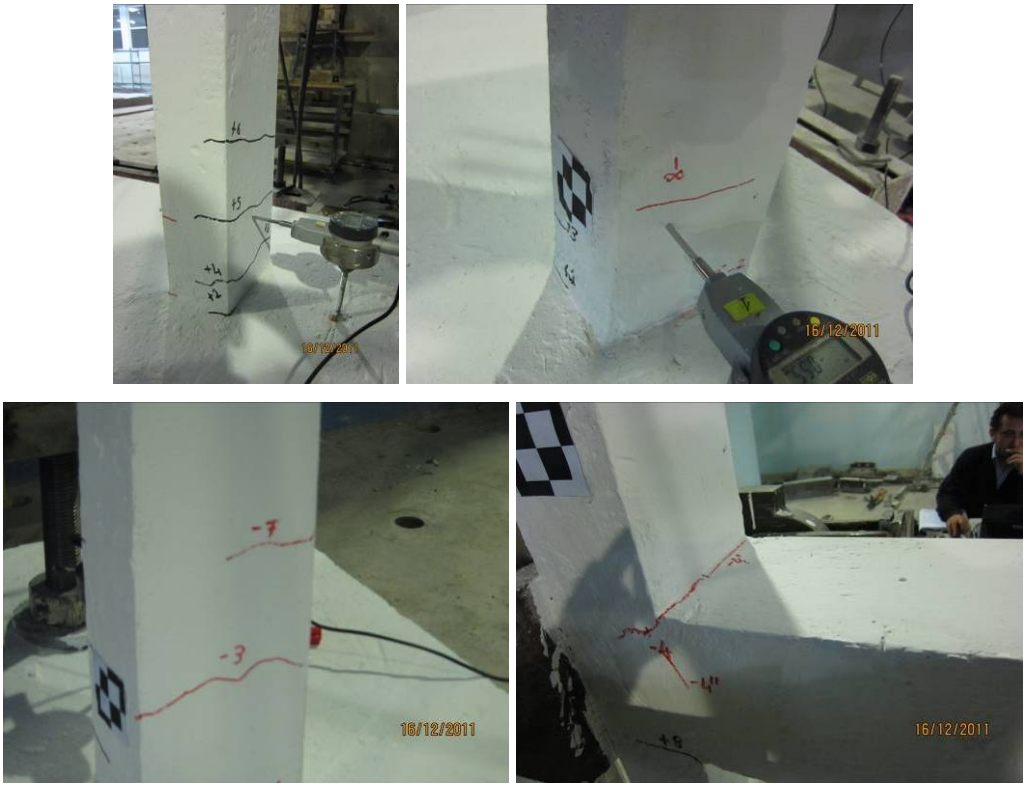
Şekil 4.6. Negatif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 7. çevrimde +5, +6, +7, +8, +9, +10, +11 ve +12 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.7.) ve 17.00 kN toplam yük ve karşılık gelen 10.88 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.7. Pozitif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 7. çevrimde -7, -8, -4’ ve -4’’numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.8.) ve -18.46 kN toplam yük ve karşılık gelen -11.35 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.8. Negatif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 8. çevrimde +13, +7', +2', +3', +1', +14, +15, +16, +9', +17, +8', +18, +19, +20 ve +21 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.9.) ve 22.63 kN toplam yük ve karşılık gelen 16.57 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.9. Pozitif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 8. çevrimde -9, -10, -11, -12, -13, -14, -15 ve -8', numaralı çatlaklar oluşmuş, -8 ile +7 numaralı çatlaklar birleşmiş (Şekil 4.10) ve -24.51 kN toplam yük ve karşılık gelen -15.98 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.10. Negatif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 9. çevrimde +3'', +22, +13', +23, +14', +24, +25, +26, +27, +28, +29, +30, +31, +32, +11', +33, +34, +35, +36 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.11.) ve 26.28 kN toplam yük ve karşılık gelen 21.90 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



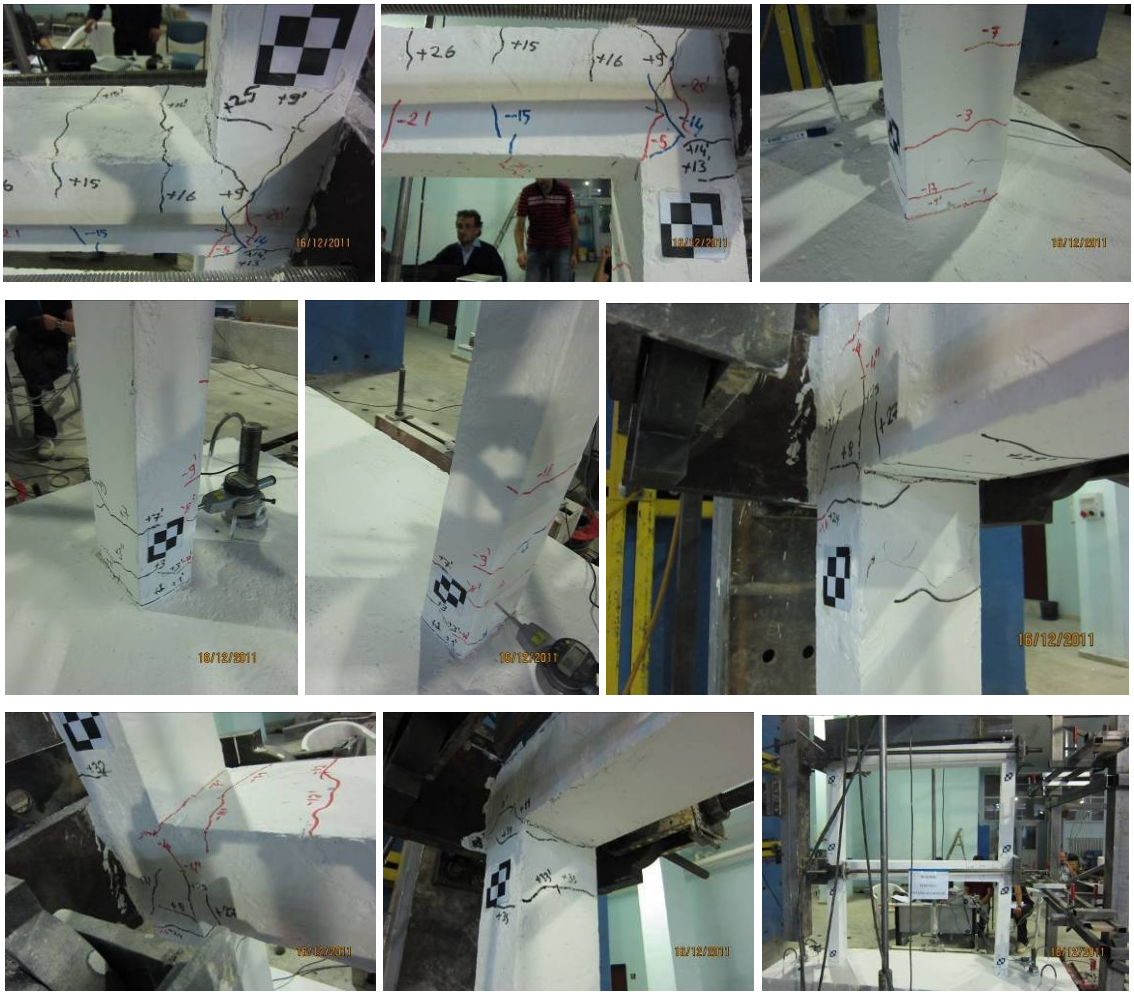
Şekil 4.11 Pozitif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 9. çevrimde -10', -9', -12', -11', -16, -17, -15', -18, -19, -20, -21 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.12.) ve -30.63 kN toplam yük ve karşılık gelen -21.72 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



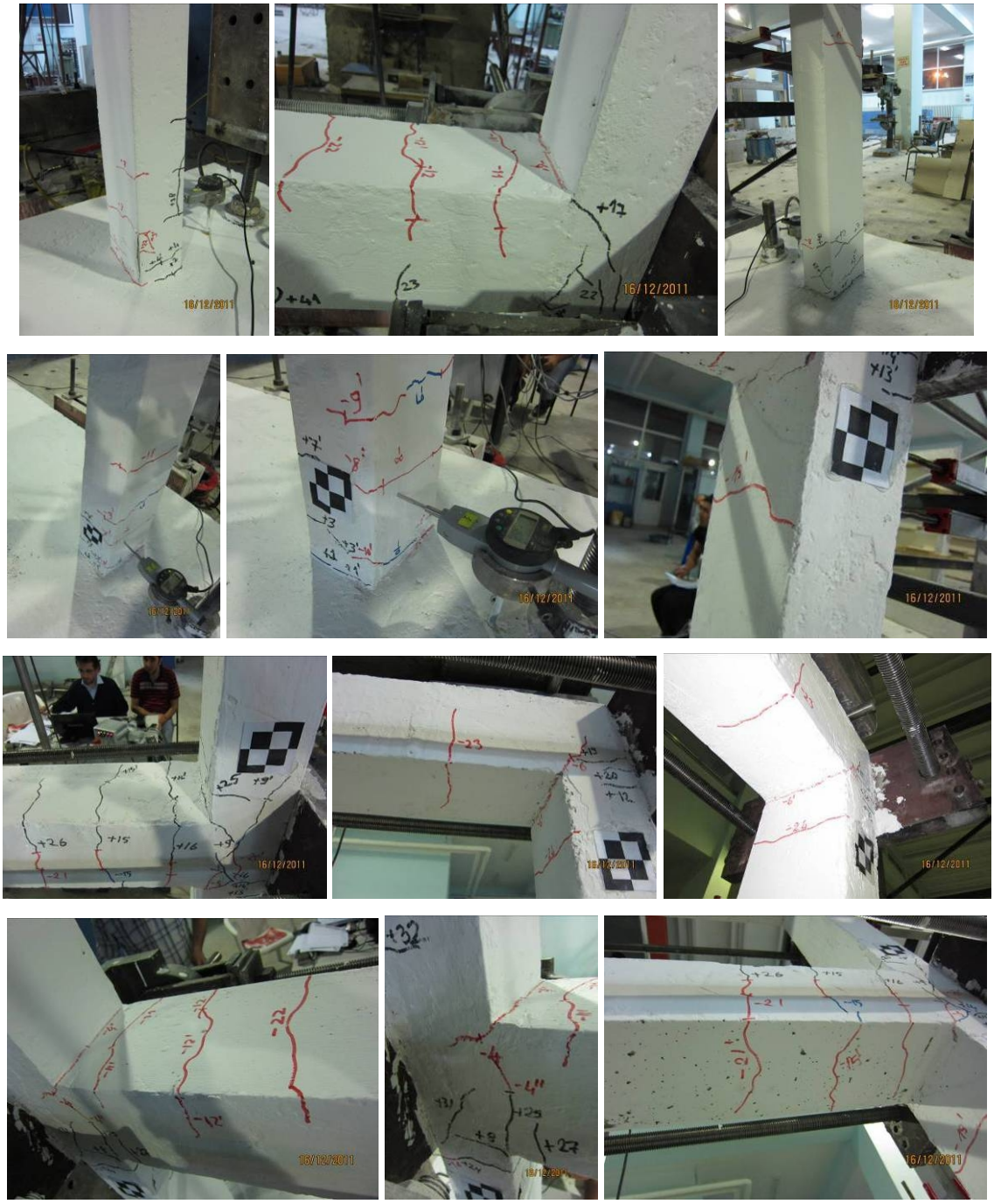
Şekil 4.12. Negatif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 10. çevrimde +15', +16', +37, +38, +39, +4', +40, +23', +41, +33', +21' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.13.) ve 28.06 kN toplam yük ve karşılık gelen 27.72 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



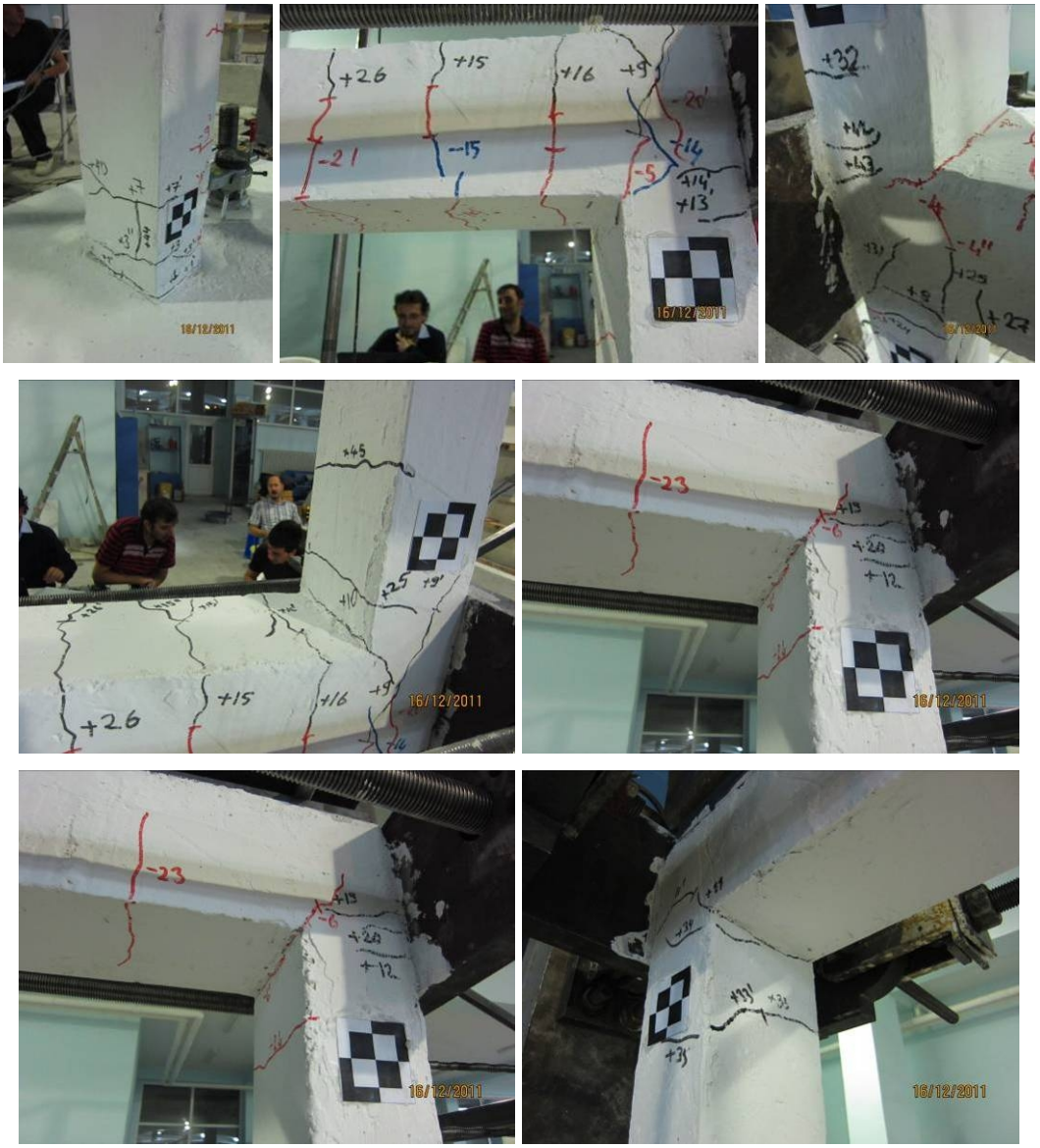
Şekil 4.13. Pozitif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 10. çevrimde -3', -22, -12'', -21, -23, -24, -6' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.14.) ve -34.47 kN toplam yük ve karşılık gelen -27.43 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



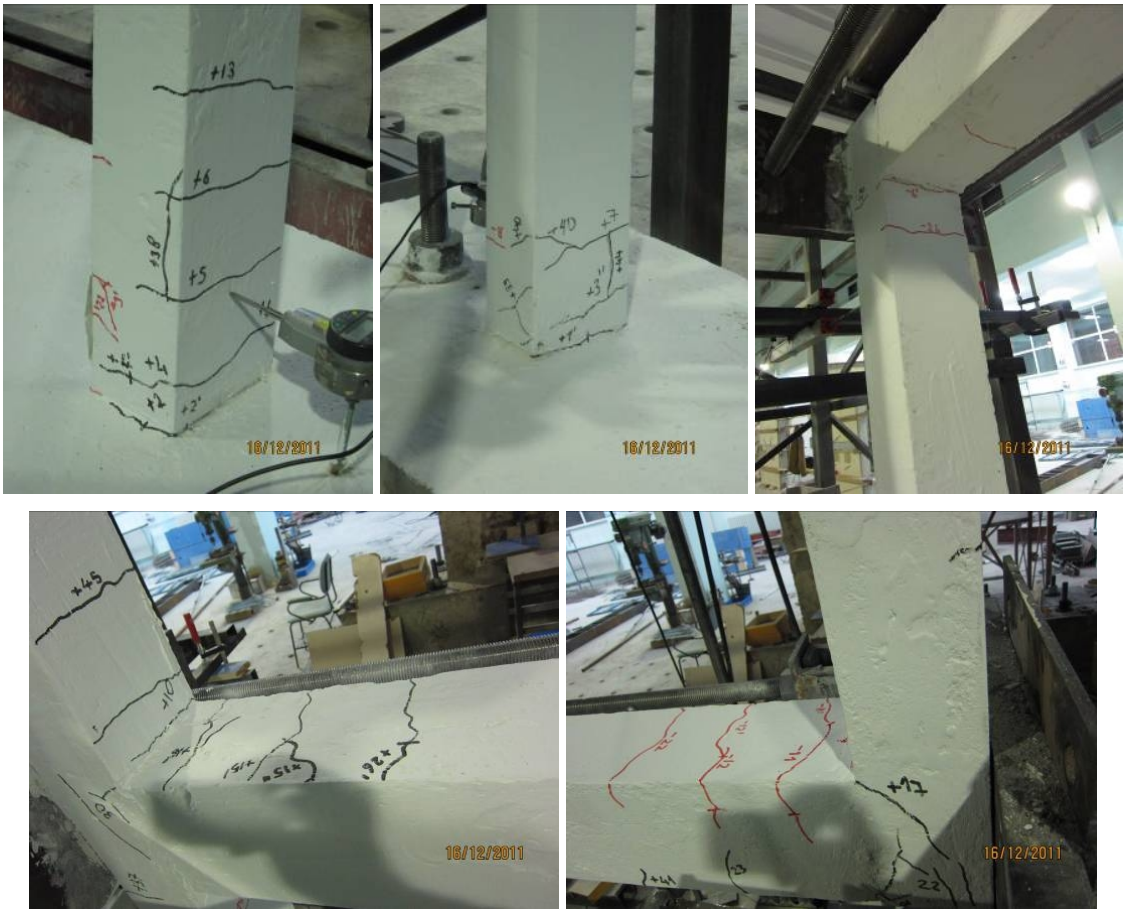
Şekil 4.14. Negatif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 11. çevrimde +36', +42, +43, +44, +26', +15'', +45, +46, +47 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.15) ve 28.34 kN toplam yük ve karşılık gelen 32.70 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.15 Pozitif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 11. çevrimde -25, -26, -27, -9'', -19'' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.16.) ve -36.74 kN toplam yük ve karşılık gelen -33.18 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.16. Negatif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 12. çevrimde +36 nolu çatlak oluşmuş ve S201 nolu kolonda kesme kırılmasına benzer bir hasar meydana gelmiş (Şekil 4.17.) ve 29.67 kN toplam yük ve karşılık gelen 44.22 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



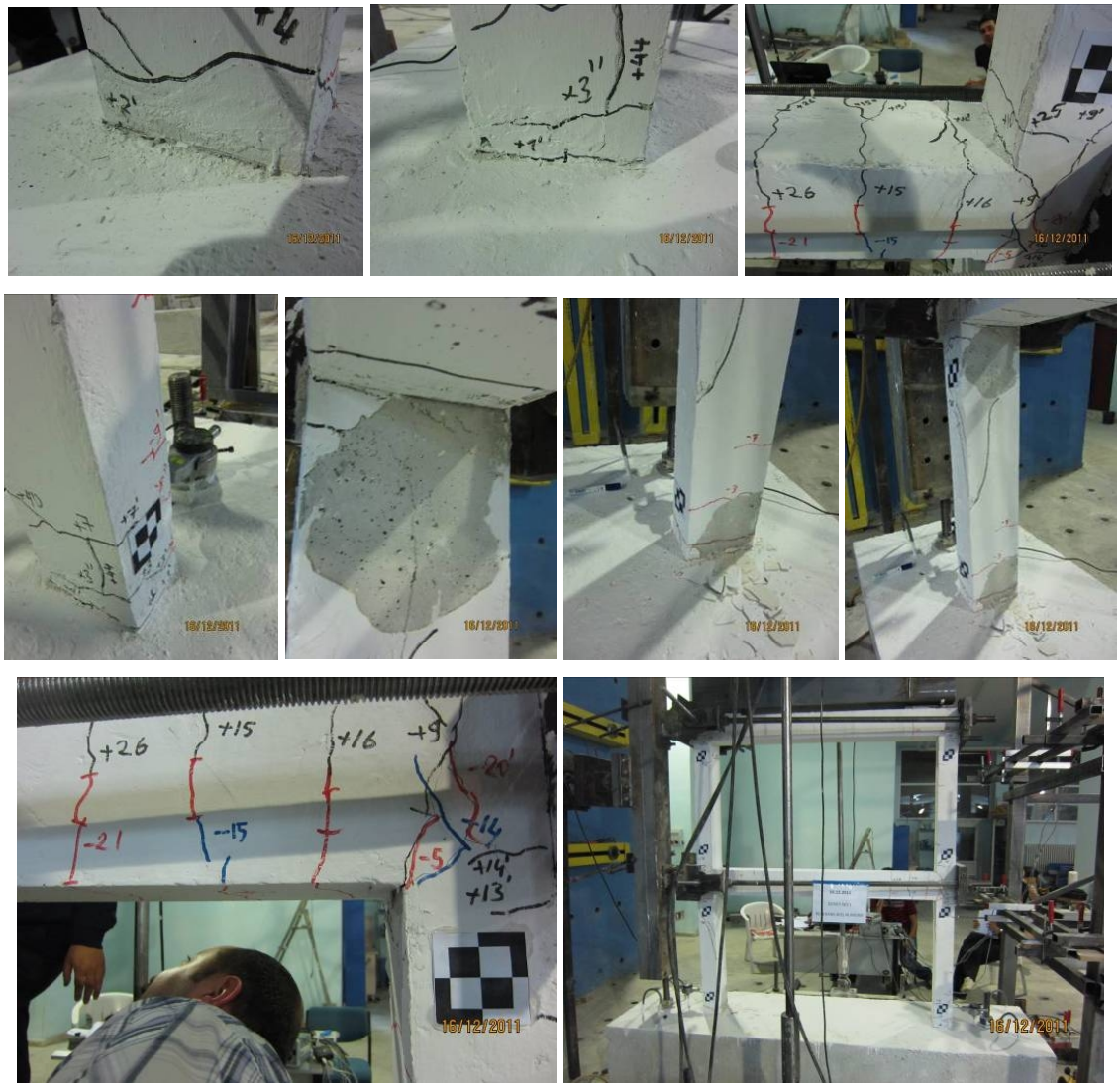
Şekil 4.17. Pozitif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 12. çevrimde S101 kolonunda hasar meydana gelmiş (Şekil 4.18.) ve -37.88 kN toplam yük ve karşılık gelen -41.74 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.18. Negatif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

13. ve takip eden çevrimlerde oluşan çatlaklar işaretlenebilecek seviyeyi geçtiği, kolonların her ikisinde de oluşan ileri hasardan dolayı sistem stabilitesi tehlikeye girdiği için çatlak numaraları işaretlenmemiş sadece fotoğrafla tespit yapılmıştır. Pozitif 13. çevrimde oluşan çatlaklar Şekil 4.19.' da verilmiş ve 29.59 kN toplam yük ve karşılık gelen 55.27 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



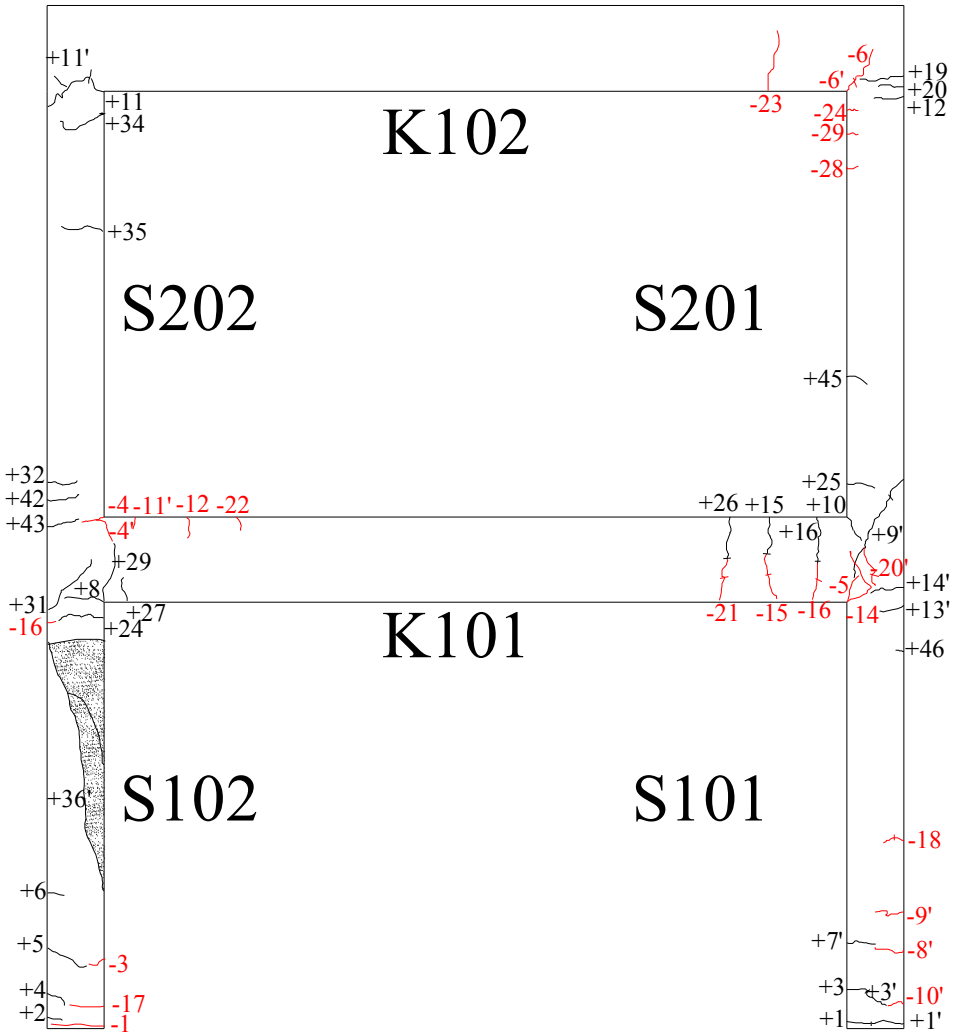
Şekil 4.19. Pozitif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 13. çevrimde oluşan çatlaklar Şekil 4.20.' de verilmiş ve -37.16 kN toplam yük ve karşılık gelen -56.31 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

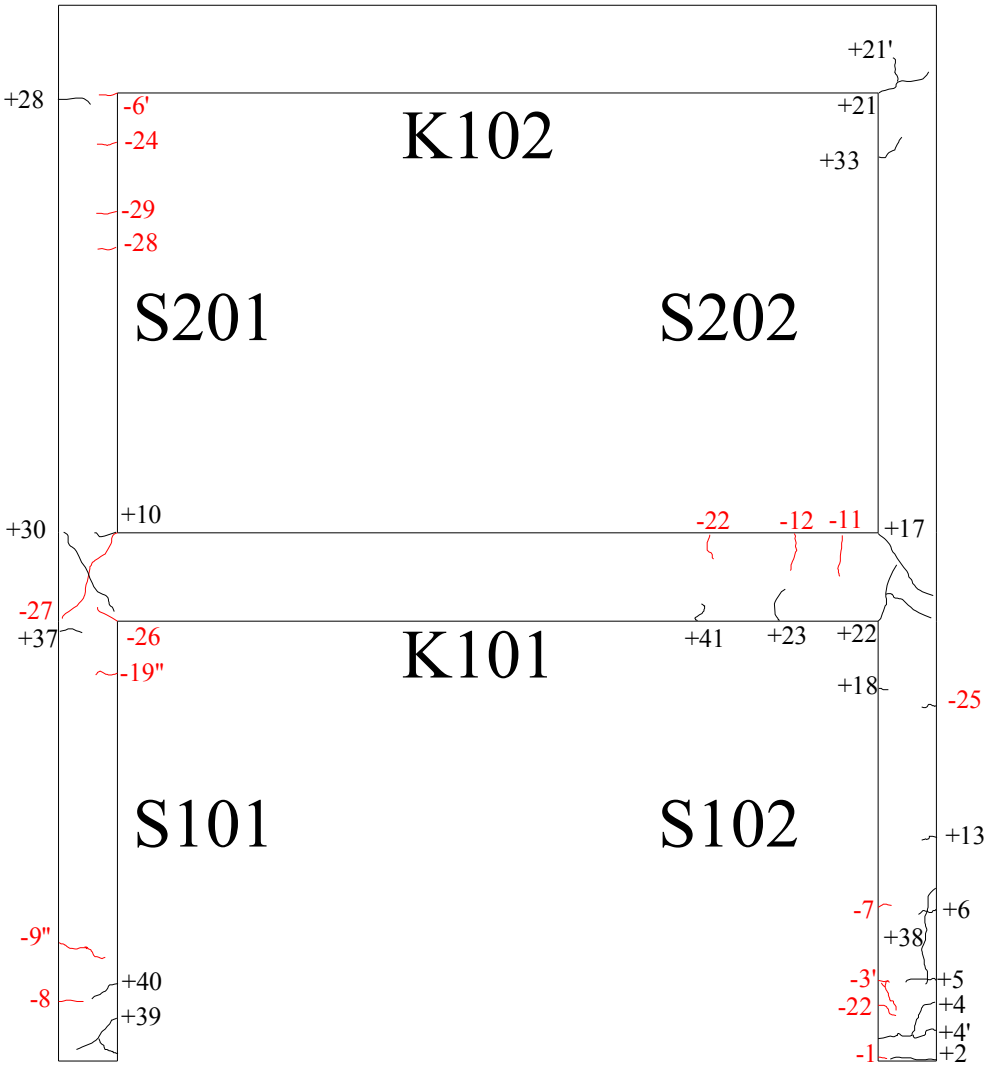


Şekil 4.20. Negatif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

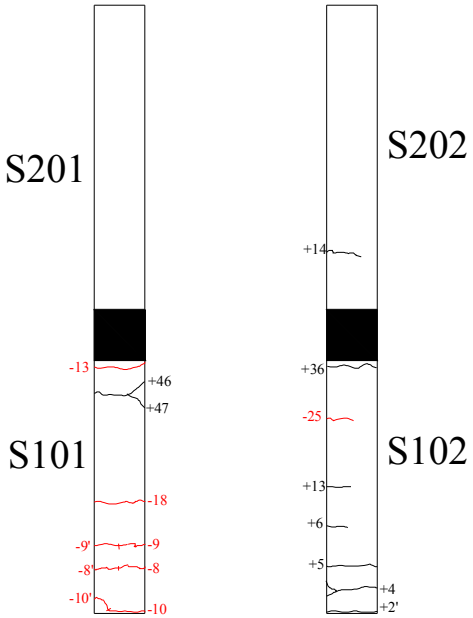
Deneydeki çatlakların yerlerinin ve oluşumlarının daha iyi gözlemlenebilmesi amacıyla deney sonunda oluşan çatlaklar ve hasarlar AutoCAD programı yardımıyla çizilmiş ve Şekil 4.21.' de verilmiştir. Bu çizimde numunenin ön ve arka yüzlerinden bakılmış, ayrıca numunenin kiriş ve kolonları için ayrı ayrı çizimler yapılarak anlatılmaya çalışılmıştır. Bu çizimlerden de anlaşılacağı üzere çatlak oluşumları temel-kolon birleşimler ile kolon-kiriş birleşimlerinde yoğunlaşmış ve Türkiye'de mevcut yapı stoğunun deprem yükleri altındaki davranışını göstermiştir. Ayrıca alt kat kolonlarının üst kısmında plastik mafsallaşma oluşmuş, kabuk betonu dökülmüştür. Bu hasar durumu enerji tüketme kapasitesi bakımında olumsuzdur. Mafsallaşma kolonlarda olduğu için güçlü kiriş-zayıf kolon hedefine ulaşılmıştır.


K102
S202
S201
K101
S102
S101
+11'
+11
+34
+35
+45
+32
+42
+43
-4
-11'
-12
-22
-4'
+29
+8
+31
-16
+27
+24
+36'
+6
+5
-3
+4
+2
-17
-1
-23
-6'
-6
+19
+20
+12
-24
-29
-28
+26
+15
+25
+10
+16
+9'
-20'
-5
+14'
+13'
-21
-15
-16
-14
+46
-18
-9'
+7'
-8'
+3
+3'
-10'
+1
+1'

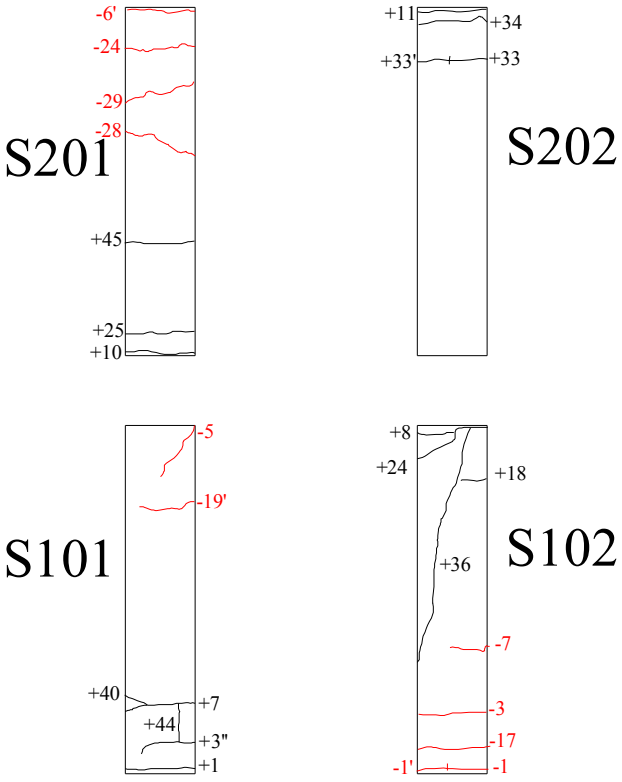
(a)


+21'
+28
-6'
K102
+21
-24
+33
-29
-28
S201
S202
+30
+10
-22
-12
-11
+17
-27
+37
-26
+41
+23
+22
K101
-19"
+18
-25
S101
S102
+13
-7
+6
+38
-9"
+40
-3'
+5
-8
+39
-22
+4
+4'
-1
+2

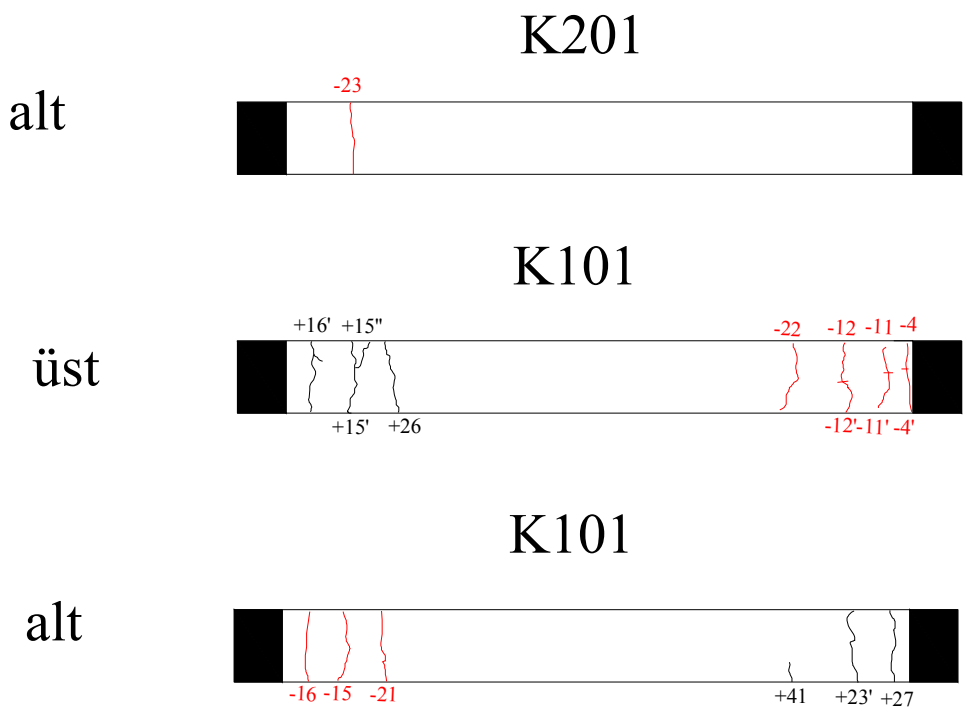
(b)


S201
S202
+14
-13
+46
+47
+36
-25
S101
S102
+13
-18
+6
-9'
-9
+5
-8'
-8
+4
-10'
-10
+2'

(c)


-6'
-24
-29
-28
S201
+45
+25
+10
+11
+34
+33'
+33
S202
-5
-19'
S101
+40
+7
+44
+3"
+1
+8
+24
+18
+36
S102
-7
-3
-17
-1'
-1

(d)



(e)

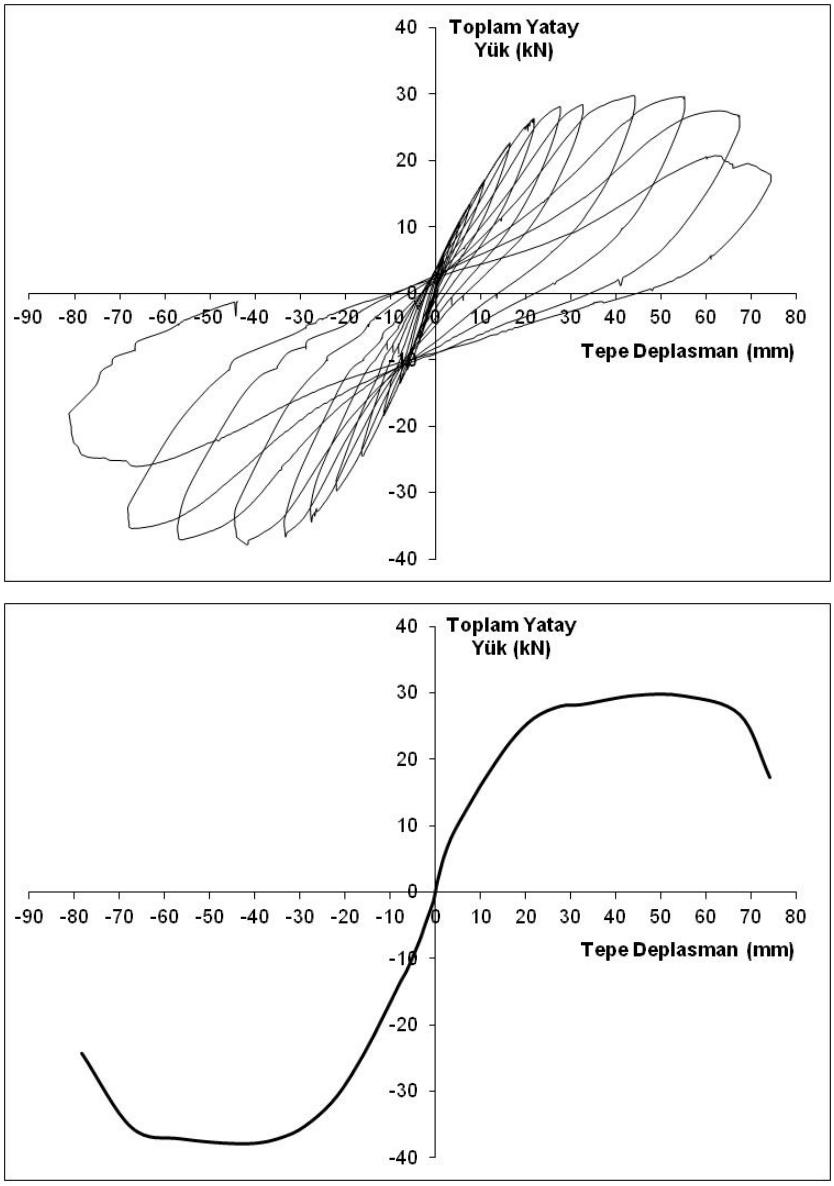
Şekil 4.21. Numunede meydana gelen hasarlar (a) ön yüzde (b) arka yüzde (c) kolonların dış yüzeyinde (d) kolonların iç yüzeyinde (e) kirişlerde

Deneyde pozitif çevrimlerde en fazla 74.20 mm, negatif çevrimlerde ise en fazla 79.80 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır.



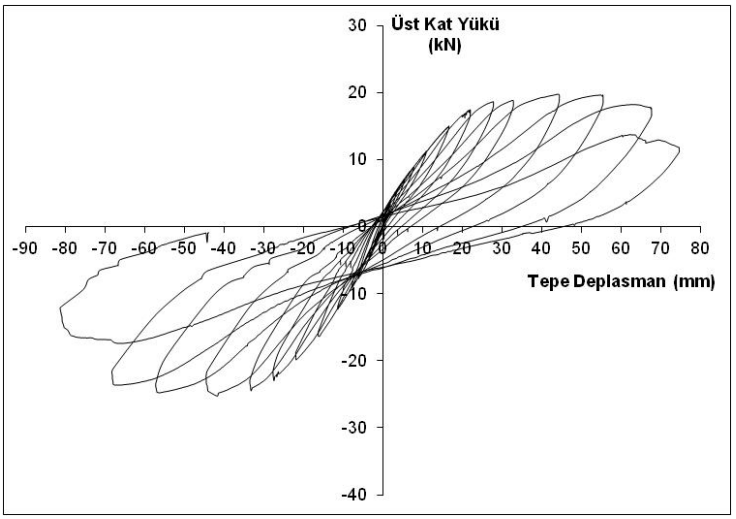
Şekil 4.22. Referans boş çerçeve deney sonu görünümü

Deney numunesinin maruz kaldığı maksimum yatay yük ileri-pozitif çevrimde 29.67 kN ve karşılık gelen tepe deplasmanı 44.22 mm, geri-negatif çevrimde -37.88 kN ve karşılık gelen tepe deplasmanı -41.74 mm dir. Numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.23.' de verilmiştir.

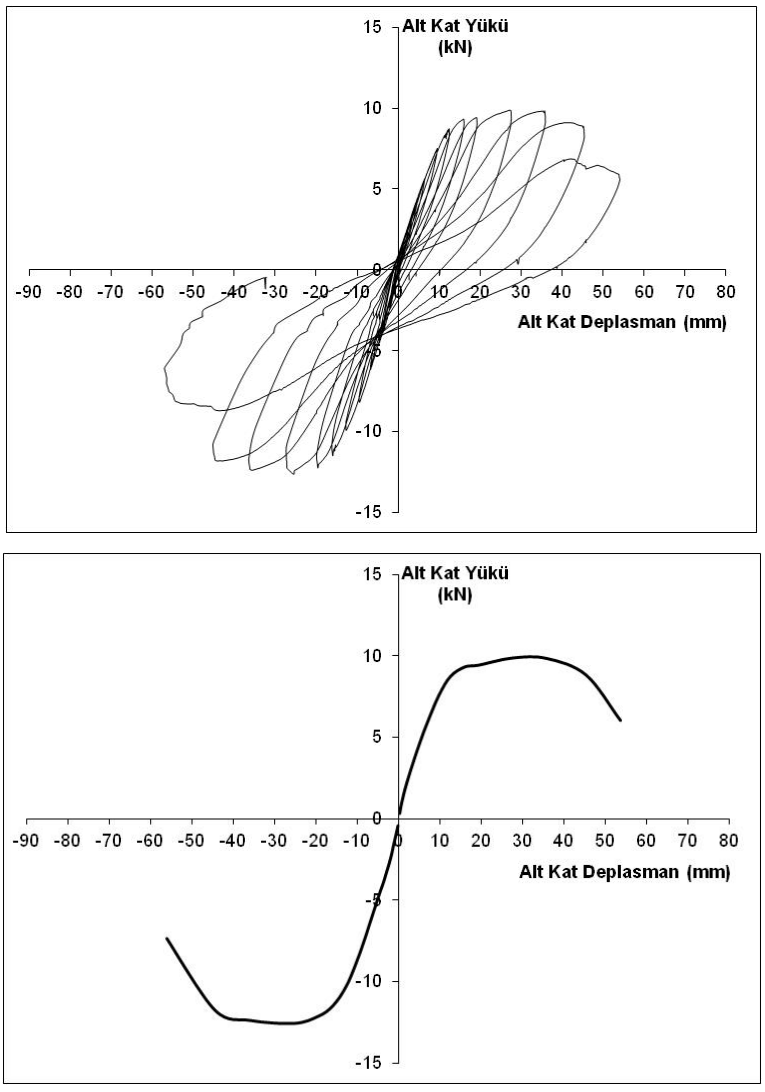


Şekil 4.23. Referans numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

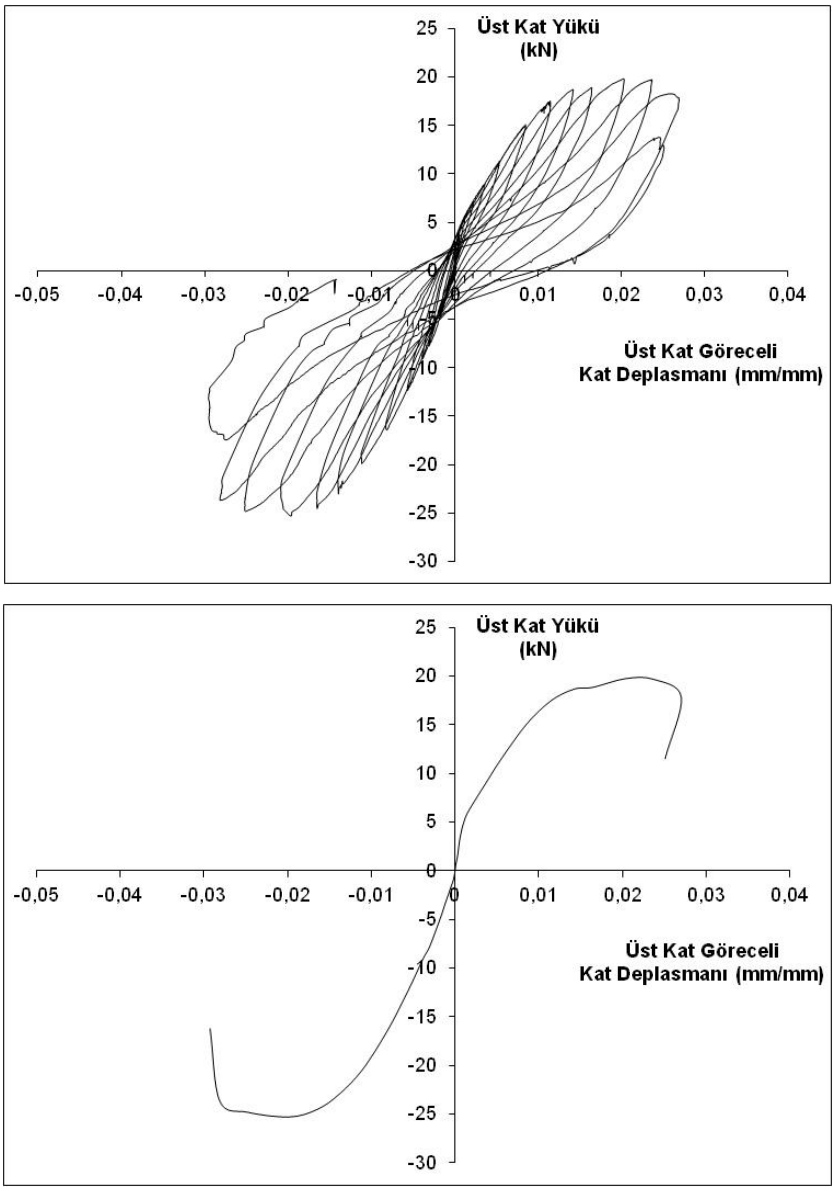
Üst kata uygulanan yüke karşılık üst kattan okunan deplasmanının çevrimsel histerezis eğrisi Şekil 4.24.' de, alt kata uygulanan yüke karşılık, alt katta meydana gelen deplasmanın çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.25.' de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.26.' da üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.27.' de ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.28.' de verilmiştir.



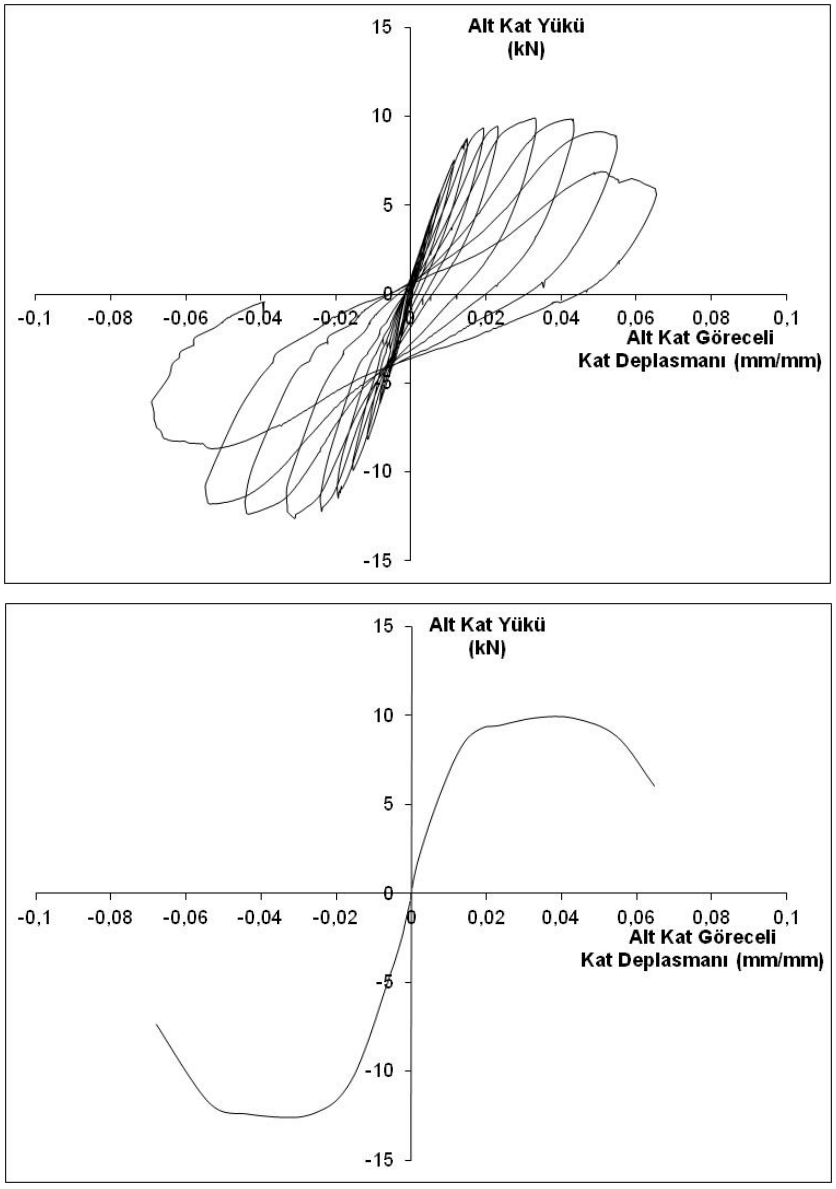
Şekil 4.24. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi



Şekil 4.25. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

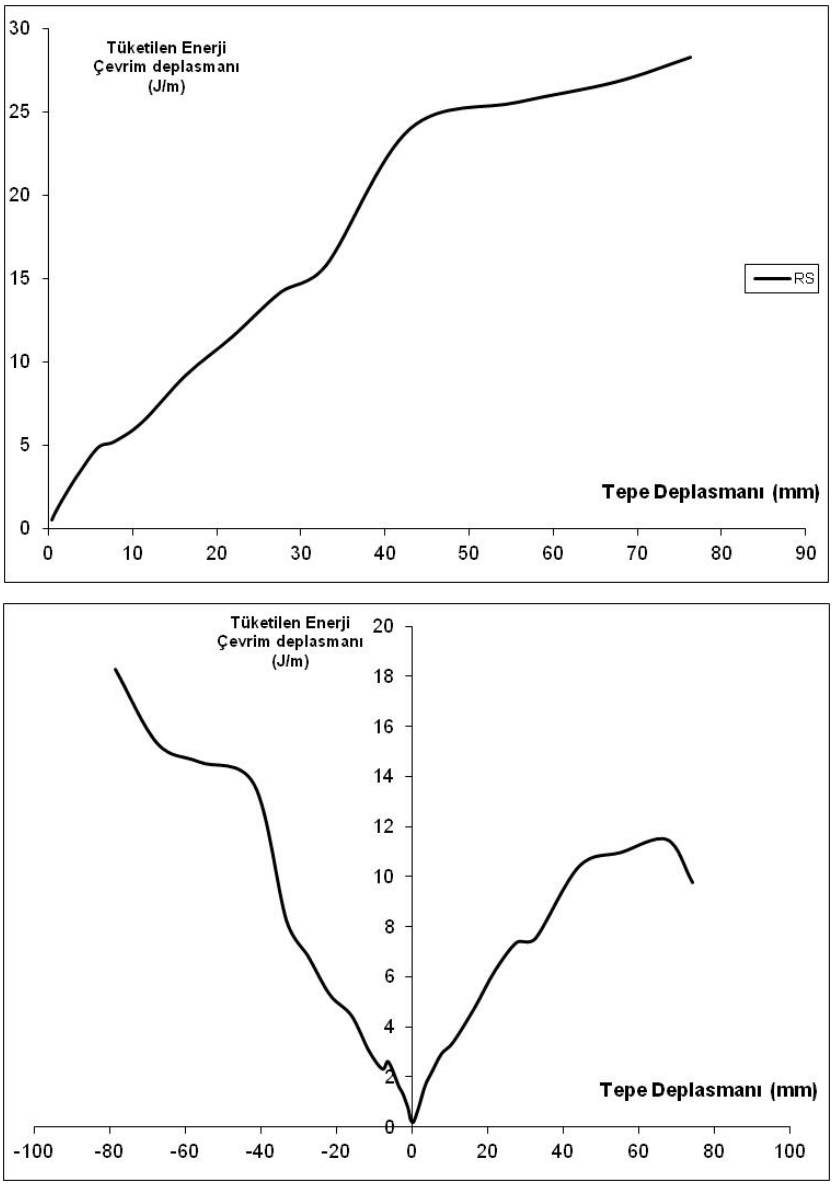


Şekil 4.26. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi



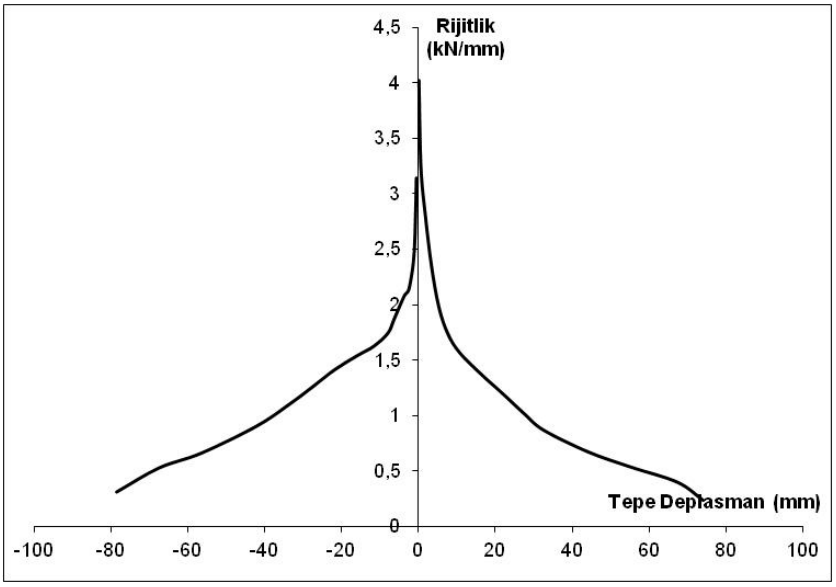
Şekil 4.27. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

Toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histerezis eğrilerinin altında kalanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanabilir. "Materyal ve Yöntem" bölümünde anlatılan esaslara göre hesap edilen tüketilen enerjinin çevrim deplasmanına bölünmesi ile elde edilen değerlerin çevrim deplasmanına göre çizimi Şekil 4.28. de verilmiştir.



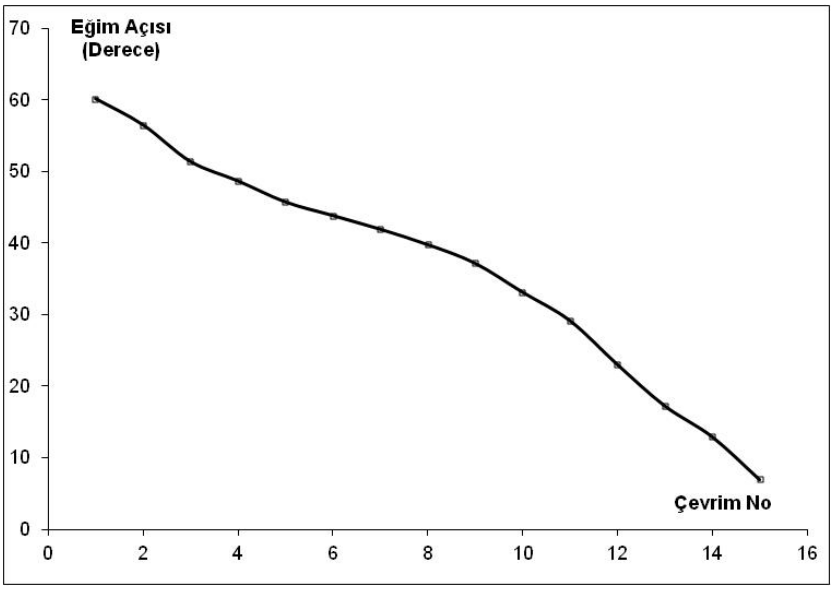
Şekil 4.28. Tüketilen enerji grafiği

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.29.). İleri çevrimler için elde edilen değerler şeklin sağında, geri çevrimler için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



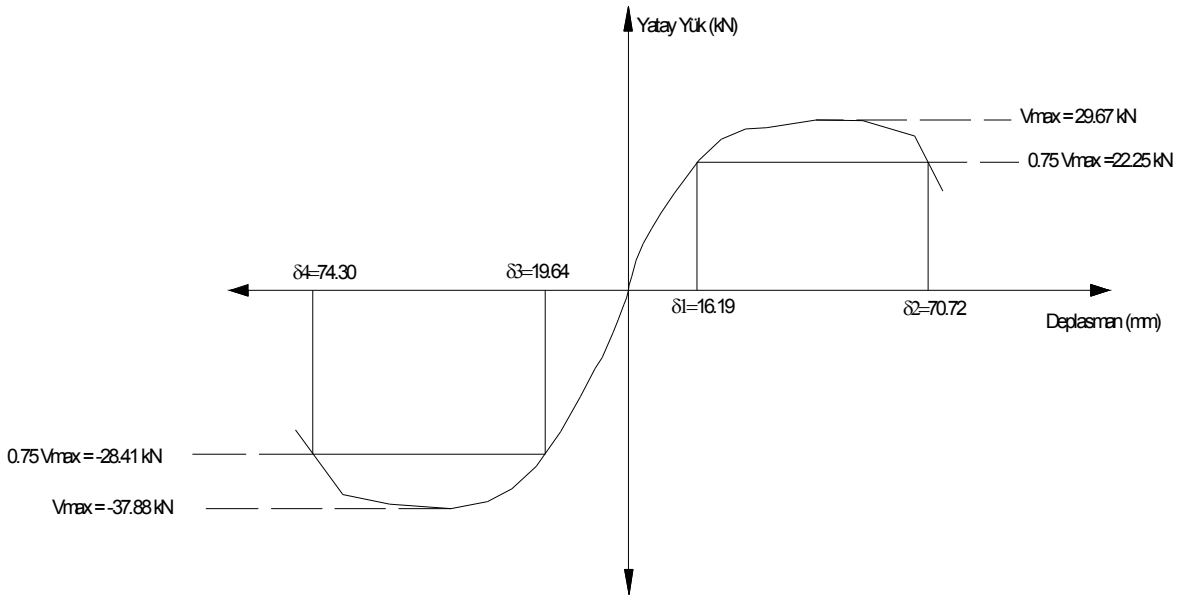
Şekil 4.29. Rijitlik grafiği

Şekil 4.30.' da ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.30. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı

Şekil 4.31.' de ise sistemin zarf eğrisinde sisteme uygulanan maksimum yükün %75'ine ulaşıldığı noktalardan yatay eksene dikmeler indirilmiş ve bu noktalardaki deplasman değerleri incelenmiştir. Bu deplasman değerleri arasında kalan mesafe bize süneklikle ilgili değerlendirmelerde bulunmamıza yardımcı olacaktır.



Şekil 4.31. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği

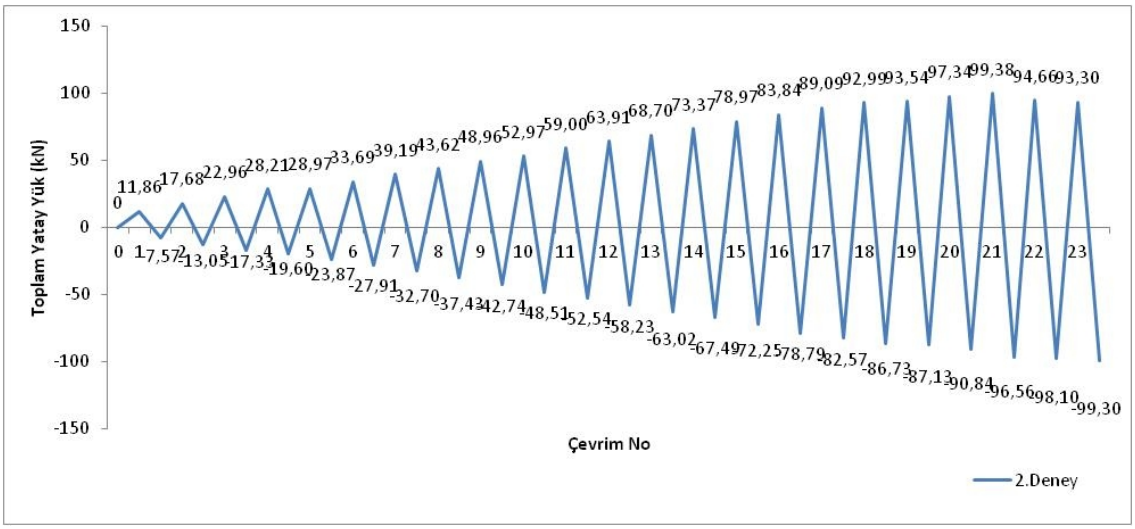
4.1.2. Deney elemanı-2 (CR)

Bu deney elemanı, referans boş çerçevenin kolonlarının mantolanması ile oluşturulmuş çerçevedir. Düşey yükleri taşımakta zorlanan yapılar için bir öneri olarak yapılan bu deney elemanında kolonlar üç taraftan sarılarak mantolanmıştır. Bu numunede referans numunenin aksine kuvvetli kolon-zayıf kiriş oluşumu amaçlanarak 2. deney elemanının daha sünek bir numune olması amaçlanmıştır. Çerçevenin beton basınç dayanımı referans numune ile aynı olup etriye aralıkları mevcut yönetmelik ve standartlara uygun yapılmamış, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye devam ettirilmemiş, etriye sıklaştırılması yapılmamış, etriye kancaları 90^o yapılmış numuneyi temisl etmektedir. Manto kısmında ise beton basınç dayanımı, numunenin beton dökümü esnasında alınan numunelerden elde edilen sonuçlara göre 23 Mpa olarak bulunmuştur. Bu deney elemanı da tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.32.' de gösterilmiştir.

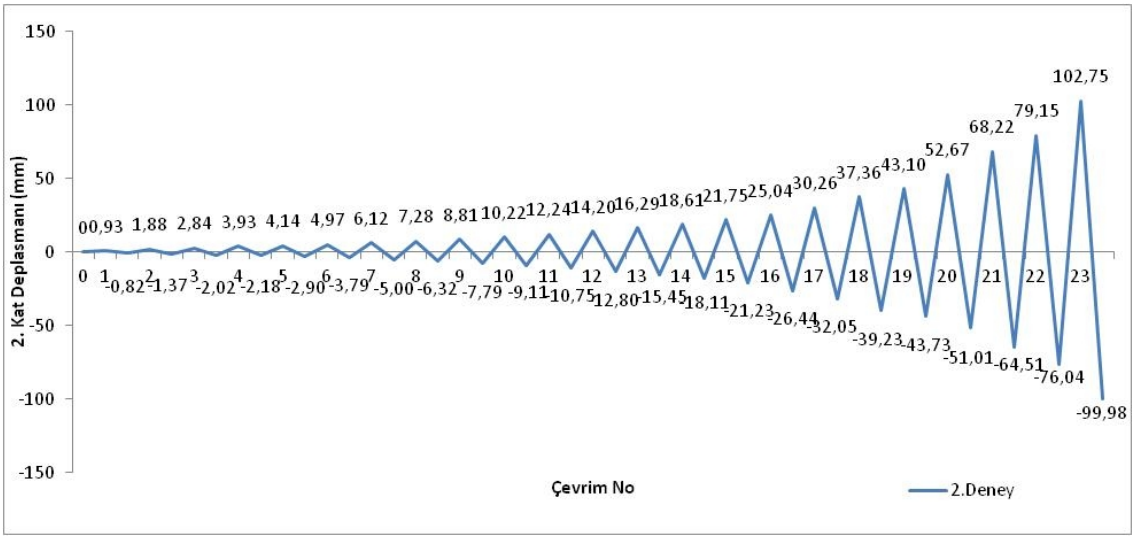


Şekil 4.32. Kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş çerçevenin deney öncesi görünümü

2. deneye uygulanan yük geçmişi Şekil 4.33.' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.33. 2.Deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b)Tepe deplasmanına göre

Yükleme geçmişi grafiklerinden de anlaşılacağı üzere çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir. Yapılan deneye yük kontrollü olarak başlanmış ve sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deney elemanının deplasman değerleri LVDT boylarının izin verdiği kadar ölçülebilmiştir. Yaklaşık ±10 kN olacak şekilde yükleme kontrolüyle başlayan deney, ilerleyen çevrimlerde ±5 kN olacak şekilde devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede ise ±10 mm deplasman artışları ile deney sonlanmıştır. 21. çevrimde yük maksimum düzeye ulaşmıştır. 23. çevrimde büyük hasarlar meydana gelmesi ve büyük deplasmanlara gidilerek LVDT kapasitesi aşıldığı için deney sonlandırılmıştır. Deney elemanı ileri pozitif çevrimlerde maksimum 99.38 kN yatay yüke ulaşırken geri negatif çevrimlerde maksimum 99.30 kN yatay yüke kadar dayanım göstermiştir.

Bu deney numunesine de eksenel yük olarak her bir kolon 43 kN olacak şekilde, toplam 86 kN yük verilmiştir. Bu değerler kolonların yük taşıma kapasitesinin %20'si olacak şekilde uygulanmıştır.

Deney sırasında kayıt edilen ve numune üzerinde işaretlenen çatlakların çevrimlere göre dağılımı Çizelge 4.2.' de özetlenmiştir. Çatlakların işaretlenmesinde pozitif çevrimlerde siyah renkli, negatif çevrimlerde kırmızı renkli kalemler kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Deney sırasında oluşan çatlakların çevrimlere göre dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yükte Ölçülen Tepe Deplasmanı (mm)	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numaraları
+1	0,93	11,86	
-1	-0,82	-7,57	-1,-2 (ilk çatlaklar oluştu)
+2	1,88	17,68	+1,+2
-2	-1,37	-13,05	
+3	2,84	22,96	+3
-3	-2,02	-17,33	-3
+4	3,93	28,21	+1',+2'
-4	-2,18	-19,60	-4,-5
+5	4,14	28,97	+4,+5,+6,+7,+8,+9,+10
-5	-2,90	-23,87	-6,-7,-8,-9
+6	4,97	33,69	+11,+12,+13,+14,+15,+16,+17
-6	-3,79	-27,91	-10,-11,-12,-3'
+7	6,12	39,19	+18,+19,+20,+11',+2''
-7	-5,00	-32,70	-13,-14,-15,-5',-7'
+8	7,28	43,62	+21
-8	-6,32	-37,43	-16,-17,-18,-13',-14'
+9	8,81	48,96	+22,+23,+24,+25
-9	-7,79	-42,74	-19,-15'
+10	10,22	52,97	+26,+27,+28,+29,+30,+11',+18',+22',+22'',+23'
-10	-9,11	-48,51	-20,-21
+11	12,24	59,00	+3',+3'',+14',+18''
-11	-10,75	-52,54	-22,-23,-24,-25,-26
+12	14,20	63,91	
-12	-12,80	-58,23	-27,-28,-29,-30
+13	16,29	68,70	+28,+29,+30,+31,+32,+21',+28',+29',+31'
-13	-15,45	-63,02	
+14	18,61	73,37	+33,+34
-14	-18,11	-67,49	-31,-25'
+15	21,75	78,97	+35,+12',+27'
-15	-21,23	-72,25	-4'
+16	25,04	83,84	+36,+6'
-16	-26,44	-78,79	-32,-33,-34,-35,-14',-30',-7'
+17	30,26	89,09	+2'''
-17	-32,05	-82,57	-36,-37
+18	37,36	92,99	
-18	-39,23	-86,73	-38
+19	43,10	93,54	+37,+19'
-19	-43,73	-87,13	
+20	52,67	97,34	+38,+39,+40,+41
-20	-51,01	-90,84	-39,-40
+21	68,22	99,38	
-21	-64,51	-96,56	
+22	79,15	94,66	
-22	-76,04	-98,10	
+23	102,75	93,30	
-23	-99,98	-99,30	

Yapılan bu deneyde ilk çatlak negatif 1. çevrimde S101 ve S102 kolonlarının temel ile birleşen bölgelerinde sırasıyla -2 ve -1 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.34.). İlk negatif çevrimde -7.57 kN toplam yüke karşılık -0.82 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.34. Negatif 1. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 2. çevrimde +1 ve +2 numaralı çatlaklar S101 ve S102 kolonlarının temel ile birleştiği yerlerde ve negatif çevrimde oluşan çatlakların ters yüzünde meydana gelmiştir (Şekil 4.35.). Pozitif 2. çevrimde 17.68 kN toplam yük ve 1.88 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.35. Pozitif 2. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 2. çevrimde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Bu çevrimde -13.05 kN toplam yüke karşılık -1.37 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Pozitif 3. çevrimde +3 numaralı çatlak meydana gelmiş (Şekil 4.36.) ve 22.96 kN toplam yük ve bu yüke karşılık gelen 2.84 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.36. Pozitif 3. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 3. çevrimde -3 numaralı çatlak oluşmuş (Şekil 4.37.) ve -17.33 kN toplam yüke karşılık -2.02 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.37. Negatif 3. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 4. çevrimde +1' ve +2' çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.38.). +1' ve +2' çatlak numarası gösterimi 1. ve 2. çatlağın ilerlemesini ifade etmektedir. Bu çevrimde 28.21 kN toplam yatay yüke karşılık 3.93 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.38. Pozitif 4. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 4. çevrimde -4 ve -5 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.39.) olup, bu çevrimde -19.60 toplam yatay yüke karşılık -2.18 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.39. Negatif 4. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 5. çevrimde çatlak sayısının arttığı gözlemlenmiş ve +4,+5,+6,+7,+8,+9,+10 numaralı çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.40.). Bu çevrimde 28.97 kN toplam yatay yüke karşılık 4.14 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.40. Pozitif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 5. çevrimde -6,-7,-8,-9 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.41.), -23.87 kN toplam yatay yüke karşılık -2.90 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.41. Negatif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 6. çevrimde +11,+12,+13,+14,+15,+16,+17 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.42.), bu çatlakların oluştuğu çevrimlerde 33.69 kN toplam yatay yük değerine karşılık 4.97 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.42. Pozitif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 6. çevrimde -10,-11,-12,-3’ çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.43). Bu çevrimde -27.91 toplam yatay yüke karşılık -3.79 mm tepe deplasmanı değerine ulaşılmıştır.



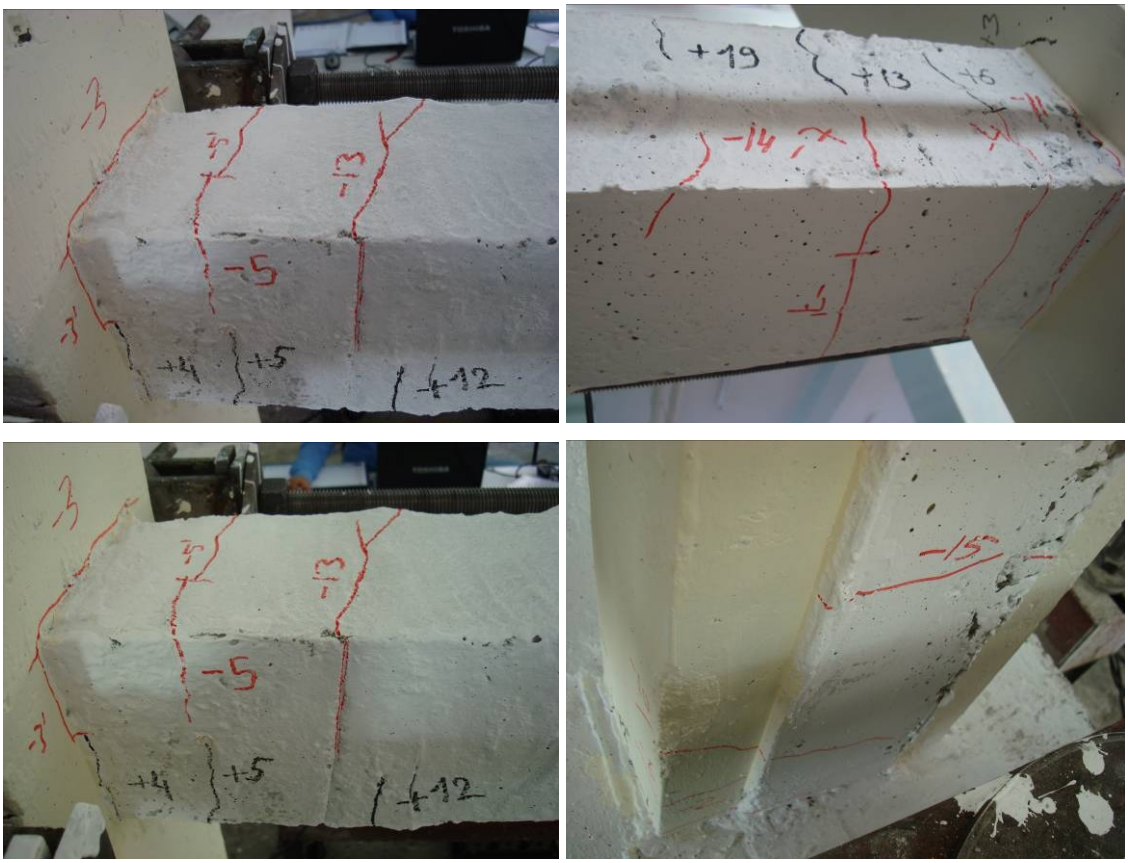
Şekil 4.44. Negatif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 7. çevrimde +18,+19,+20,+11’,+2’’ çatlakları meydana gelmiş (Şekil 4.45.) ve bu çevrimde 39.20 kN toplam yatay yüke karşılık 6.12 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



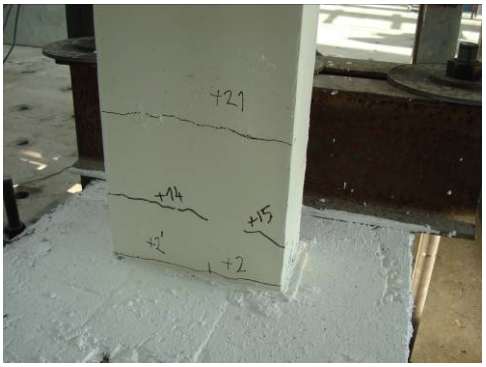
Şekil 4.45. Pozitif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 7. çevrimde -13,-14,-15,-5',-7' çatlakları oluşmuş (Şekil 4.46.) ve bu çevrimde -32.70 kN toplam yatay yüke karşılık -5.00 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.46. Negatif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 8. çevrimde +21 numaralı çatlak oluşmuştur (Şekil 4.47.). Bu çevrimde 43.62 kN toplam yatay yüke karşılık 7.28 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.47. Pozitif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 8. çevrimde -16,-17,-18,-13',-14' numaralı çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.48.). Bu çevrimde -37.43 kN toplam yatay yüke karşılık -6.32 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.48. Negatif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 9. çevrimde +22,+23,+24,+25 numaralı çatlaklar meydana gelmiş (Şekil 4.49.) ve 48.96 kN toplam yatay yüke karşılık 8.81 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.49 Pozitif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 9. çevrimde -19,-15’ çatlakları oluşmuş (Şekil 4.50) ve -42.74 kN toplam yatay yüke karşılık -7.79 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.



Şekil 4.50 Negatif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 10. çevrimde +26,+27,+28,+29,+30,+11’,+18’,+22’,+22’’,+23’ çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.51.). Bu çevrimde 52.97 kN toplam yatay yüke karşılık 10.22 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.51. Pozitif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 10. çevrimde -20,-21 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.52.) ve -48.51 kN toplam yatay yüke karşılık -9.11 mm tepe deplasmanı kaydedilmiştir.



Şekil 4.52. Negatif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 11. çevrimde +3',+3'',+14',+18'' çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.53.). Bu çevrimde 59.00 kN toplam yatay yüke karşılık 12.24 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.53. Pozitif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 11. çevrimde -22,-23,-24,-25,-26 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.54.). Bu çevrimde -52.54 kN toplam yatay yüke karşılık -10.75 mm tepe deplasmanı kaydedilmiştir.



Şekil 4.54. Negatif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 12. çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamış fakat bu çevrimde 63.91 kN toplam yatay yüke karşılık 14.20 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.

Negatif 12. çevrimde ise -27,-28,-29,-30 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.55.) ve -58.23 kN toplam yatay yüke karşılık -12.80 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.



Şekil 4.55. Negatif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 13. çevrimde +28,+29,+30,+31,+32,+21',+28',+29',+31' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.56.) ve 68.70 kN toplam yatay yüke karşılık 16.29 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.56. Pozitif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

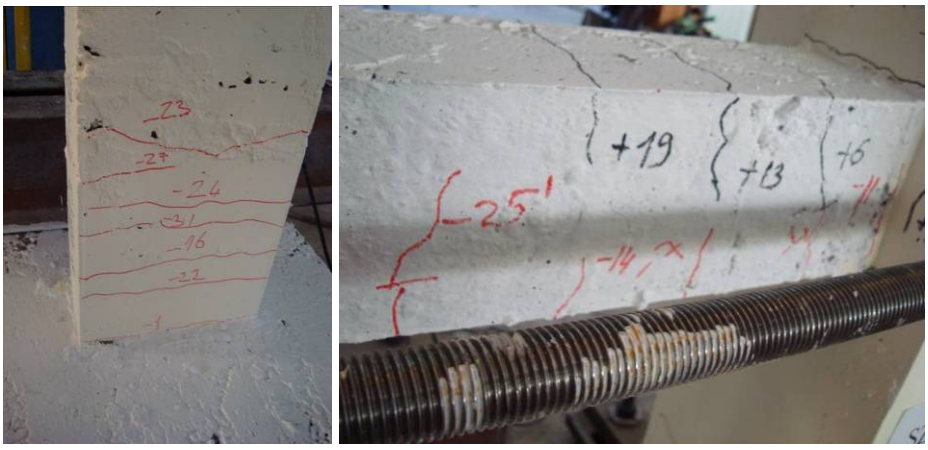
Negatif 13. çevrimde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Fakat -63.02 kN toplam yatay yüke karşılık -15.45 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

Pozitif 14. çevrimde ise +33,+34 numaralı çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.57.). Bu çevrimde 73.37 kN toplam yatay yüke karşılık 18.61 mm tepe deplasmanı değerine ulaşılmıştır.



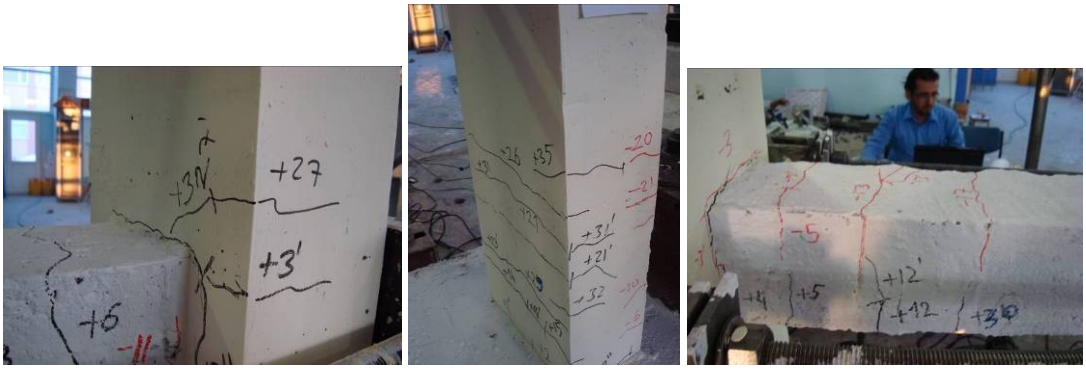
Şekil 4.57. Pozitif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 14. çevrimde -31, -25’ çatlakları oluşmuş (Şekil 4.58) ve -67.49 kN toplam yatay yüke karşılık -18.11 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.58. Negatif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 15. çevrimde +35,+12’,+27 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.59) ve 78.97 kN toplam yatay yüke karşılık 21.75 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.59. Pozitif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 15. çevrimde -4' numaralı çatlak oluşmuş (Şekil 4.60) ve -72.25 kN toplam yatay yüke karşılık -21.23 mm tepe deplasmanı kaydedilmiştir.



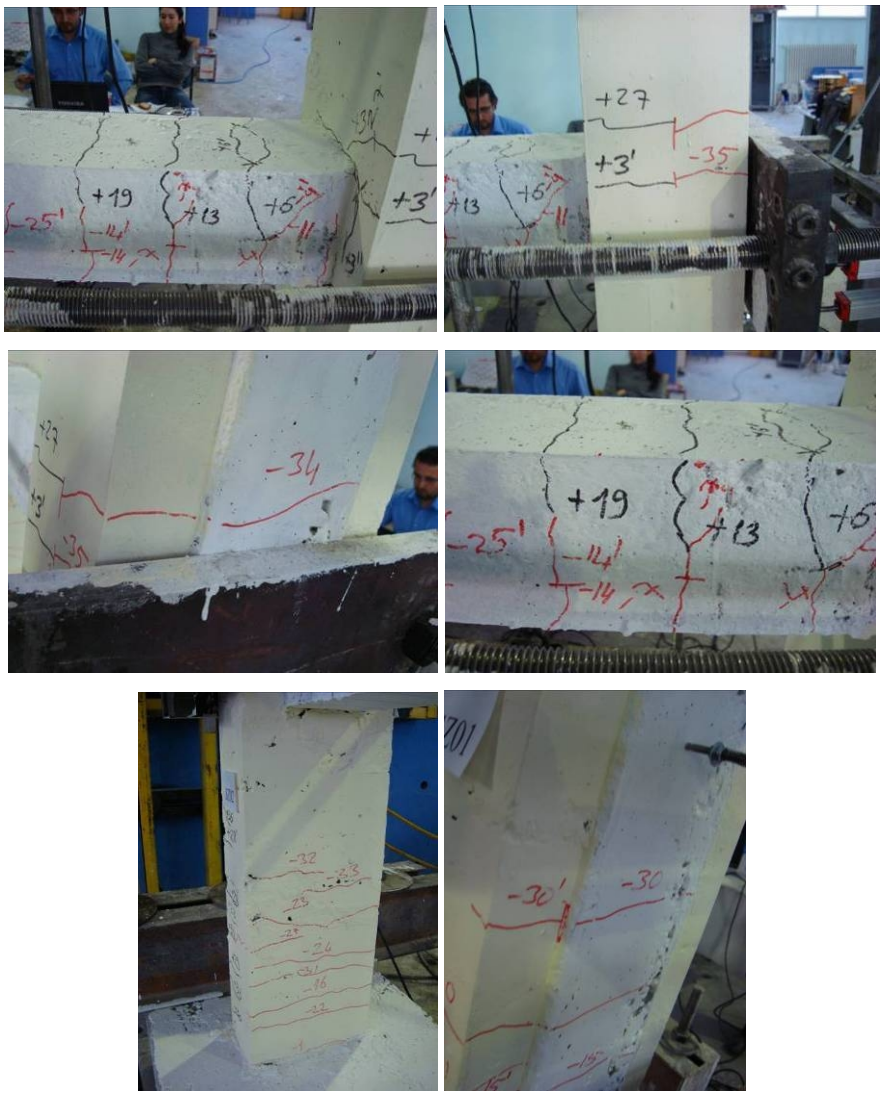
Şekil 4.60. Negatif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 16. çevrimde +36,+6' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.61.) ve 83.83 kN toplam yatay yüke karşılık 25.04 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



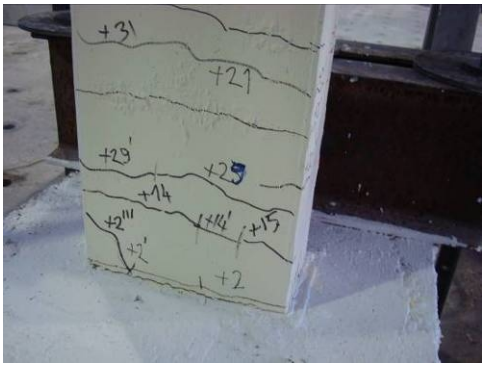
Şekil 4.61. Pozitif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 16. çevrimde -32,-33,-34,-35,-14',-30'-7' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.62.) ve -78.79 kN toplam yatay yüke karşılık -26.44 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



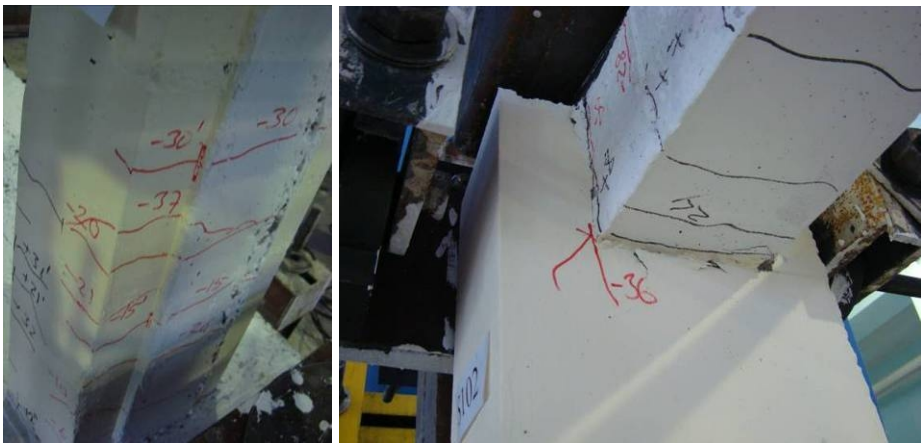
Şekil 4.62. Negatif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 17. çevrimde +2''' numaralı çatlak oluşmuş (Şekil 4.63.) ve 89.09 kN toplam yatay yüke karşılık 30.26 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.63. Pozitif 17. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 17. çevrimde -36,-37 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.64.) ve -82.57 kN toplam yatay yüke karşılık -32.05 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.64. Negatif 17. çevrimde oluşan çatlaklar

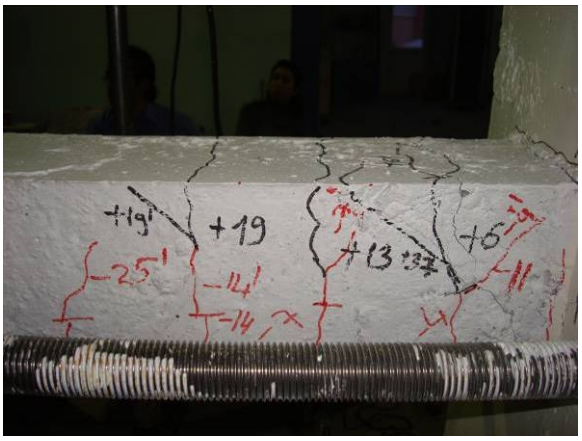
Pozitif 18. çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamış fakat bu çevrimde 92.99 kN toplam yatay yüke karşılık 37.36 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.

Negatif 18. çevrimde ise -38 numaralı çatlak oluşmuş ve daha önce oluşan çatlakların genişlediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.65.). Bu çevrimde -86.73 kN toplam yatay yüke karşılık -39.23 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.



Şekil 4.65. Negatif 18. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 19. çevrimde +37,+19' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.66.) ve 93.54 kN toplam yatay yüke karşılık 43.10 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.66 Pozitif 19. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 19. çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamış fakat bu çevrimde -87.13 kN toplam yatay yüke karşılık -43.73 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.

Pozitif 20. çevrimde ise +38,+39,+40,+41 numaralı çatlaklar oluşmuş ve kolon kiriş bölgelerinde büyük hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 4.67.). Bu çevrimde 97.33 kN toplam yatay yüke karşılık 52.67 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür.



Şekil 4.67. Pozitif 20. çevrimde oluşan çatlaklar

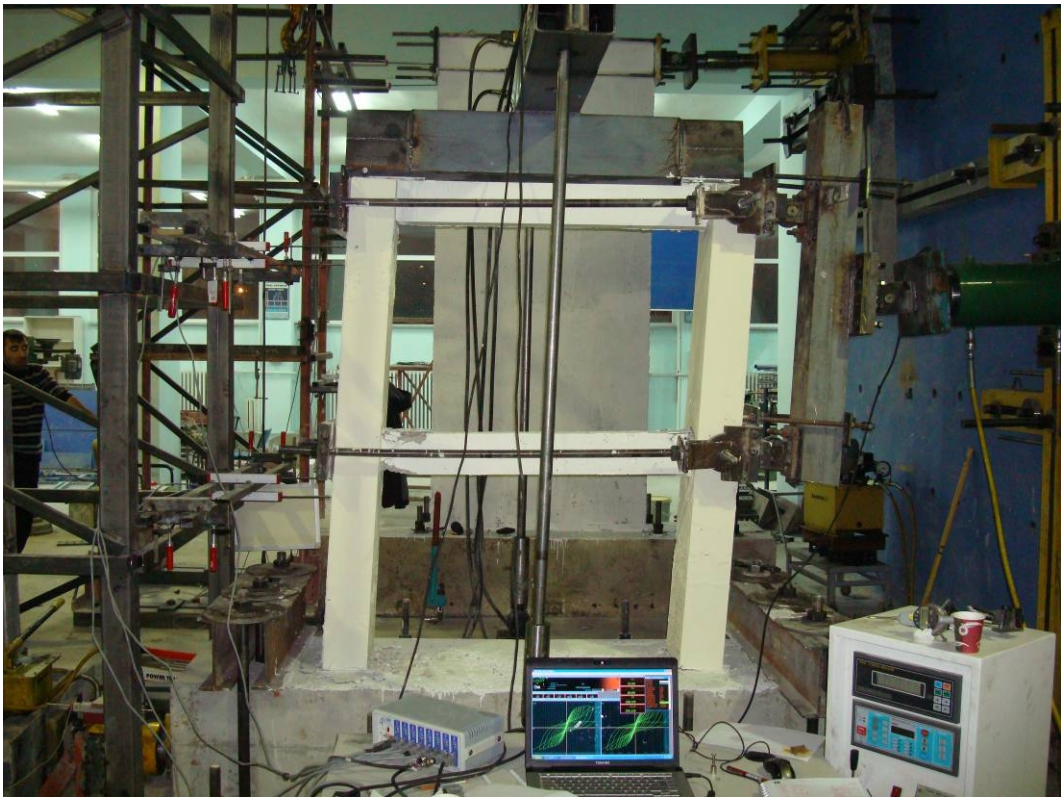
Negatif 20. çevrimde -39,-40 numaralı çatlaklar oluşmuş ve -90.84 kN toplam yatay yüke karşılık -51.01 mm tepe deplasmanı kaydedilmiştir.

Bu çevrimlerden sonra sistem stabilitesi kaybolduğundan dolayı yeni oluşan çatlaklar numaralandırılmamıştır, fakat deneyde oluşan hasarlar fotoğraflanmış ve yük-deplasman değerleri kaydedilmiştir. +21. çevrimde 99.38 kN toplam yatay yüke karşılık

68.22 mm tepe deplasmanı, -21. çevrimde -96.56 kN toplam yatay yüke karşılık -64.51 mm tepe deplasmanı, +22. çevrimde 94.66 kN toplam yatay yüke karşılık 79.15 mm tepe deplasmanı, -22. çevrimde -98.10 kN toplam yatay yüke karşılık -76.04 mm tepe deplasmanı, +23. çevrimde 93.30 kN toplam yatay yüke karşılık 102.75 mm tepe deplasmanı ve -23. çevrimde -99.30 kN toplam yatay yüke karşılık -99.98 mm tepe deplasmanı değerlerine ulaşılmıştır. Bu çevrimlerden sonra sistemin stabilitesi tamamen kaybolduğundan ve artık ölçüm alınamadığından deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda oluşan hasarlar ve numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.68.' de verilmiştir.



(a)

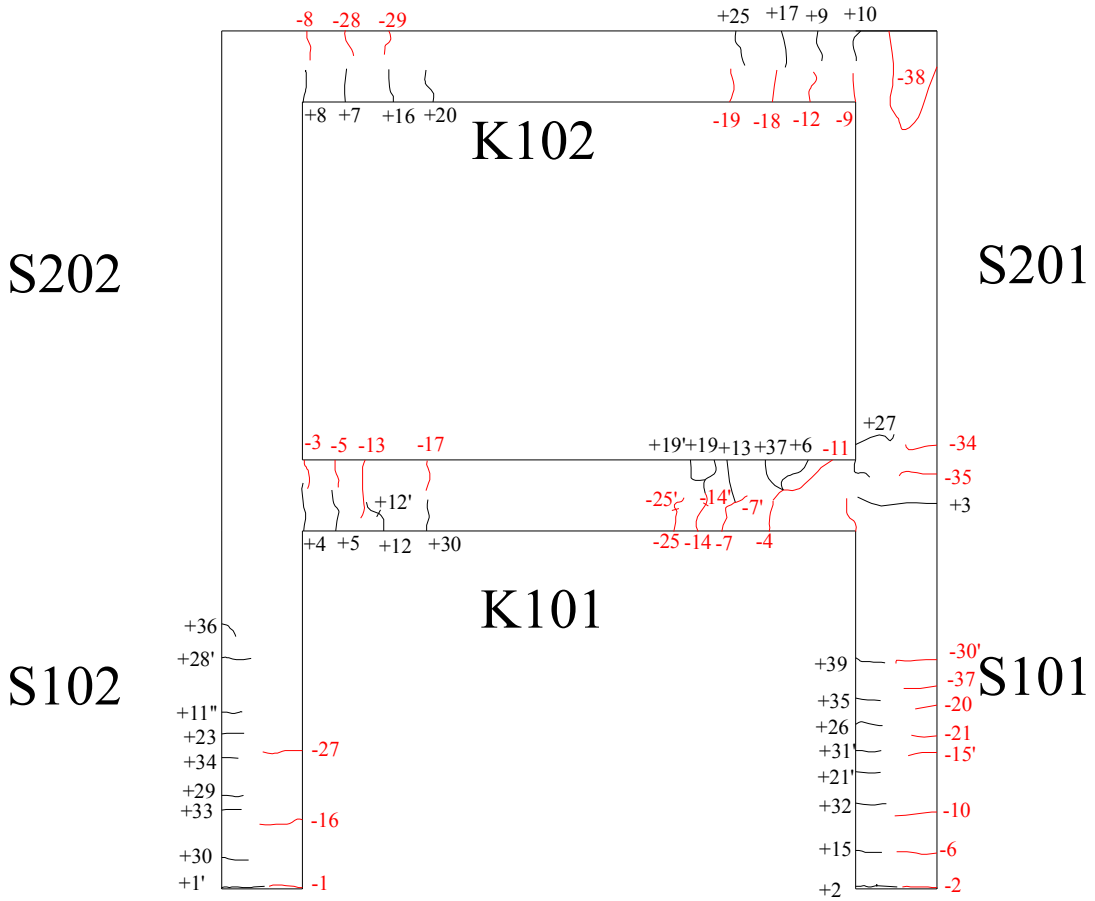


(b)

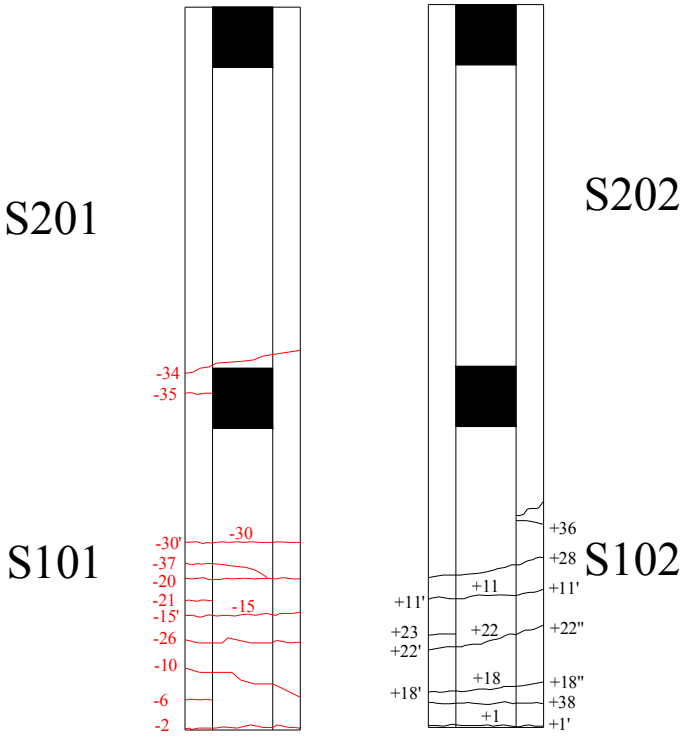
Şekil 4.68. (a) CR numunesinde oluşan büyük hasarlar (b) CR numunesinin deney sonu görünümü

CR deney elemanında çatlakların büyük bir bölümü alt kat ve üst kat kiriş uçlarında meydana gelmiştir. Deney elemanında oluşan bu çatlakların aralıklarının deney sonlarına doğru arttığı gözlemlenmiştir. Son çevrimlerde ise alt ve üst kat kirişlerinin uçlarında beton dökülmeleri meydana gelmiş ve plastik mafsal oluşumu gözlenmiştir. RS deney elemanında kolonlarda meydana gelen plastik mafsallar, CR deney elemanında kiriş uçlarında meydana gelmiştir. Böylelikle CR deney elemanı RS deney elemanına göre daha sünek bir davranış sergilemiştir.

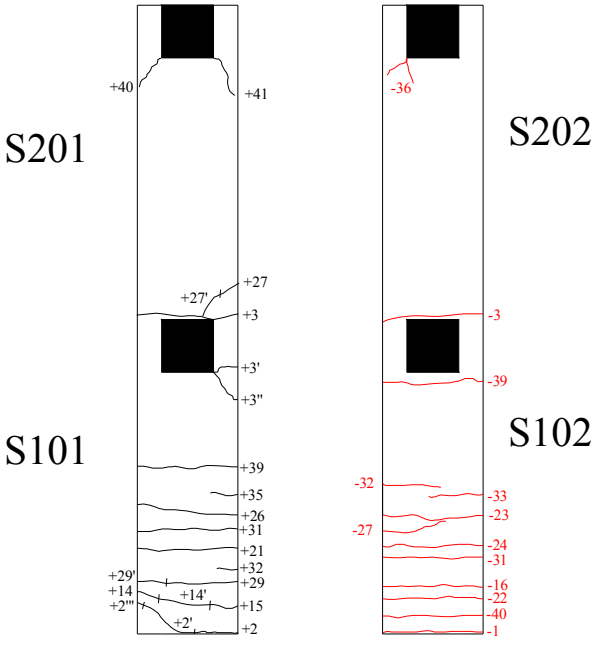
Deneydeki çatlakların yerlerinin ve durumlarının daha iyi gözlemlenebilmesi amacıyla deney sırasında oluşan çatlaklar ve hasarlar AutoCAD programı yardımıyla çizilmiş ve Şekil 4.69.' da verilmiştir. Bu çizimlerden anlaşılacağı üzere kuvvetli kolon-zayıf kiriş oluşumu gözlemlenmiştir. Bu deney elemanında hasarlar özellikle kiriş uçlarında meydana gelmiştir. Diğer hasarlar ise kolonların temel ile birleştiği bölümlerde yoğunlaşmıştır.


S202
S201
S102
S101
K102
K101
-8 -28 -29
+25 +17 +9 +10
-38
+8 +7 +16 +20
-19 -18 -12 -9
-3 -5 -13 -17
+19' +19 +13 +37 +6 -11
+27
-34
-35
+3
+12'
-25' -14' -7'
+4 +5 +12 +30
-25 -14 -7 -4
+36
+28'
+11"
+23
+34
+29
+33
+30
+1'
-27
-16
-1
+39
+35
+26
+31
+21'
+32
+15
+2
-30'
-37
-20
-21
-15'
-10
-6
-2

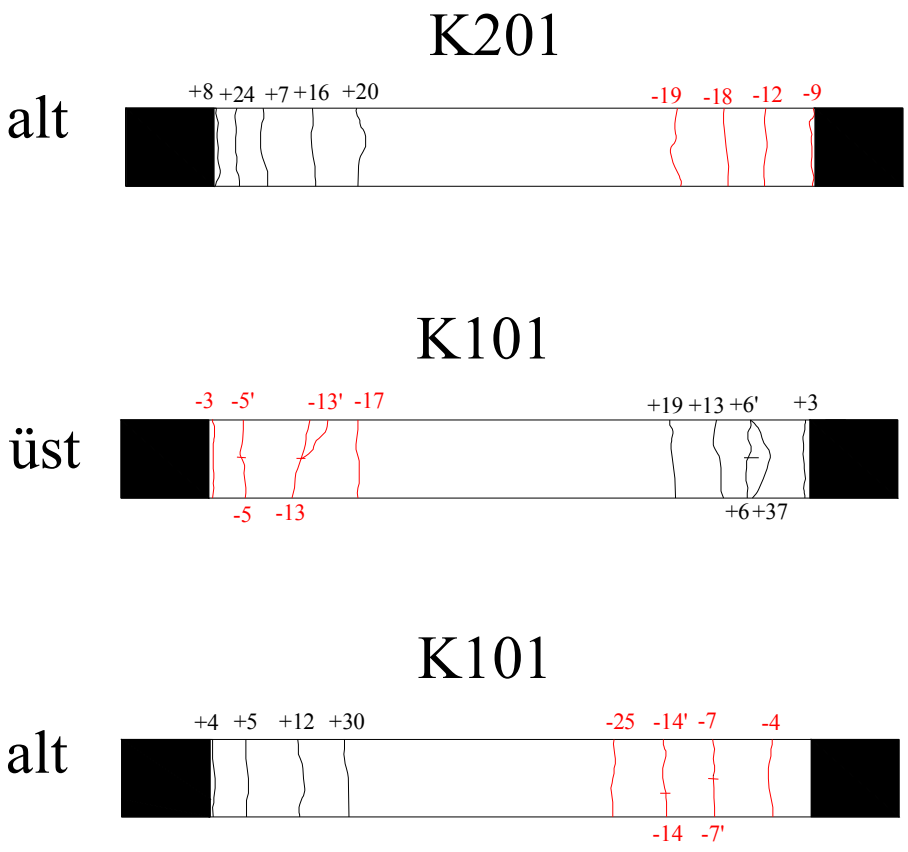
(a)


S201
S202
S101
S102
-34
-35
-30
-30'
-37
-20
-21
-15
-15'
-26
-10
-6
-2
+36
+28
+11
+11'
+11'
+23
+22
+22"
+22'
+18
+18'
+18"
+38
+1
+1'

(b)


S201
S202
S101
S102
+40
+41
+27'
+27
+3
+3'
+3"
+39
+35
+26
+31
+21
+32
+29'
+29
+14
+14'
+2"
+15
+2'
+2
-36
-3
-39
-32
-33
-23
-27
-24
-31
-16
-22
-40
-1

(c)

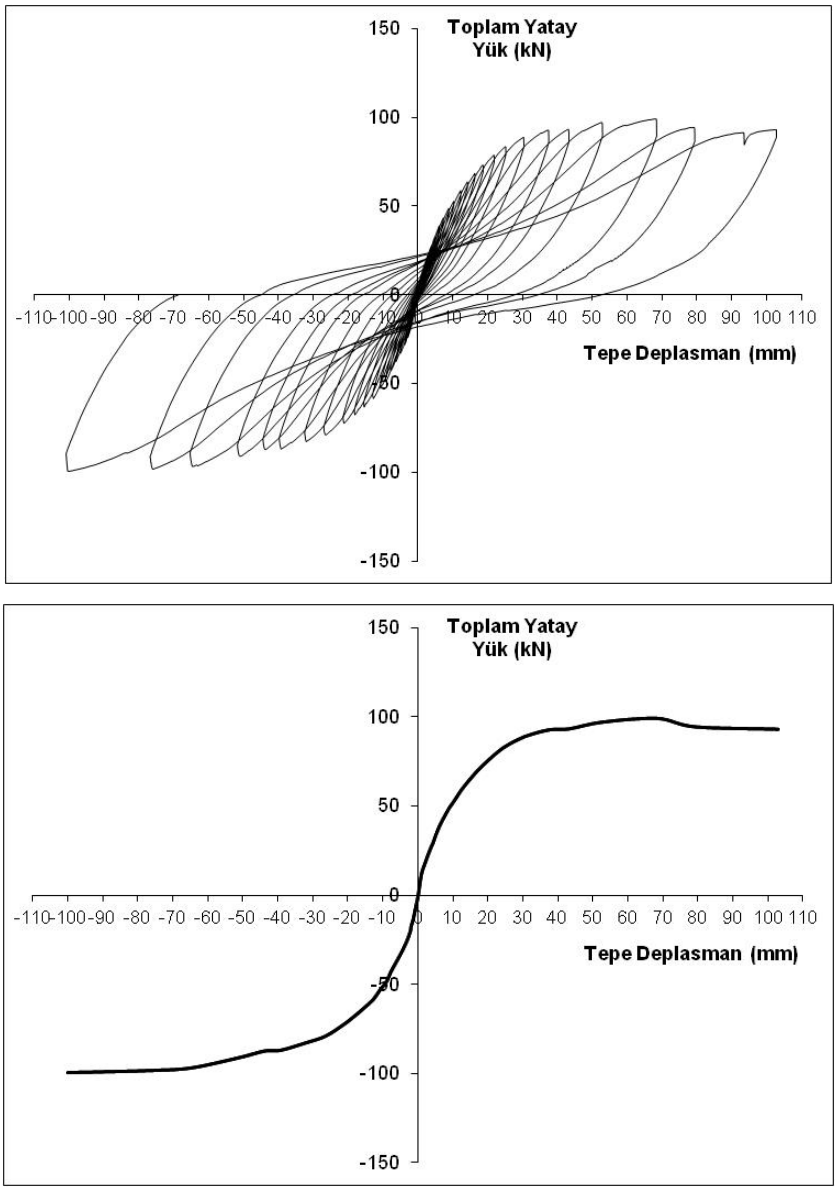


(d)

Şekil 4.69. 2. Deney elemanında meydana gelen hasarlar (a) arka yüzde (b) kolonların dış yüzünde (c) kolonların iç yüzünde (d) kirişlerde

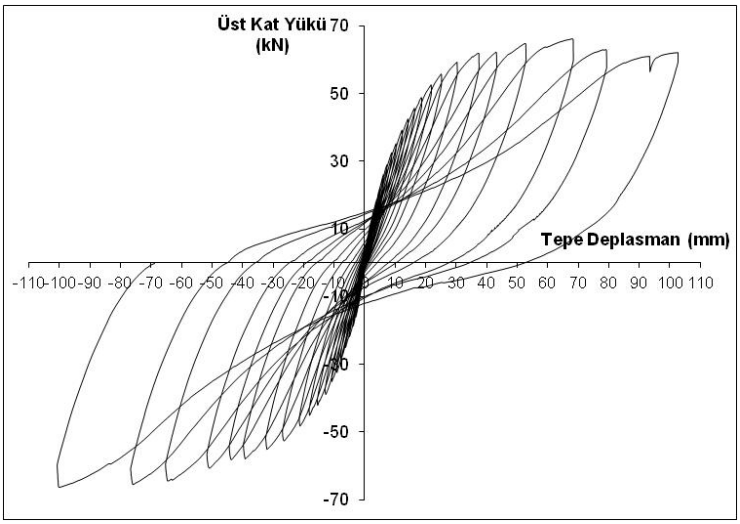
Deneylerde pozitif çevrimlerde en fazla 102.75 mm, negatif çevrimlerde ise en fazla -99.98 mm deplasman seviyesine kadar yükleme yapılmıştır.

Deney numunesinin maruz kaldığı maksimum yatay yük ileri-pozitif çevrimlerde çevrimde 99.38 kN, ve karşılık gelen tepe deplasmanı 68.22 mm, geri-negatif çevrimde 99.30 kN, ve karşılık gelen tepe deplasmanı 99.98 mm dir. Numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.70.' de verilmiştir.

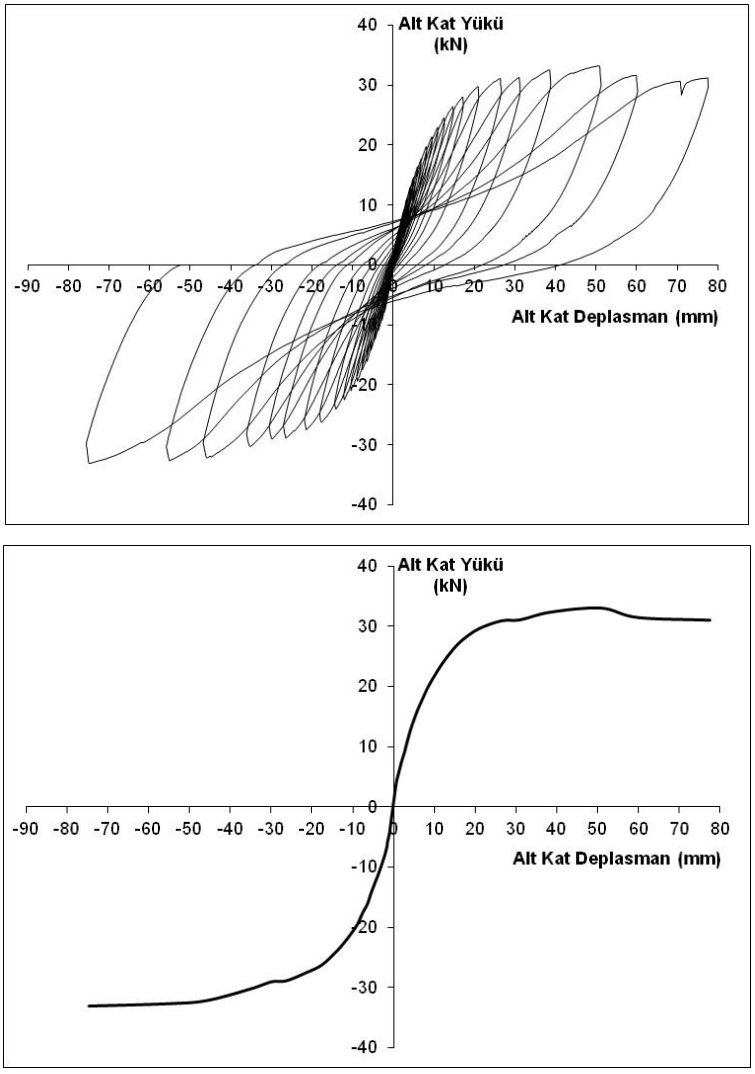


Şekil 4.70. 2. Deneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

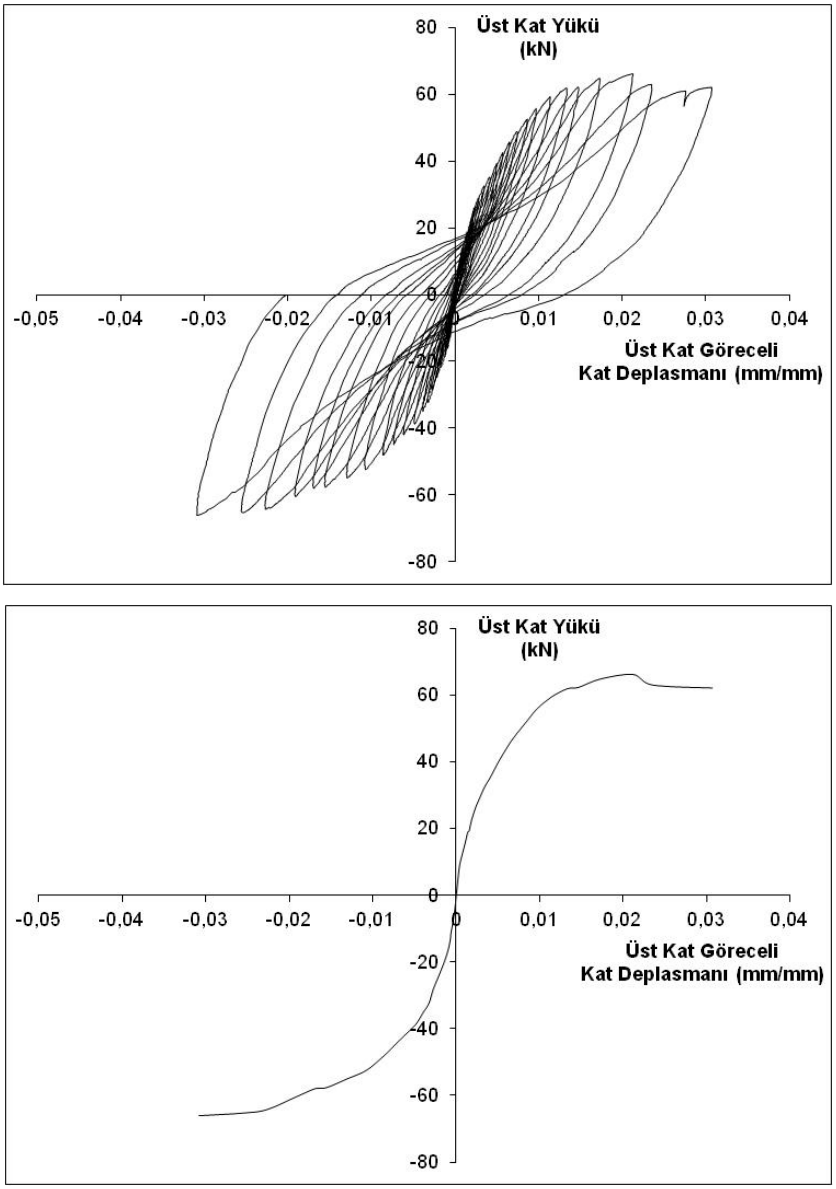
Üst kata uygulanan yüke karşılık üst kattan okunan deplasmanının çevrimsel histerezis eğrisi Şekil 4.71.' de, alt kata uygulanan yüke karşılık, alt katta meydana gelen deplasmanın çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.72.' de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.73.' de üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.74.' de ise alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi verilmiştir.



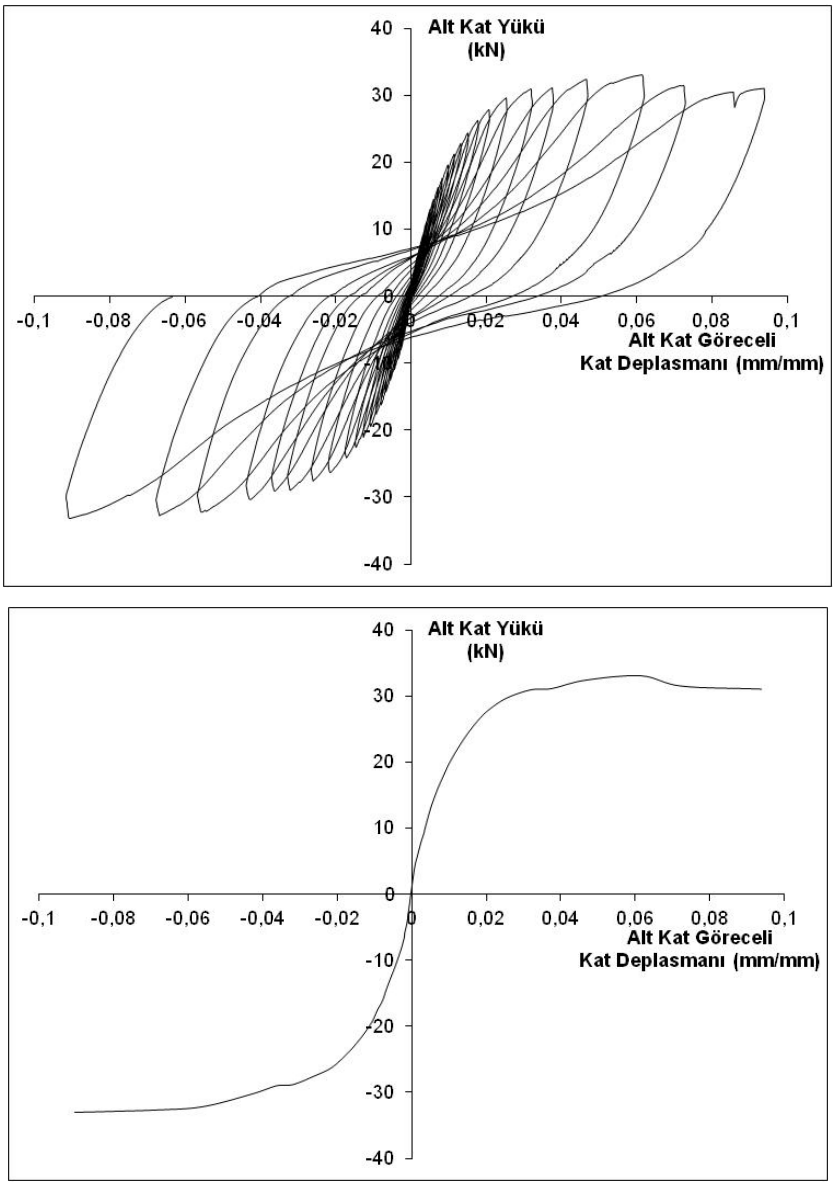
Şekil 4.71. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi



Şekil 4.72. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

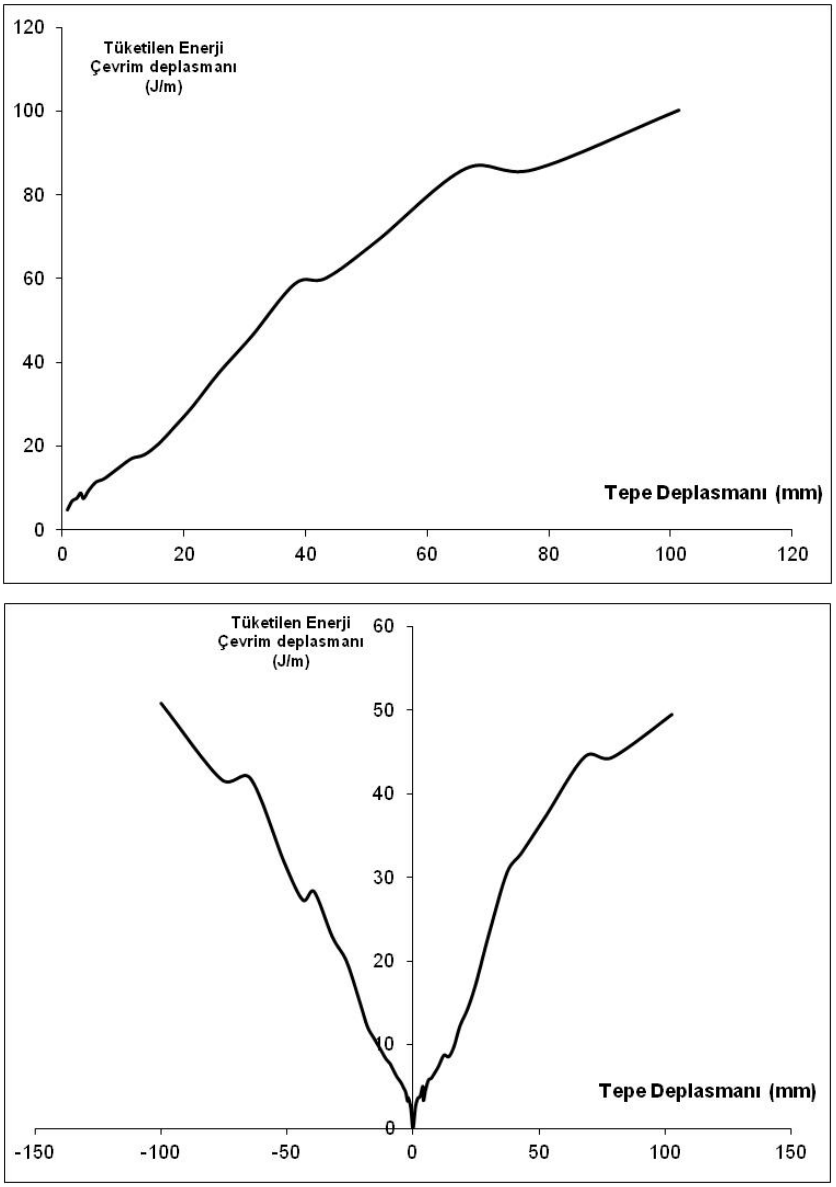


Şekil 4.73. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi



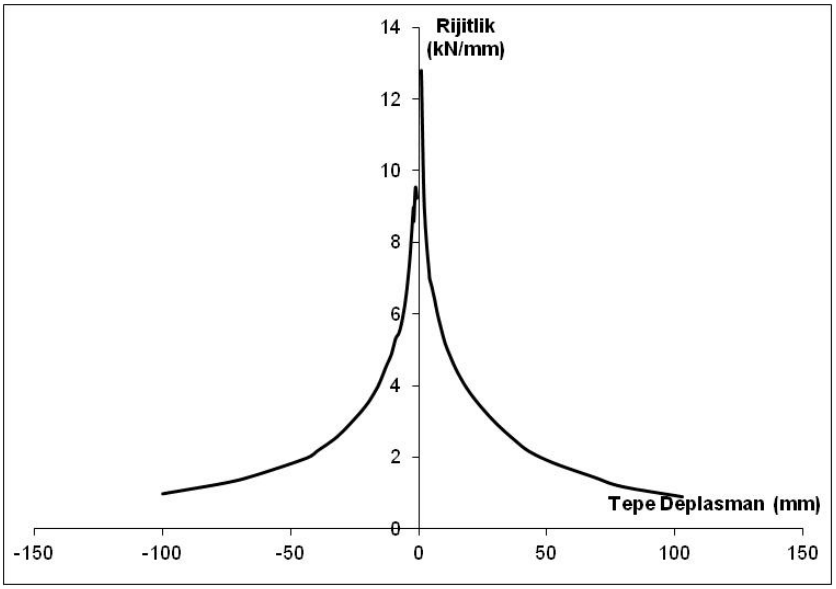
Şekil 4.74. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

Hesap edilen tüketilen enerjinin çevrim deplasmanına bölünmesi ile elde edilen değerlerin çevrim deplasmanına göre çizimi Şekil 4.75.' de verilmiştir.



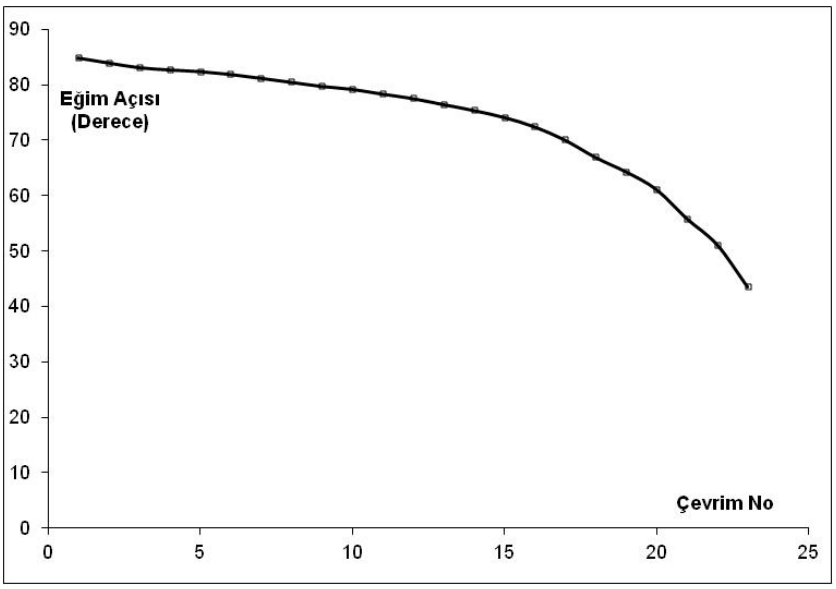
Şekil 4.75. Tüketilen enerji grafiği

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.76.). İleri çevrimler için elde edilen değerler şeklin sağında, geri çevrimler için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



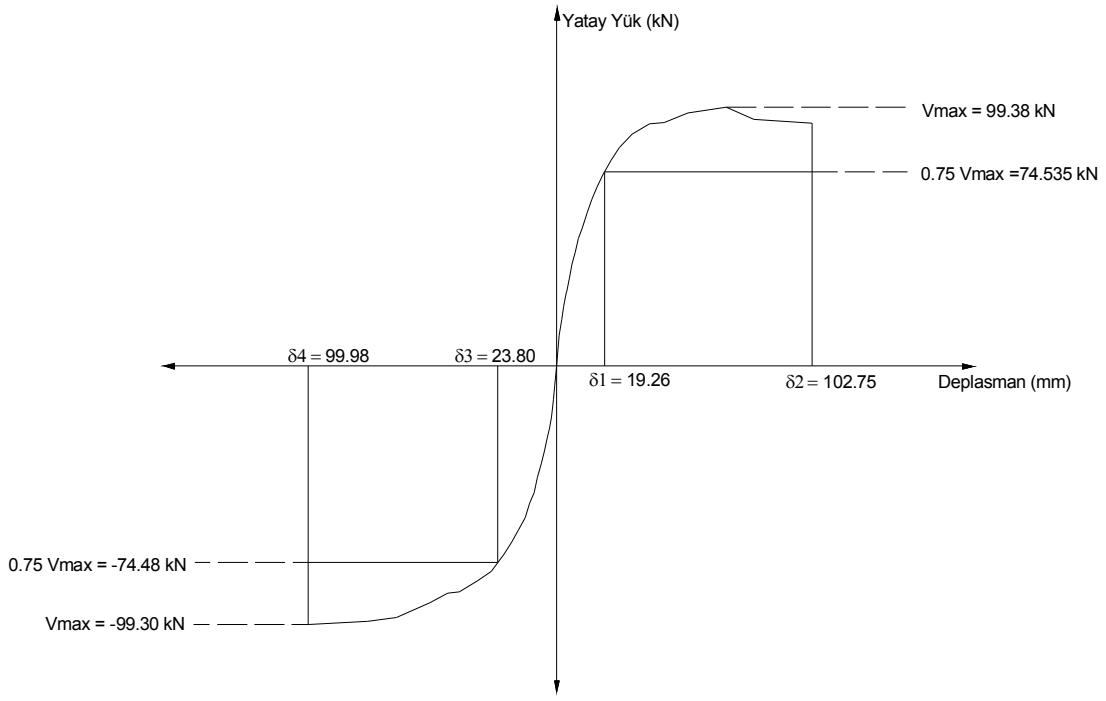
Şekil 4.76. Rijitlik grafiği

Yapılan deneyde her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak açıklanmıştır (Şekil 4.77.).



Şekil 4.77. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı grafiği

Şekil 4.78.' de ise sistemin zarf eğrisinde sisteme uygulanan maksimum yükün %75'ine ulaşıldığı noktalardan yatay eksene dikmeler indirilmiş ve bu noktalardaki deplasman değerleri incelenmiştir. Bu deplasman değerleri arasında kalan mesafe bize süneklikle ilgili değerlendirmelerde bulunmamıza yardımcı olacaktır.



Şekil 4.78. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği

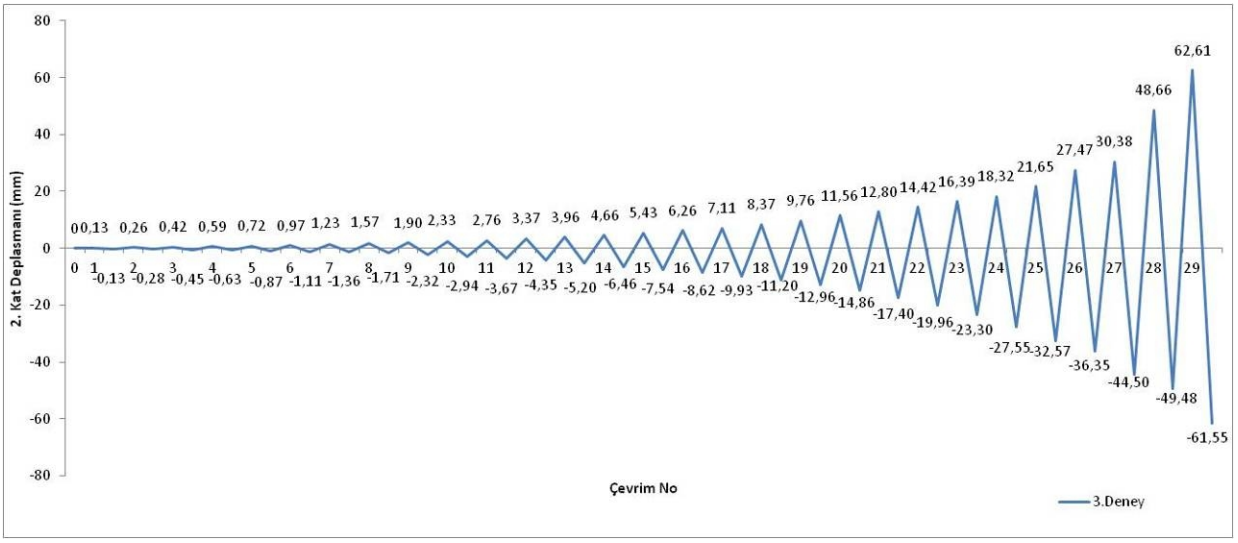
4.1.3. Deney elemanı-3 (OSWMSW)

Üçüncü olarak test edilen numune betonarme boş çerçevenin pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmesi ile oluşturulmuş numunedir. Bu deney elemanında deprem dayanımı yetersiz betonarme boş çerçeveye ankraj yardımı ile betonarme perde ilave edilmiş ve genel olarak yapının dışında bulunan pencere boşlukları göz önüne alınarak, betonarme perdede pencere boşluğu bırakılmıştır. Bu deney elemanı da diğer deneylerle aynı yükleme düzeneğinde test edilmiş ve sonuçlar bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. 3. Deney elemanının deney öncesi görünümü Şekil 4.79.' da verilmiştir.

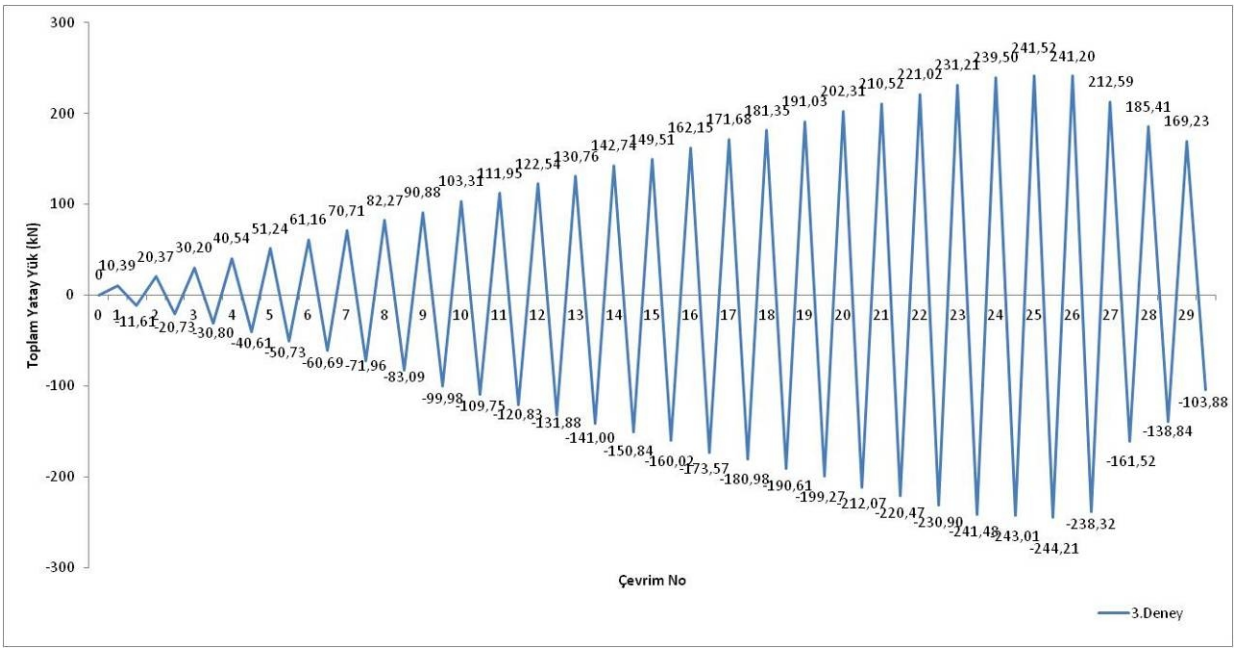


Şekil 4.79. 3. Deney elemanının deney öncesi görünümü

3. Deney elamanına uygulanan yük geçmişi Şekil 4.80.' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.80. 3. Deney numunesinin yükleme geçmişi (a) Tepe deplasmanına göre (b) Yatay yüke göre

Şekil 4.80.' de görüldüğü gibi deneye önce yük kontrollü olarak başlanmış, sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. Yaklaşık olarak 10 kN olarak yüklenmeye başlayan numune, ±10 kN yük artışlarıyla devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede ±5 mm deplasman artışları ile deney sonuçlandırılmıştır. 25. çevrimde yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney 29. çevrimde numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden sonlandırılmıştır. Deney numunesi ileri pozitif çevrimlerde maksimum -241.52 kN yatay yüke ulaşırken, geri negatif çevrimlerde maksimum 244.21 kN yatay yüke dayanmıştır.

Deney numunesine tüm deneylerde olduğu gibi eksenel yük olarak yaklaşık 86 kN yük verilmiş, yani her bir kolona 43 kN eksenel yük verilmiştir.

Deney sırasında kayıt edilen ve numune üzerinde işaretlenen çatlakların çevrimlere göre dağılımı Çizelge 4.3.' de özetlenmiştir. Çatlakların işaretlenmesinde pozitif çevrimlerde siyah renk ve negatif çevrimlerde kırmızı renk kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Deney sırasında oluşan çatlakların çevrimlere göre dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yükte Ölçülen Tepe Deplasmanı (mm)	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numaraları
+1	0.13	10.39	
-1	-0.13	-11.61	
+2	0.26	20.37	
-2	-0.28	-20.73	
+3	0.42	30.20	
-3	-0.45	-30.80	
+4	0.59	40.54	
-4	-0.63	-40.61	
+5	0.72	51.24	+1 (ilk çatlak oluştu)
-5	-0.87	-50.73	-1,-2,-3,-4,-5,-6
+6	0.97	61.16	+2,+3,+4
-6	-1.11	-60.69	-7,-8,-9,-10,-11,-12
+7	1.23	70.71	+5,+6,+7,+8,+9,+10,+11,+3’
-7	-1.36	-71.96	-13,-11’
+8	1.57	82.27	+12,+13,+14,+15,+1’,+2’,+7’,+11’
-8	-1.71	-83.09	-14,-15,-3’,-8’,-10’
+9	1.90	90.88	+16,+17,+18,+19,+20,+8’,+10’
-9	-2.32	-99.98	-16,-17,-18,-19,-11’
+10	2.33	103.31	+21,+22,+23,+24,+25,+2’’,+9’
-10	-2.94	-109.75	-20,-21,-22,-23,-4’
+11	2.76	111.95	+25,+26,+27,+28,+29,+30,+31,+32,+33,+34,+3’’,+24’
-11	-3.67	-120.83	-24,-25,-26,-27,-28,-29,-30,-31,-32,-33,-34,-35
+12	3.37	122.54	+35,+36,+37,+38,+39,+40,+41,+42,+43,+13’
-12	-4.35	-131.88	-36,-37,-38,-39
+13	3.96	130.76	+44,+45,+46,+47,+48,+49,+50,+51,+52,+53,+54,+30’,+14’’,+16’,+41’
-13	-5.20	-141.00	-40,-41,-42,-43,-44,-45,-46,-46,-48,-49,-50,-51,-52,-53,-54,-55,-56,-57,-58,-59,-60,-61,-62,-63,-3’’,-2’’,-18’,-31’,33’
+14	4.66	142.74	+55,+56,+57,+58,+59,+60,+61,+62,+63,+64,+19’,+7’’,+22’,+23’,+8’’,+40’
-14	-6.46	-150.85	-65,-66,-67,-68,-69,-70,-71,-72,-42’
+15	5.43	149.51	+65,+66,+67,+68,+69,+70,+71,+72,+73,+74,+75,+76,+77
-15	-7.54	-160.02	-73,-74,-75,-76,-77,-78,-79,-80,-26’,-27’
+16	6.26	162.15	+78,+79,+80,+81,+82,+83,+84,+85,+86,+87,+88,+89,+90,+91,+92,+93,+13’’,+25’,+42’
-16	-8.62	-173.57	-81,-82,-83,-84,-85,-86,-87,-88,-89,-90,-91,-92,-93,-94,-95,-96,-97,-98,-66’
+17	7.11	171.68	+94,+95,+96,+97,+98,+99,+100,+101,+102,+103,+104,+105,+106,+107,+108,+109,+110,+111,+112,+113,+114,+115,+116,+117,+118,+119,+120,+121,+24’’,+47’,+60’,+101’
-17	-9.93	-180.98	-99,-100,-101,-102,-103,-18’’,-53’,-62’,-75’,-76’,-94’
+18	8.37	181.36	+122,+123,+124,+125,+126,+127,+50’,+77’,+85’,+108’
-18	-11.20	-190.61	-104,-105,-106,-107,-108,-109,-110,-111,-112,-113,-114,-24’,-17’,-82’,-36’,-66’,-42’’,-37’,-11’’’,-103’,-103’’,-80’
+19	9.76	191.03	+128,+129,+130,+131,+132,+133,+134,+135,+136,+137,+5’,+66’,+98’,+104’,+115’
-19	-12.96	-199.27	-117,-118,-119,-120,-121,-122,-123,-124,-125,-112’
+20	11.56	202.31	+139,+140,+141,+142,+143,+144,+145,+146,+147,+148,+149,+55’,+62’,+80’,+98’’
-20	-14.86	-212.07	-126,-127,-128,-129,-130,-131,-132,-133,-134,-135,-136,-137,-138,-139,-140,-141,-142,-143,-102’,-124’
+21	12.80	210.52	+150,+151,+152,+153,+154,+155,+156,+157,+158,+159,+160,+161,+162,+163,+164,+165,+126’,+108’’,+98’’
-21	-17.40	-220.47	-144,-145,-146,-147,-148,-149,-150,-151,-152,-153,-154,-155,-156,-157,-158,-159,-160,-161,-162,-163,-164,-165,-166,-167,-168,-169,-22’,-97’,-124’,-38’,-127’,-132’,-134’
+22	14.42	221.02	+166,+167,+168,+169,+170,+171,+172,+173,+174,+175,+176,+177,+178,+179,+180,+181,+182,+183,+184,+185,+162’,+136’,+125’
-22	-19.96	-230.90	-170,-171,-172,-173,-174,-175,-176,-177,-178,-179,-180,-181,-182,-183,-184,-185,-186,-187,-188,-128’,-105’,-76’,-103’’’
+23	16.39	231.21	+186,+187,+188,+189,+190,+191,+192,+151’,+54’,+102’
-23	-23.30	-241.48	
+24	18.32	239.50	
-24	-27.55	-243.0	
+25	21.65	241.52	
-25	-32.57	-244.21	
+26	27.47	241.20	
-26	-36.35	-238.32	
+27	30.38	212.59	
-27	-44.50	-161.52	
+28	48.66	185.41	
-28	-49.48	-138.84	
+29	62.61	169.23	
-29	-61.55	-103.88	

Deneyde ilk dört çevrimde herhangi bir belirgin çatlak gözlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir. Deneyde ilk çatlak pozitif 5. çevrimde oluşmuştur (Şekil 4.81.). Bu çevrimde 51.24 kN toplam yük ve bu yüke karşılık gelen 0.72 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Bu çatlak S102 kolonunun temel ile birleştiği bölgede meydana gelmiştir.



Şekil 4.81. Pozitif 5. çevrimde oluşan çatlak

Negatif 5. çevrimde -1,-2,-3,-4,-5,-6 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.82) ve -50.73 kN toplam yük ve karşılık gelen -0.87 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.82. Negatif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 6. çevrimde +2,+3,+4 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.84) ve 61.16 kN toplam yük ve karşılık gelen 0.97 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.84. Pozitif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 6. çevrimde -7,-8,-9,-10,-11,-12 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.85) ve 13.33 kN toplam yük ve karşılık gelen 7.80 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



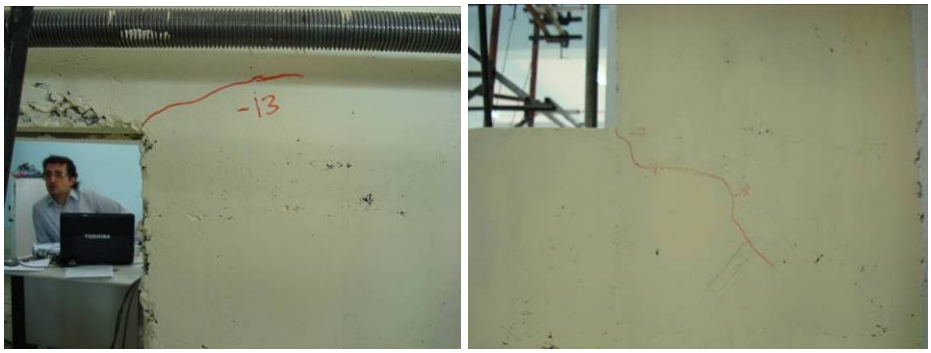
Şekil 4.85. Negatif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 7. çevrimde +5,+6,+7,+8,+9,+10,+11,+3' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.86) ve 70.71 kN toplam yük ve karşılık gelen 1.23 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.86. Pozitif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 7. çevrimde -13,-11’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.87) ve -71.96 kN toplam yük ve karşılık gelen -1.36 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.87. Negatif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 8. çevrimde +12,+13,+14,+15,+1’,+2’,+7’,+11’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.88) ve 82.27 kN toplam yük ve karşılık gelen 1.57 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



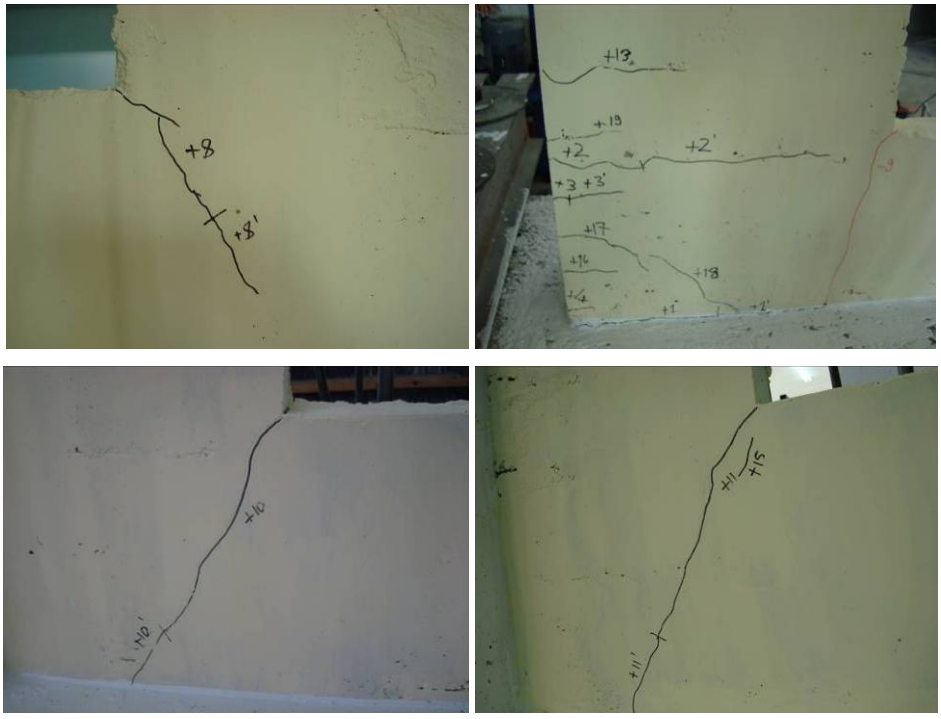
Şekil 4.88. Pozitif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 8. çevrimde -14,-15,-3’,-8’,-10’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.89) ve -83.09 kN toplam yük ve karşılık gelen -1.71 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.89. Negatif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 9. çevrimde +16,+17,+18,+19,+20,+8',+10' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.90) ve 90.88 kN toplam yük ve karşılık gelen 1.90 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



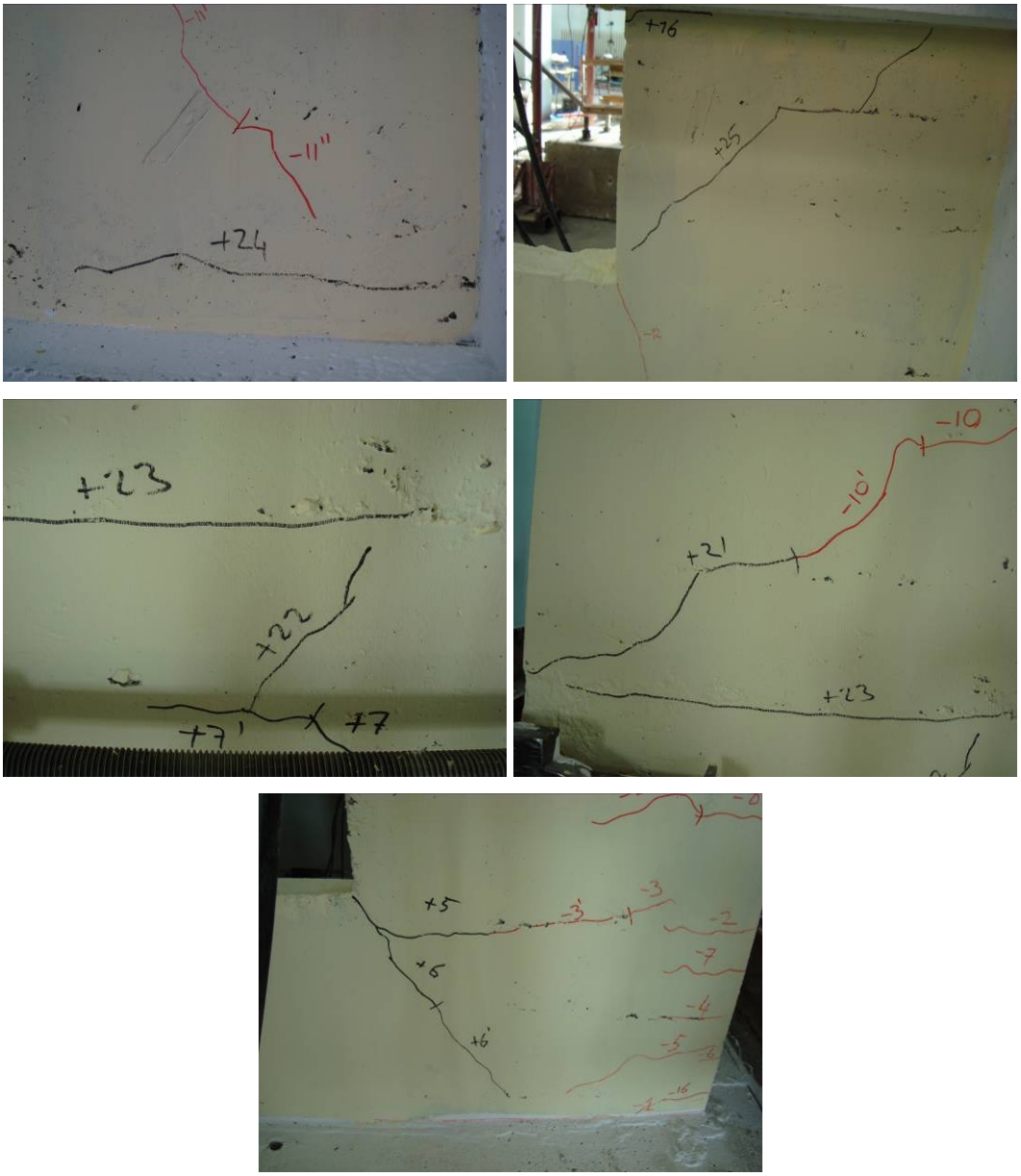
Şekil 4.90. Pozitif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 9. çevrimde -16,-17,-18,-19,-11’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.91) ve -99.98 kN toplam yük ve karşılık gelen -2.32 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



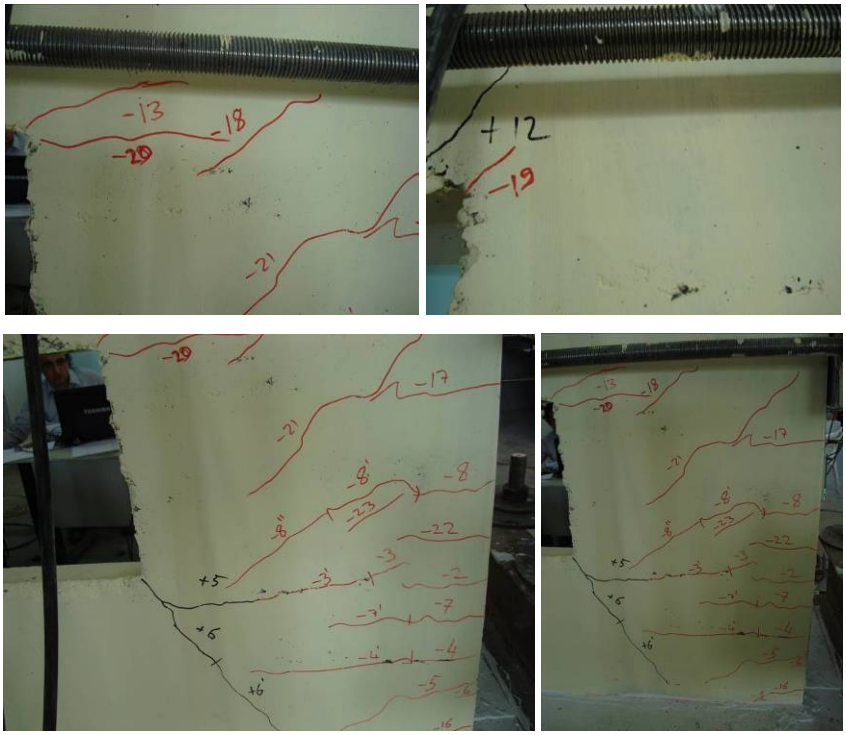
Şekil 4.91. Negatif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 10. çevrimde +21,+22,+23,+24,+25,+2’’,+9’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.92) ve 103.31 kN toplam yük ve karşılık gelen 2.33 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



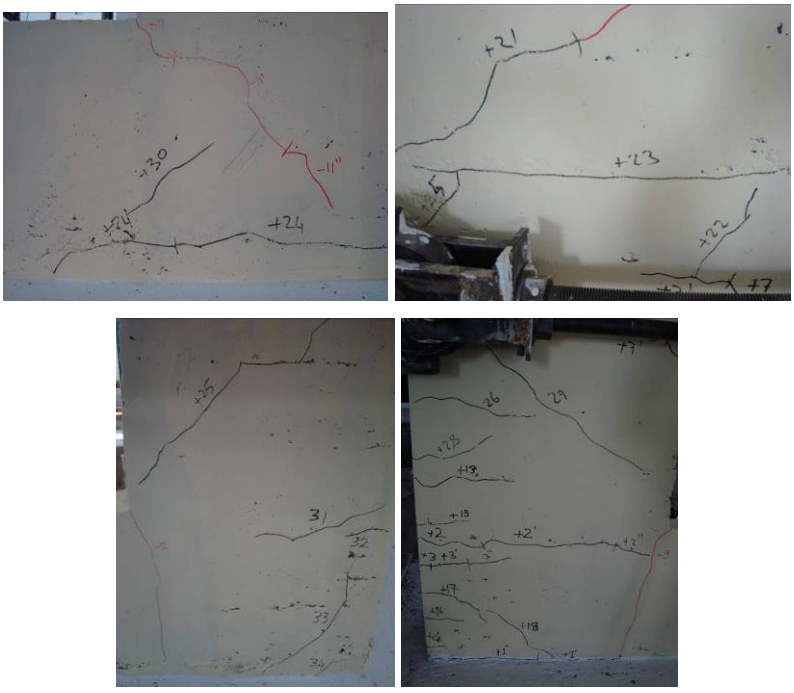
Şekil 4.92. Pozitif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 10. Çevrimde -20,-21,-22,-23,-4' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.93) ve -109,76 kN toplam yük ve karşılık gelen -2,94 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



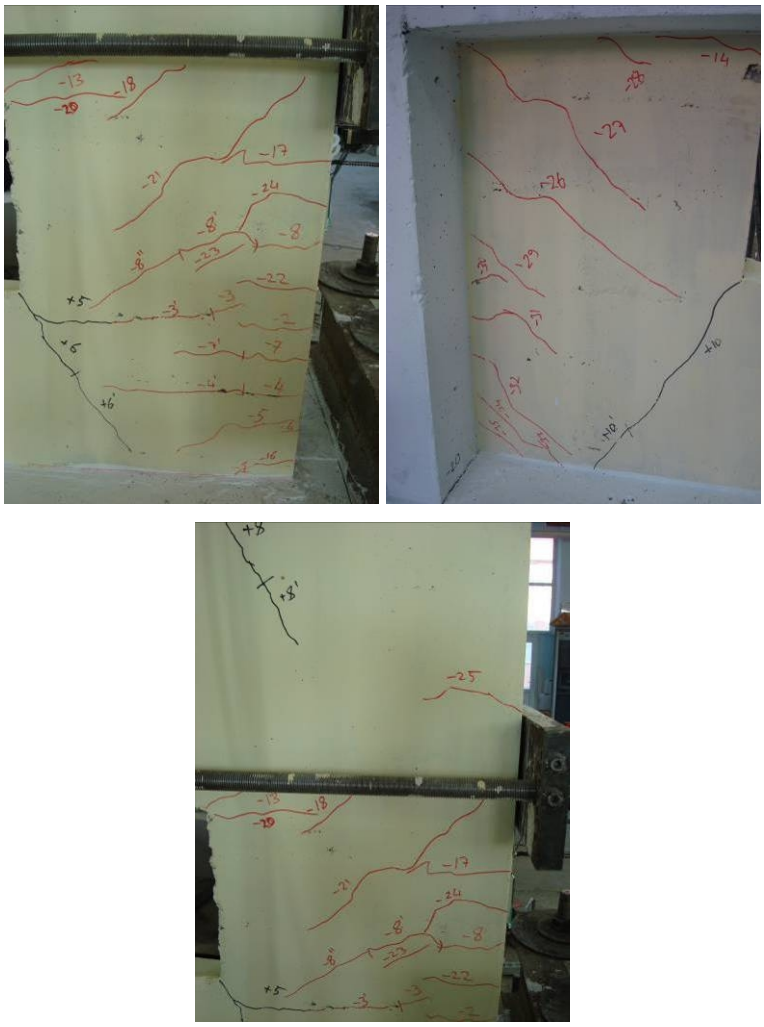
Şekil 4.93. Negatif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 11. çevrimde +25,+26,+27,+28,+29,+30,+31,+32,+33,+34,+3'',+24' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.94) ve 111.95 kN toplam yük ve karşılık gelen 2.76 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.94. Pozitif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 11. çevrimde -24,-25,-26,-27,-28,-29,-30,-31,-32,-33,-34,-35 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.95) ve -120.83 kN toplam yük ve karşılık gelen -3.67 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



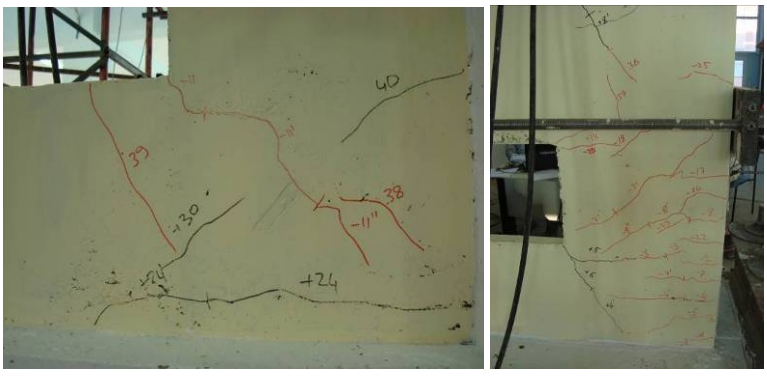
Şekil 4.95. Negatif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 12. çevrimde +35,+36,+37,+38,+39,+40,+41,+42,+43,+13' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.96) ve 122.54 kN toplam yük ve karşılık gelen 3.37 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



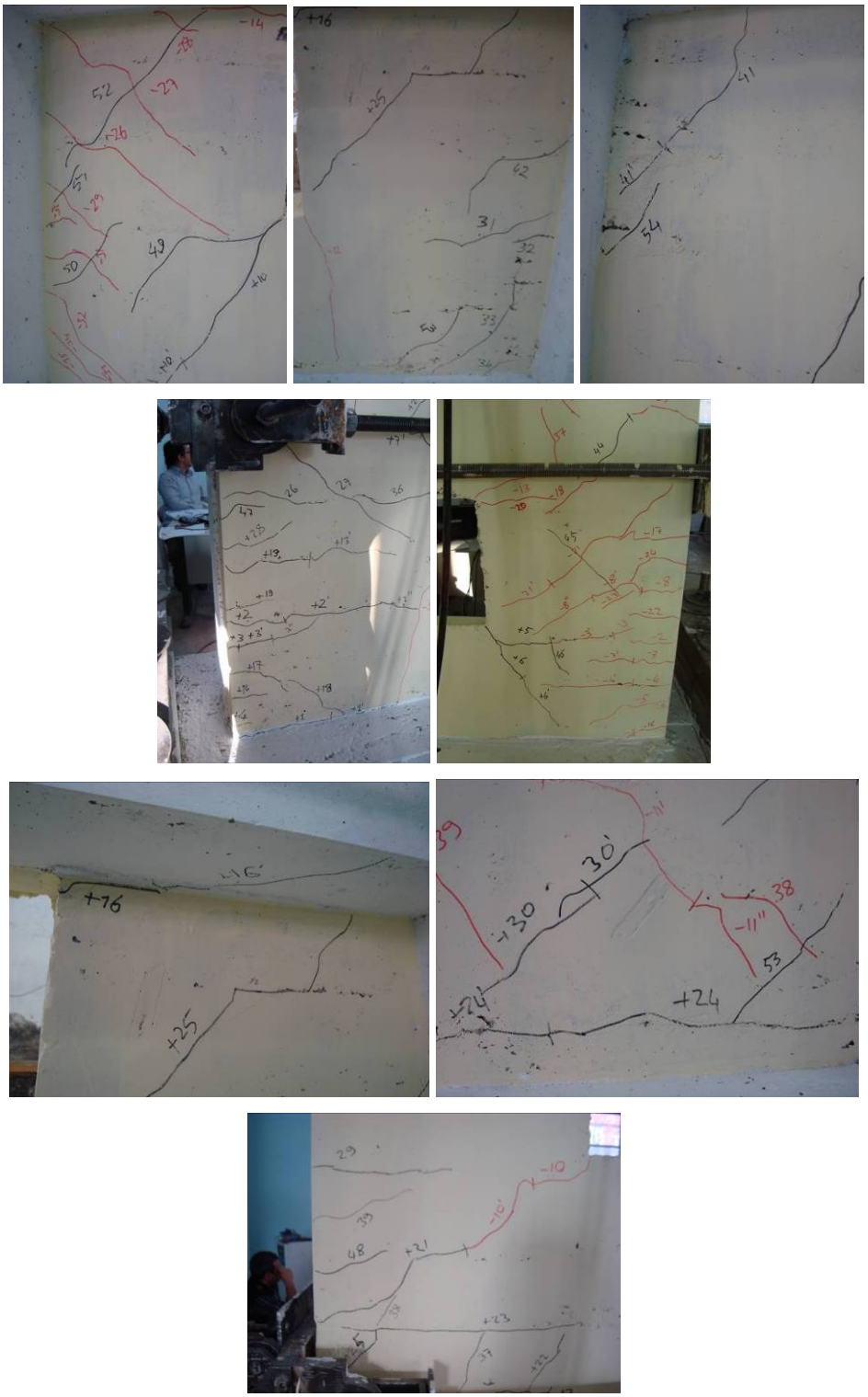
Şekil 4.96. Pozitif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 12. çevrimde -36,-37,-38,-39 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.97) ve -131.88 kN toplam yük ve karşılık gelen -4.35 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.97. Negatif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 13. çevrimde +44,+45,+46,+47,+48,+49,+50,+51,+52,+53,+54,+30', +14'',+16',+41' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.98) ve 130.76 kN toplam yük ve karşılık gelen 3.96 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.98. Pozitif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 13. çevrimde -40,-41,-42,-43,-44,-45,-46,-46,-48,-49,-50,-51,-52,-53, -54,-55,-56,-57,-58,-59,-60,-61,-62,-63,-3’’,-2’’,-18’,-31’,33’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.99) ve -141.00 kN toplam yük ve karşılık gelen -5.20 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



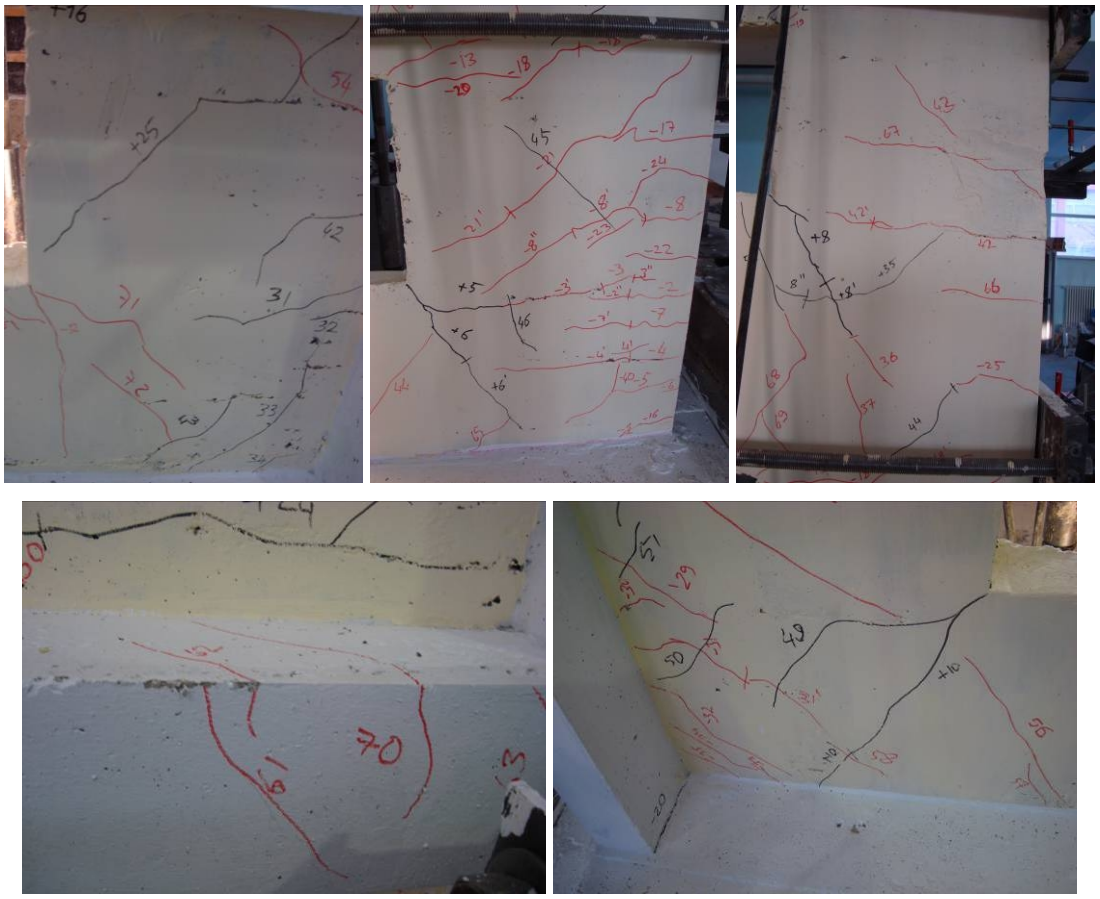
Şekil 4.99. Negatif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 14. çevrimde +55,+56,+57,+58,+59,+60,+61,+62,+63,+64,+19’,+7’’, +22’,+23’,+8’’,+40’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.100) ve .142.74 kN toplam yük ve karşılık gelen 4.66 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



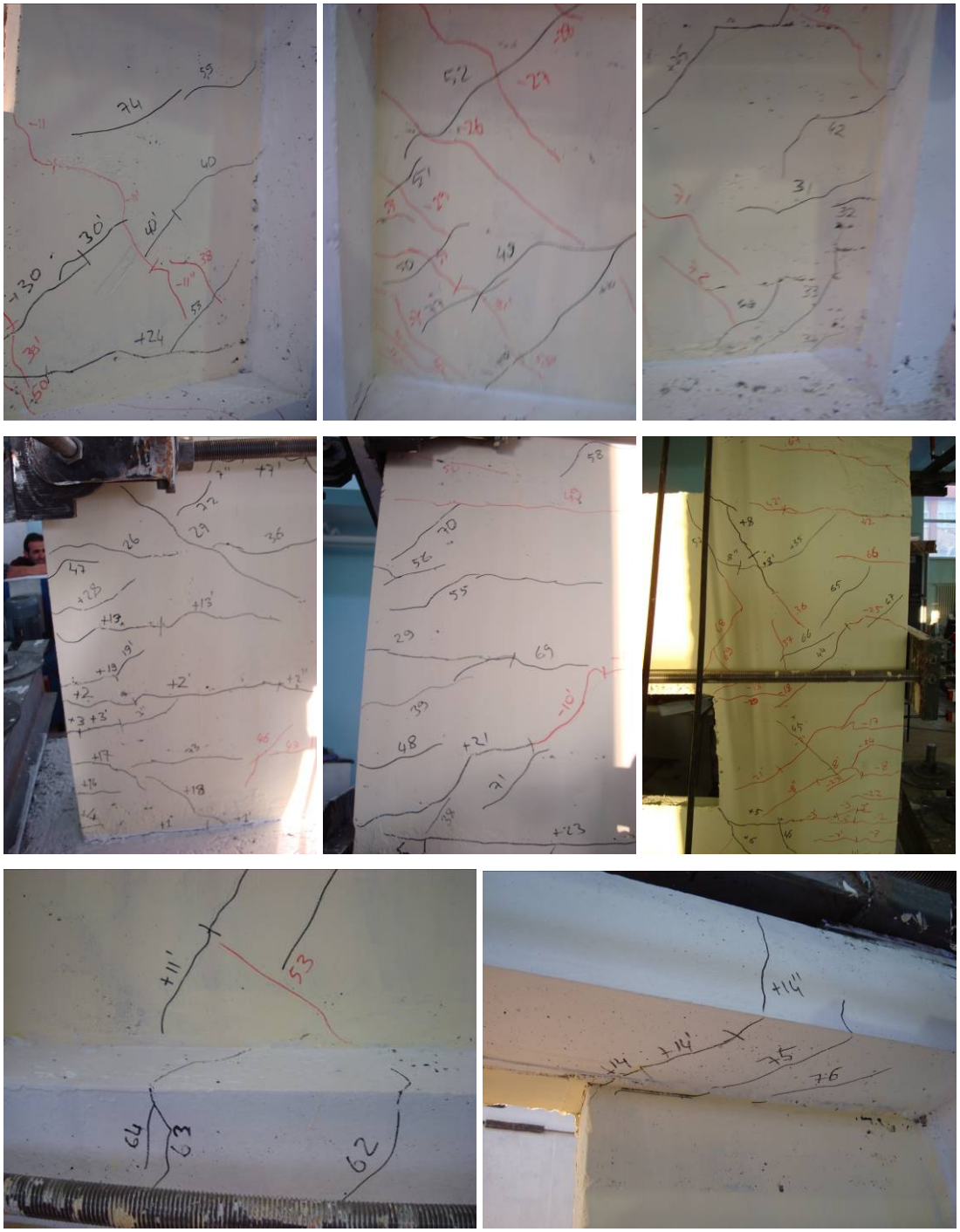
Şekil 4.100. Pozitif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 14. çevrimde -65,-66,-67,-68,-69,-70,-71,-72,-42' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.101) ve -150.85 kN toplam yük ve karşılık gelen -6.46 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



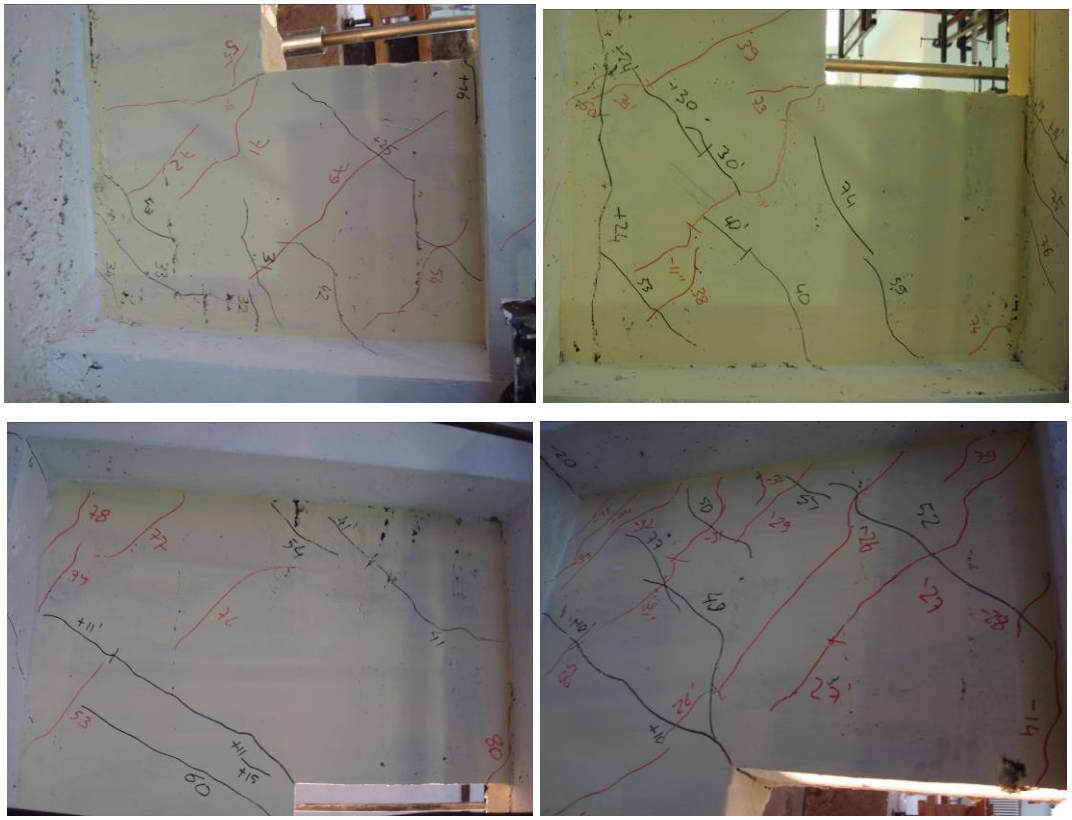
Şekil 4.101. Negatif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 15. çevrimde +65,+66,+67,+68,+69,+70,+71,+72,+73,+74,+75,+76,+77 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.102) ve 149.51 kN toplam yük ve karşılık gelen 5.43 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



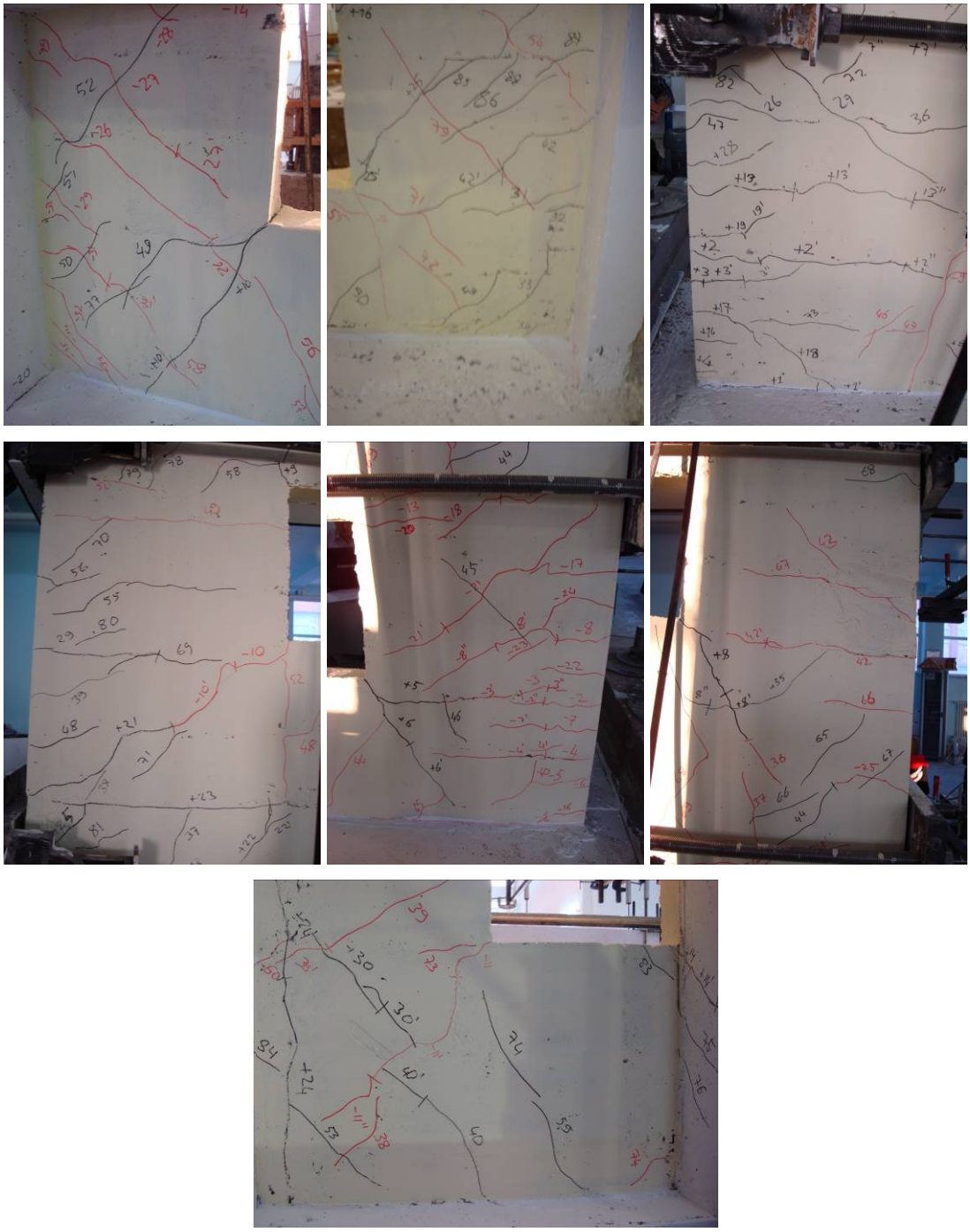
Şekil 4.102. Pozitif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 15. çevrimde -73,-74,-75,-76,-77,-78,-79,-80,-26',-27' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.103) ve -160.02 kN toplam yük ve karşılık gelen -7.54 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.103. Negatif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 16. çevrimde +78,+79,+80,+81,+82,+83,+84,+85,+86,+87,+88,+89,+90, +91,+92,+93,+13'',+25',+42' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.104) ve 162.15 kN toplam yük ve karşılık gelen 6.26 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.104. Pozitif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 16. çevrimde -81,-82,-83,-84,-85,-86,-87,-88,-89,-90,-91,-92,-93,-94, -95,-96,-97,-98,-66' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.105) ve -173.57 kN toplam yük ve karşılık gelen -8.62 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.105. Pozitif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 17. çevrimde +94,+95,+96,+97,+98,+99,+100,+101,+102,+103, +104,+105,+106,+107,+108,+109,+110,+111,+112,+113,+114,+115,+116,+117,+118, +119,+120,+121,+24'',+47',+60',+101' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.106) ve -171.68 kN toplam yük ve karşılık gelen -7.11 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.106. Pozitif 17. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 17. çevrimde -99,-100,-101,-102,-103,-18'',-53',-62',-75',-76',-94' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.107) ve -180.98 kN toplam yük ve karşılık gelen -9.93 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.107. Negatif 17. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 18. çevrimde +122,+123,+124,+125,+126,+127,+50’,+77’,+85’,+108’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.108) ve 181.36 kN toplam yük ve karşılık gelen 8.37 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



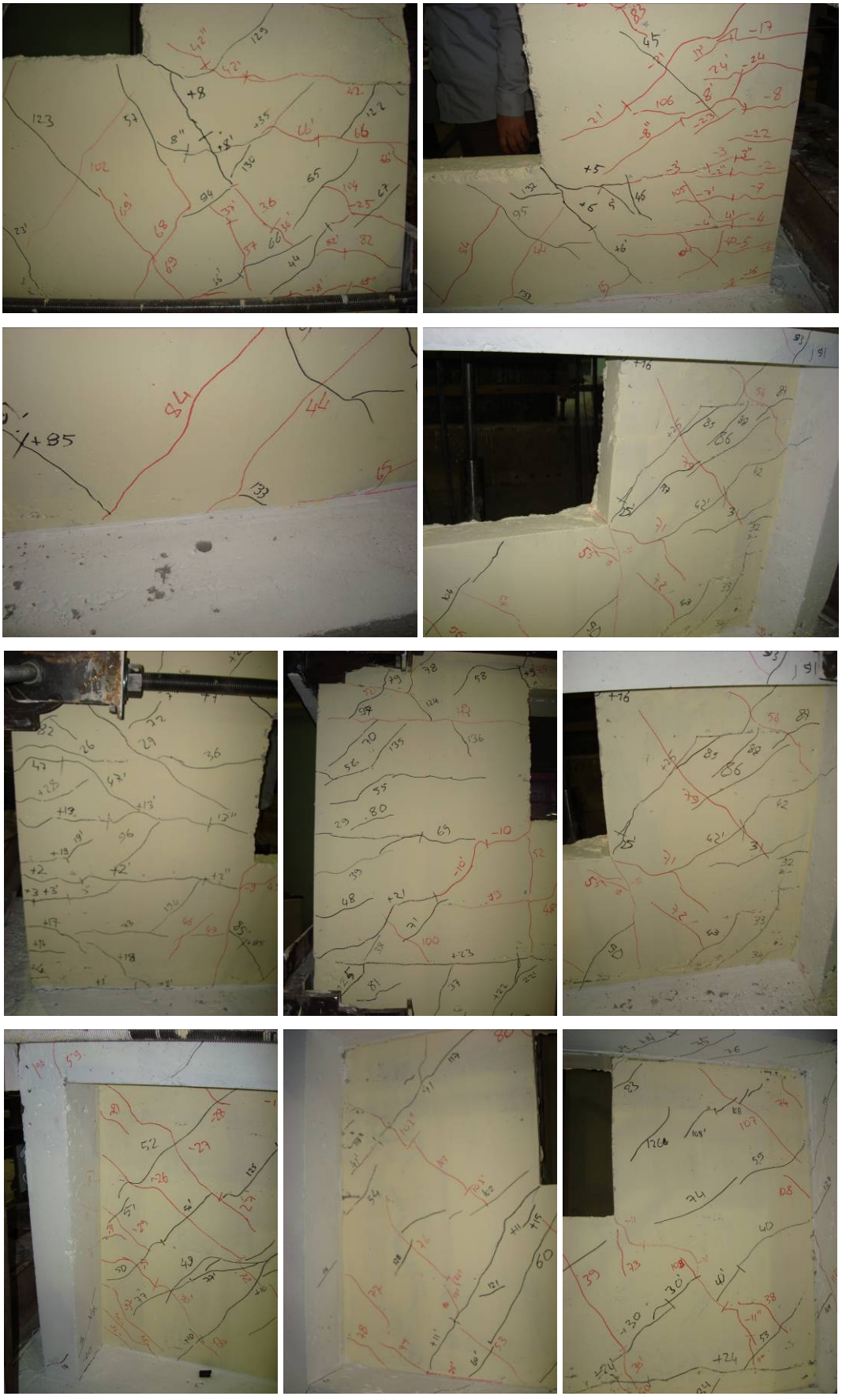
Şekil 4.108. Pozitif 18. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 18. çevrimde -104,-105,-106,-107,-108,-109,-110,-111,-112,-113,-114, -24’,-17’,-82’,-36’,-66’,-42’’,-37’,-11’’’,-103’,-103’’,-80’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.109) ve -190.61 kN toplam yük ve karşılık gelen -11.20 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.109. Negatif 18. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 19. çevrimde +128,+129,+130,+131,+132,+133,+134,+135,+136,+137, +5',+66',+98',+104',+115' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.110) ve 191.03 kN toplam yük ve karşılık gelen 9.76 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.110. Pozitif 19. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 19. çevrimde -117,-118,-119,-120,-121,-122,-123,-124,-125,-112' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.111) ve -199.27 kN toplam yük ve karşılık gelen -12.96 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.111. Negatif 19. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 20. çevrimde +139,+140,+141,+142,+143,+144,+145,+146,+147, +148,+149,+55',+62',+80',+98'' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.112) ve 202.31 kN toplam yük ve karşılık gelen 11.56 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.112. Pozitif 20. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 20. çevrimde -126,-127,-128,-129,-130,-131,-132,-133,-134,-135,-136, -137,-138,-139,-140,-141,-142,-143,-102',-124' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.113) ve -212.07 kN toplam yük ve karşılık gelen -14.86 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



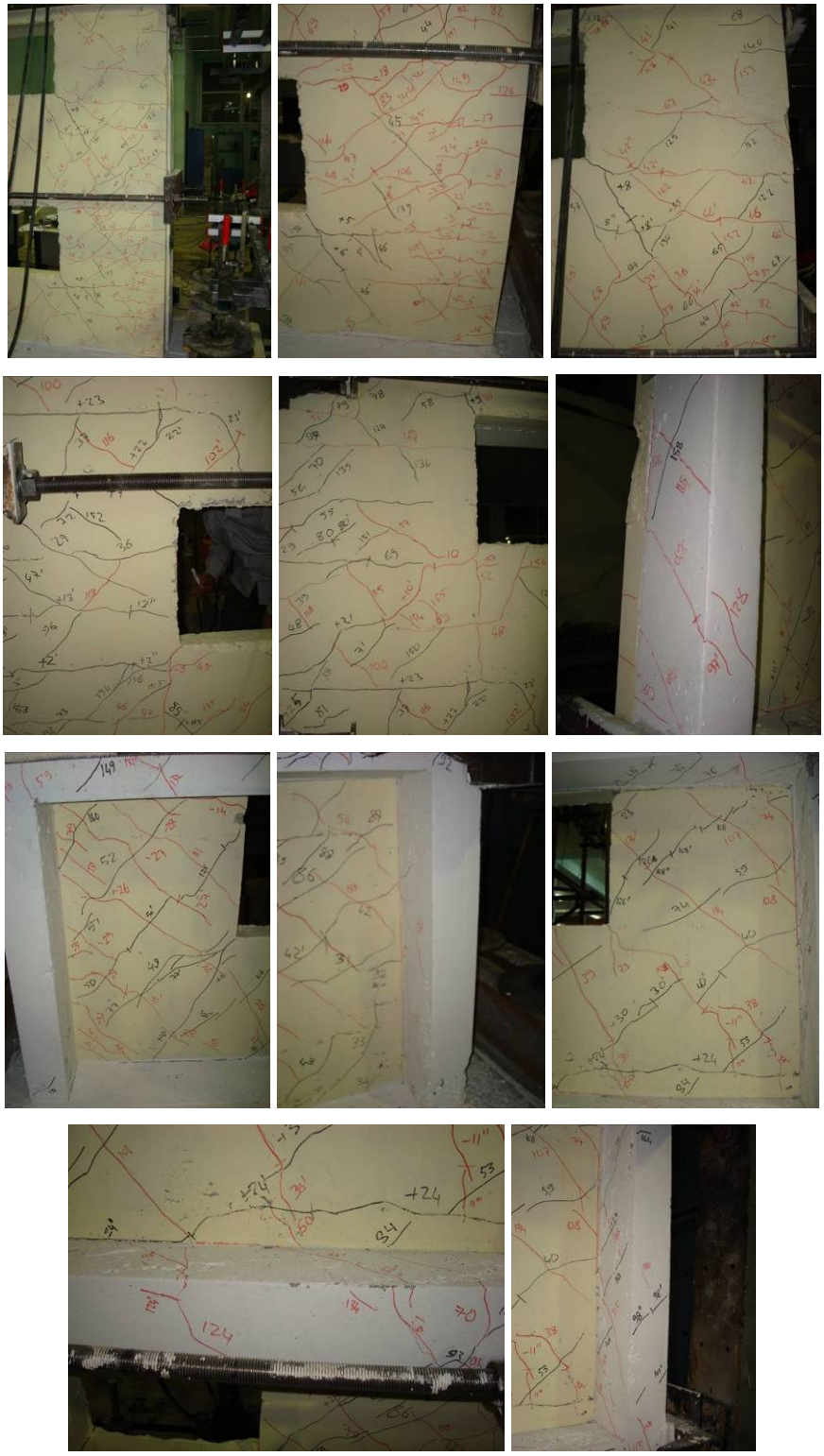
Şekil 4.113. Negatif 20. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 21. çevrimde +150,+151,+152,+153,+154,+155,+156,+157,+158,+159, +160,+161,+162,+163,+164,+165,+126',+108'',+98'' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.114) ve 210.52 kN toplam yük ve karşılık gelen 12.80 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.114. Pozitif 21. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 21. çevrimde -144,-145,-146,-147,-148,-149,-150,-151,-152,-153,-154, -155,-156,-157,-158,-159,-160,-161,-162,-163,-164,-165,-166,-167,-168,-169,-22',-97', -124',-38',-127',-132',-134' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.115) ve -220.47 kN toplam yük ve karşılık gelen -17.40 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



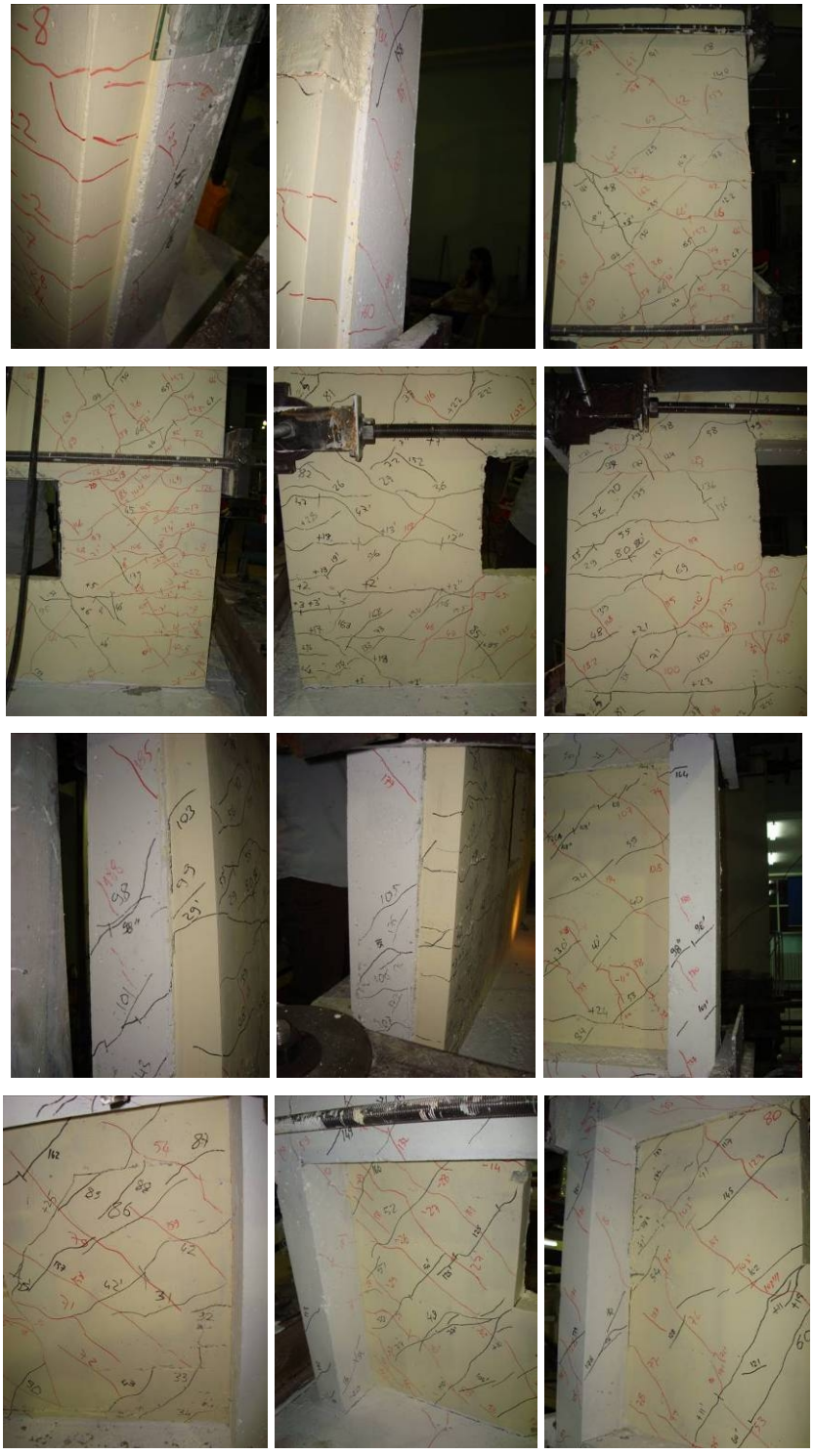
Şekil 4.115. Negatif 21. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 22. çevrimde +166,+167,+168,+169,+170,+171,+172,+173,+174,+175, +176,+177,+178,+179,+180,+181,+182,+183,+184,+185,+162',+136',+125' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.116) ve 221.02 kN toplam yük ve karşılık gelen 14.42 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.116. Pozitif 22. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 22. çevrimde -170,-171,-172,-173,-174,-175,-176,-177,-178,-179,-180,-181,-182,-183,-184,-185,-186,-187,-188,-128',-105',-76',-103''' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.117) ve -230.90 kN toplam yük ve karşılık gelen -19.96 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.117. Negatif 22. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 23. çevrimde +186,+187,+188,+189,+190,+191,+192,+151',+54',+102' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.118) ve 231.21 kN toplam yük ve karşılık gelen 16.39 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

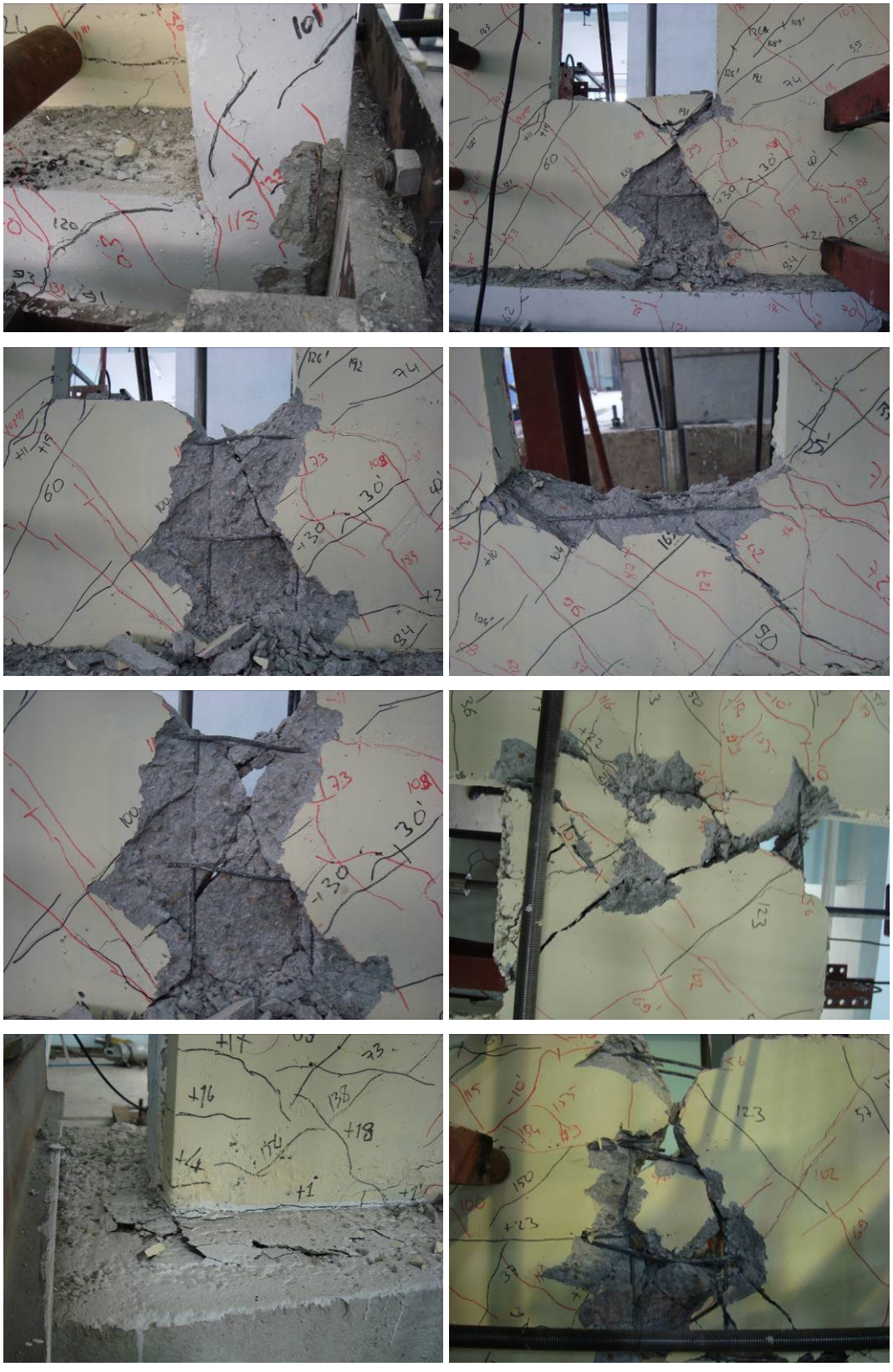


Şekil 4.118. Pozitif 23. çevrimde oluşan çatlaklar

Bu çevrimden sonra sistemde önemli bir yük artışı meydana gelmemesine karşın deplasman değerleri artmaya devam etmiştir. Bu durumda sistemin akma değerine ulaştığı düşünülmüş ve deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. 23. çevrimden sonra numunede önemli çatlaklar gelmemiş, fakat daha önce oluşan çatlakların aralıkları açılarak sistem bu çatlaklar sayesinde enerji tüketmiştir. Aralıkları açılan bu çatlakların bulunduğu yerlerdeki beton ilerleyen çevrimlerde dökülmüştür. Çatlaklar genellikle pencere köşelerinde, kolon kiriş birleşim bölgelerinde, temel ile kolon birleşim bölgelerinde ve temel ile perdenin birleştiği bölgelerde yoğunlaşmıştır. Özellikle pencere köşelerinden başlayan çatlakların pencere altlarına doğru ilerlemesiyle pencerenin altındaki beton tabakası dökülmüştür. Daha sonraki çevrimlerde ise dökülen beton tabakaları artarak devam etmiştir. Sistem stabilitesi kaybolunceya kadar

yüklemeler devam ettirilmiştir. Deneyde 23. çevrimden sonra genişleyen çatlaklar ve büyük hasar oluşan bölgeler Şekil 4.119' da verilmiştir.



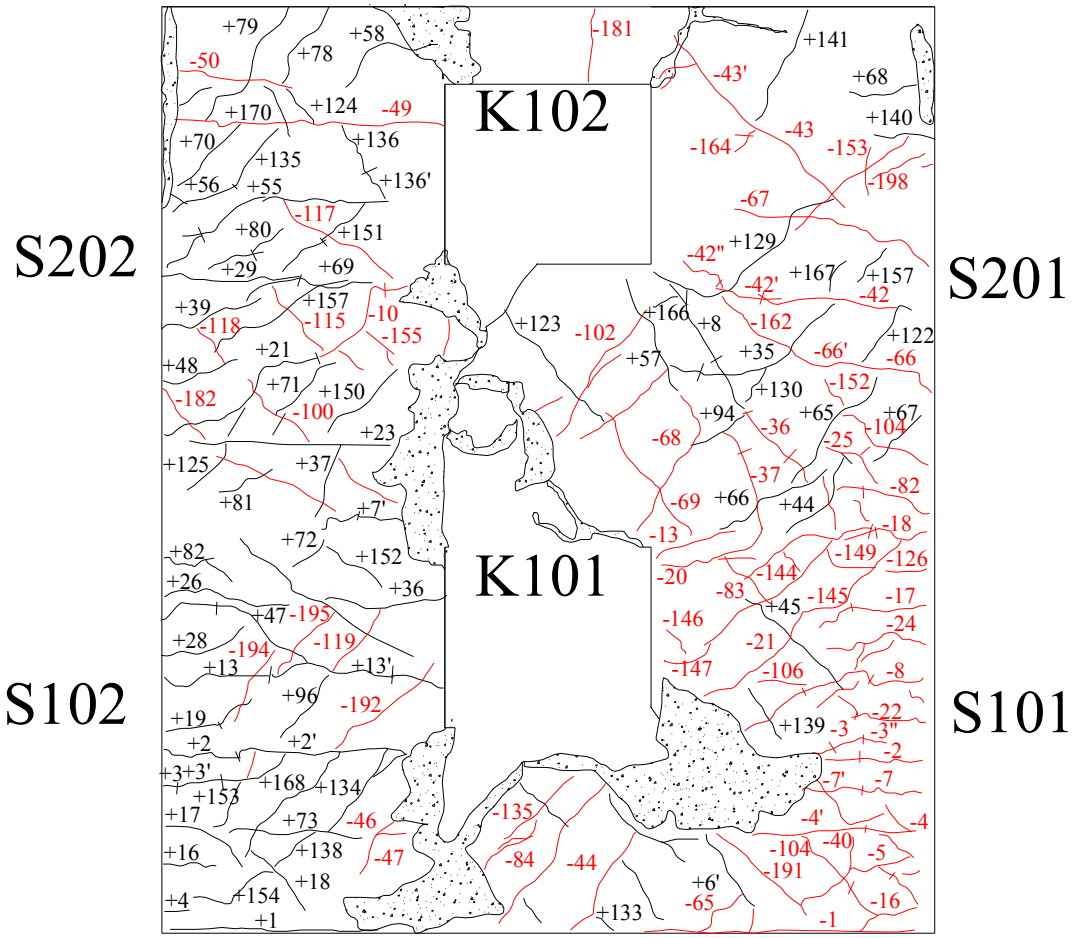




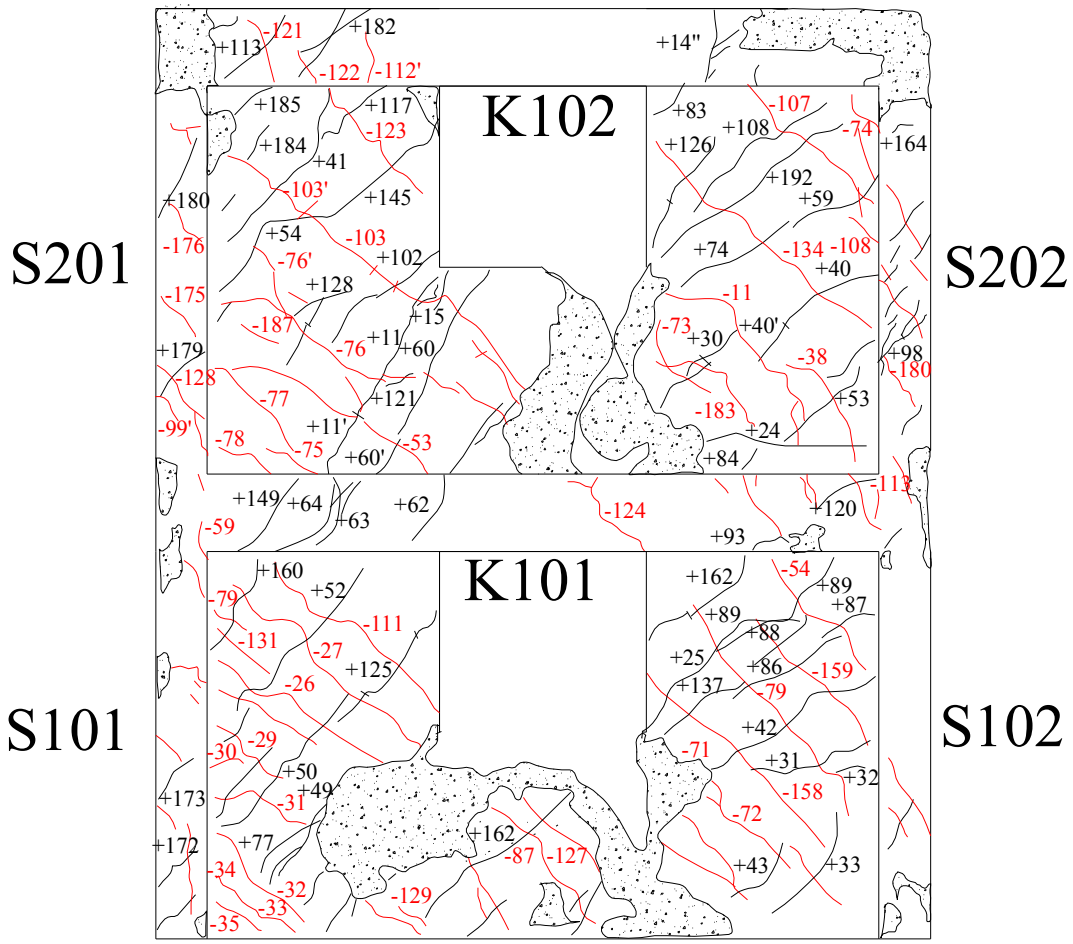
Şekil 4.119. 23. ile 29. çevrim arasında oluşan hasarlar

OSWMSW numunesinde ilk çatlaklar güçlendirme perdesinin temel ile birleştiği bölgelerde ve pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu numunede deney ilerledikçe çatlakların güçlendirme perdesinin yüzeyine yayıldığı görülmektedir. Deney ilerledikçe ilk oluşan çatlakların aralıklarının açıldığı gözlemlenmiştir. Deney sonuna yaklaşıldıkça kolon kiriş birleşim bölgesinde, temel ile güçlendirme perdesinin birleşim bölgesinde ve özellikle pencere altlarında büyük hasarlar meydana gelmiş ve deney sonlandırılmıştır. Bu deney elemanında RS ve CR numunelerine göre daha fazla yatay yüke ulaşılmasına rağmen süneklik önemli ölçüde azalmıştır.

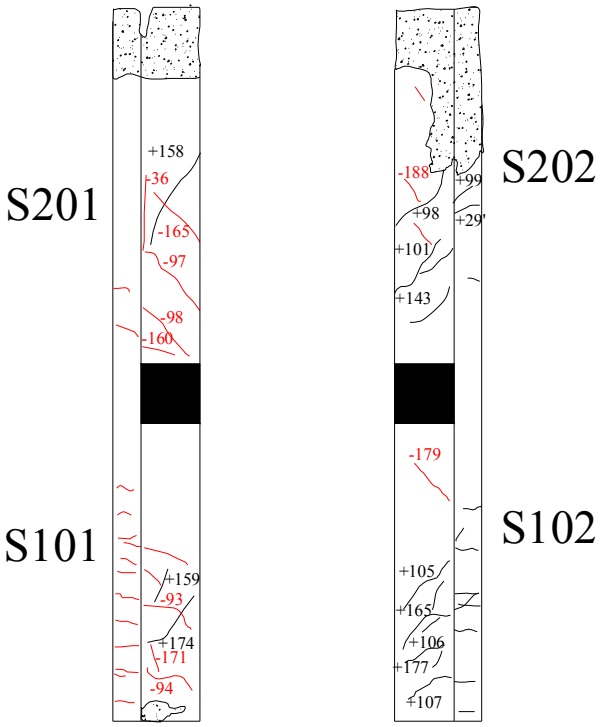
Yapılan bu deneyde oluşan çatlakların ve hasar oluşumlarının daha iyi anlaşılabilmesi için bu çatlak ve hasarlar AutoCAD programı yardımıyla çizilmiştir (Şekil 4.120). Bu çizimlerde numunenin ön ve arka yüzleri, kolon ve kirişlerindeki hasarlar ayrı ayrı gösterilerek anlatılmaya çalışılmıştır.


K102
K101
S202
S201
S102
S101
+79
+58
-181
+141
-50
+78
-43'
+68
+170
+124
-49
+140
+70
+136
-164
-43
-153
+135
+56
+55
+136'
-198
-67
-117
+80
+151
+129
-42"
+29
+69
+167
+157
-42'
-42
+39
+157
-115
-10
+123
-102
+166
+8
-162
-118
-155
+122
+21
+57
+35
-66'
-66
+48
+71
+150
+130
-152
-182
-100
+94
+65
+67
+23
-36
-104
-68
-25
+125
+37
-37
+81
+7'
-69
+66
+44
-82
-13
-18
+72
-149
+82
+152
-126
-20
-144
+26
+36
-83
-145
-17
+47
-195
+45
-146
-24
+28
-194
-119
-21
+13
+13'
-147
-106
-8
+96
-192
+139
-3
-22
+19
+2'
-3"
+2
-2
+3+3'
+168
+134
-7'
-7
+153
+17
+73
-46
-135
-4'
-4
-104
-40
+16
+138
-47
-84
-44
-5
-191
+18
+6'
+4
+154
-65
-16
+133
+1
-1

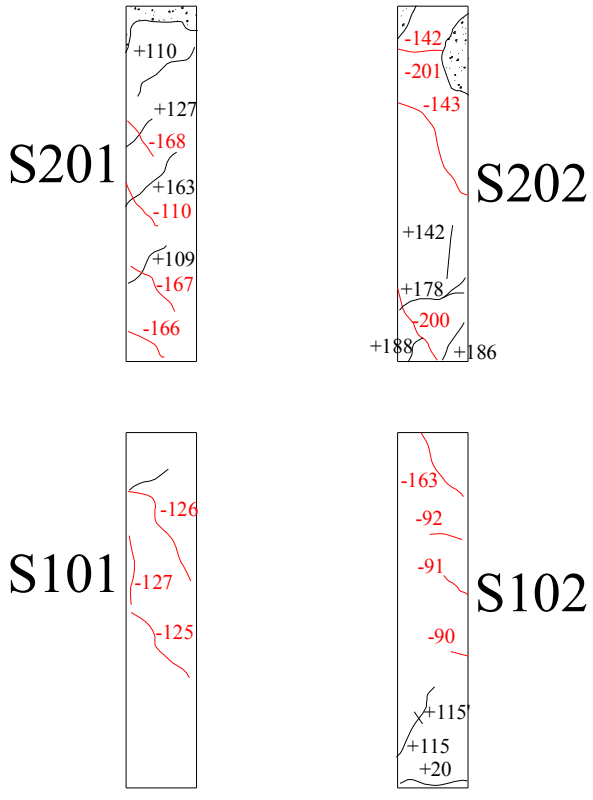
(a)


S201
S202
S101
S102
K102
K101
+113
-121
+182
-122
-112'
+14"
+185
+117
-123
+184
+41
-103'
+145
+180
+54
-103
-176
-76'
+102
+128
-175
-187
+15
+11
+60
-76
+179
-128
-77
+121
-99'
+11'
-78
-75
+60'
-53
+149
+64
+63
+62
-59
-124
+120
+93
+160
+52
-79
-111
-131
-27
+125
-26
-30
-29
+50
+49
+173
-31
+172
+77
-34
-32
-33
-35
+162
-87
-127
-129
+83
-107
+108
-74
+126
+164
+192
+59
+74
-134
-108
+40
-11
-73
+30
+40'
-38
+98
-180
-183
+53
+24
+84
-113
+162
-54
+89
+87
+89
+88
+25
+86
-159
+137
-79
+42
-71
+31
+32
-158
-72
+43
+33

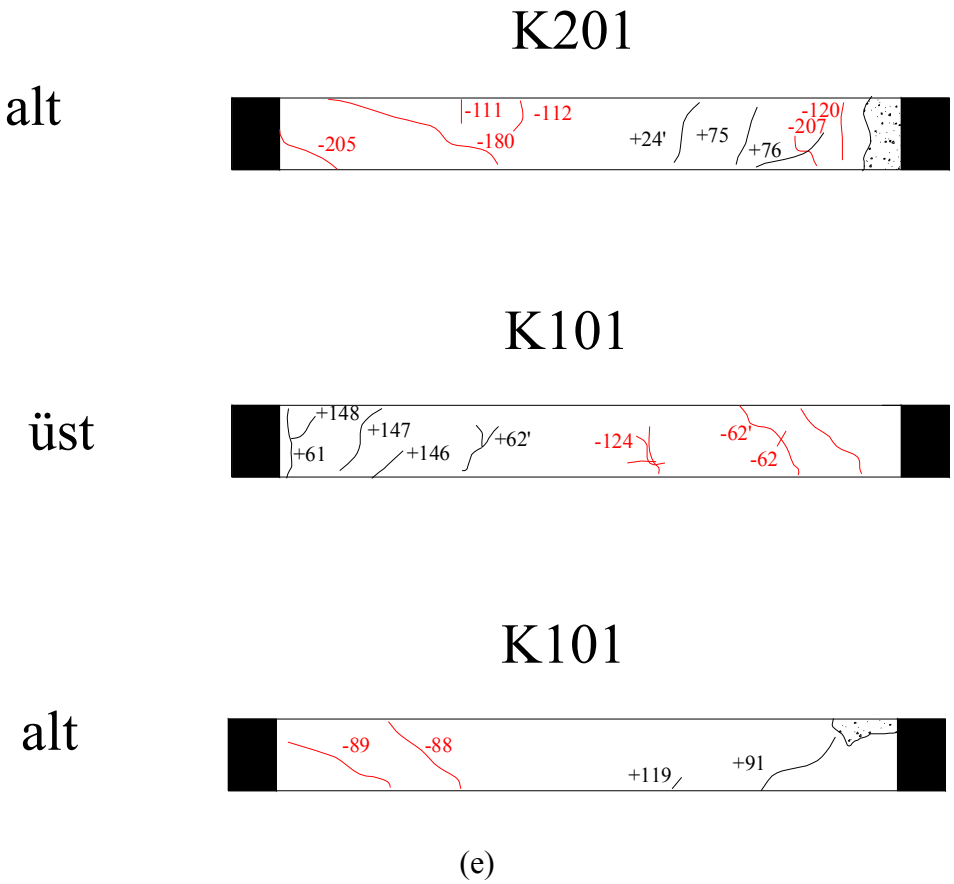
(b)


S201
S101
S202
S102
+158
-36
-165
-97
-98
-160
+159
-93
+174
-171
-94
-188
+99
+98
+29
+101
+143
-179
+105
+165
+106
+177
+107

(c)


S201
S101
S202
S102
+110
+127
-168
+163
-110
+109
-167
-166
-126
-127
-125
-142
-201
-143
+142
+178
-200
+188
+186
-163
-92
-91
-90
+115
+115
+20

(d)



(e)

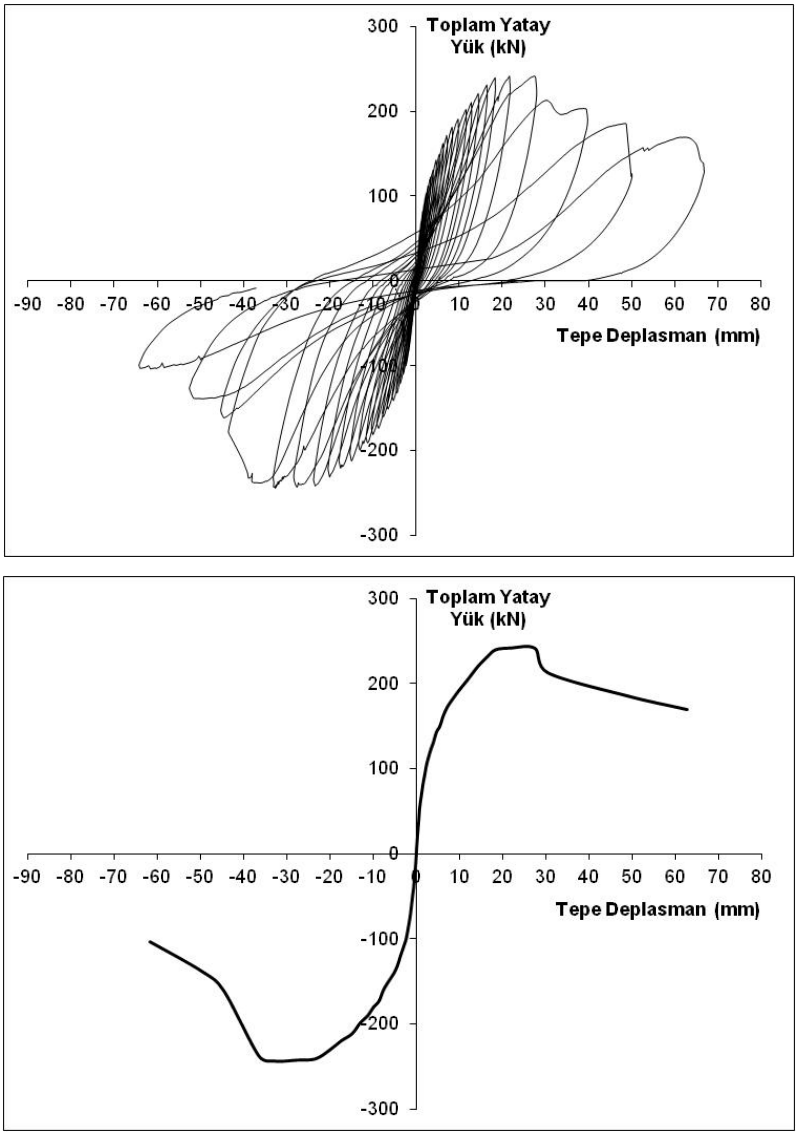
Şekil 4.120. Numunede meydana gelen hasarlar (a) ön yüzde (b) arka yüzde (c) kolonların dış yüzeyinde (d) kolonların iç yüzeyinde (e) kirişlerde

Yapılan bu deneyde pozitif çevrimlerde 62.61 mm, negatif çevrimlerde ise -61.55 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmış ve deney sonlandırılmıştır. Ulaşılan son deplasmanlardan sonra deney numunesinin görünümü Şekil 4.121' de verilmiştir.



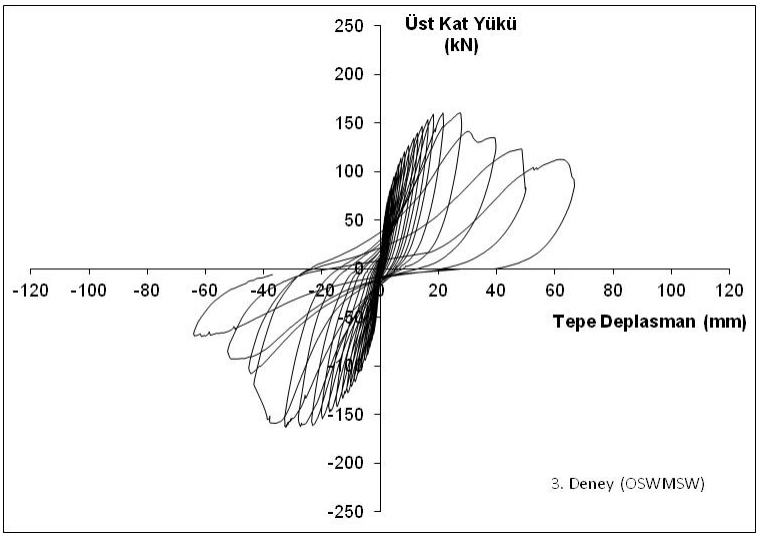
Şekil 4.121. 3. Deney elemanının deney sonu görünümü

Deney numunesinin maruz kaldığı maksimum yatay yük ileri-pozitif çevrimlerde 241.52 kN ve karşılık geldiği tepe deplasmanı 21.65 mm, geri-negatif çevrimlerde -244.21 kN ve karşılık geldiği tepe deplasmanı –32.57 mm'dir. Numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.122' de verilmiştir.

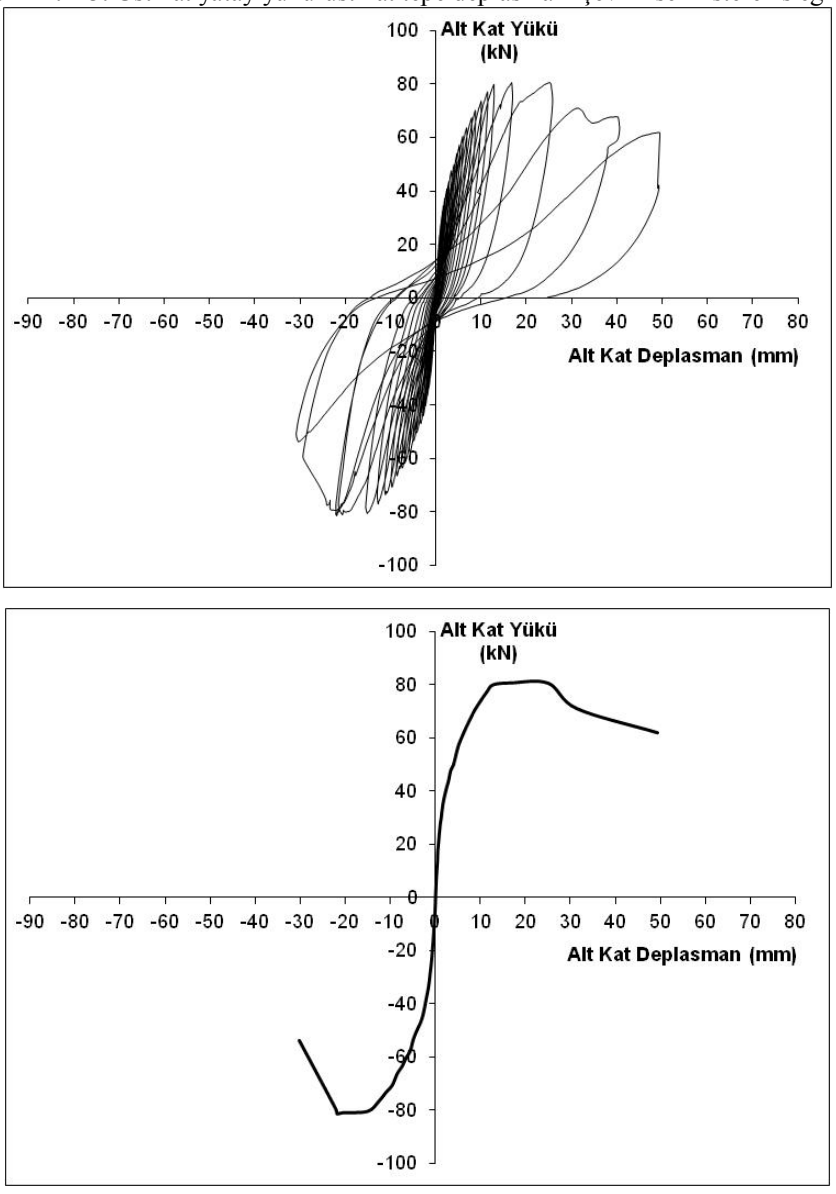


Şekil 4.122. 3. Deneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

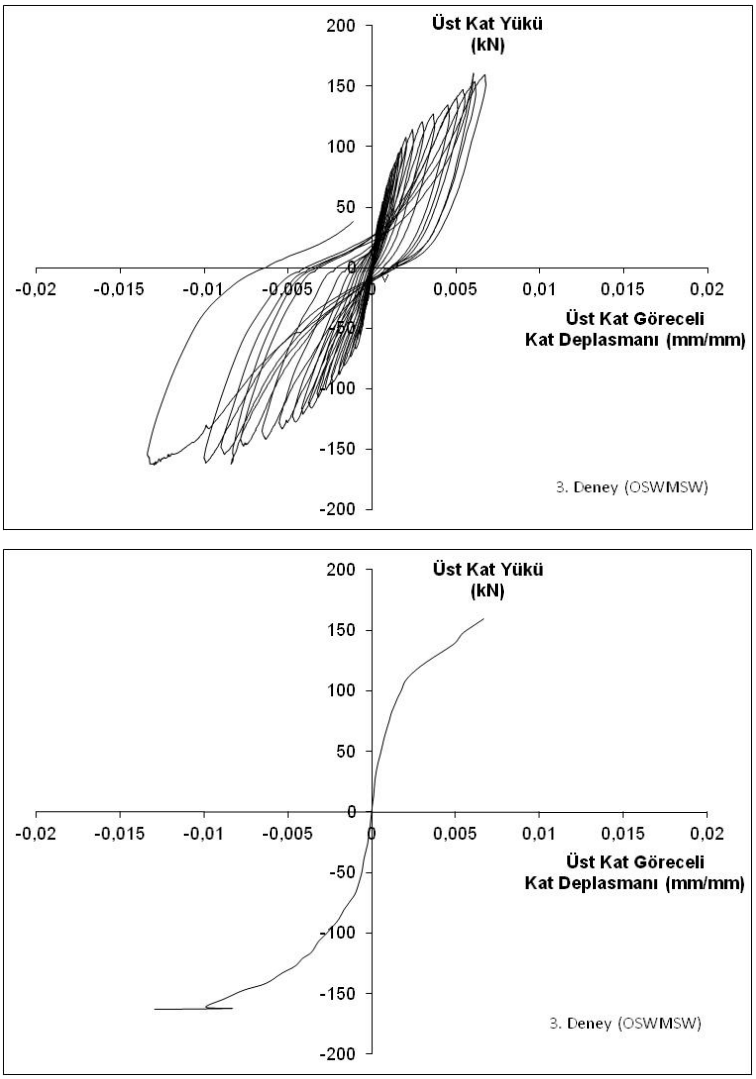
Üst kata uygulanan yüke karşılık üst kattan okunan deplasmanının çevrimsel histerezis eğrisi Şekil 4.123' de, alt kata uygulanan yüke karşılık, alt katta meydana gelen deplasmanın çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.124' de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.125' de üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi, alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi ise Şekil 4.126' da verilmiştir.



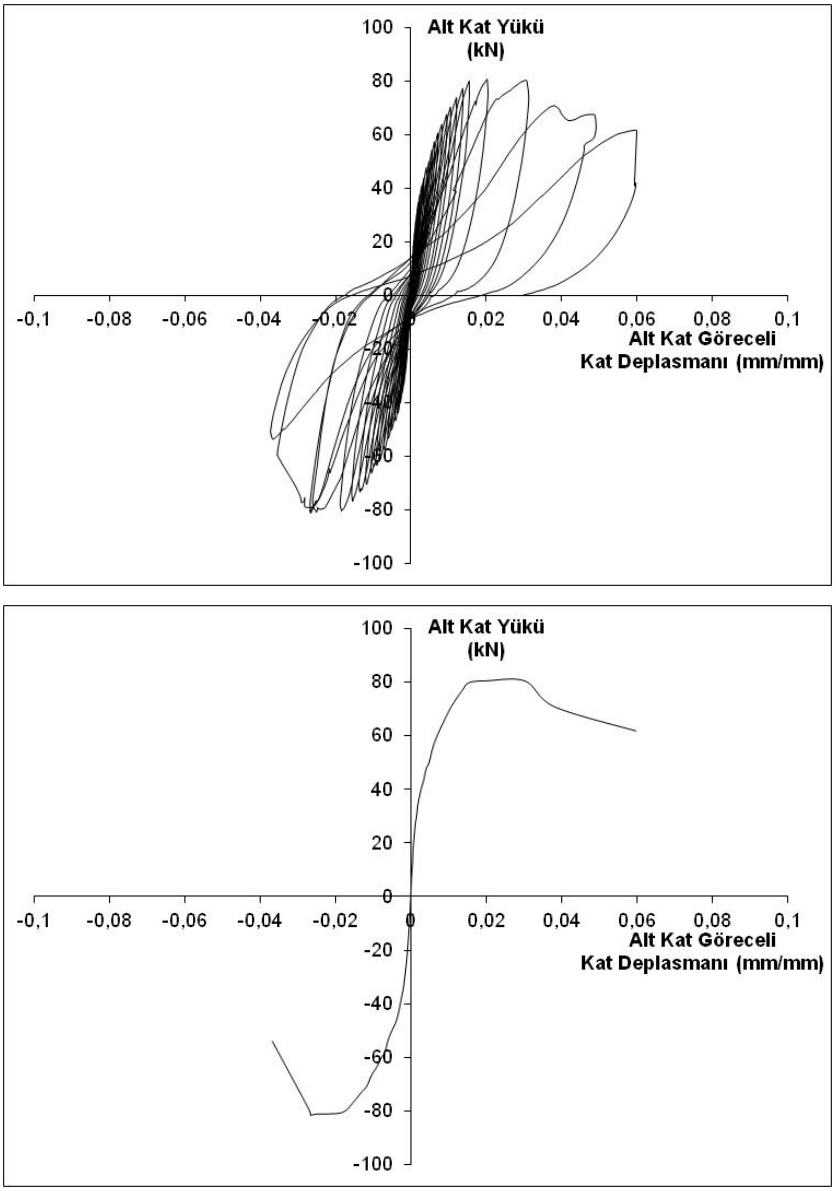
Şekil 4.123. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi



Şekil 4.124. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

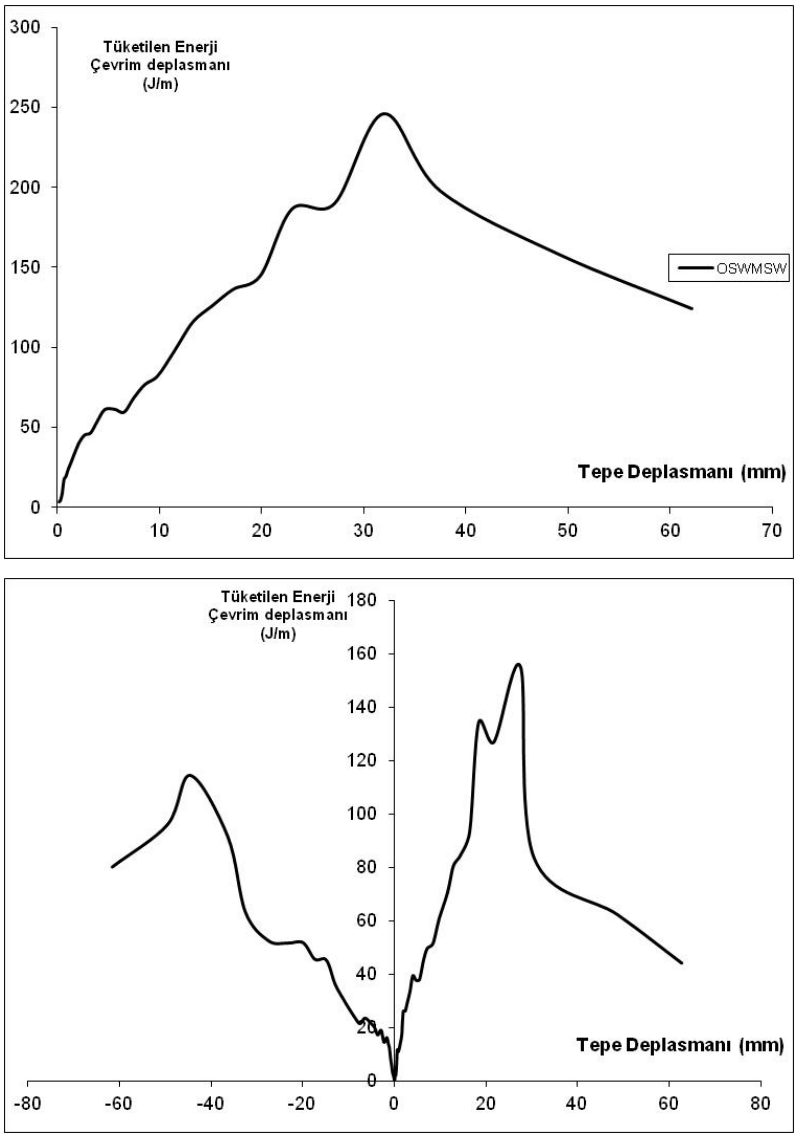


Şekil 4.125. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi



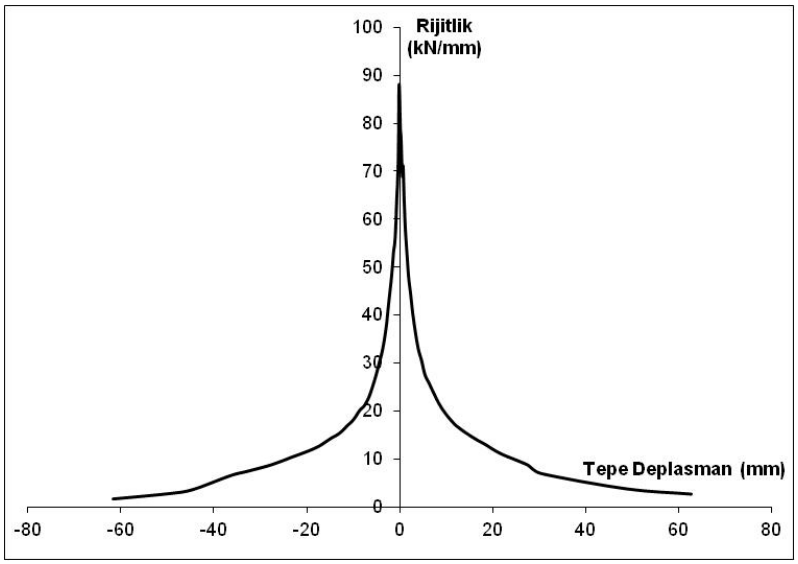
Şekil 4.126. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

Tüketilen enerjinin çevrim deplasmanına bölünmesi ile elde edilen değerlerin çevrim deplasmanına göre çizimi Şekil 4.127' de verilmiştir.



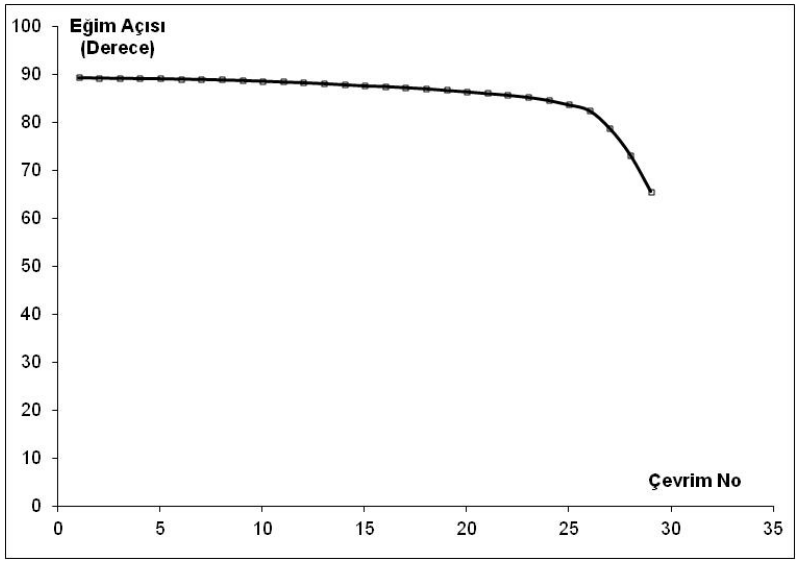
Şekil 4.127. Tüketilen enerji grafiği

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.128). İleri çevrimler için elde edilen değerler şeklin sağında, geri çevrimler için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



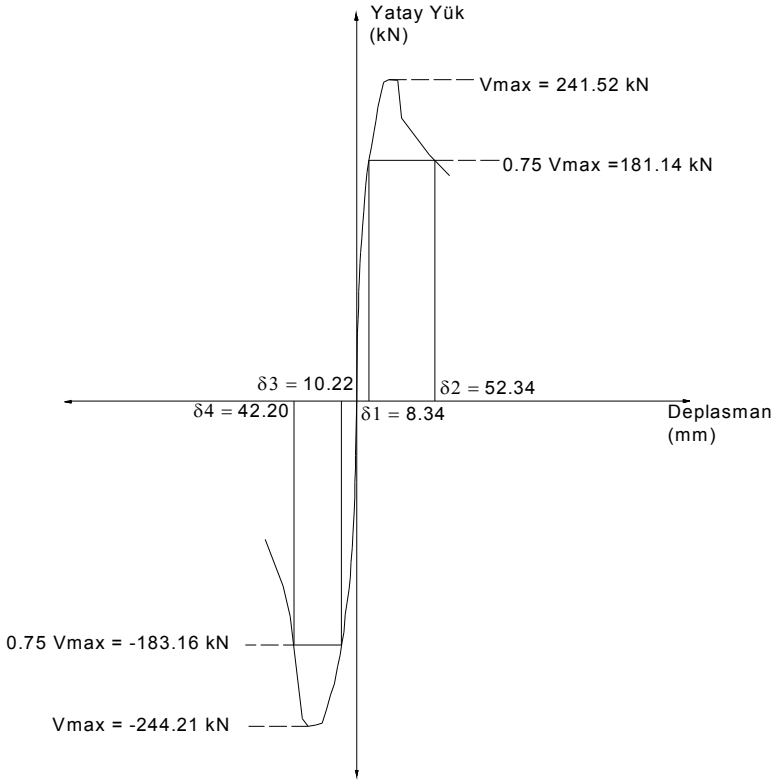
Şekil 4.128. Rijitlik grafiği

Şekil 4.129' da ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.129. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı grafiği

Şekil 4.130' da ise sistemin zarf eğrisinde sisteme uygulanan maksimum yükün %75'ine ulaşıldığı noktalardan yatay eksene dikmeler indirilmiş ve bu noktalardaki deplasman değerleri incelenmiştir. Bu deplasman değerleri arasında kalan mesafe bize süneklikle ilgili değerlendirmelerde bulunmamıza yardımcı olacaktır.



Şekil 4.130. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği

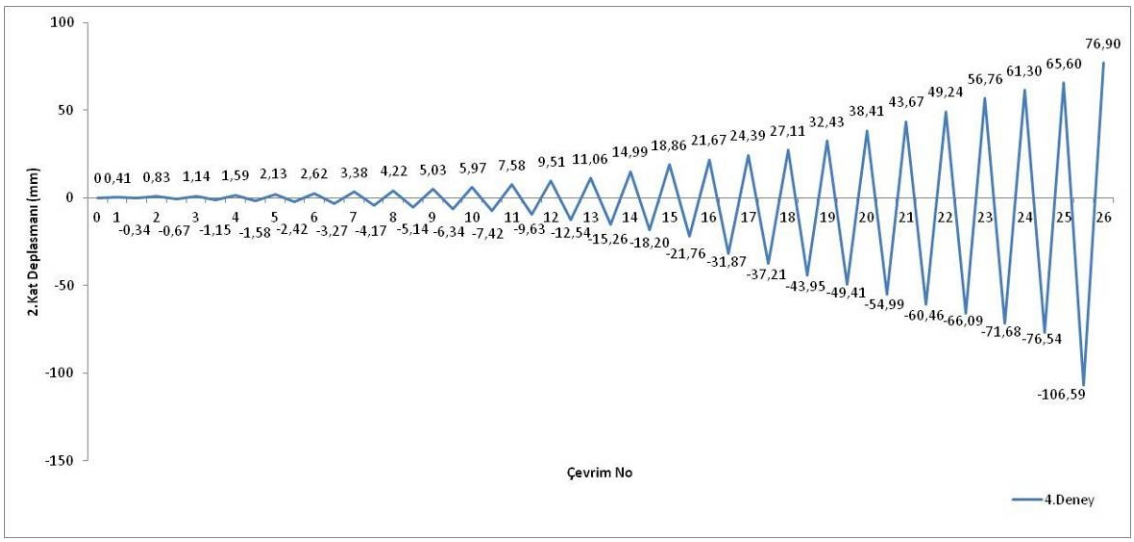
4.1.4. Deney elemanı-4 (OSW2P)

Son test edilen numune düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevedir. Bu numunede pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede bulunan pencere boşluklarının alt kısımlarının dayanıma etkisini incelemek amacıyla bu bölümlerde boşluklar bırakılmıştır. Dolayısıyla güçlendirme elemanları iki perde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu iki perde arasına herhangi bir bağ kiriş koyulmayarak daha önce test edilen numuneler arasında karşılaştırma yapmak için üretilmiştir. Betonarme çerçeve referans boş çerçeve ile aynı fiziksel özelliklere sahip olup donatı yerleşimi ve beton kalitesi aynıdır. Güçlendirme elemanları da daha önce test edilen güçlendirme elemanlarıyla aynı donatı düzeni ve beton sınıfına sahiptir. Bu deney elemanı da aynı yükleme düzeneğine konularak tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmişlerdir. Düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.131.' de verilmiştir.

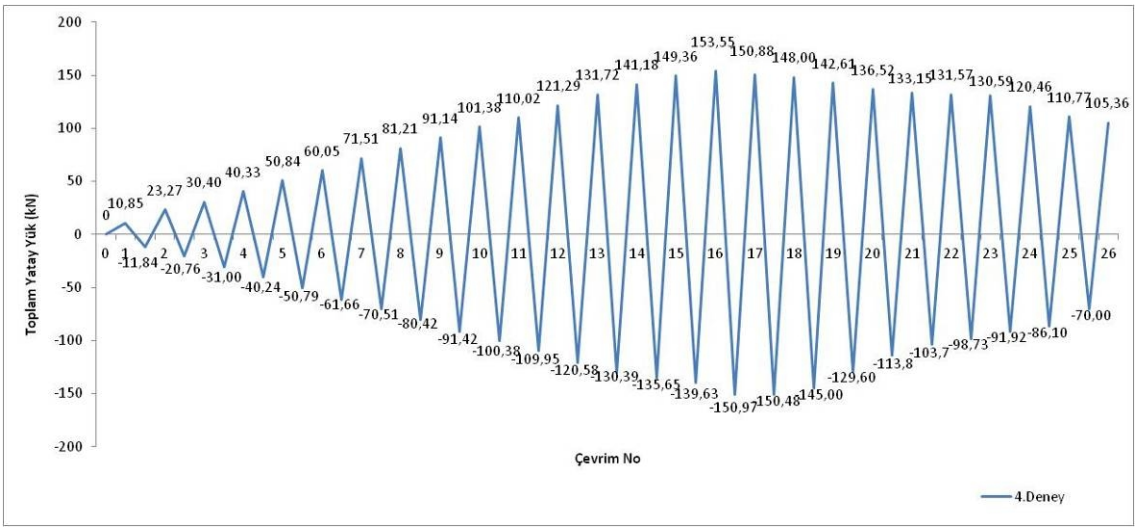


Şekil 4.131. OSW2P numunesinin deney öncesi görünümü

Düzlem dışı iki betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçeveye ait yük geçmişi Şekil 4.132' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.132. 4. Deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b)Tepe deplasmanına göre

Şekil 4.132' de de görüldüğü gibi yükleme geçmişi çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir. bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere yapılan deneylerde yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. ±10 kN olacak şekilde yükleme kontrolüyle başlayan deney ±10 kN yük artışlarıyla sistemin akma yüküne kadar devam ettirilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede ise ±5 mm deplasman artışları ile deney sonlanmıştır. 16. çevrimde yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney 26. çevrimde büyük hasarlar meydana geldiği için sonlandırılmıştır. Deney numunesi ileri pozitif çevrimlerde maksimum 153.55 kN yatay yüke ulaşırken geri negatif çevrimlerde maksimum -150.97 kN yatay yüke dayanmıştır.

Deney numunesine eksenel yük olarak kolonların taşıma kapasitesinin %20'si kadar eksenel yük verilmiştir. Her bir kolon için 43 kN, toplamda ise 86 kN eksenel yük olarak verilmiştir.

Deney sırasında kayıt edilen ve numune üzerinde işaretlenen çatlakların çevrimlere göre dağılımı Çizelge 4.4' de özetlenmiştir. Çatlakların işaretlenmesinde pozitif çevrimlerde siyah renk ve negatif çevrimlerde kırmızı renk kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. Deney sırasında oluşan çatlakların çevrimlere göre dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yükte Ölçülen Tepe Deplasmanı (mm)	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numaraları
+1	0.41	10.85	
-1	-0.34	-11.84	
+2	0.83	23.27	
-2	-0.67	-20.76	
+3	1.14	30.40	
-3	-1.15	-31.00	-1 (ilk çatlak oluştu)
+4	1.59	40.33	+1,+2
-4	-1.58	-40.24	-2,-3,-4
+5	2.13	50.84	+3,+4,+5
-5	-2.41	-50.79	-5,-6,-7,-8,-9,-1’
+6	2.62	60.05	+1’,+2’
-6	-3.27	-61.66	-10,-11,-12,-13,-14,-15,-2’,-4’,-7’,-8’
+7	3.38	71.51	+6,+7
-7	-4.17	-70.51	-16,-17,-18,-19
+8	4.22	81.21	+8,+9,+10,+11,+12,+4’
-8	-5.14	-80.42	-20,-21,-22,-23,-24,-25,-7’,-18’
+9	5.03	91.14	+13,+14,+15,+16,+17,+1’,+7’
-9	-6.34	-91.42	-26,-27,-28,-29,-30,-31,-32,-33,-34
+10	5.97	101.38	+18,+19,+20,+21,+22,+23,+24,+25,+5’
-10	-7.42	-100.38	-35,-36,-37,-38,-39,-40,-41,-42,-43,-44,-45,-46,-47,-48,-49,-50,-51,-52,-3’,-6’,-12’,-21’
+11	7.58	110.02	+26,+27,+28,+29,+30,+31,+32,+33,+34,+35,+36,+37,+38,+39,+40,+41,+24’
-11	-9.63	-109.95	-53,-54,-55,-56,-57,-58,-59,-60,-61,-62,-63,-64,-65,-66,-67,-68,-69,-70,-71,-72,-73,-74,-75,-76,-77,-78,-79,-80,-81,-82,-83,-1’,-5’,-8’,-30’,-39’,-42’,-43’,-53’,-61’,-62’,-69’
+12	9.51	121.29	+42,+43,+44,+45,+46,+47,+48,+49,+50,+51,+52,+53,+54,+55,+56,+57,+58,+59,+60,+61,+62,+63,+64,+65,+66,+67,+68,+69,+3’,+20’,+30’,+37’,+41’
-12	-12.54	-120.59	-84,-85,-86,-87,-88,-89,-90,-91,-92,-93,-94,-95,-96,-97,-98,-99,-100,-101,-102,-103,-104,-105,-106,-107,-22’,-70’,-77’,-78’,-44’
+13	11.06	131.717	+70,+71,+72,+73,+74,+75,+76,+77,+78,+79,+80,+81,+82,+83,+84,+85,+86,+87,+88,+89,+90,+91,+92,+2’’,+11’,+14’,+67’,+69’
-13	-15.26	-130.39	-108,-109,-110,-111,-112,-113,-114,-115,-116,-23’,-44’’,-87’
+14	14.99	141.18	+93,+94,+95,+96,+97,+98,+99,+100,+62’
-14	-18.20	-135.651	-117,-118,-119,-120,-121,-122,-123,-124,-125,-126,-127,-128,-129
+15	18.86	149.36	+101,+102,+103,+104,+105,+106,+107,+108,+109,+110,+111,+112,+113,+114,+115,+116,+117,+32’,+39’,+92’
-15	-21.76	-139.63	-130,-131,-132,-133,-134,-135,-136,-137,-138,-139,-140,-141,-142,-143,-144,-145,-146,-147,-59’,-44’’’,-122’,-72’,-87’’,-46’,-29’
+16	21.67	153.55	+118,+119,+120,+121,+122,+123,+124,+125,+126,+127,+128,+129,+130,+131,+18’,+35’,+28’,+20’’,+16’,+103’,+106’,+52’,+83’
-16	-31.87	-150.97	-148,-149,-150,-151,-152,-153,-154,-155,-156,-157,-158,-159,-160,-161,-162,-163,-164,-165,-166,-167,49’,84’,102’,142’,44’’’,79’,74’,96’,25’
+17	24.39	150.88	
-17	-37.21	-150.48	-168,-169,-170,-171,-172,-173,-174,-175,-176,-177,-178,-179,-180,-181,-182,-183,-184,-185,-186,-187,-188,-189,-190,-137’,-107’,-42’’
+18	27.11	148.00	+132,+133,+134,+135,+136,+137,+137,+139,+140,+70’
-18	-43.95	-145.00	
+19	32.43	142.61	
-19	-49.41	-129.60	
+20	38.41	136.51	
-20	-54.99	-113.79	
+21	43.67	133.15	
-21	-60.46	-103.74	
+22	49.24	131.57	
-22	-66.08	-98.73	
+23	56.76	130.59	
-23	-71.68	-91.92	
+24	61.30	120.46	
-24	-76.54	-86.10	
+25	65.60	110.77	
-25	-106.59	-70.00	
+26	76.90	105.36	

Deneyde ilk 2 çevrimde herhangi bir belirgin çatlak gözlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir. Deneyde -1 numaralı ilk çatlak negatif 3. çevrimde S101 kolonunda, güçlendirme perdesi ile temel birleşim bölgesinde oluşmuş (Şekil 4.133) ve -31.00 kN toplam yük ve karşılık gelen -1.15 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.133. Negatif 3. çevrimde oluşan ilk çatlak

Pozitif 4. çevrimde +1,+2 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.134) ve 40.33 kN toplam yük ve karşılık gelen 1.59 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.134. Pozitif 4. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 4. çevrimde -2,-3,-4 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.135) ve -40.24 kN toplam yük ve karşılık gelen -1.58 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.135. Negatif 4. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 5. çevrimde +3,+4,+5 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.136) ve 50.84 kN toplam yük ve karşılık gelen 2.13 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.136. Pozitif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 5. çevrimde -5,-6,-7,-8,-9,-1' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.137) ve -50.79 kN toplam yük ve karşılık gelen -2.41 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.137. Negatif 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 6. çevrimde +1',+2' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.138) ve 60.05 kN toplam yük ve karşılık gelen 2.62 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.138. Pozitif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 6. çevrimde -10,-11,-12,-13,-14,-15,-2',-4',-7',-8' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.139) ve -61.66 kN toplam yük ve karşılık gelen -3.27 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.139. Negatif 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 7. çevrimde +6,+7 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.140) ve 71.51 kN toplam yük ve karşılık gelen 3.38 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.140. Pozitif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 7. çevrimde -16,-17,-18,-19 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.141) ve -70.51 kN toplam yük ve karşılık gelen -4.17 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.141. Negatif 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 8. çevrimde +8,+9,+10,+11,+12,+4’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.142) ve 81.21 kN toplam yük ve karşılık gelen 4.22 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.142. Pozitif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 8. çevrimde -20,-21,-22,-23,-24,-25,-7’,-18’ numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.143) ve -80.42 kN toplam yük ve karşılık gelen -5.14 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.143. Negatif 8. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 9. çevrimde +13,+14,+15,+16,+17,+1',+7' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.144) ve 91.14 kN toplam yük ve karşılık gelen 5.03 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.144. Pozitif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 9. çevrimde -26,-27,-28,-29,-30,-31,-32,-33,-34 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.145) ve -91.42 kN toplam yük ve karşılık gelen -6.34 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.145. Negatif 9. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 10. çevrimde +18,+19,+20,+21,+22,+23,+24,+25,+5' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.146) ve 101.38 kN toplam yük ve karşılık gelen 5.97 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.146. Pozitif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 10. çevrimde -35,-36,-37,-38,-39,-40,-41,-42,-43,-44,-45,-46,-47,-48, -49,-50,-51,-52,-3',-6',-12',-21' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.147) ve -100.38 kN toplam yük ve karşılık gelen -7.42 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.147. Negatif 10. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 11. çevrimde +26,+27,+28,+29,+30,+31,+32,+33,+34,+35, +36,+37,+38,+39,+40,+41,+24' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.148) ve 110.02 kN toplam yük ve karşılık gelen 7.58 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.148. Pozitif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

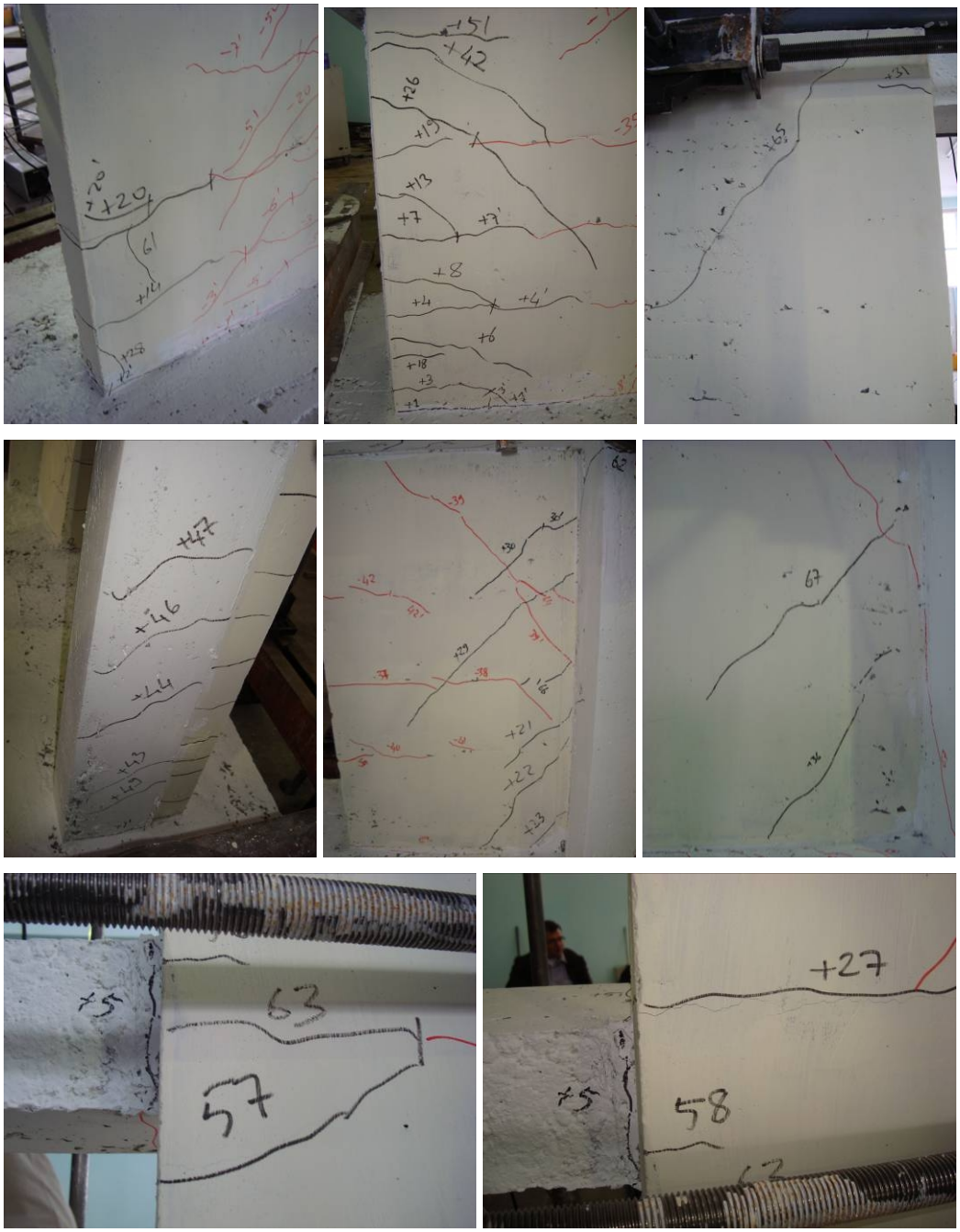
Negatif 11. çevrimde -53,-54,-55,-56,-57,-58,-59,-60,-61,-62,-63,-64,-65,-66,-67,-68,-69,-70,-71,-72,-73,-74,-75,-76,-77,-78,-79,-80,-81,-82,-83,-1',-5',-8',-30',-39',-42',-43',-53',-61',-62',-69' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.149) ve -109.95 kN toplam yük ve karşılık gelen 9.63 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.





Şekil 4.149. Negatif 11. çevrimde oluşan çatlaklar

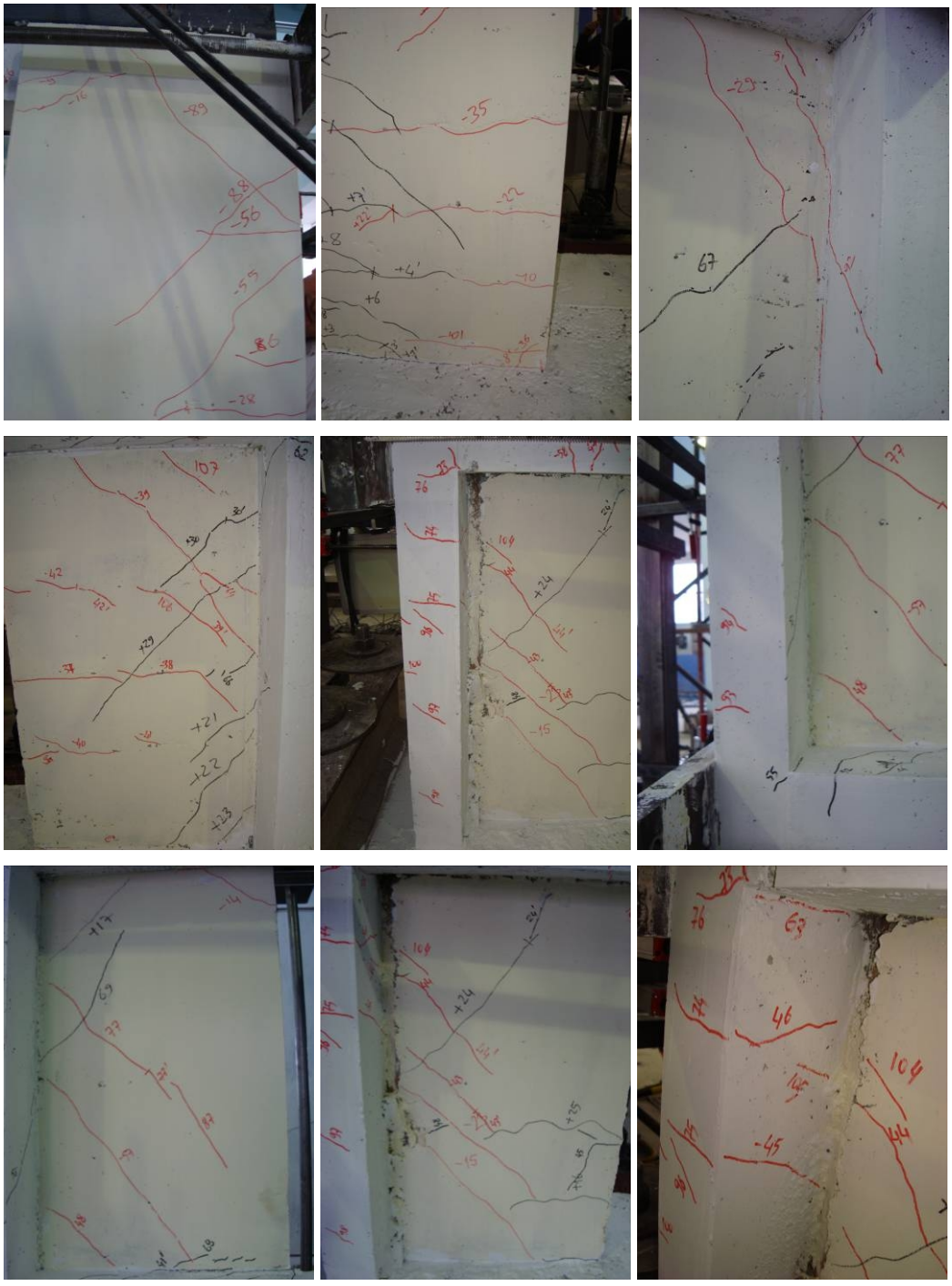
Pozitif 12. çevrimde +42,+43,+44,+45,+46,+47,+48,+49,+50,+51,+52,+53, +54,+55,+56,+57,+58,+59,+60,+61,+62,+63,+64,+65,+66,+67,+68,+69,+3',+20',+30', +37',+41' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.150) ve 121.29 kN toplam yük ve karşılık gelen 9.51 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

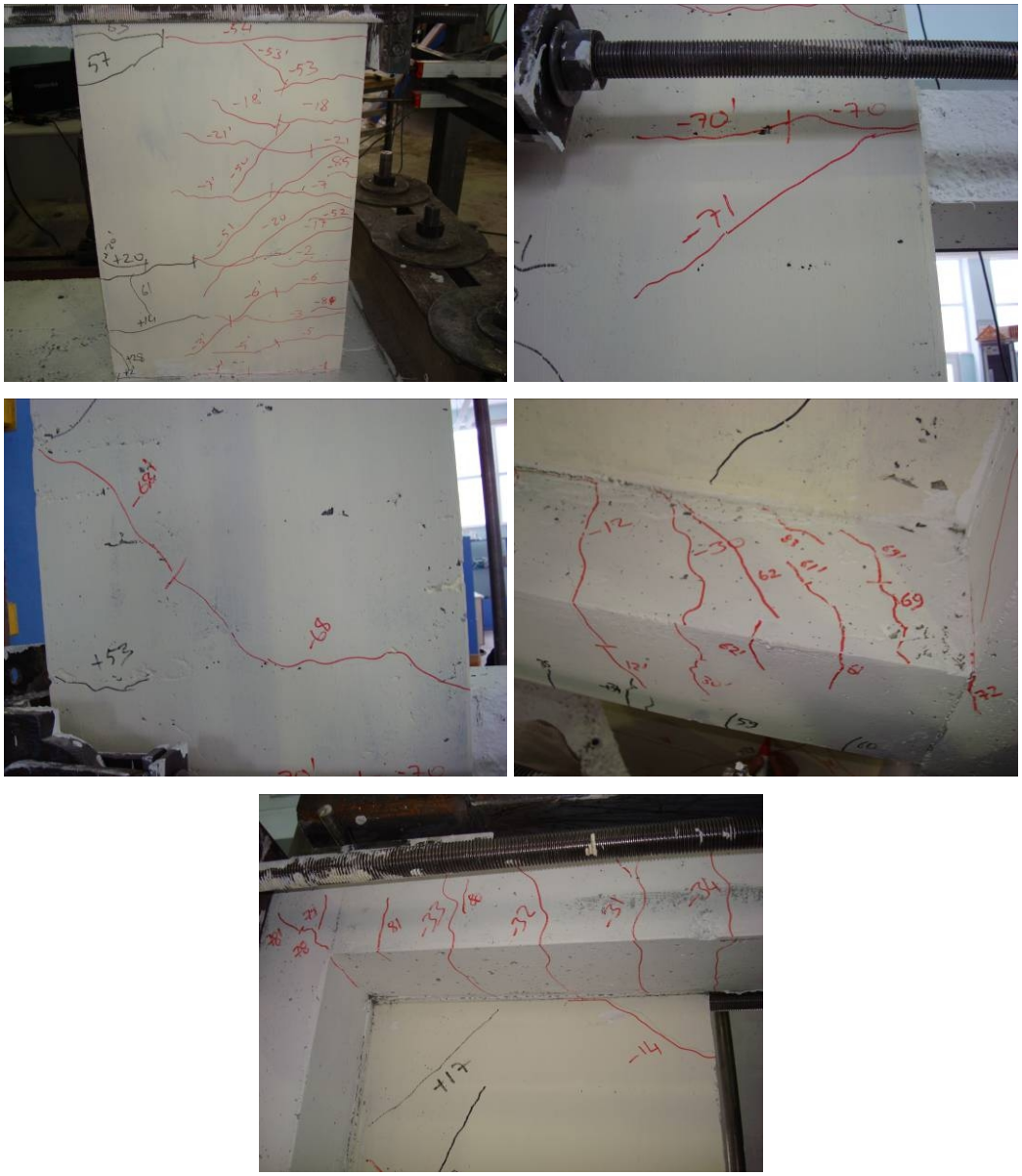




Şekil 4.150. Pozitif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 12. çevrimde -84,-85,-86,-87,-88,-89,-90,-91,-92,-93,-94,-95,-96,-97, -98,-99,-100,-101,-102,-103,-104,-105,-106,-107,-22',-70',-77',-78',-44' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.151) ve -120.59 kN toplam yük ve karşılık gelen -12.54 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

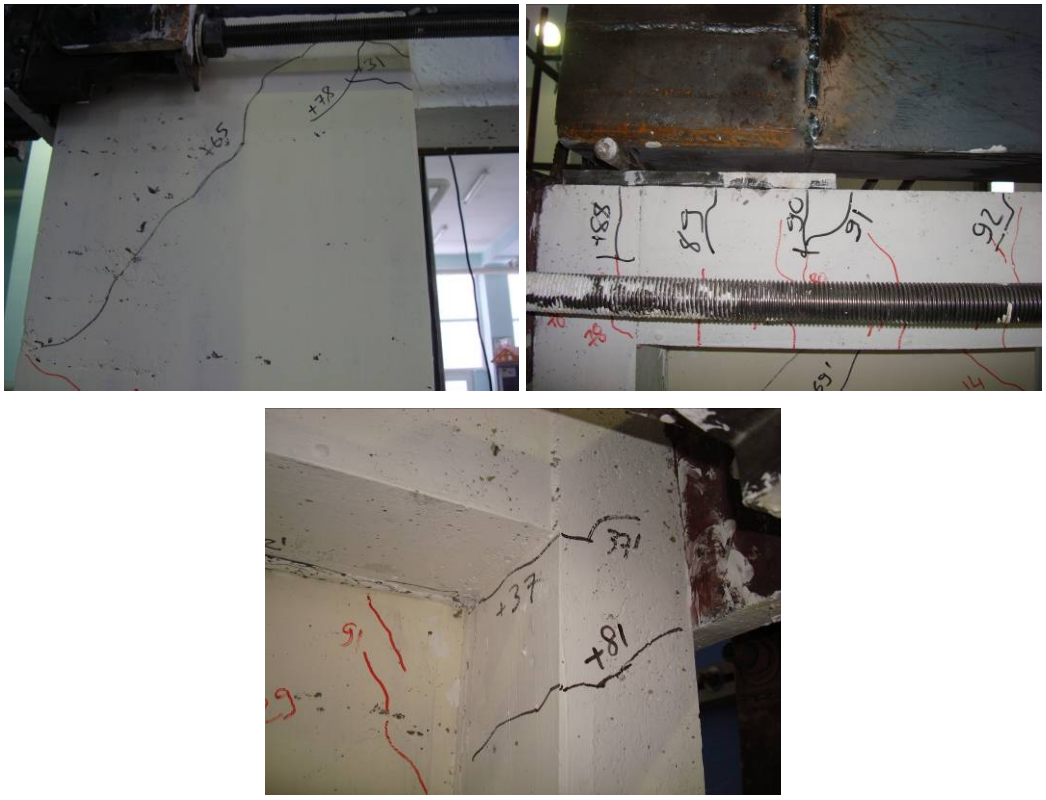




Şekil 4.151. Negatif 12. çevrimde oluşan çatlaklar

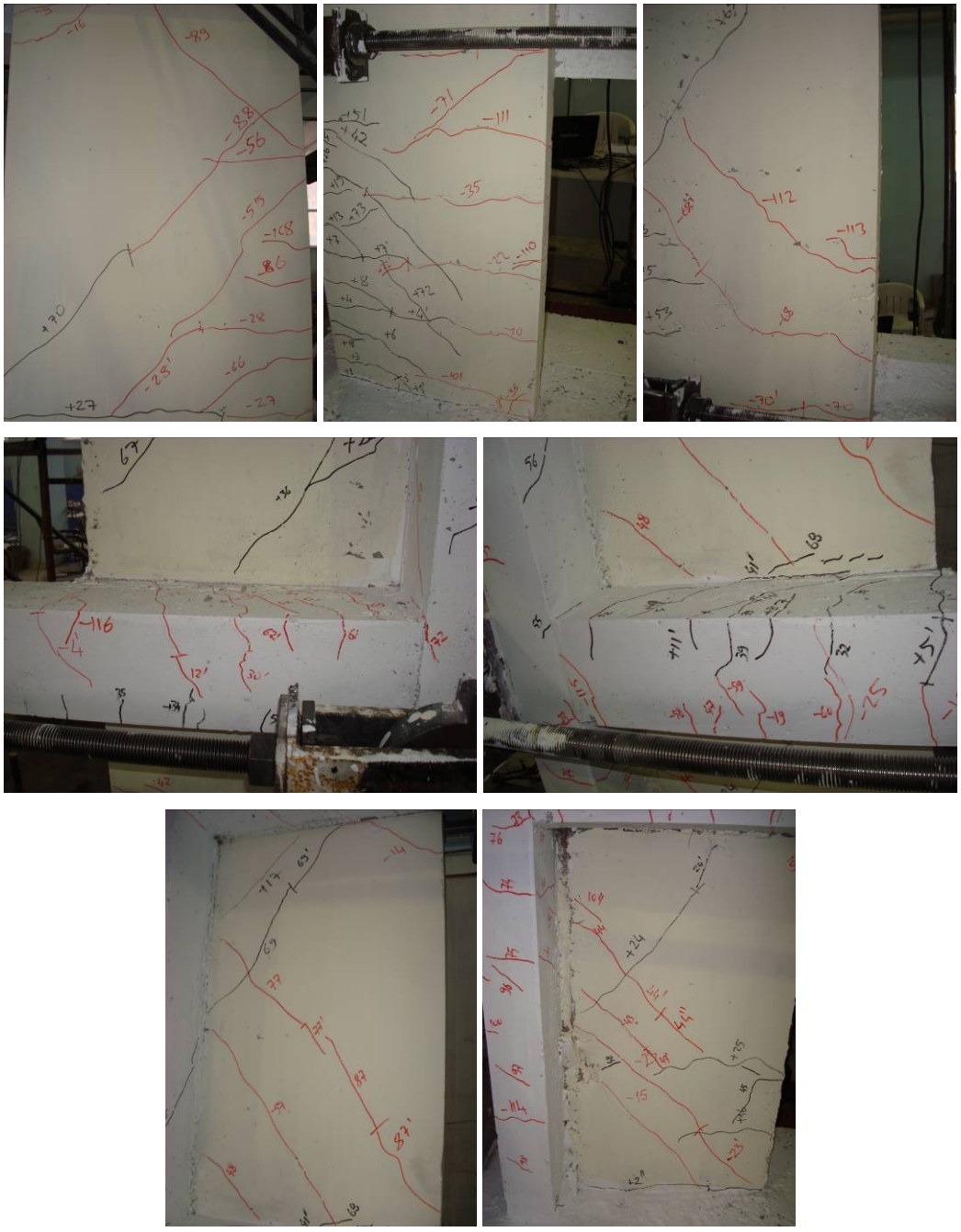
Pozitif 13. çevrimde +70,+71,+72,+73,+74,+75,+76,+77,+78,+79,+80,+81, +82,+83,+84,+85,+86,+87,+88,+89,+90,+91,+92,+2'',+11',+14',+67',+69' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.152) ve 131.717 kN toplam yük ve karşılık gelen 11.06 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.


+27
58
63
+70
-28
-66
-27
-49
58



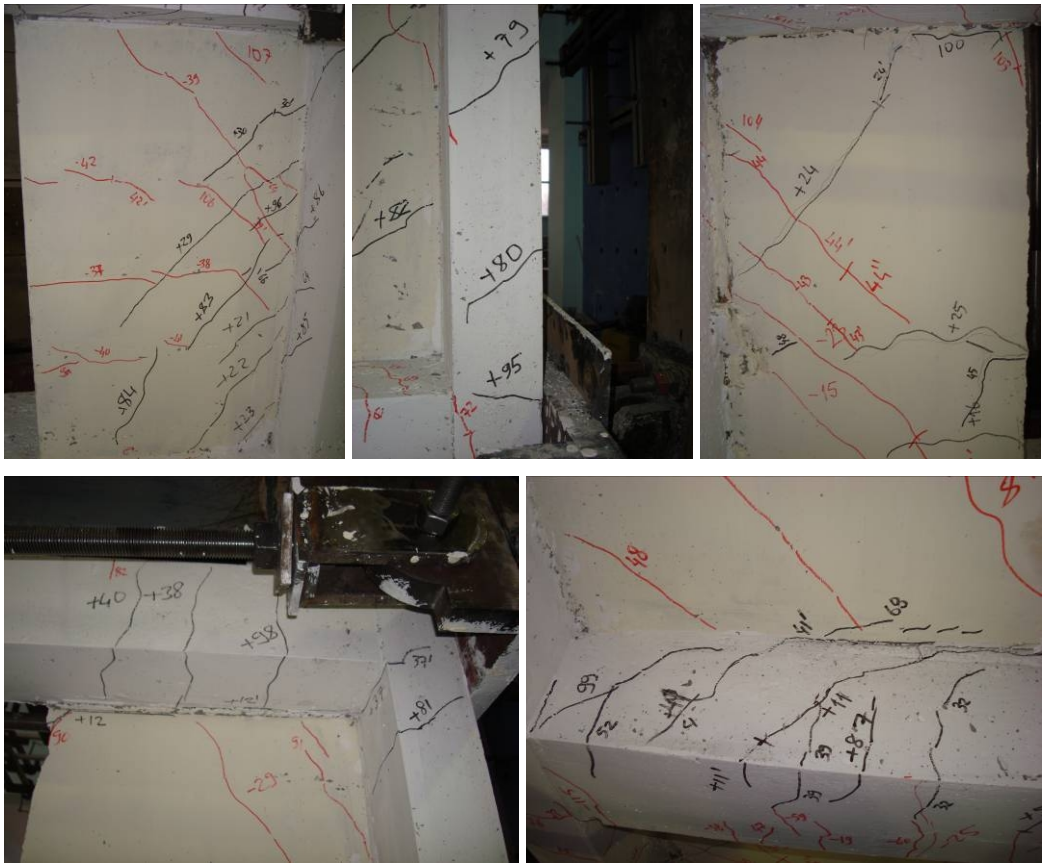
Şekil 4.152. Pozitif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 13. çevrimde -108,-109,-110,-111,-112,-113,-114,-115,-116,-23',-44'', -87' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.153) ve -130.39 kN toplam yük ve karşılık gelen -15.26 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.153. Negatif 13. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 14. çevrimde +93,+94,+95,+96,+97,+98,+99,+100,+62' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.154) ve 141.18 kN toplam yük ve karşılık gelen 14.99 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



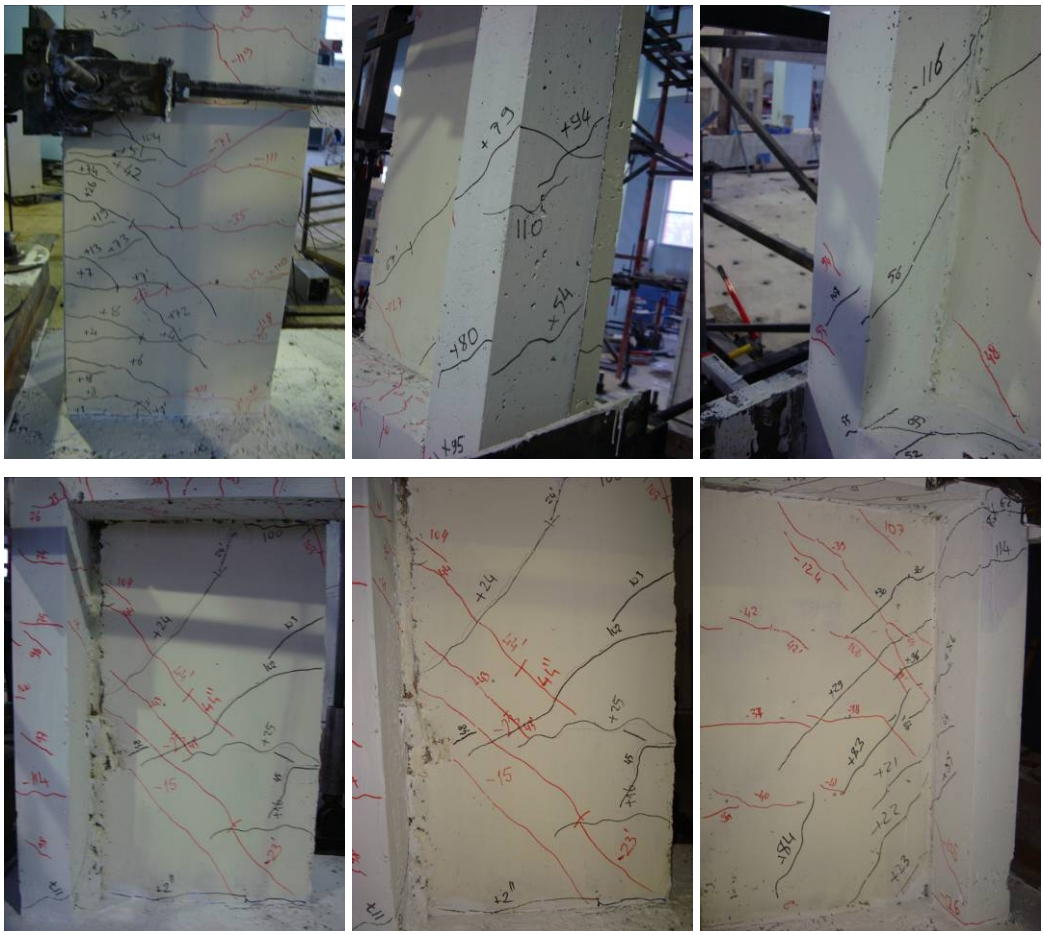
Şekil 4.154. Pozitif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 14. çevrimde -117,-118,-119,-120,-121,-122,-123,-124,-125,-126,-127, -128,-129 numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.155) ve -135.65 kN toplam yük ve karşılık gelen -18.20 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.155. Negatif 14. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 15. çevrimde +101,+102,+103,+104,+105,+106,+107,+108,+109,+110, +111,+112,+113,+114,+115,+116,+117,+32',+39',+92' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.156) ve 149.36 kN toplam yük ve karşılık gelen 18.86 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



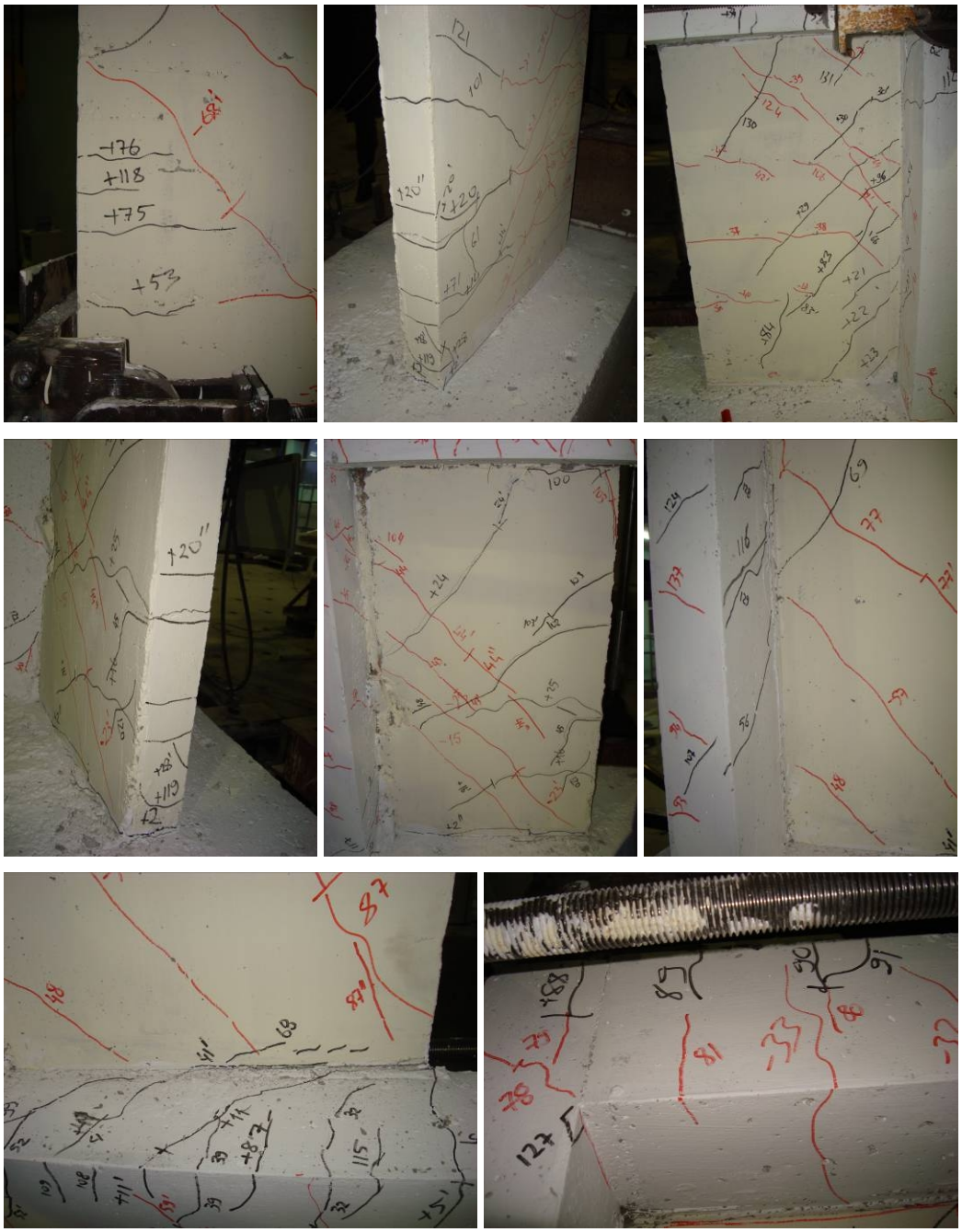
Şekil 4.156. Pozitif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 15. çevrimde -130,-131,-132,-133,-134,-135,-136,-137,-138,-139,-140, -141,-142,-143,-144,-145,-146,-147,-59',-44''',-122',-72',-87'',-46',-29' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.157) ve -139.63 kN toplam yük ve karşılık gelen -21.76 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.157. Negatif 15. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 16. çevrimde +118,+119,+120,+121,+122,+123,+124,+125,+126, +127,+128,+129,+130,+131,+18',+35',+28',+20'',+16',+103',+106',+52',+83' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.158) ve 153.55 kN toplam yük ve karşılık gelen 21.67 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.158. Pozitif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Negatif 16. çevrimde -148,-149,-150,-151,-152,-153,-154,-155,-156,-157,-158, -159,-160,-161,-162,-163,-164,-165,-166,-167,49',84',102',142',44''',79',74',96',25'

numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.159) ve -150.97 kN toplam yük ve karşılık gelen -31.87 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

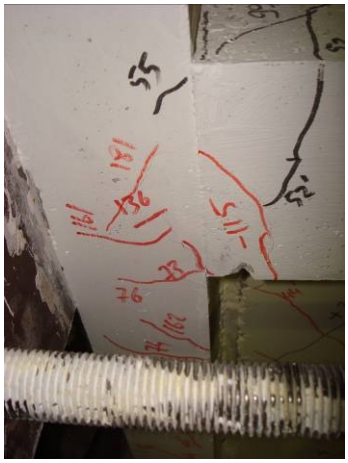
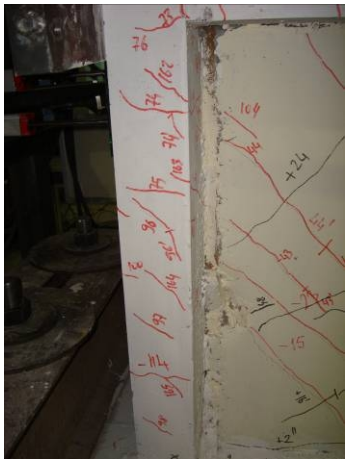


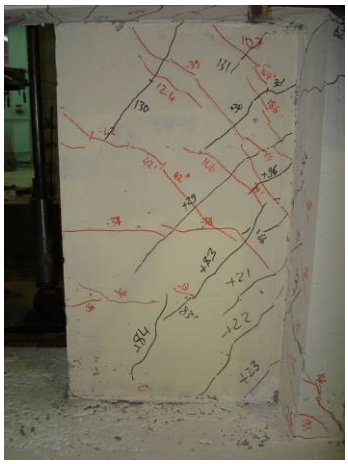
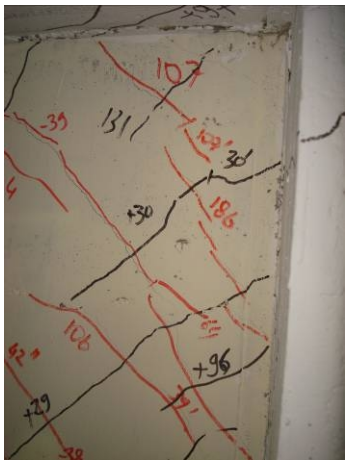


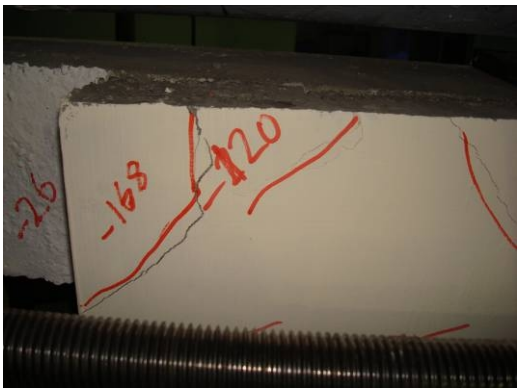
Şekil 4.159. Negatif 16. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 17. çevrimde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiş, 150.88 kN toplam yük ve 24.39 mm tepe deplasman değerine ulaşılmıştır.. Negatif 17. çevrimde -168,-169,-170,-171,-172,-173,-174,-175,-176,-177,-178,-179,-180,-181,-182,-183,-184, -185,-186,-187,-188,-189,-190,-137',-107',-42'' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.160) ve -150.48 kN toplam yük ve karşılık gelen -37.21 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.

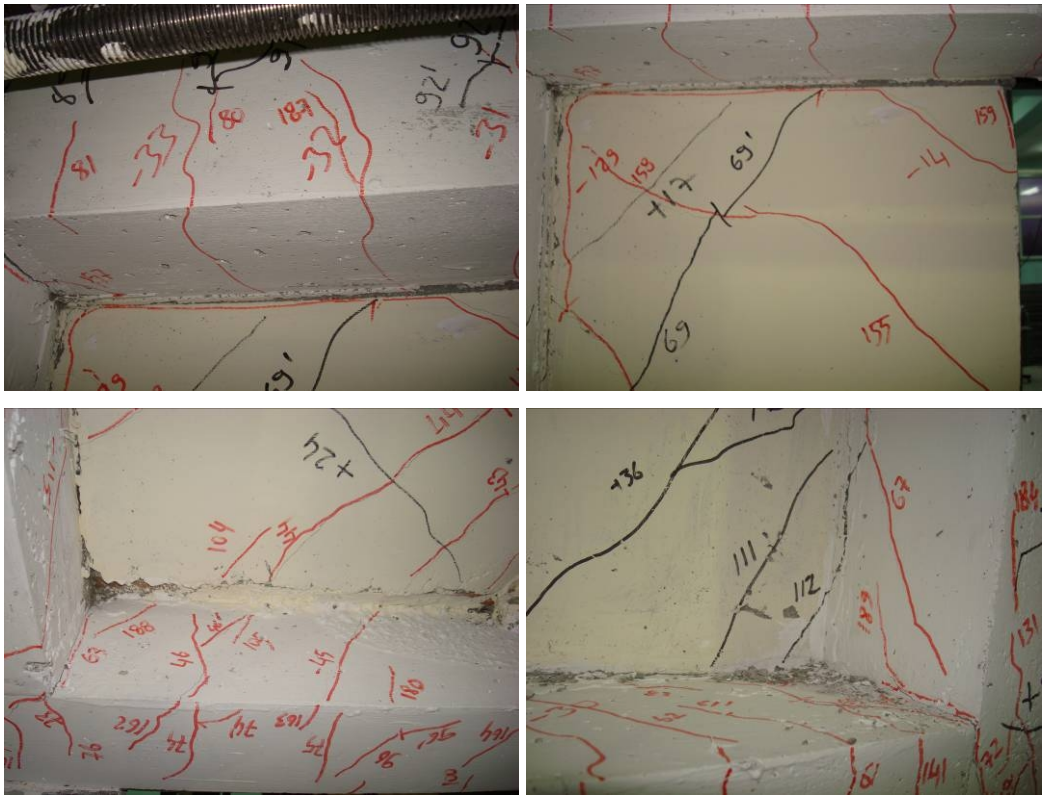






Şekil 4.160. Negatif 17. çevrimde oluşan çatlaklar

Pozitif 18. çevrimde +132,+133,+134,+135,+136,+137,+137,+139,+140,+70' numaralı çatlaklar oluşmuş (Şekil 4.161) ve 148.00 kN toplam yük ve karşılık gelen 27.11 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır.



Şekil 4.161. Pozitif 18. çevrimde oluşan çatlaklar

Bu çevrimden sonra yük artışı meydana gelmemiş fakat deplasman artışı devam etmiştir. Pozitif 18. çevrimden sonra çatlak numaralandırılması kaydedilmemiştir. Daha

önce oluşan çatlakların aralıklarının açıldığı ve bazı bölgelerdeki betonların döküldüğü görülmüştür. Çatlaklar genellikle perde ile temelin birleştiği yerlerde ve temelin kirişlere ankrajlandığı yerlerde yoğunlaşmıştır. Daha sonraki çevrimlerde ise dökülen beton tabakaları artarak devam etmiştir. Sistem stabilitesi kaybolana kadar deplasman bazlı yüklemeye devam edilmiştir. Yapılan bu deneyde 18. çevrimden sonra genişleyen ve oluşan hasarlar Şekil 4.162' de verilmiştir.

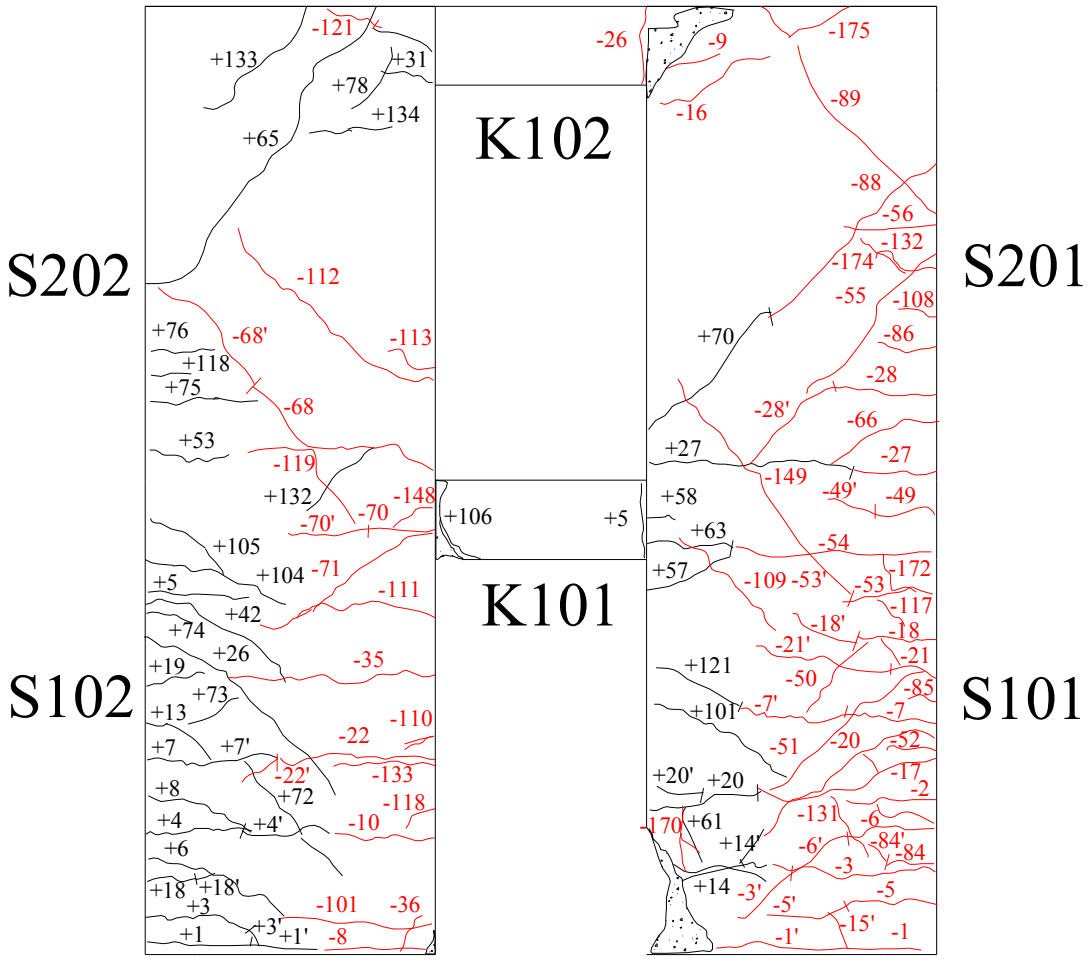




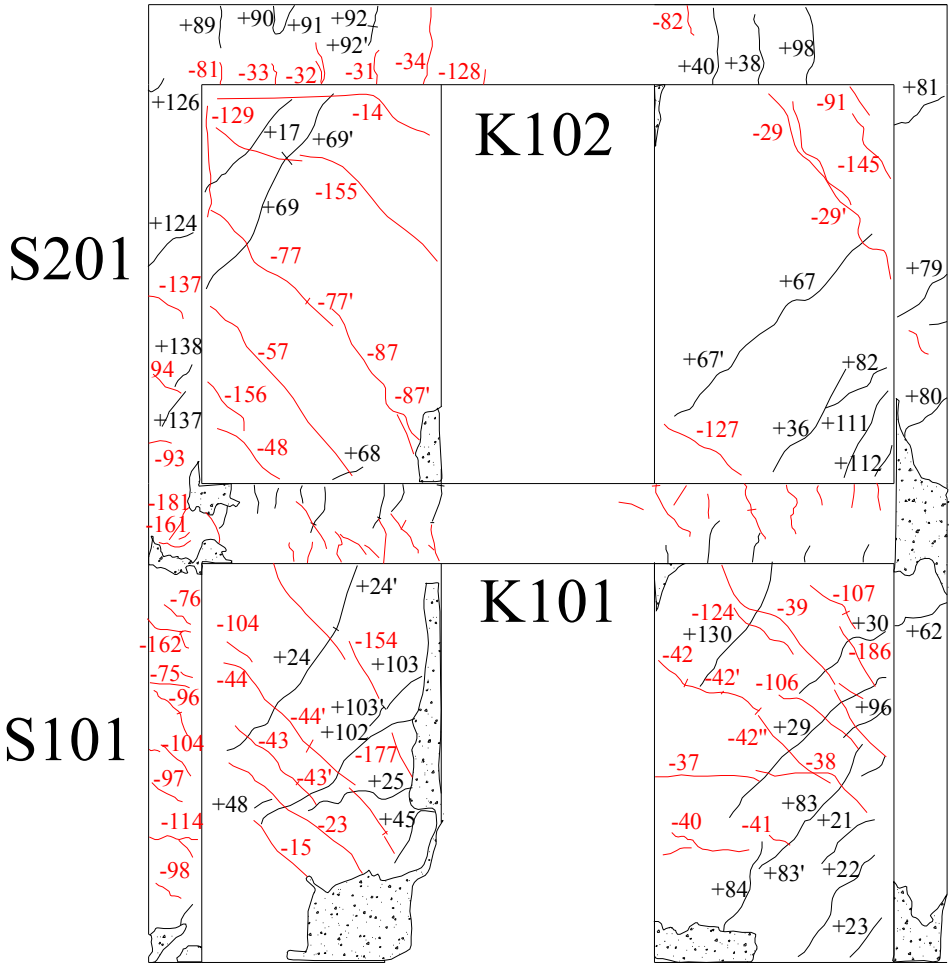
Şekil 4.162. 18. ile 26. çevrim arasında oluşan hasarlar

OSW2P numunesinde ilk çatlaklar temel ile güçlendirme perdelerinin birleştiği yerlerde meydana gelmiştir. Deney ilerledikçe bu çatlakların aralıklarının açıldığı gözlemlenmiş ve deney sonuna gelindiğinde bu bölgelerde beton tabakası dökülerek büyük hasarlar meydana gelmiştir. Hasarların büyük bir bölümü güçlendirme perdesi ile kirişlerin kesişim noktalarında ve temel ile güçlendirme perdesinin birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir. Bu deney elemanında süneklik RS ve CR numunelerine göre azalmış, OSWMSW numunesine göre artmıştır.

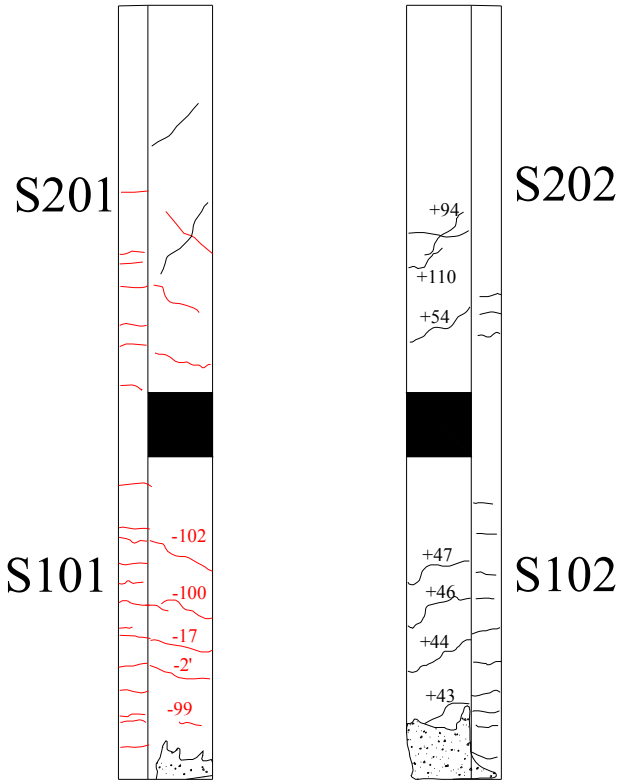
Yapılan bu deneyde de deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar AutoCAD programı yardımıyla çizilmiş, numunenin ön ve arka yüzleri, kolon ve kirişlerdeki hasarlar ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 4.163).


S202
S201
S102
S101
K102
K101
-121
+133
+31
+78
+134
+65
-112
+76
-68'
-113
+118
+75
-68
+53
-119
+132
-148
-70'
-70
+105
+104
-71
+5
-111
+42
+74
+26
-35
+19
+73
+13
-110
-22
+7
+7'
-22'
-133
+8
+72
-118
+4
+4'
-10
+6
+18
+18'
+3
-101
-36
+3'
+1
+1'
-8
-26
-9
-175
-16
-89
-88
-56
-132
-174
-55
-108
+70
-86
-28
-28'
-66
+27
-27
-149
+58
-49'
-49
+106
+5
+63
-54
+57
-109
-53'
-53
-172
-117
-18'
-18
-21'
-21
+121
-50
-85
+101
-7'
-7
-51
-20
-52
+20'
+20
-17
-2
-131
-6
+170
+61
+14'
-6'
-84'
-84
-3
+14
-3'
-5'
-5
-15'
-1
-1'

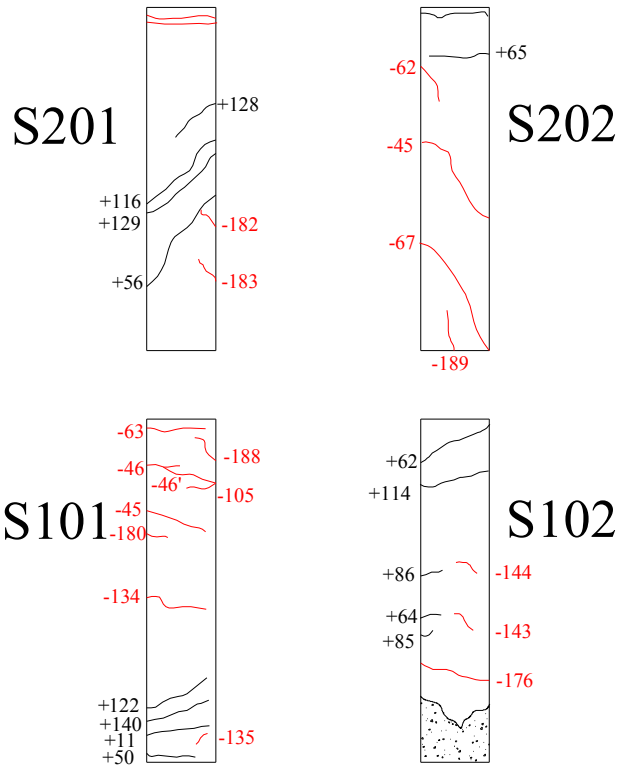
(a)


S201
S202
S101
S102
K102
K101
+89
+90
+91
+92
+92'
-81
-33
-32
-31
-34
-128
-82
+40
+38
+98
+81
+126
-129
-14
+17
+69'
-91
-29
-145
+69
-155
-29'
+124
-77
+67
+79
-137
-77'
+138
94
-57
-87
+67'
+82
-156
-87'
+80
+137
-48
+68
-127
+36
+111
-93
+112
-181
-161
-76
+24'
-107
-124
-39
-104
+30
+62
+130
-162
+24
-154
-42
-186
+103
-75
-44
-42'
-106
-96
+103'
+96
-44'
+102
+29
-104
-43
-177
-42''
-37
-38
-97
-43'
+25
+83
+48
-23
+45
-40
-41
+21
-114
-15
+84
+83'
+22
-98
+23

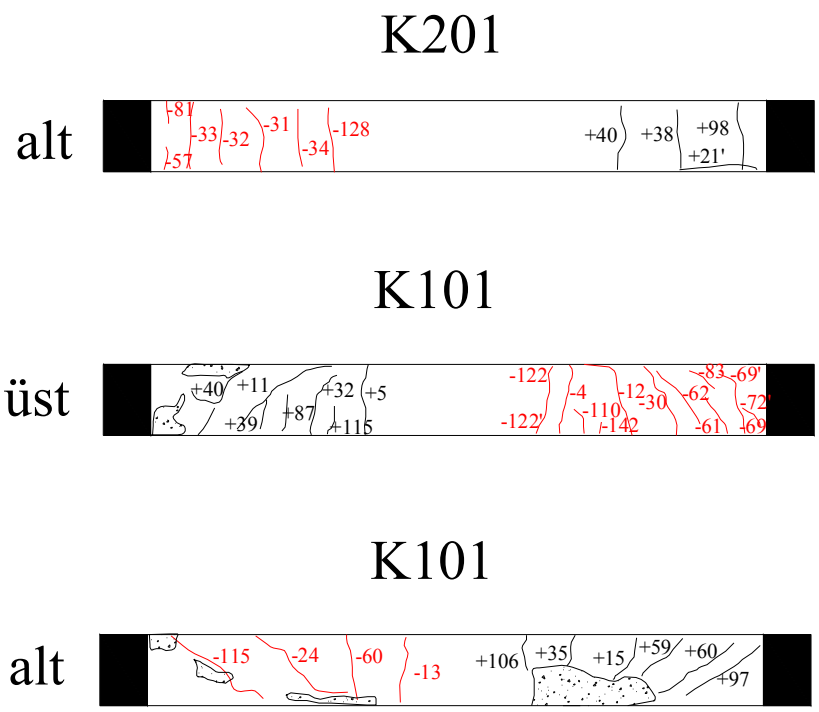
(b)


S201
S202
+94
+110
+54
S101
S102
-102
-100
-17
-2'
-99
+47
+46
+44
+43

(c)


S201
+128
+116
+129
-182
+56
-183
S202
+65
-62
-45
-67
-189
S101
-63
-46
-46'
-45
-180
-188
-105
-134
+122
+140
+11
+50
-135
S102
+62
+114
+86
-144
+64
+85
-143
-176

(d)



(e)

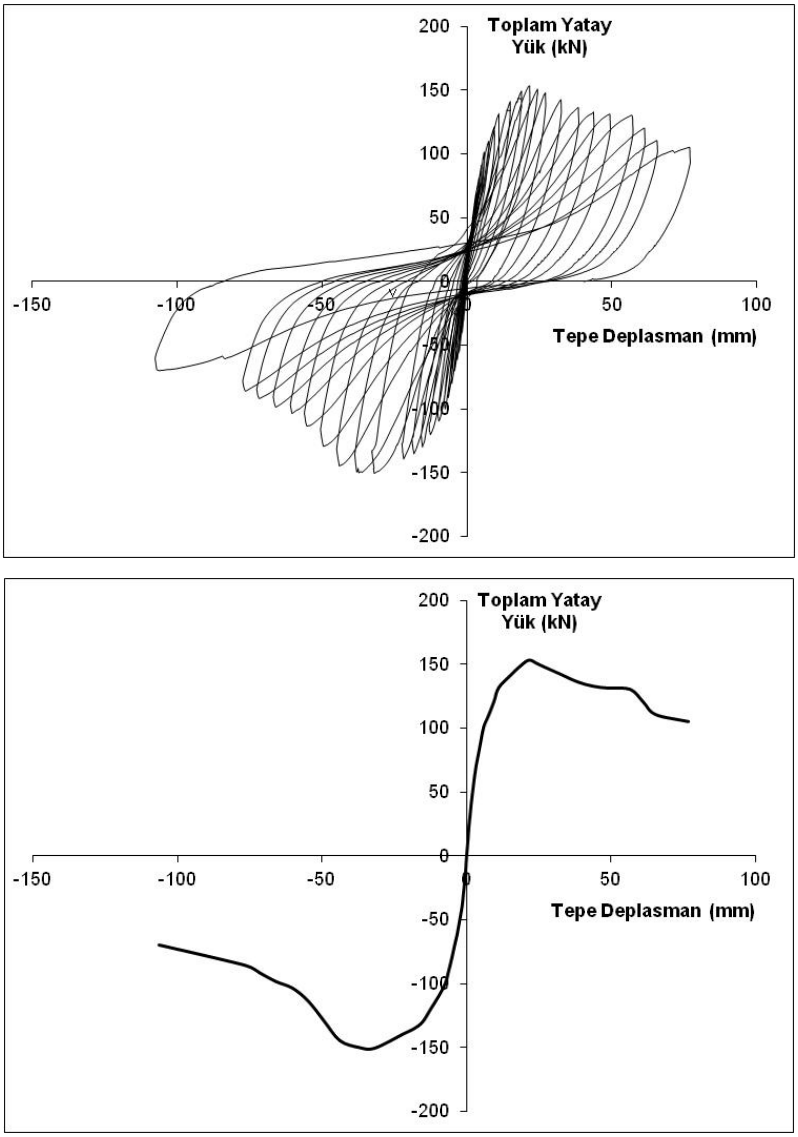
Şekil 4.163. Numunede meydana gelen hasarlar (a) ön yüzde (b) arka yüzde (c) kolonların dış yüzeyinde (d) kolonların iç yüzeyinde (e) kirişlerde

Yapılan bu deneyde pozitif çevrimlerde 76.90 mm, negatif çevrimlerde ise -106.59 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmış ve deney sonlandırılmıştır. Ulaşılan son deplasmanlardan sonra deney numunesinin görünümü Şekil 4.164.' de verilmiştir.



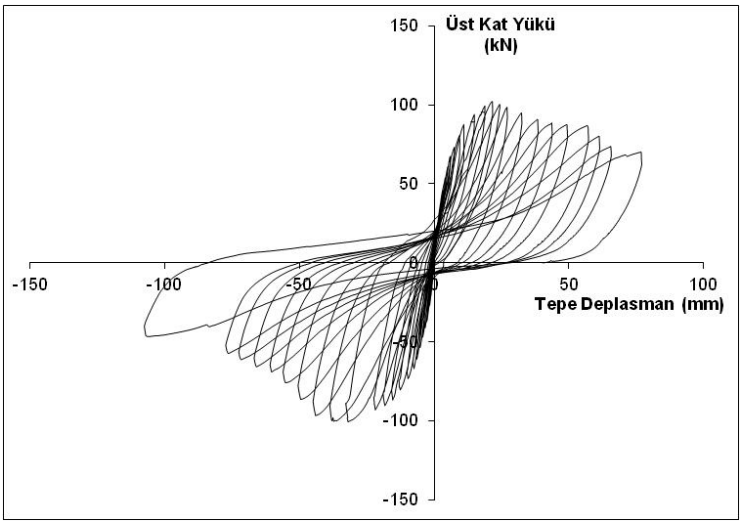
Şekil 4.164. 4. Deney elemanının deney sonu görünümü

Deney numunesinin maruz kaldığı maksimum yatay yük ileri-pozitif çevrimlerde 153.55 kN ve karşılık geldiği tepe deplasmanı 21.67 mm, geri-negatif çevrimlerde -150.97 kN ve karşılık geldiği tepe deplasmanı –31.87 mm'dir. Numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.165' de verilmiştir.

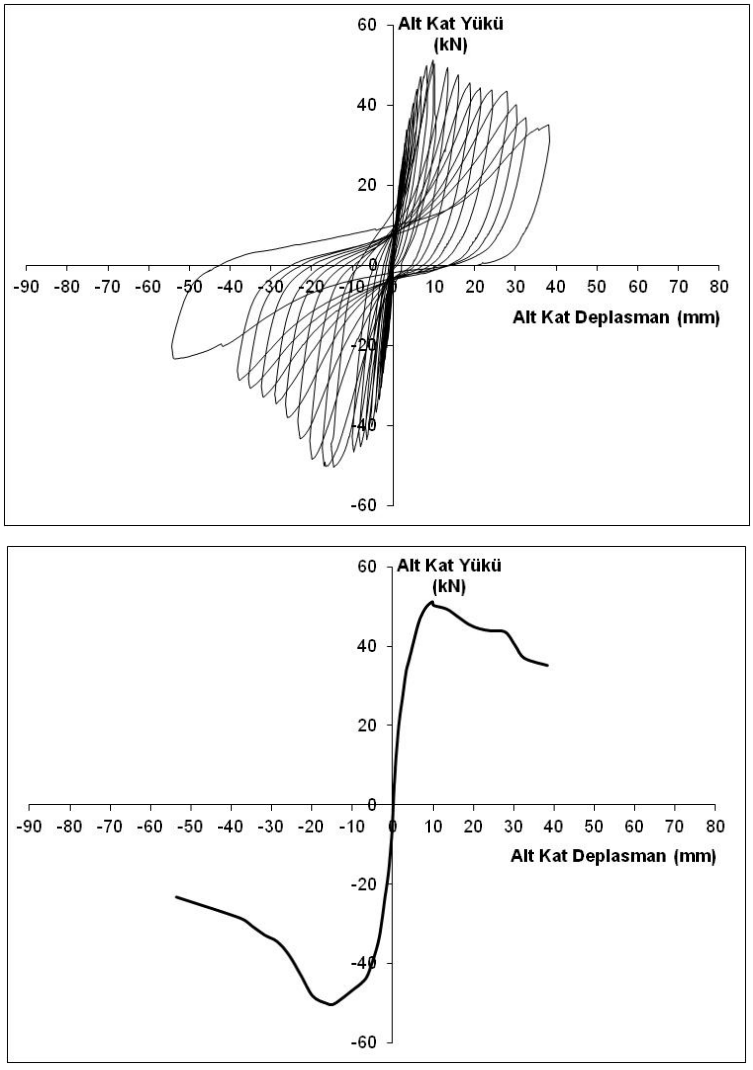


Şekil 4.165. 4. Deneye ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

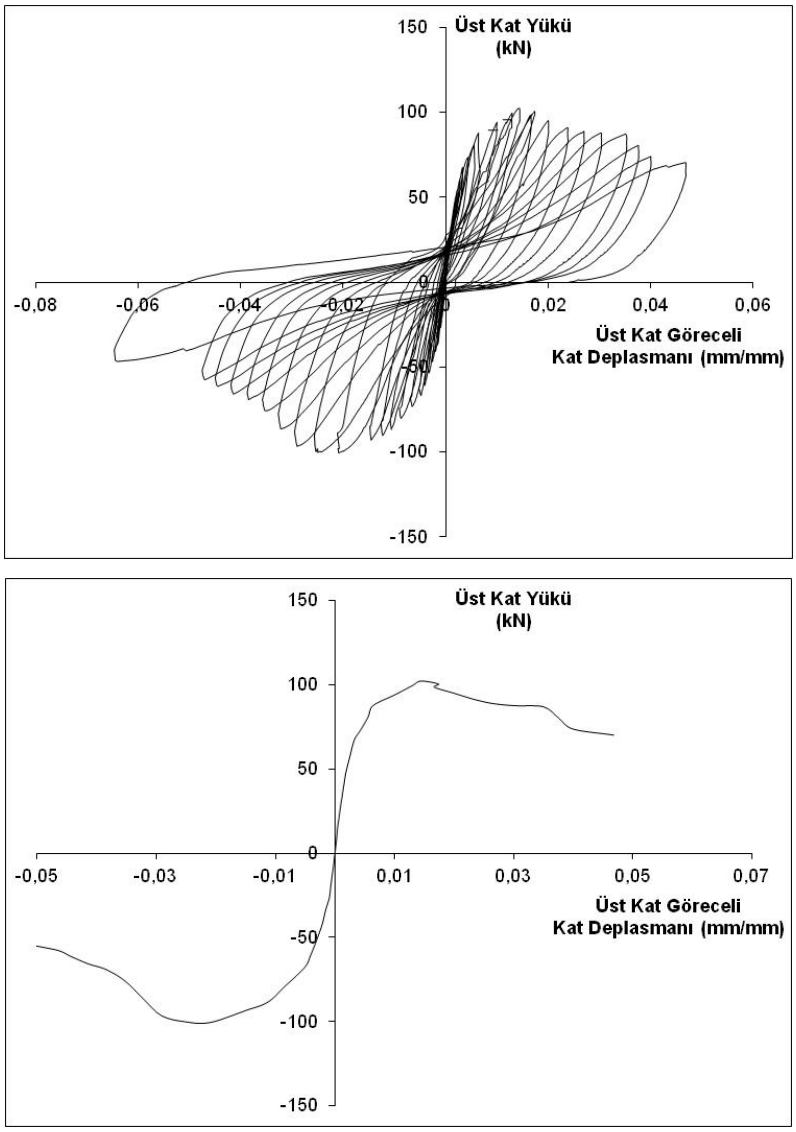
Üst kata uygulanan yüke karşılık üst kattan okunan deplasmanının çevrimsel histerezis eğrisi Şekil 4.166' da, alt kata uygulanan yüke karşılık, alt katta meydana gelen deplasmanın çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.167' de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.168' de üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi, alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.169' da verilmiştir.



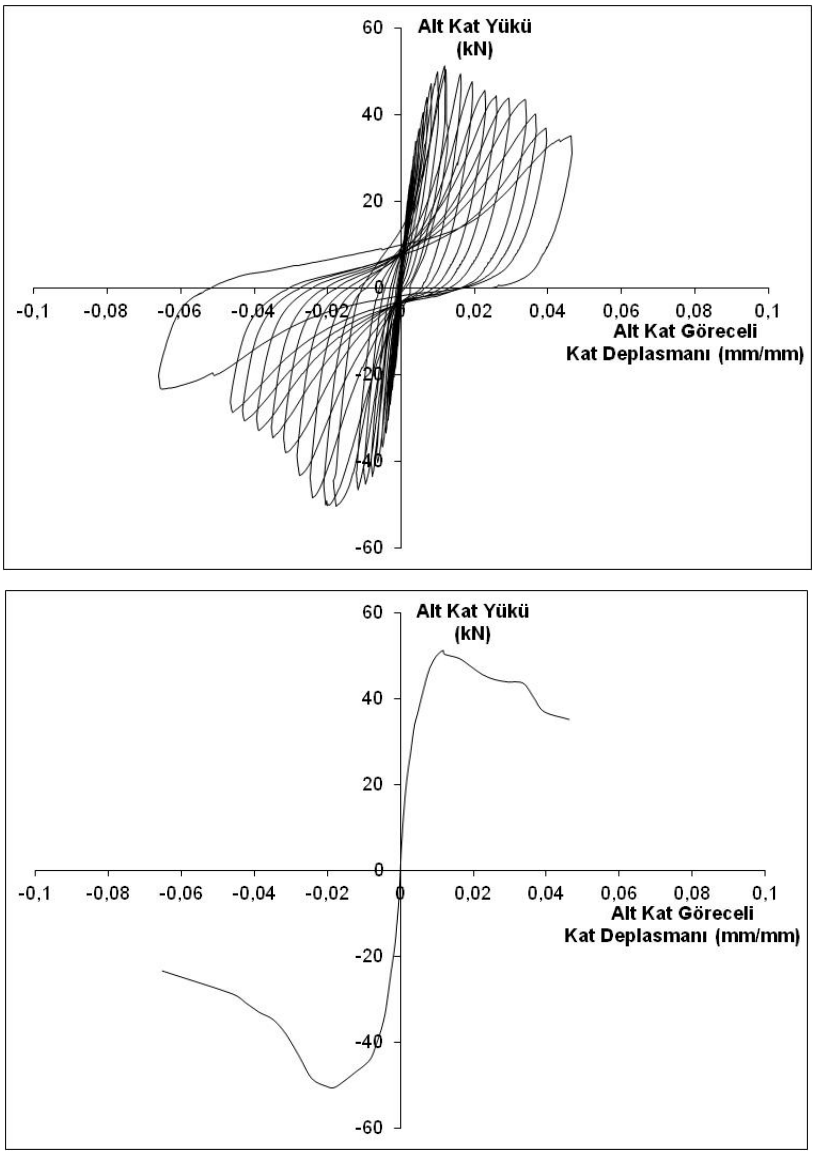
Şekil 4.166. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi



Şekil 4.167. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

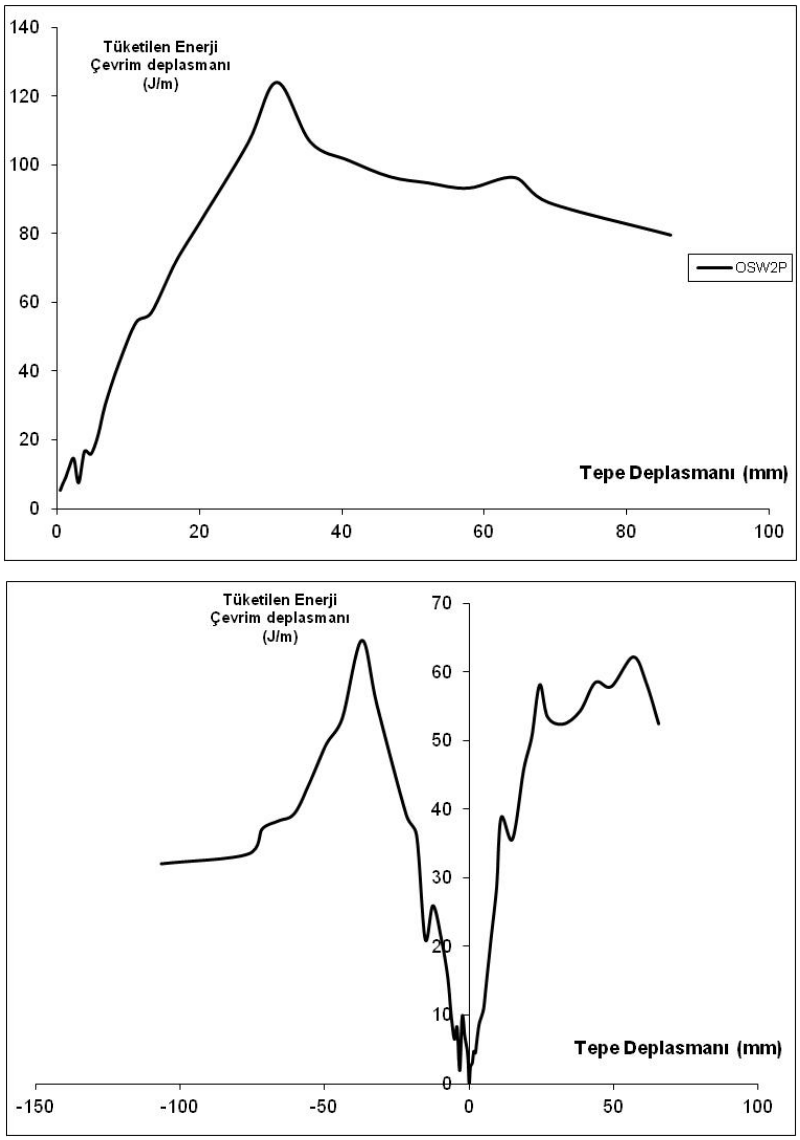


Şekil 4.168. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi histerezis eğrisi ve zarf eğrisi



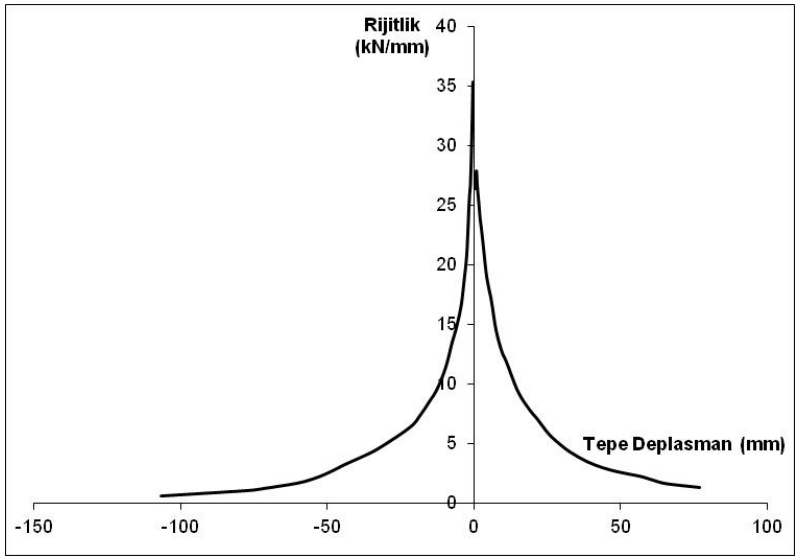
Şekil 4.169. Alt kat yatay yükü-Alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histerezis eğrisi ve zarf eğrisi

Tüketilen enerjinin çevrim deplasmanına bölünmesi ile elde edilen değerlerin çevrim deplasmanına göre çizimi Şekil 4.170' de verilmiştir.



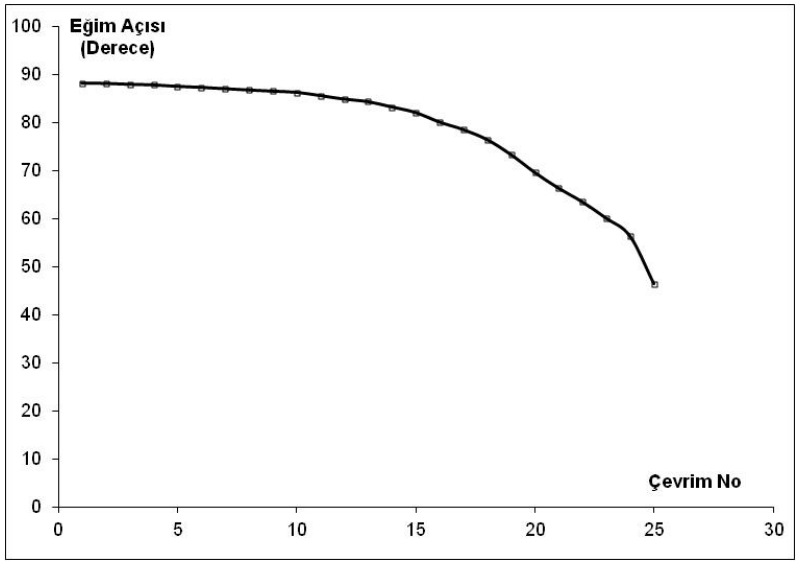
Şekil 4.170. Tüketilen enerji grafiği

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.171). İleri çevrimler için elde edilen değerler şeklin sağında, geri çevrimler için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



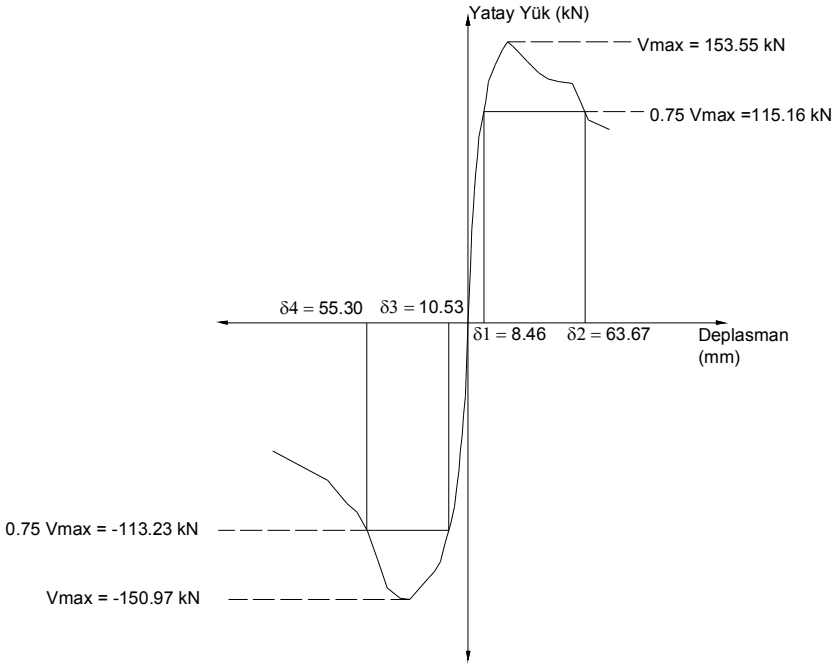
Şekil 4.171. Rijitlik grafiği

Şekil 4.172' de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.172. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı grafiği

Şekil 4.173' de ise sistemin zarf eğrisinde sisteme uygulanan maksimum yükün %75'ine ulaşıldığı noktalardan yatay eksene dikmeler indirilmiş ve bu noktalardaki deplasman değerleri incelenmiştir. Bu deplasman değerleri arasında kalan mesafe bize süneklikle ilgili değerlendirmelerde bulunmamıza yardımcı olacaktır.



Şekil 4.173. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde daha önce detayları ve sonuçları değerlendirilen 4 adet deney elemanının davranışlarının, dayanımlarının, sünekliklerinin, rijitliklerinin ve enerji tüketimlerinin karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan deneyler karşılaştırılırken deneylere ait aynı tür grafikler, aynı ölçekte, tek bir sayfada verilerek karşılaştırmanın daha sağlıklı yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan karşılaştırmalarda deneylerin zarf eğrileri, enerji tüketimleri ve rijitlikleri aynı grafikte verilmiştir. Bu grafiklerde her bir deney elemanına ait eğri farklı renklerde oluşturulmuştur.

İlk deneyde ulaşılan maksimum yük pozitif çevrimlerde 29.59 kN olup bu yüke karşılık gelen deplasman 55.27 mm'dir. Negatif çevrimlerde ise ulaşılan maksimum yük -37.88 kN olup bu yüke karşılık gelen deplasman -41.74 mm'dir. İlk deney elemanı referans boş çerçeve (RS) olduğundan diğer deney sonuçları, referans numune ile karşılaştırılacaktır. İkinci test edilen numune olan CR numunesi pozitif çevrimlerde 99.38 kN yüke ulaşmış ve bu yüke karşılık gelen 68.22 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Negatif çevrimlerde ise -99.30 kN yatay yüke dayanabilen CR numunesi bu

yükte -99.98 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır. 3. Deney elemanı olan OSWMSW numunesi pozitif çevrimlerde 241.52 kN yatay yüke kadar dayanabilmiş ve bu yükte 21.65 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır. Negatif çevrimlerde ise -244.21 kN yatay yüke dayanabilen deney elemanı, bu yükte -32.57 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır. Son olarak denenen OSW2P deney numunesi pozitif çevrimlerde 153.55 kN yatay yüke karşılık 21.67 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır. Negatif çevrimlerde ise -150.97 kN yatay yüke dayanabilen deney elemanı, bu yükte -31.87 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır.

Bu veriler sonucunda referans numuneye göre güçlendirilmiş numunelerin dayanımları oldukça artmıştır. Bu artışları yüzde olarak incelemek gerekirse; referans numuneye (RS) göre CR numunesi pozitif çevrimlerde % 236, negatif çevrimlerde % 162 dayanım artışı göstermiş, OSWMSW numunesi pozitif çevrimlerde % 716, negatif çevrimlerde % 545, OSW2P numunesi ise pozitif çevrimlerde % 419, negatif çevrimlerde % 299 daha fazla dayanım göstermiştir.

Ayrıca en yüksek dayanıma sahip olan numune OSWMSW numunesi olup, bu deney elemanı da CR numunesinden pozitif çevrimlerde % 143, negatif çevrimlerde % 146, OSW2P numunesinden pozitif çevrimlerde % 57, negatif çevrimlerde ise % 62 daha fazla dayanım göstermiştir.

En yüksek ikinci dayanıma sahip olan OSW2P numunesi ise CR numunesinden pozitif çevrimlerde % 55, negatif çevrimlerde ise % 52 daha fazla dayanıma sahip olmuştur.

Yapılan deneyler sonucu oluşturulan yatay yük-tepe deplasmanı, üst kat yükü-tepe deplasmanı, alt kat yükü-alt kat deplasmanı, üst kat yükü- üst kat göreceli kat deplasmanı ve alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı grafiklerinde yukarıda söz edilen dayanım yüzdeleri farkları yaklaşık olarak aynı değerlerde meydana gelmiştir.

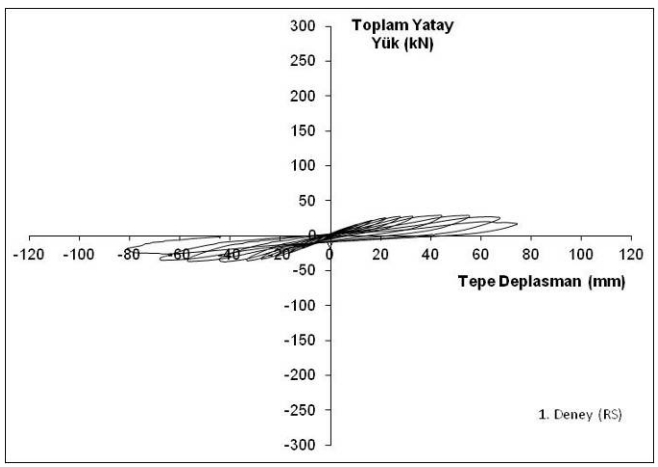
Test edilen 4 adet deney numunesine ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.174' de, bu eğrinin oluşturduğu zarf eğrisi Şekil 4.175' de, üst kat yükü-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.176' da, alt kat yükü-alt kat deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.177' de ve bu eğriye ait zarf eğrisi Şekil 4.178' de, üst kat yükü-üst kat göreceli kat deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.179' da, bu eğriye ait zarf eğrisi Şekil 4.180' de, alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.181' de ve bu eğriye ait zarf eğrisi Şekil 4.182' de verilmiştir.

Şekil 4.183 ve Şekil 4.184' de ise tüketilen enerji-tepe deplasmanı grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere CR numunesinde kirişlerin

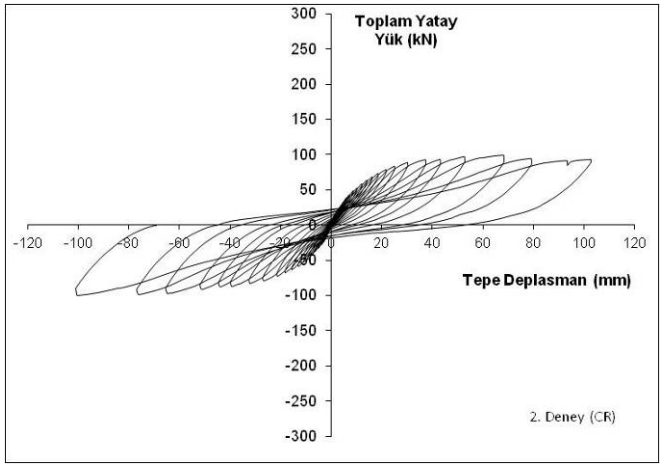
mafsallaşmasıyla daha fazla deplasmana gidilmiş ve diğer deney elemanlarına göre daha sünek bir sistem ortaya çıkmıştır. OSWMSW numunesinde ise enerji fazla deplasman yapılamadan tüketilmiş ve diğer deney elemanlarına göre daha gevrek bir sistem ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.185' de verilen rijitlik-tepe deplasmanı eğrilerinde ise OSWMSW numunesinin diğer numunelere göre çok daha rijit olduğu görülmektedir. Bu numuneden sonra sırasıyla en yüksek rijitliğe sahip olan OSW2P numunesi, daha sonra CR numunesi ve RS numunesi gelmektedir.

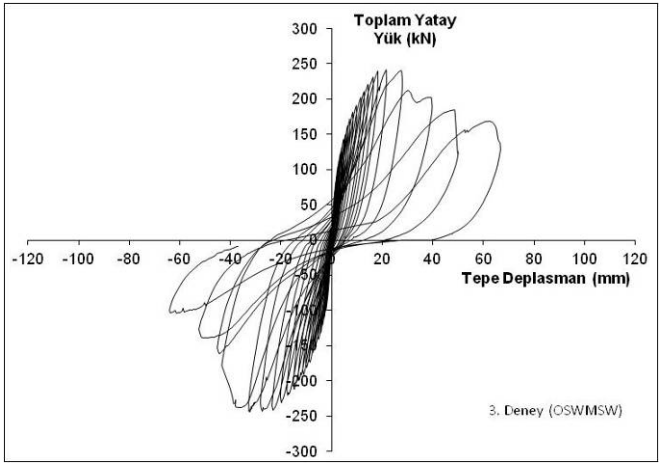
Eğim açısı-çevrim numarası grafikleri ise Şekil 4.186' da verilmiştir. bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere tüm numuneler için ilk çevrimlerde açı değişimi az olmuş, fakat ilerleyen çevrimlerde açı değişimi artarak devam etmiştir.



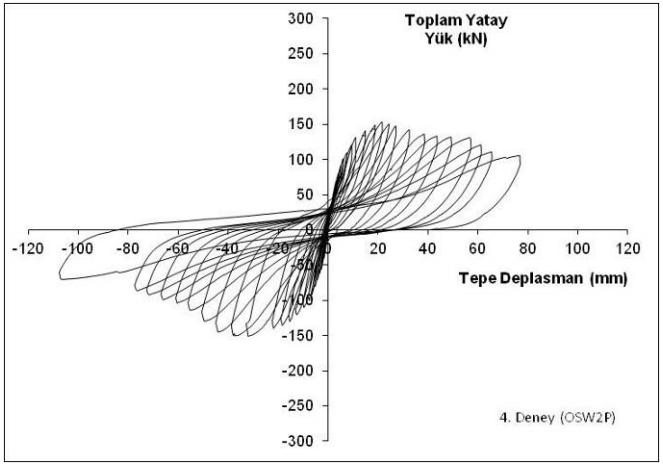
(a) RS Numunesi



(b) CR Numunesi

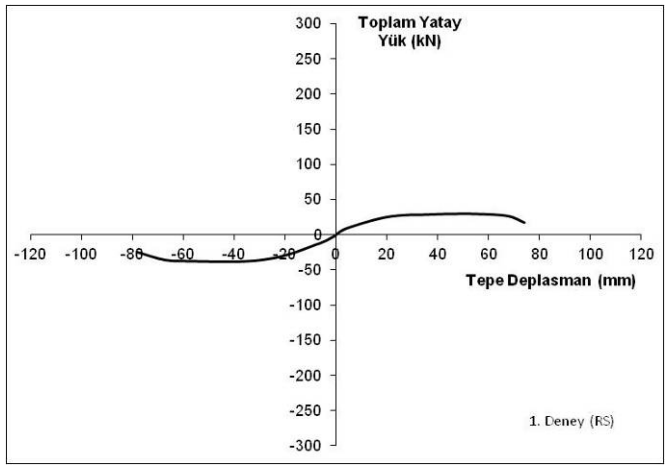


(c) OSWMSW Numunesi

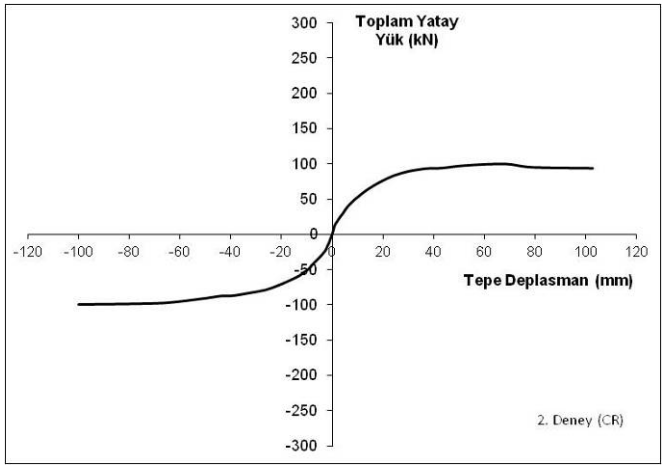


(d) OSW2P Numunesi

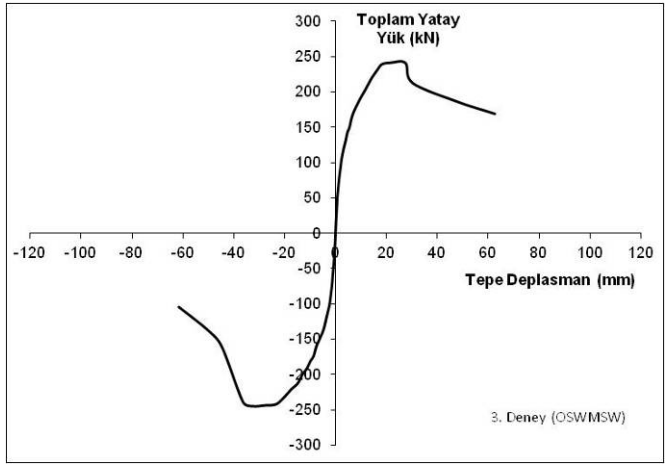
Şekil 4.174. Tüm numunelerin toplam yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin birlikte sunumu



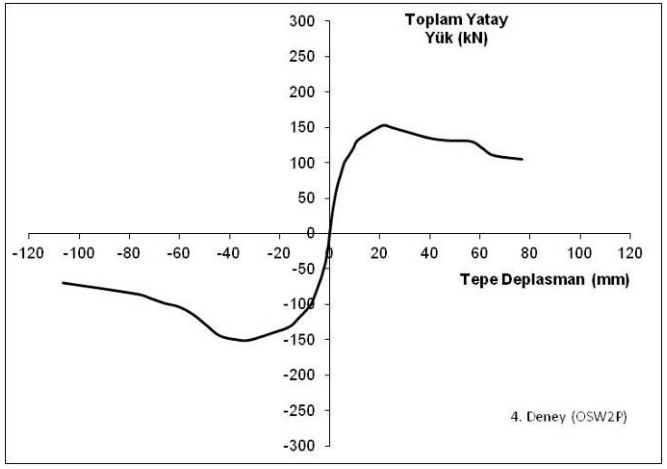
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

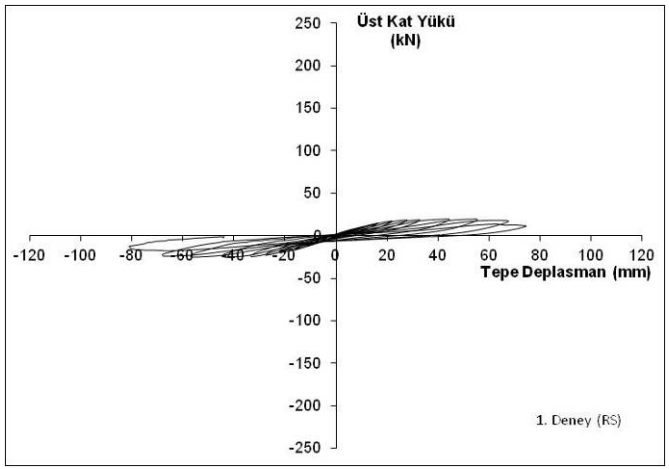


(c) OSWMSW Numunesi

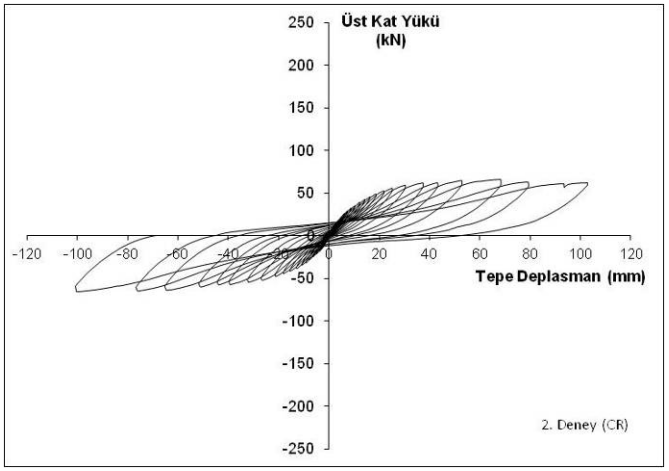


(d) OSW2P Numunesi

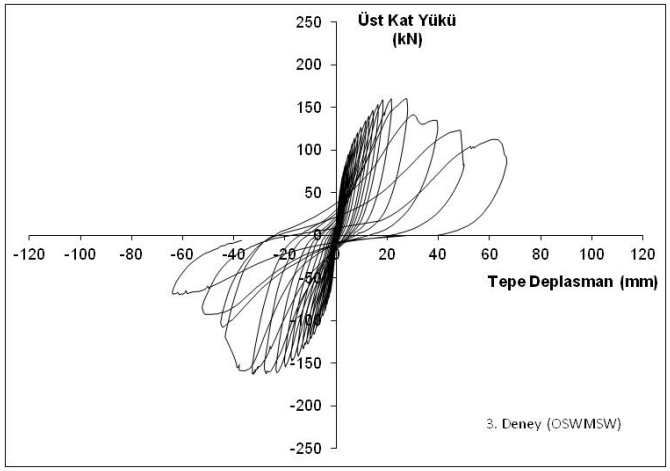
Şekil 4.175. Tüm numunelerin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrilerinin birlikte sunumu



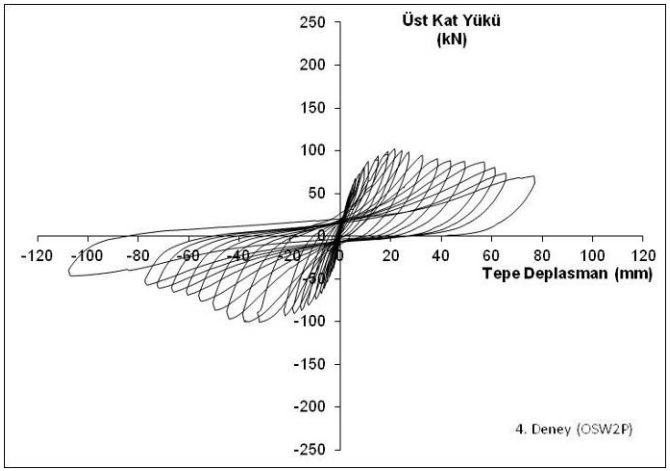
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

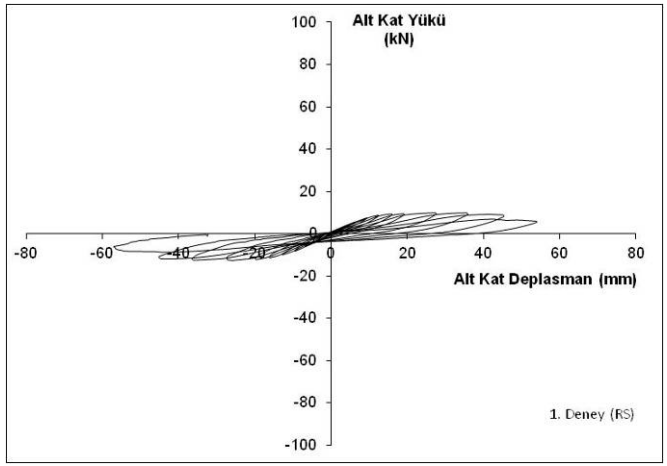


(c) OSWMSW Numunesi

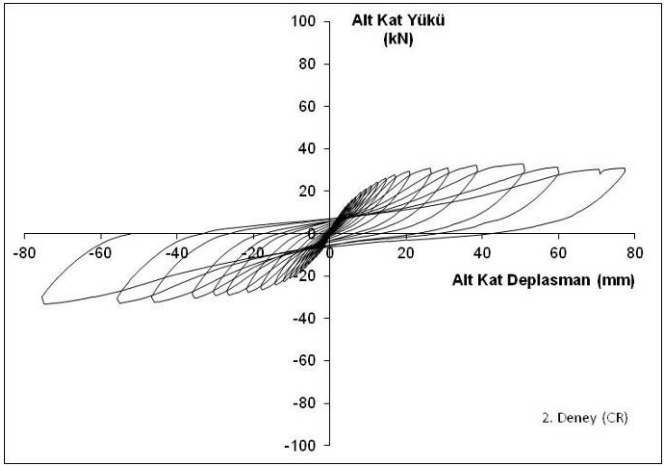


(d) OSW2P Numunesi

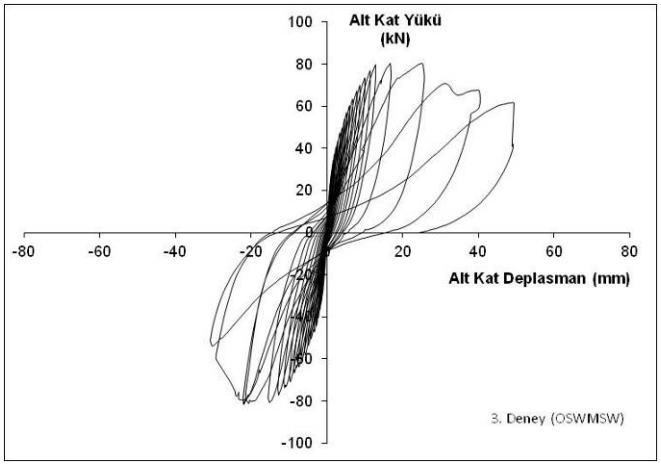
Şekil 4.176 Tüm numunelerin üst kat yükü-tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin birlikte sunumu



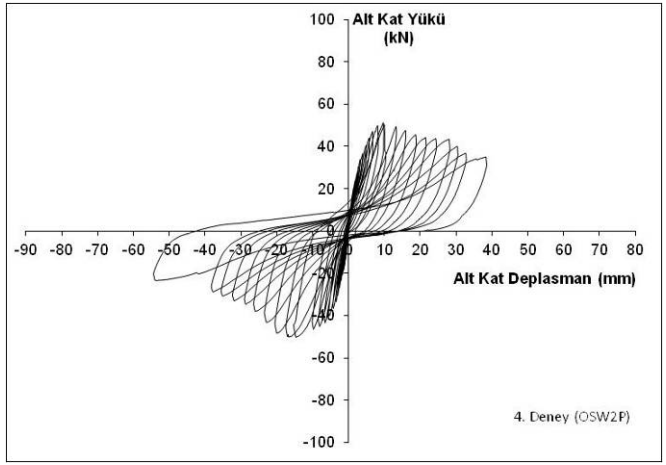
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

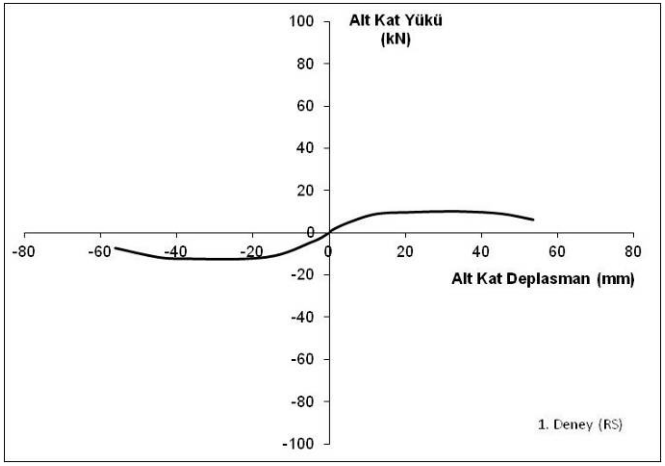


(c) OSWMSW Numunesi

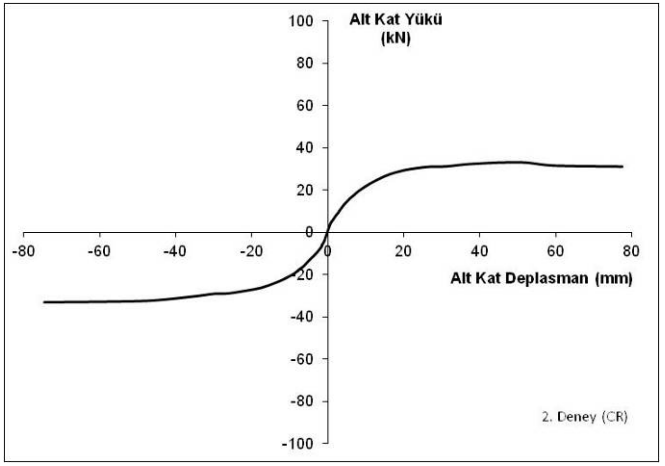


(d) OSW2P Numunesi

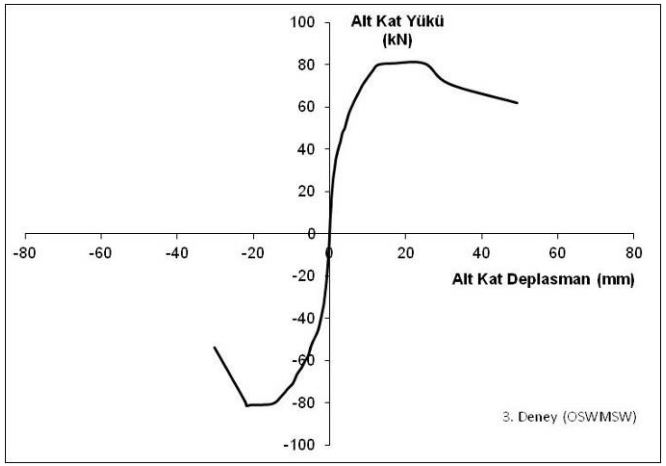
Şekil 4.177 Tüm numunelerin alt kat yükü-alt kat deplasmanı histerezis eğrilerinin birlikte sunumu



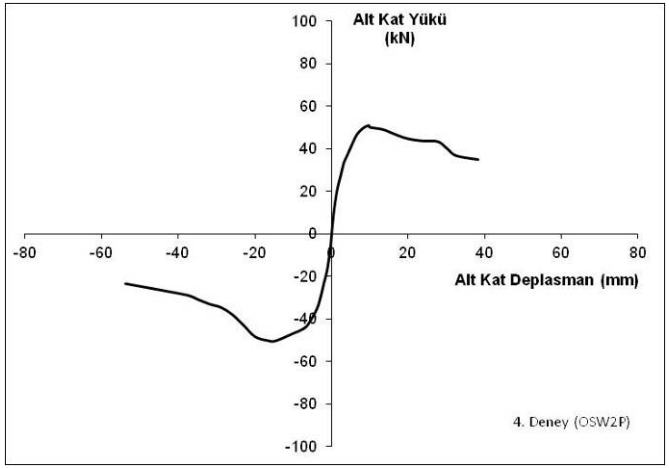
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

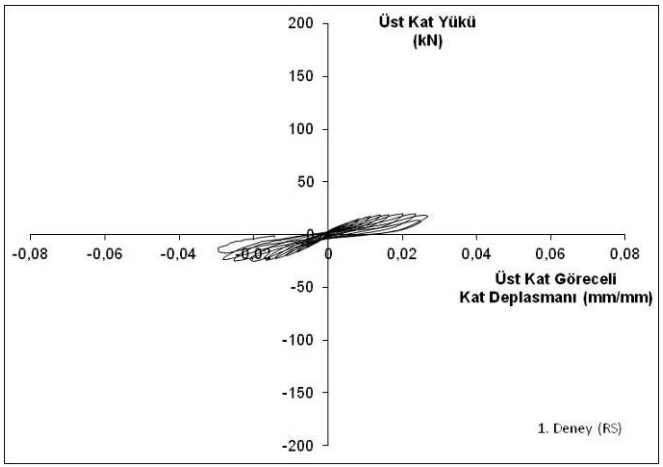


(c) OSWMSW Numunesi

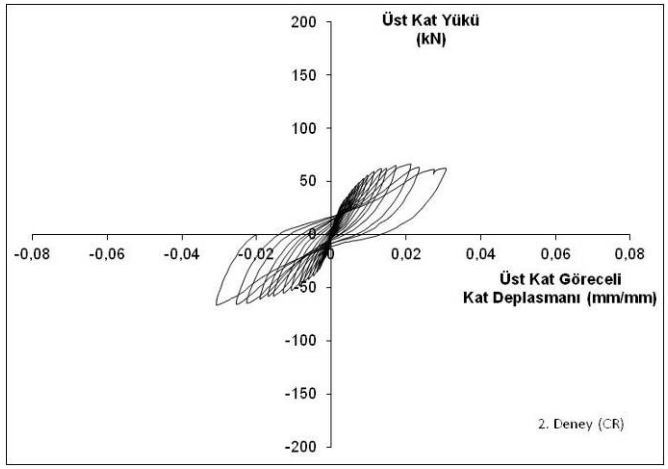


(d) OSW2P Numunesi

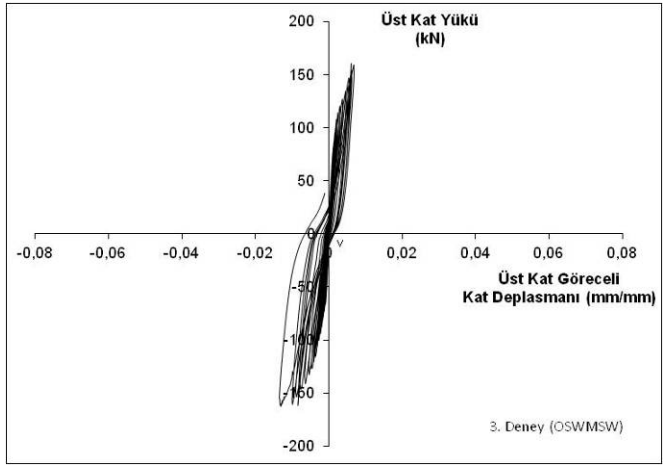
Şekil 4.178. Tüm numunelerin alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrilerinin birlikte sunumu



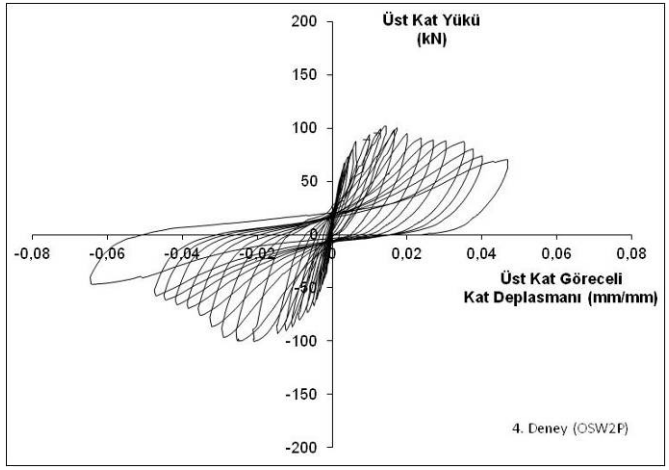
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

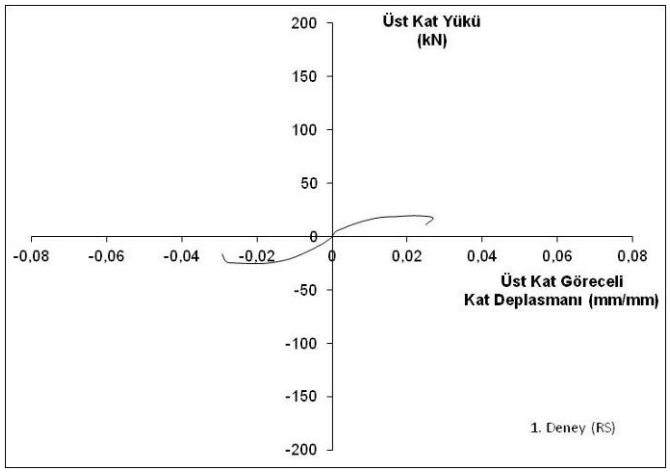


(c) OSWMSW Numunesi

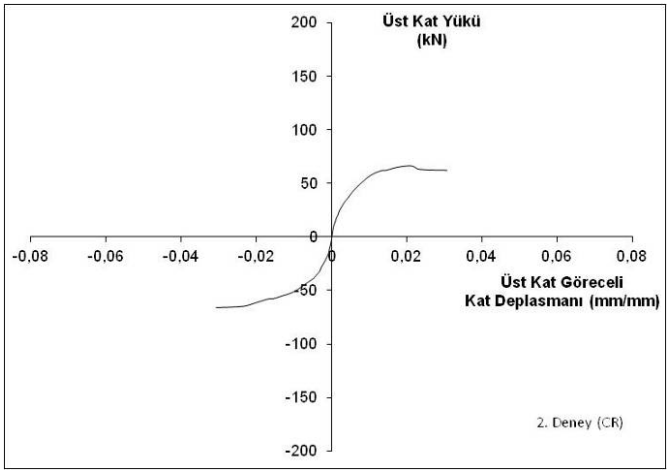


(d) OSW2P Numunesi

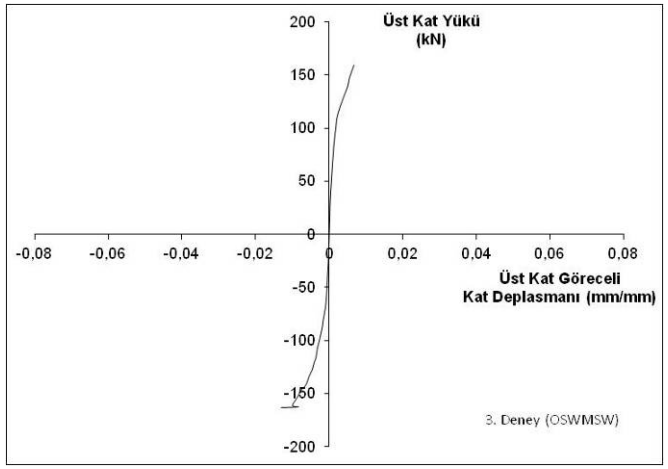
Şekil 4.179. Tüm numunelerin üst kat yükü-üst kat göreceli kat deplasmanı histerezis eğrilerinin birlikte sunumu



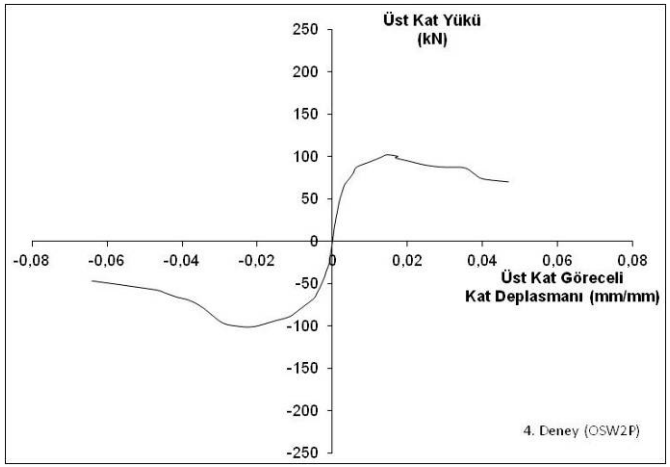
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

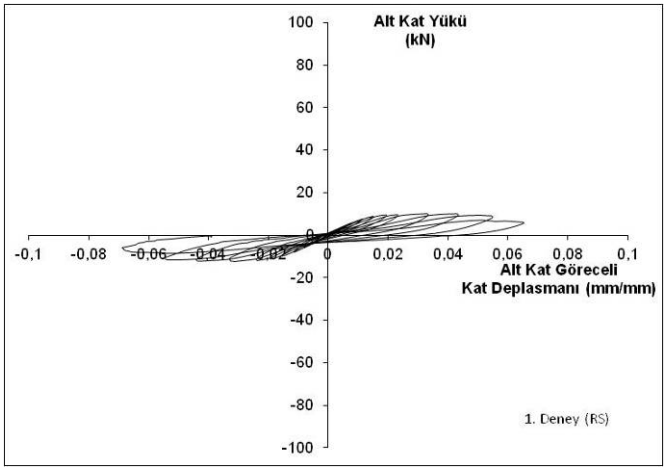


(c) OSWMSW Numunesi

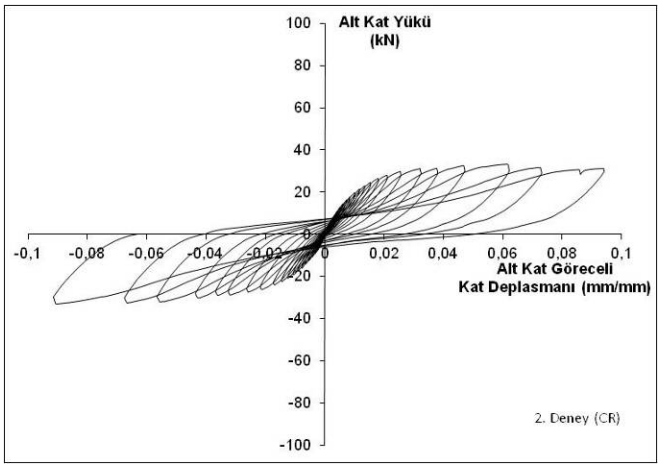


(d) OSW2P Numunesi

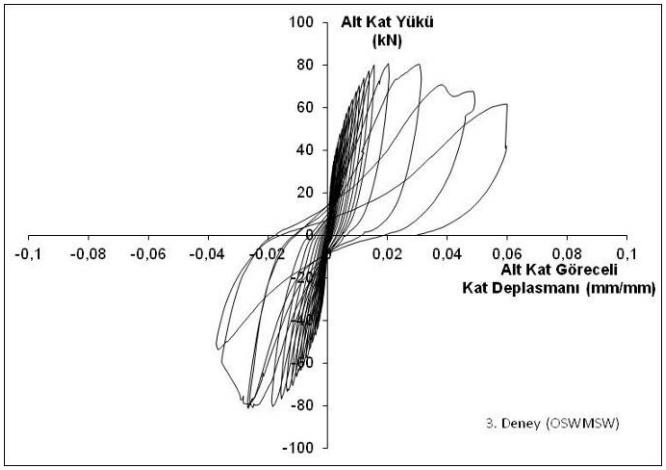
Şekil 4.180. Tüm numunelerin üst kat yükü-üst kat göreceli kat deplasmanı zarf eğrilerinin birlikte sunumu



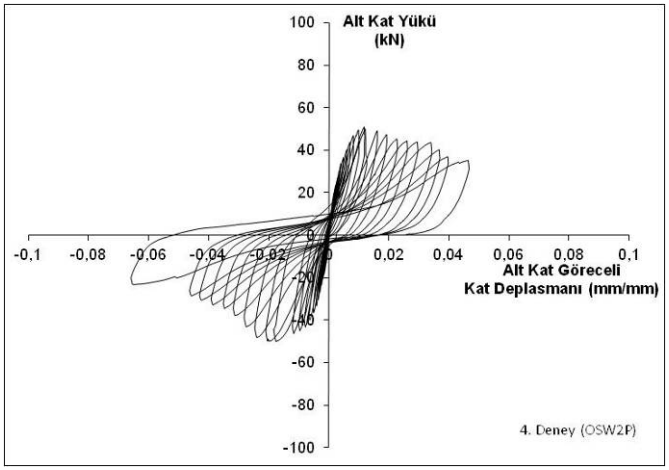
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

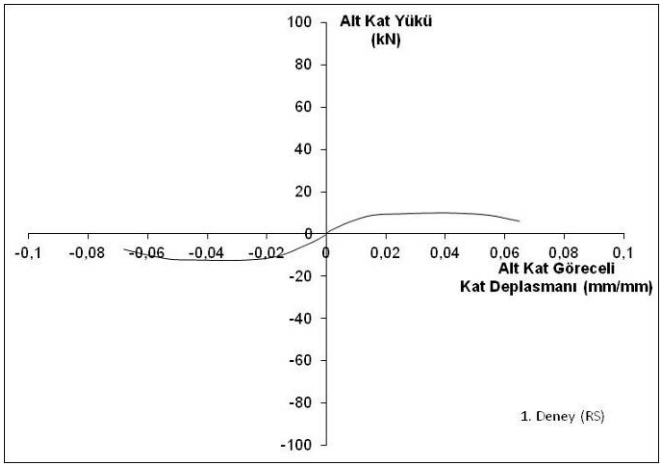


(c) OSWMSW Numunesi

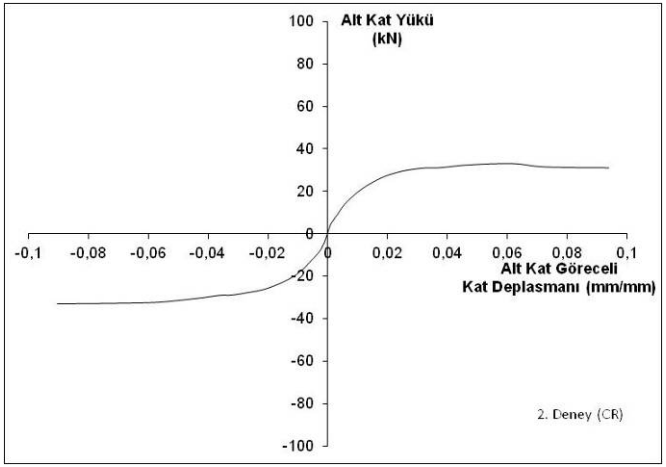


(d) OSW2P Numunesi

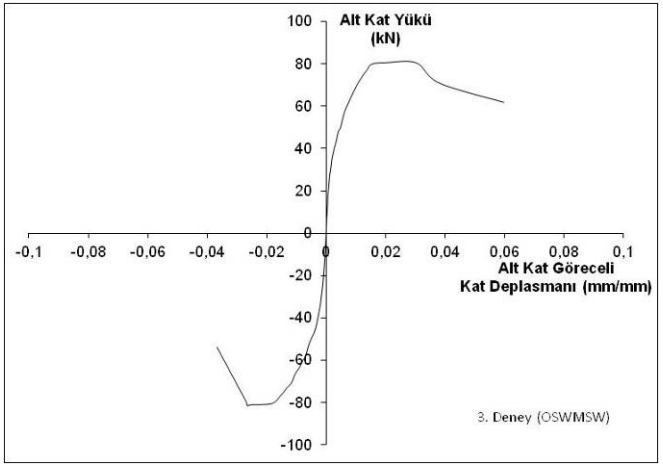
Şekil 4.181. Tüm numunelerin alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı histerezis eğrilerinin birlikte sunumu



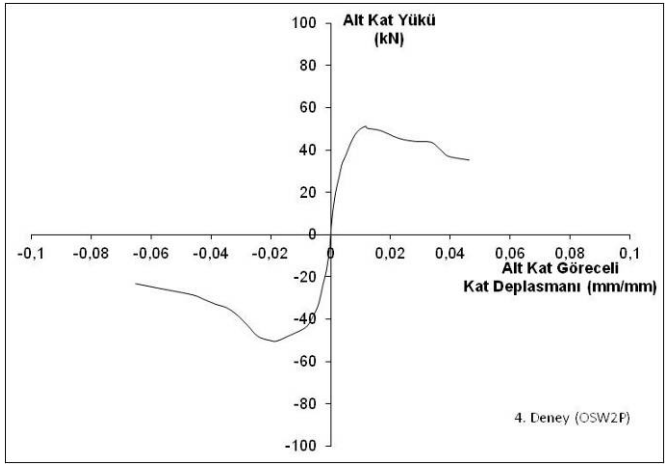
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

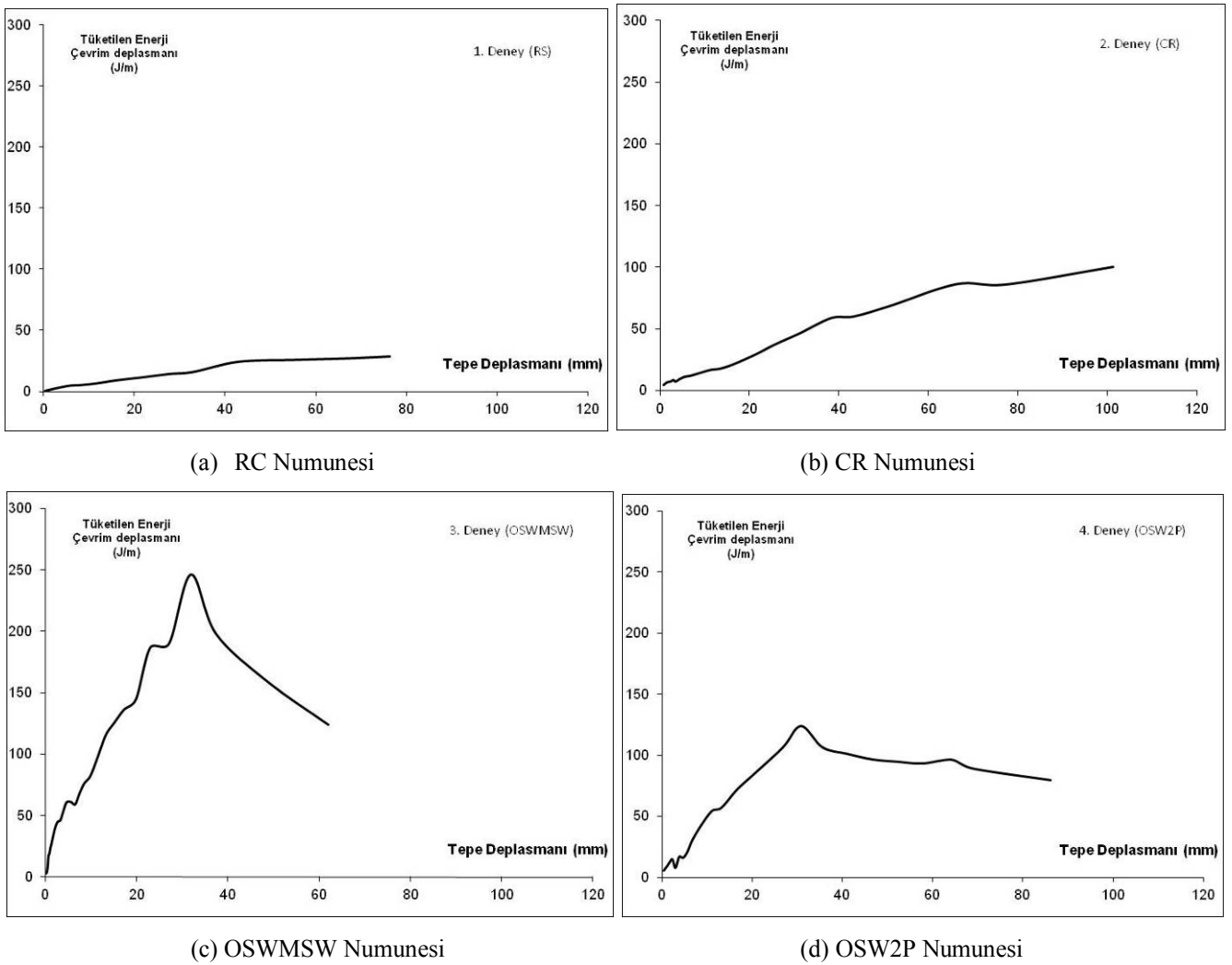


(c) OSWMSW Numunesi



(d) OSW2P Numunesi

Şekil 4.182. Tüm numunelerin alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı zarf eğrilerinin birlikte sunumu



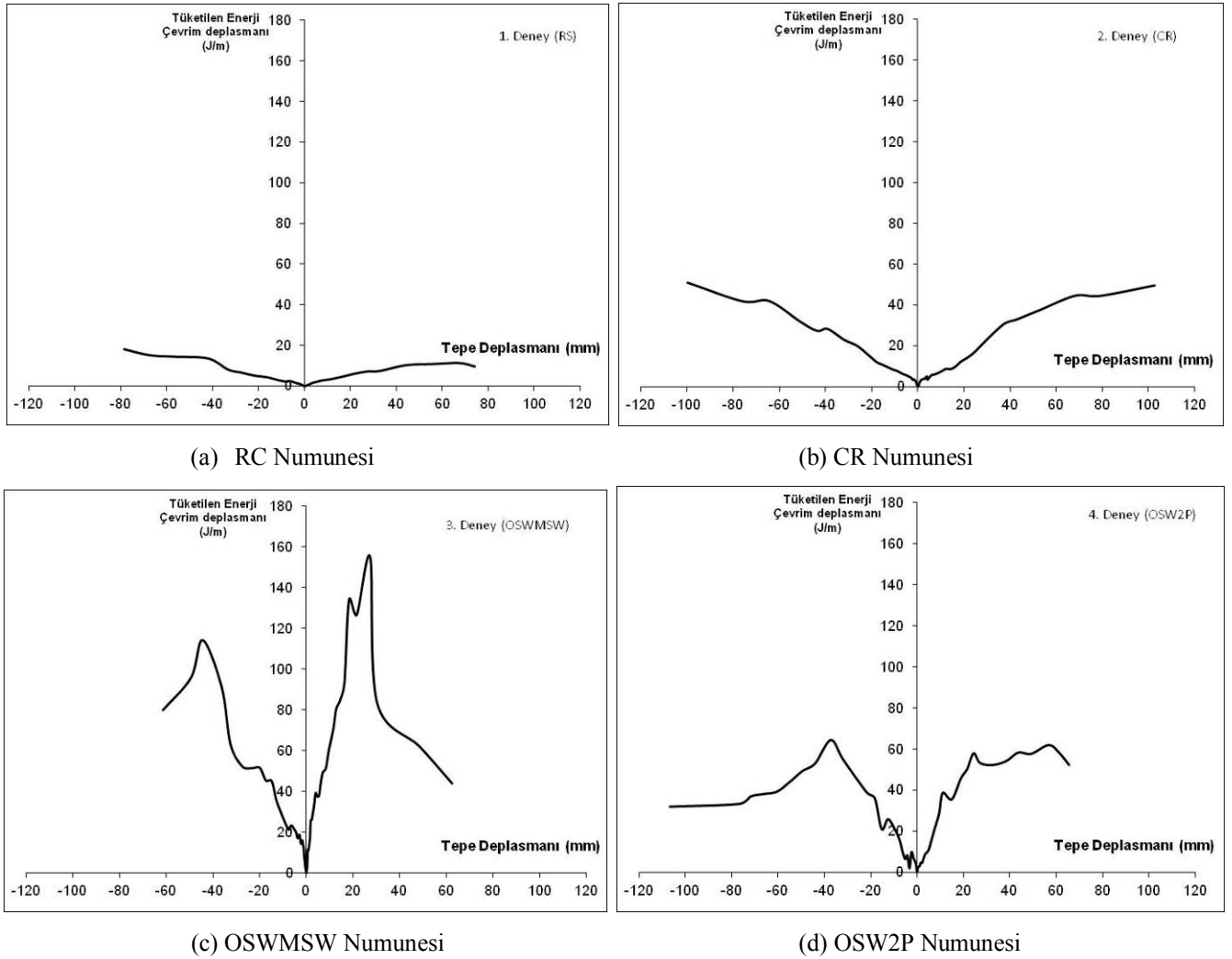
(a) RC Numunesi

(b) CR Numunesi

(c) OSWMSW Numunesi

(d) OSW2P Numunesi

Şekil 4.183. Tüm numunelerin tüketilen enerji-tepe deplasmanı eğrilerinin birlikte sunumu



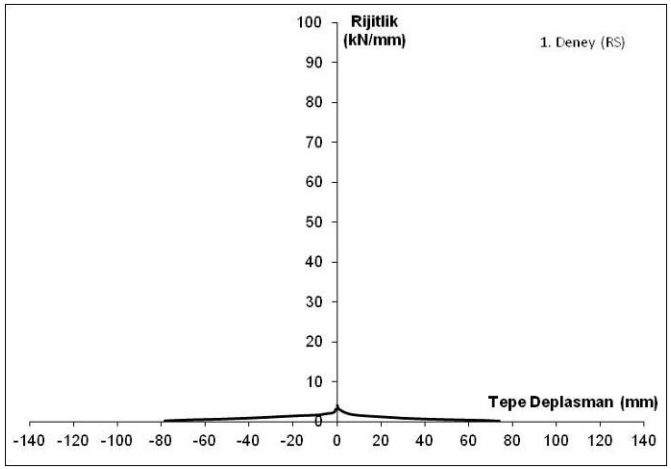
(a) RC Numunesi

(b) CR Numunesi

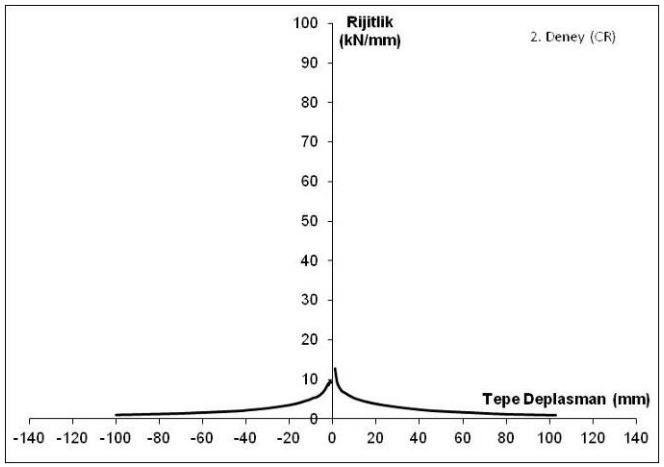
(c) OSWMSW Numunesi

(d) OSW2P Numunesi

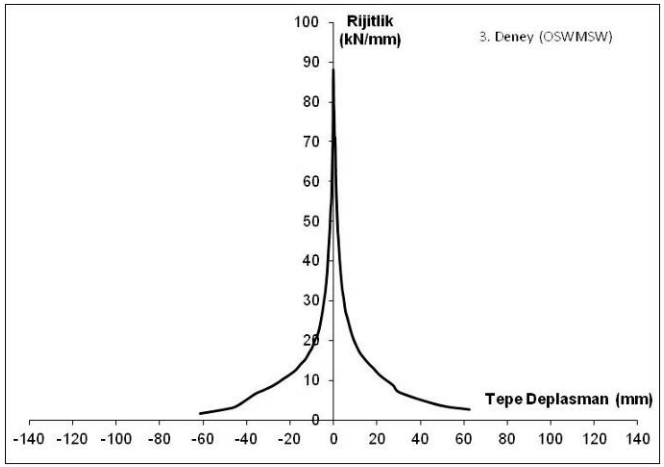
Şekil 4.184. Tüm numunelerin pozitif ve negatif yönde tüketilen enerji-tepe deplasmanı eğrilerinin birlikte sunumu



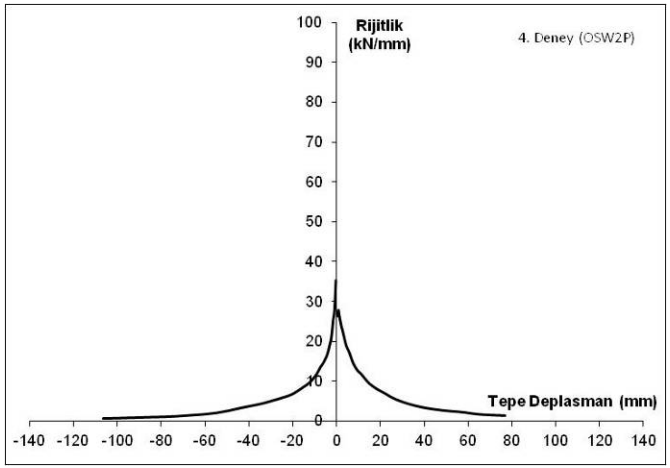
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi

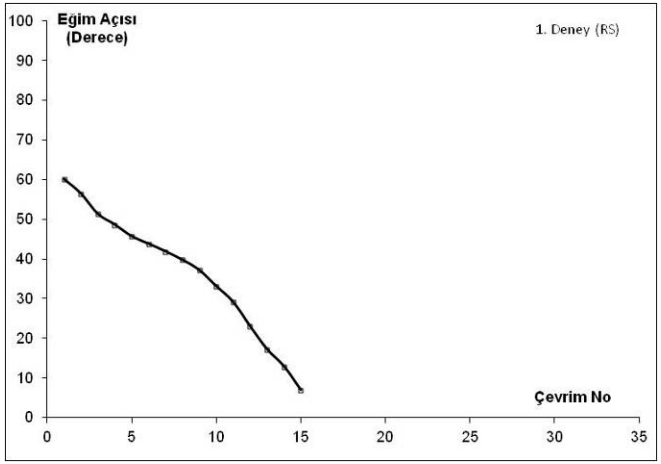


(c) OSWMSW Numunesi

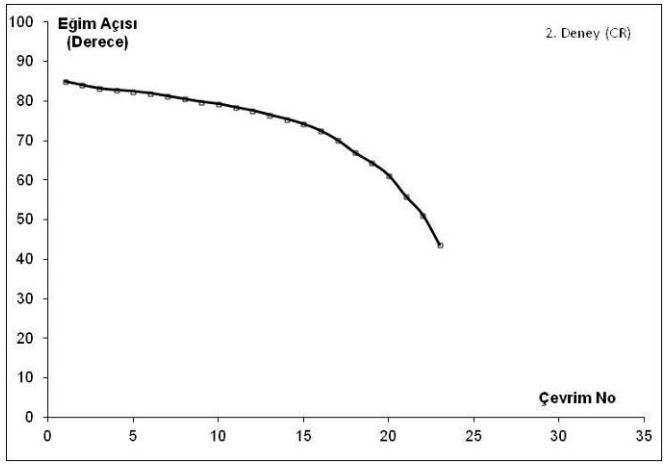


(d) OSW2P Numunesi

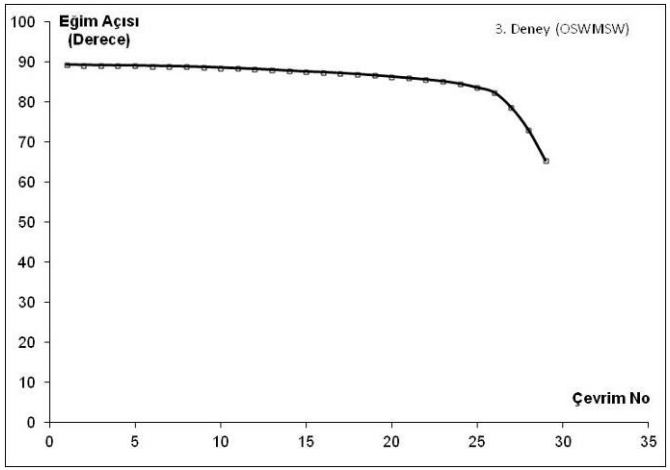
Şekil 4.185. Tüm numunelerin rjitlik-tepe deplasmanı eğrilerinin birlikte sunumu



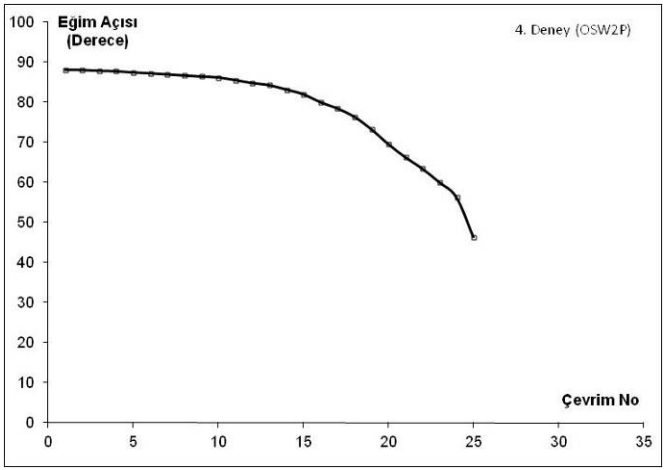
(a) RC Numunesi



(b) CR Numunesi



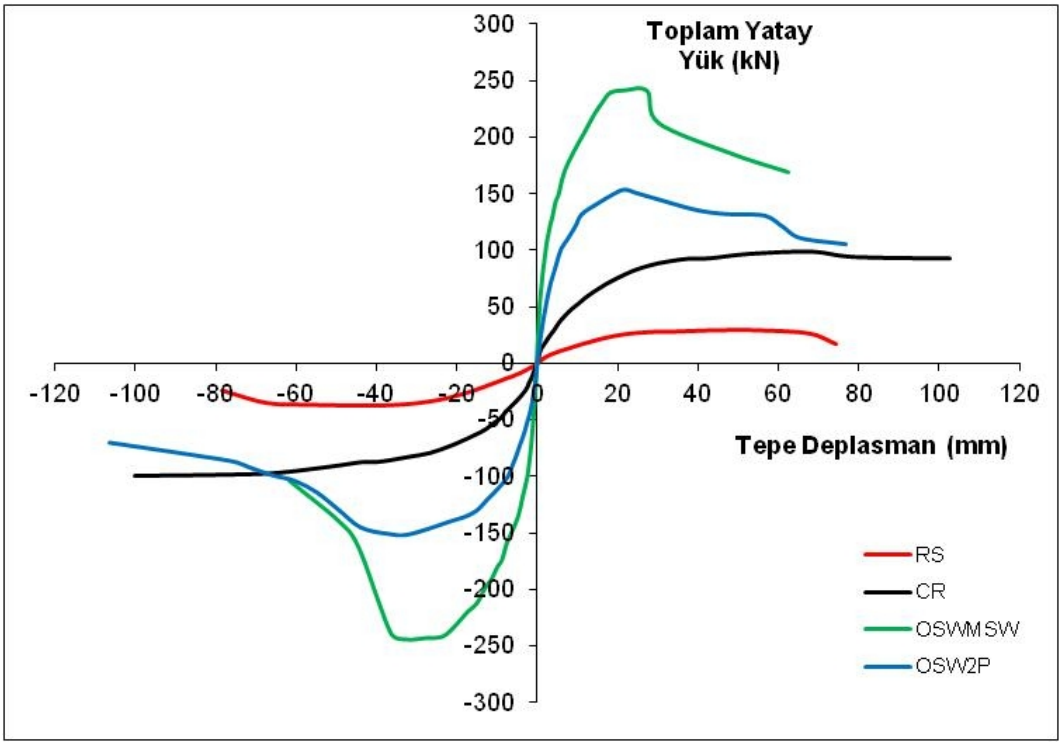
(c) OSWMSW Numunesi



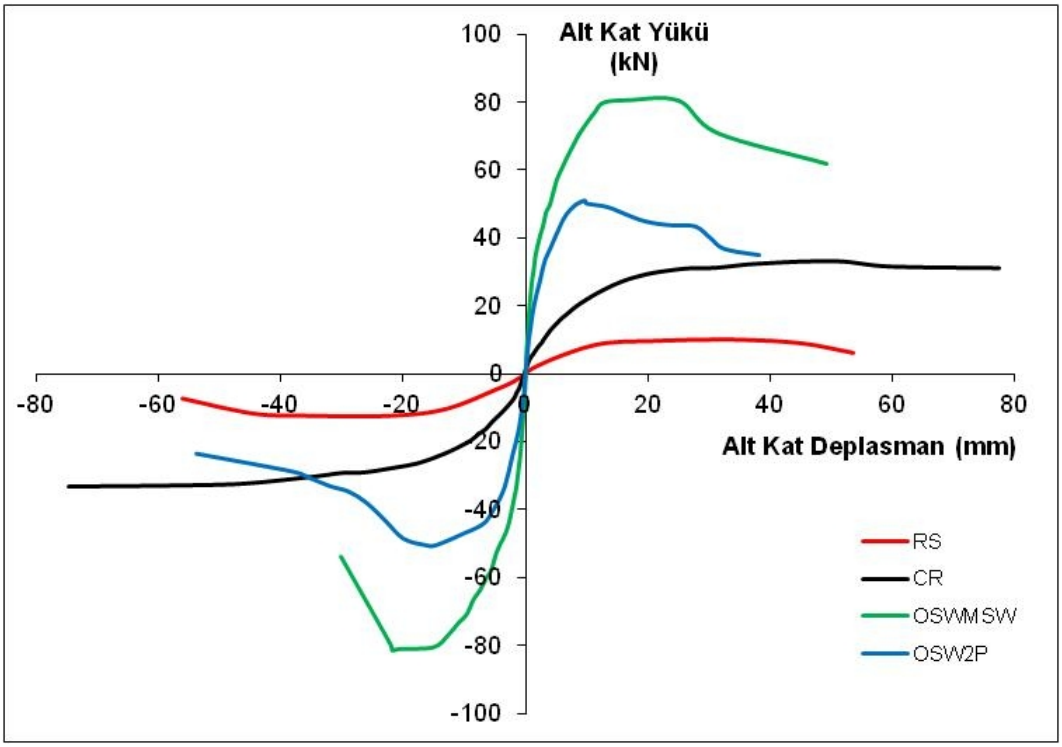
(d) OSW2P Numunesi

Şekil 4.186. Tüm numunelerin eğim açısı-çevrim numarası eğrilerinin birlikte sunumu

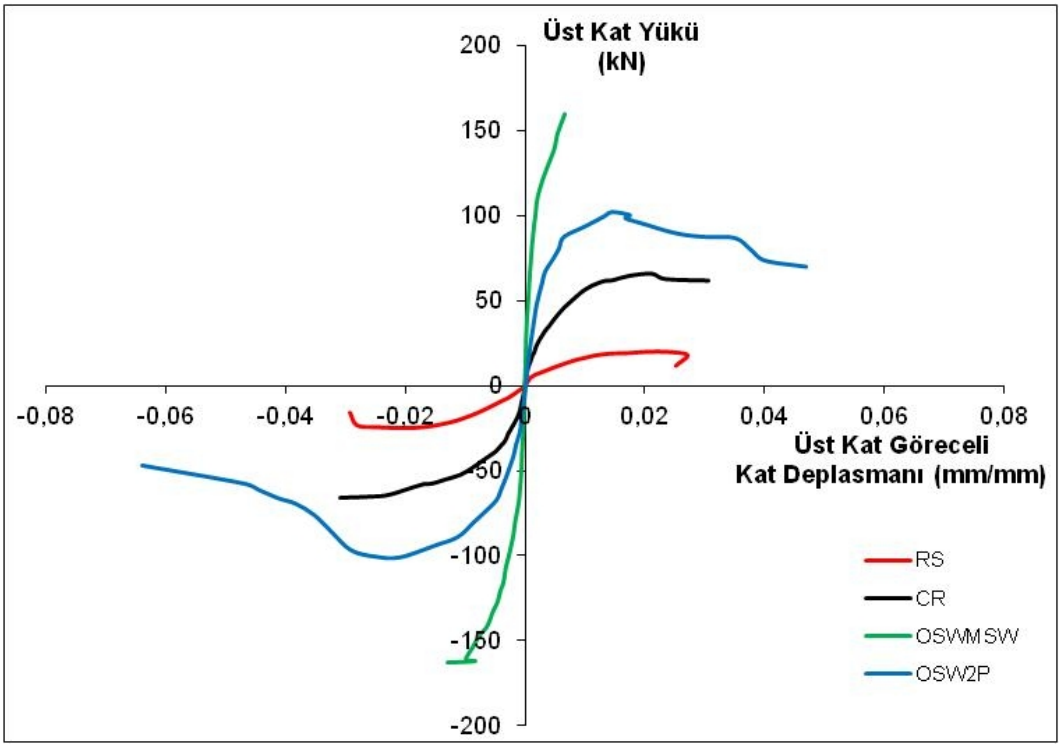
Test edilen numunelerin sonuçlarının daha iyi karşılaştırılması amacıyla aynı tür grafikler birleştirilmiş ve 4 adet numune için aşağıda verilmiştir. Grafiklerde kırmızı renk RS numunesini, siyah renk CR numunesini, yeşil renk OSWMSW numunesini ve mavi renk OSW2P numunesini temsil etmektedir. Şekil 4.187' de tüm numuneler için toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi, Şekil 4.188' de tüm numuneler için alt kat yükü-alt kat deplasmanı, Şekil 4.189' da üst kat yükü-üst kat göreceli kat deplasmanı ve Şekil 4.190' da ise alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden de görüleceği üzere en yüksek dayanıma OSWMSW numunesi, en düşük dayanıma ise RS numunesi ulaşmıştır.



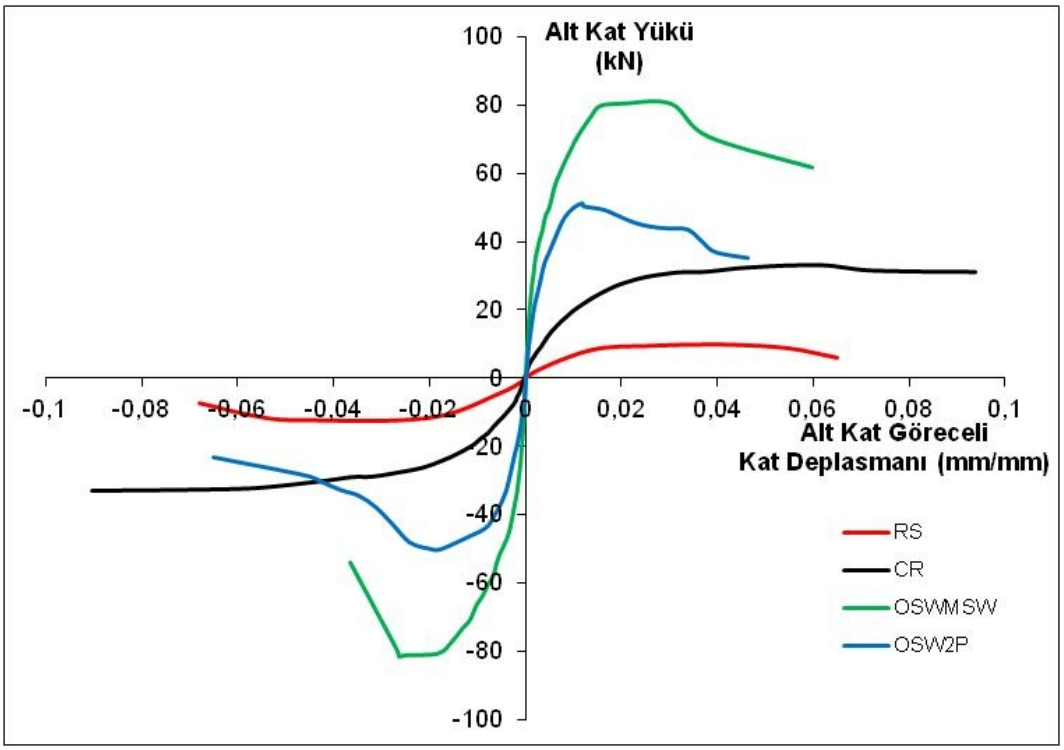
Şekil 4.187. Tüm numuneler için toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği



Şekil 4.188. Tüm numuneler için alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği

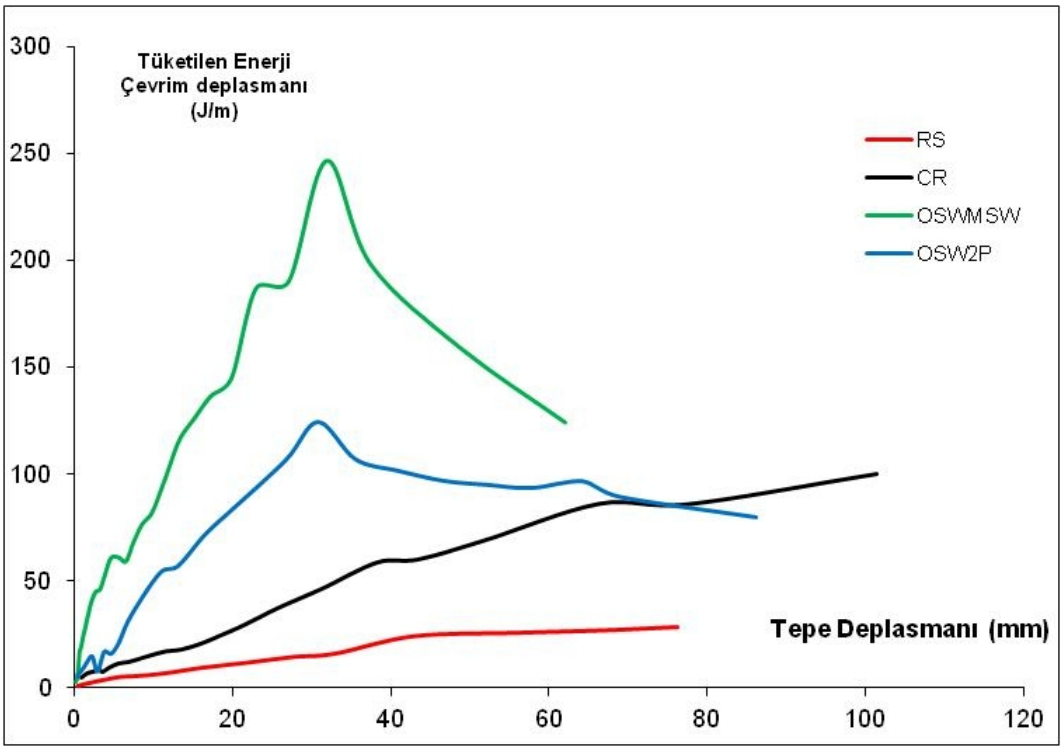


Şekil 4.189. Tüm numuneler için üst kat yükü-üst kat göreceli kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği

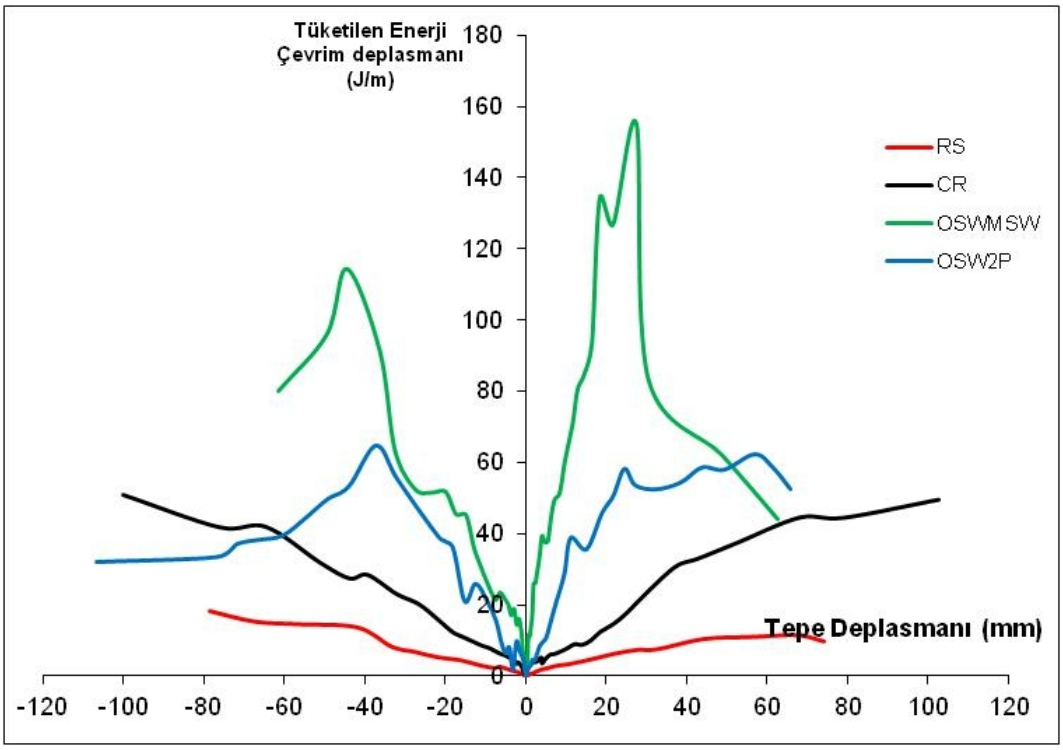


Şekil 4.190. Tüm numuneler için alt kat yükü-alt kat göreceli kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği

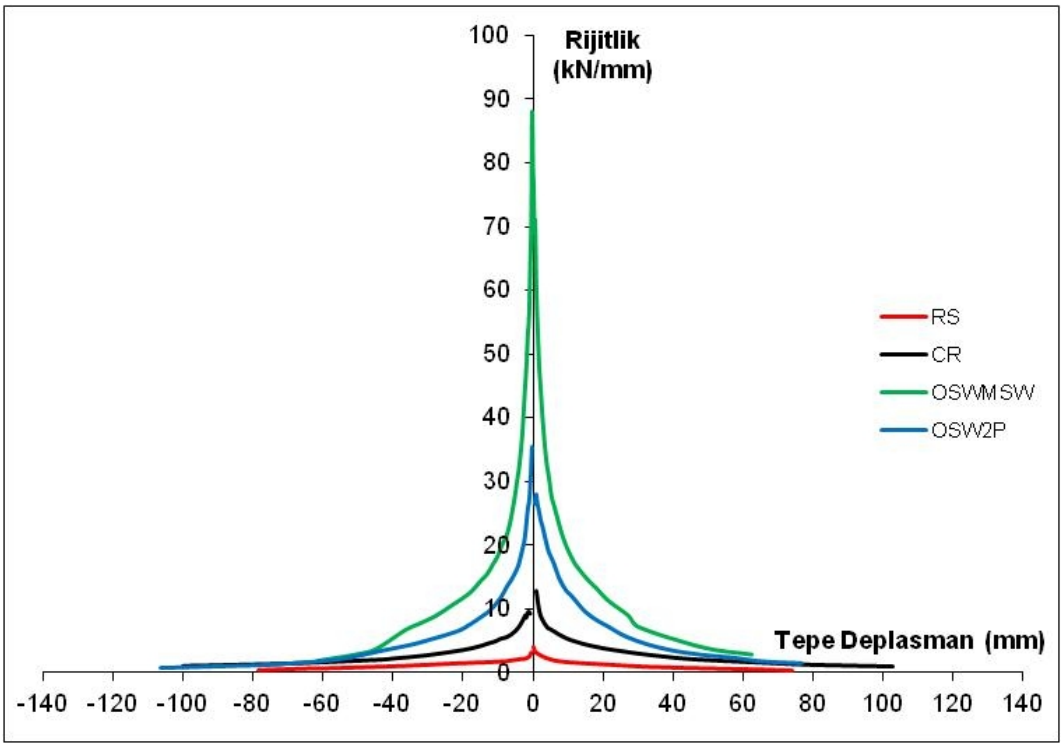
Elde edilen verilere göre oluşturulmuş tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.191 ve Şekil 4.192' de verilmiştir. Şekil 4.193' de ise tüm numuneler için rijitliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Eğim açılarının karşılaştırılması ise yine aynı şekilde tek bir grafikte yapılarak oluşturulmuş ve Şekil 4.194' de verilmiştir.



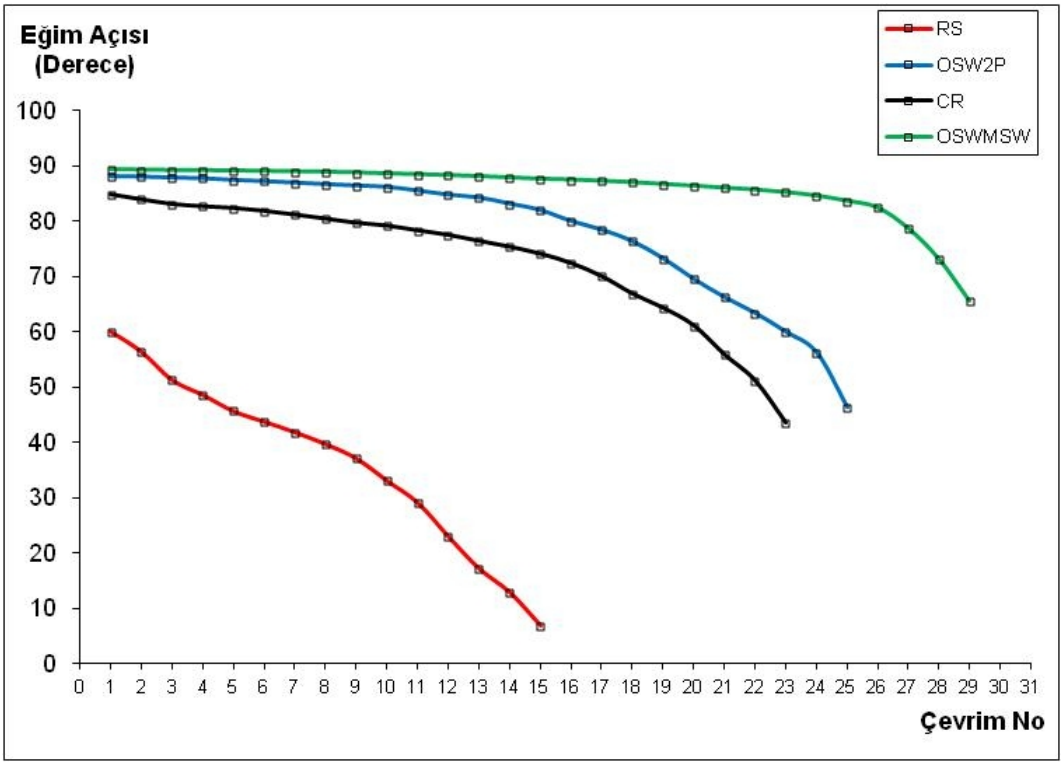
Şekil 4.191. Tüm numuneler için tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.192. Tüm numuneler için pozitif ve negatif yönde tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.193. Tüm numuneler için rijitlik grafiği



Şekil 4.194. Tüm numuneler için eğim açısı grafiği

Han S.W. ve Jee N. Y. (2005) yapmış olduğu çalışmada sistem sünekliklerini araştırırken her bir deney numunesinde oluşan toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrilerinin maksimum noktası belirlenmiş ve bu noktadan grafik üzerinde %25 daha düşük olan yerler belirlenmiş ve sistemin sünekliği hakkında yorum yapılmıştır. Yaptığımız çalışmalar sonucunda da Han S.W. ve arkadaşlarının yaptığı gibi maksimum yükün %75'ine denk gelen yükler belirlenmiş ve bu noktalardaki deplasmanlar kaydedilmiştir. Çizelge 4.5' de pozitif çevrimlere ait veriler, Çizelge 4.6' da ise negatif çevrimlere ait veriler gösterilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü üzere maksimum yükün %75'indeki deplasman değerleri CR numunesinde en yüksek değerdedir. Dolayısıyla CR numunesi diğer numunelere göre daha sünek bir davranış sergilemektedir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6' da deplasman oranları tüm numuneler için karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre referans aldığımız RS numunesi süneklik bakımından CR numunesinden daha az sünek olduğu, fakat betonarme perde ile güçlendirilmiş OSWMSW ve OSW2P numunelerinden daha sünektir. Yani sisteme ilave edilen betonarme perdeler sistemin sünekliğini azaltmaktadır.

Çizelge 4.5. Pozitif çevrimler için sistem sünekliklerinin belirlenmesi

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Vmax (kN)	$\frac{Vmax}{Vmax(RS)}$	0.75Vmax (kN)	0.75Vmax deplasmanı (2.Değer)(mm)	$\frac{0.75Vmax}{0.75Vmax(RS)}$ (Deplasman oranı)	0.75Vmax deplasmanı (1.Değer)(mm)	$\frac{0.75Vmax}{0.75Vmax(RS)}$ (Deplasman oranı)	2. Değer / 1. Değer
RS	29.6	1	22.25	70.72	1	16.19	1	4.37
CR	99.38	3.36	74.54	102.75	1.45	19.26	1.19	5.33
OSWMSW	241.52	8.16	181.14	52.34	0.74	8.34	0.51	6.28
OSW2P	153.55	5.19	115.16	63.67	0.90	8.46	0.52	7.53

Çizelge 4.6. Negatif çevrimler için sistem sünekliklerinin belirlenmesi

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Vmax (kN)	$\frac{Vmax}{Vmax(RS)}$	0.75Vmax (kN)	0.75Vmax deplasmanı (2.Değer)(mm)	$\frac{0.75Vmax}{0.75Vmax(RS)}$ (Deplasman oranı)	0.75Vmax deplasmanı (1.Değer)(mm)	$\frac{0.75Vmax}{0.75Vmax(RS)}$ (Deplasman oranı)	2. Değer / 1. Değer
RS	-37.88	1	-28.41	-74.30	1	-19.64	1	3.78
CR	-99.30	2.62	-74.48	-99.98	1.35	-23.80	1.21	4.20
OSWMSW	-244.21	6.45	-183.16	-42.20	0.57	-10.22	0.52	4.13
OSW2P	-150.97	3.99	-113.23	-55.30	0.74	-10.53	0.54	5.25

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda güçlendirme çalışmaları ile araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan güçlendirme çalışmalarında yapıların tamamen boşaltılması gerektiği düşünülmüştür. Ancak bu durum okul, hastane, yurt gibi kamu binalarında uygulandığında büyük ekonomik kayıplarla karşılaşılacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, güçlendirme için yapılan perde duvarlar düzlem dışına yerleştirildikleri için yapıların boşaltılmasına gerek kalmaması ve ekonomik kayıpların en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada deprem dayanımı yetersiz sünek olmayan betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarlarla güçlendirilmesi incelenmiştir.

5.1 Sonuçlar

Deney serisinde toplam 4 adet deney numunesi depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında denenmiştir. Numunelere kolon taşıma kapasitelerinin %20 si kadar eksenel yük verilmiştir.

1. deney numunesi güçlendirme içermeyen ve Türk yapı stoğunda sıkça rastlanan detaylandırma hatalarına sahip güçlendirme içermeyen boş çerçevedir. Bu deney numunesi ileri çevrimlerde 29.67 kN, geri çevrimlerde 37.88 kN toplam yatay yük taşımıştır. Çerçeve sünekliliğinin ölçüsü olarak dayanımın %25 azaldığı noktadaki deplasman akma deplasmanına bölünerek süneklik katsayısı elde edilmiştir. Bu çerçevede süneklik katsayısı 4.36 olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında denenen 2. deney numunesi kolonların mantolanması ile güçlendirilmiş numunedir. Bu numune yüksek lisans tez çalışmasını takip eden bir diğer doktora tez çalışması dahilinde yapılan deneylerle, bu çalışmada yapılan deneylerin karşılaştırılması ve kolonların mantolanarak çerçevenin güçlendirilmesi ile perde duvar ilavesi ile çerçeve güçlendirilmesi arasındaki farkı görebilmek için denenmiştir. Numunede uygulanan yatay yükün doğrudan çerçeveye uygulanabilmesi için kolon mantosu sadece 3 taraflı uygulanmıştır. mantonun 4 taraftan uygulanması halinde dayanımın daha da artacağı değerlendirilmiştir. 2. numunede ileri çevrimlerde uygulanan maksimum yatay yük 99.38 kN, geri çevrimlerde 99.30 kN dur. Bu çerçeve referans numuneye göre ileri çevrimlerde 3.36 kat, geri çevrimlerde 2.62 kat fazla yatay yük taşımıştır. Süneklik katsayısı olarak 5.33 değeri hesaplanmıştır. Kolon mantosu hem yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmış, hem de sünekliliğin artmasına yardımcı olmuştur.

3. numunede çerçeve düzlemi dışında çerçeveye paralel bir şekilde ve çerçeve boyunca 7 cm kalınlığında dış perde duvar ayrıntıları tez içerisinde verildiği şekilde ankraj kamaları ile çerçeveye sabitlenmiştir. Bu numunenin yüklenmesinde de yatay yükün doğrudan çerçeveye uygulanmasında ve ankraj kamaları vasıtası ile perdeye aktarılmasına dikkat edilmiştir. Bu güçlendirme önerisinin binaların dış cephe akslarında uygulanması amaçlanmıştır. Konsol içermeyen bina cephelerinde dış kolon ve kirişlere ankrajlarla tutturulmuş perdenin yeni temel sistemi ile beraber deprem dayanımına katkı yapacağı düşünülmüştür. Ancak bina dış cephelerinde genellikle pencere boşlukları bulunmaktadır. Bu nedenle numunede imal edilen perdede 35x40 cm ebatlarında pencere boşluğu bırakılmıştır. Bırakılan pencere boşluğunun perde alanına oranı %10 dur. Bu orandan daha fazla boşluk bırakılması perde davranışını olumsuz etkileyecektir. Perde başında ve sonunda perde uç bölgeleri teşkil edilmiştir. Pencere kenarlarında ise perde uç bölgesi yapılmamıştır. Bunun amacı pencere boşluğunun perde davranışına olabilecek en büyük olumsuz etkisini görmektir. Pencere boşluğunun oluşturduğu olumsuz etkileri gidermek için uygulanabilecek değişik donatı düzenlemeleri ileriki çalışmalarda ele alınabilir. Bu numune ileri çevrimlerde 241.52 kN, geri çevrimlerde 244.21 kN toplam yatay yüke maruz kalmıştır. Referans numuneyle karşılaştırıldığında ileri çevrimlerde 8.16 kat, geri çevrimlerde 6.45 kat dayanım artışı söz konusudur. Süneklik katsayısı olarak 6.27 değeri hesaplanmıştır. Bu numune kolon mantolu numuneye göre daha az sünek davranmıştır. Perde ilavesi ile güçlendirme kolonların mantolanarak güçlendirilmesine göre dayanımda yaklaşık 2.5 kat fazla artışa sebep olmaktadır.

4. numunede dıştan perde uygulaması aynen yapılmış, ancak pencere altındaki perde kısmı yapılmamıştır. Böylelikle çerçevede aynı pencere boşluğu bırakılmıştır. Bu durumda dışarı ilave edilen perde iki ayrı bağımsız parçadan oluşmuştur. Perdelerin pencere altından birbirine bağlanmamasının davranışa getireceği etkiler incelenmiştir. Perdelerde başlık bölgesi 3. numuneye benzerlik göstermesi açısından sadece kolon kenarlarında yapılmıştır. Diğer donatı detayları 3. numuneyle aynıdır. Bu numune ileri çevrimlerde 153.55 kN, geri çevrimlerde 150.97 kN yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Referans numune ile karşılaştırıldığında ileri çevrimlerde artış 5.19 kat, geri çevrimlerde 3.99 kattır. Süneklik katsayısı olarak 7.52 katsayısı elde edilmiştir. Yani bu numune 3. numuneden daha sünek davranmıştır. Süneklikteki bu artışa karşılık 4. numune 3. numunenin %63 kapasitesine ulaşabilmiştir. Pencere alt hizasından perdelerin birbirine bağlanması dayanımı önemli ölçüde arttırmaktadır.

Yapılan güçlendirmelerin başlangıç rijitliğine etkisi incelendiğinde, ilk dayanım rijitliği küçükten büyüye doğru sırasıyla; referans numune, kolon mantolu numune, 2 perdeli numune ve pencere boşluklu tam perdeli numune olarak belirlenmiştir. Çevrim rijitlikleri tüm numuneler için ilerleyen deplasmanlarda azalmakta ve yaklaşık 60 mm tepe deplasmanında birleşmektedir.

Deney sonuçları enerji tüketimi bakımından değerlendirildiğinde ise elde edilen enerji tüketim değerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla; pencere boşluklu tam perdeli numune, 2 perdeli numune, kolonlar mantolu numune, referans numune şeklinde tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Düzlem dışı perde duvarlarla güçlendirmede dış perde ile mevcut çerçeve sistemi ankraj kamaları ile bağlanmıştır. Ankrajın sağlıklı olabilmesi için mevcut çerçeve beton kalitesinin iyi olması gerekmektedir. Dış perdelerin deprem yüküne katkıda bulunabilmesi için ankrajların iyi yapılması da önemli bir noktadır. Düşük dayanımlı çerçevelerde (C12 ve daha altı) ankrajların ve önerilen güçlendirmenin etkinliği mutlaka incelenmelidir. İleriye yönelik çalışmalarda çerçevelerin C10 sınıfı beton ile üretilerek dış perde duvarın etkinliğinin araştırılması düşünülebilir. Ayrıca ankraj kamalarının adet ve yerleşimi de incelenmesi gereken bir husustur.

Pencere çevresinde başlık bölgesi oluşturulması ve pencere altında 45^{o} eğimli donatılar yerleştirilmesini incelenmesi gereken bir başka araştırma noktasıdır. Bu şekilde pencere kenarları güçlendirilerek, pencerenin sistem davranışına olan olumsuz etkisi azalacaktır.

İki perdeli numunede oluşturulan güçlendirme perdelerinin arasına bağ kirişi konulmamıştır. İki perde ile güçlendirilmiş numune referans alınarak çeşitli şekillerde oluşturulmuş bağ kirişlerinin sisteme ilavesi incelenmesi gereken konulardan birisidir.

Türkiye'deki kamu binalarının güçlendirme işlemi sırasında boşaltılması ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Düzlem dışı perde duvar uygulaması ile bu yapıların boşaltılmasına gerek kalmayacağı düşünülmektedir.

Ülkemizdeki yapı stoğu gözönüne alındığında bu tür güçlendirme çalışmalarının yapılması hem bilimsel açıdan hem de yapı stoğunun iyileştirilmesi açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

ACI 318-99, Building code requirements for reinforced concrete, *American Concrete Institute Standard*.

Akakın, T., 1998, The effect of concrete quality on eartquake design: economical aspects, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi,* İstanbul, 68

Akın, S. K., 2006, Betonarme çerçevelerin çapraz çubuklar yardımıyla güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 350.

Aktürk, S., 2004, 1998 afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikteki yapı düzensizliklerinin ve çözüm önerilerinin mimari açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 128.

Alsancak, E., 2007, Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hasır çelikli betonarme plaklarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 141.

Altın, S., 1990, Strengthening of R/C frames with R/C infills", Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi,* Ankara.

Altın, S., Anil, Ö., Kara, M. E. ve Kaya, M., 2008, An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips, *Composites Part B: Engineering*, 39, 680-693.

Anıl, Ö., 2002, Betonarme çerçevelerin boşluklu betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Anıl, Ö. ve Altın S., 2007, An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, *Engineering Structures*, 29, 449-460.

Anonim, 2012a, http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx

Anonim, 2012b, http://paos.colorado.edu/~fasullo/1060/lectures/lec18d.html, http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/yerkure.htm

Anonim, 2012c, http://www.cografya.org/yeryuzundeki-depremlerin-dagilisi.html

Anonim,2012d,http://www.deprem.gov.tr/sarbis/DDK/JICA_%FClke%20strateji%20raporu_2004.pdf

Anonim, 2012e, http://www.deprem.gov.tr/sarbis/shared/DepremHaritalari.aspx, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.

Anonim, 2012f, www.koeri.boun.tr/sismo/

Anonim,2012g,http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/images/TURKIYE_1900_20XX_M58.png

Anonim, 2012h, http://megainsaatvemimarlik.wordpress.com/tag/zemin-sivilasmasi/

Anonim, 2012ı, http://www.akademiteknikyapi.com/tr/technics/technics05.php

Anonim, 2012i, http://megainsaatvemimarlik.wordpress.com/tag/cekicleme-etkisi/

Anonim, 2012j, http://www.allianzrisk.com/?p=159

Anonim, 2012k, http://www.iyte.edu.tr/Duyurular.aspx?m=480

Anonim, 2012l, http://hasimyapi.com/onarim_guclendirme1.html

Anonim,2012m,http://www.turkmanga.org/wp-content/uploads/2010/08/17-a%C4%9Fustos-depremi-resimleri.jpg

Anonim, 2012n, http://www.dipcik.com/wp-content/uploads/2011/10/van-depremi.jpg

Anonim, 2012o, http://www.target.info.tr/bd_kontrol5.html.

Anonim, 2012ö, http://forum.yapisal.net/kolonlar/1528-tehlikeli-yapilar-paslanmis-kolon-detaylari.html.

Anonim, 2012p, http://www.akademikteknikyapi.com/tr/technics/technics02.php.

Anonim, 2012 r, http://megainsaatvemimarlik.wordpress.com/tag/kalitesiz-iscilik/.

Anonim, 2012s, http://haber.insaatfirmalari.com/yapi-hasarlari-örnekleri-h100080.html.

Anonymous, 2012, www.nicee.org/EQTips.php

Arslan, M. H., 2007, Kolonları çekme kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 405.

Atalay, İ., 1987, Türkiye jeomorfolojisine giriş (Genişletilmiş 2. Baskı), *Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi,* Yayın No:9, İzmir.

Atımtay, E., 2009, Depremde çökmeyen bina nedir? Nasıl projelendirilir? *ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Emekli Öğretim Üyesi*, Ankara.

Bachmann, H., 2003, Depreme dayanıklı yapı tasarımı, mühendisler mimarlar, bina sahipleri ve yetkililer için temel ilkeler. In: Gülkan,P. (ed.) *Mahalle Afet Gönüllüleri Vakfı*, 10.

Baran, M., Canbay, E. ve Tankut, T., 2010, Beton panellerle güçlendirme-kuramsal yaklaşım, *İMO Teknik Dergi*, 324, 4959-4978.

Bayülke, N., 2001, Depreme dayanıklı betonarme ve yığma yapı tasarımı, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, Yayın No: 39, 15.

Bechtoula ve ark, 2004, Simulation of damage progression in lower stories of 11- story buildings, *13th World Conference of Earthquake Engineering*, August 1-6, Canada, Paper no: 3246.

Buonopane, S.G., White, R.N., 1999, Pseudodynamic testing of masonary ınfilled reinforced concrete frames, *ASCE, J of Structural Engineering*, 125 (6), 578-589.

Burtz, J.L., 2003, Behavior and design of grouted anchors loaded in tension ıncluding edge and group effects and qualification of engineered grout products, Master Thesis, *University of Florida*, USA.

Canbay, E., 2001, Contribution of R/C ınflls to the seismic behaviour of structural system, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi,* Ankara.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004, Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Profesörleri, Üçüncü Baskı, İstanbul.

Ceritli, Y. S., 2006, Depremde hasar görmüş yapıların mantolama ve perdelerle güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elazığ, 104.

Çiçek, Okyay, R., 2006, Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* 66.

Demir, İ., Simsek, O., Yaprak, H., 2009, Ankraj donatısı türünün ankraj performansına etkisi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.

Ediz, İ., 2006, Kagir yapılarda kullanılan taşıyıcı duvarların güçlendirilmesinin deneysel incelenmesi hasır çelik donatı ve kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirilmesinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 155.

Erdem, I., Akyüz, U., 2004, Nonlinear analyses of two strengthened infilled RC frames, *6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi (ACI)*, 6-8 Ekim, İstanbul, 306-314.

Ersubaşı, F., 2008, Yığma yapıların deprem davranışının sarsma masasında dinamik olarak incelenmesi ve farklı güçlendirme seçeneklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya,

Ertaş, O., 2005, Ductile beam-column connections in precast concrete moment resisting frames, Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, 172.

Faella, C.., Martinelli, E., Nigro, E., 2004, Seismic assessment and retrofitting of r.c. existing buildings, *13th World Conference of Earthquake Engineering*, August 1-6, Canada, Paper no: 84.

FEMA 273/356, Federal emergency management agency, 1996 a. Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Cilt I, *Redwood City*, California, USA.

Gökçe, M. V., 2002, Yapıların deprem etkisi altında strüktürel davranış biçimleri ve depreme dayanıklı yapılarda mimari tasarım ilkeleri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Niğde, 195.

Gülmez, Ö., 2010, Depremde hasar gören betonarme yapıların güçlendirilmesi ve mimariye olan etkisi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 106.

Gültekin, E. E., 2008, Mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana, 204.

Gürbüz, T., 2007, Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Gürol, K. B., 2007, Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İzmir, 143.

Han, W. S., Jee, N. Y., 2005, Seismic behaviors of columns in ordinary and intermediate moment resisting concrete frames, *Engineering Structures*, 27, 951-962.

Hünük, T. N., 2006, Betonarme yapılarda depreme dayanıklılığı sağlayan mimari tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta, 110.

İlki, A., Demir, C., Karadeniz, A. ve Kumbasar, N., 2003, Hasarlı betonarme elemanların çelik köşebent ve lamalar ile güçlendirilmesi, *İTÜ Dergisi/D Mühendislik,* 2 (3), 3-16.

İnan, T., 2010, The interaction of reinforced concrete skeleton systems and architectural form subjected to earthquake effects, Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Teknoloji Enstitüsü*, İzmir, 173.

İSMEP, 2009, İstanbul sismik riskin azaltılması ve acil durum hazırlık projesi, Depreme karşı yapısal güçlendirme, *İstanbul Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü*, İstanbul, 36.

JİCA, 2004, Türkiye' de doğal afetler konulu ülke strateji raporu, Ankara.

Kaltakcı, M. Y., Ünal, A., Korkmaz H. H., 2011. TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi, *Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı*, 14-15 Mayıs, Kocaeli.

Kaltakcı, M. Y., 2010, Depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımı, *Basılmamış Ders Notu*, Selçuk Üniversitesi.

Kara, M. E, 2006, Sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 219.

Kara, M. E. ve Altın, S., 2006, Behavior of reinforced concrete frames with reinforced concrete partial infills, *Aci Structural J*, 103, 701-709.

Karataş, O., 2009, Rehabilitation of the damaged brick infilled RC frames by cfrp overlays and epoxy injection, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 112.

Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S., Aoyama, H., 1995, Earthquake resistant design of shear walls with one opening, *ACI Structural J*, 92 (4), 495- 500.

Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., 1999, Strength and deformation capacity of canlilever structural walls with openings, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, PEER Report 1999/10, Berkeley, Maui, Hawaii, 311-322.

Kaya, Y., 2007, Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılabilecek kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 185.

Kaya, S. A., 2009, Seismic retrofitting of R/C frames with deficient lap splices, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 106.

Konak, N., 2002. 17 Ağustos 1999 depreminde yıkılan binaların mimari hataları. , Yüksek. Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adapazarı, 108.

Korkmaz, S. Z., Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Döndüren, M. S., Çöğürcü, T., 2010, Experimental study on the behaviour of nonductile infilled RC frames strrengthened with external mesh reinforcement and plaster composite, *Nat Hazards and Earth Syst Sci*, 10, 2305-2316.

Kuşan, 2002, Depremde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 148.

Küçük, D., 2006, Deprem zararlarını azaltma çalışmalarında mimarlık eğitiminin yeri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 148.

Mazılıgüney, L., 2007, Tensile behavior of chemically bonded post-ınstalled anchors in low-strength reinforced concrete, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Mertol, A. ve Mertol, H. C., 2002, Deprem mühendisliği depreme dayanıklı yapı tasarımı, *Kozan Ofset*, s:4.

Nohutçu, H., 2007, Prefabrik betonarme endüstri yapılarının dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* 195.

Onar, E., 2007, Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların cfrp ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 152.

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.

Özdöner, N., 2011, Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile arttırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 200.

Özmen, C., 2008, A comparative structural and architectural analysis of earthquake resistant design principles applied in reinforced concrete residential buildings in Turkey, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi,* Ankara, 204.

Öztürk, K., 2001, Depremin yapıya zararları ve deprem sonrası yapı onarım güçlendirme ilkeleri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

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, 342.

Sezer, B., 2004, Seismic strengthening of existing RC frame buildings by steel panels, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 87.

Shahshenas, R., 2009, Detailed assessment study and concept retrofit design of existing typical RC buildings in Turkey by eccentrically steel braced frames, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 155.

Sittipunt, C., Wood, S.L., 1995, Improving the cyclic response of slender structural walls by changing the orientation of the web reinforcement, *ACI Structural J*, 92 (6), 745-767.

Sittipunt, C., Wood, S.L., 1999, Improwing the cyclic reponse of selender structural walls by changing the orientation of the web reinforcement, *Pacific Earthquake Engineering Research Center,* University of California, PEER Report 1999/10, Berkeley, Maui, Hawaii, 323-332.

Sonuvar, M.O., 2001, Hysteretic response of reinforced concrete frames repaired by means of reinforced concrete infill's, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.*

Şirin, C., 2006, Yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri ve yapıların onarım ve güçlendirilmesi teknikleri ile bir yapının güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 277.

Taylor, C. P., Cote, P. A., Wallence, J. W., 1998, Design of selender reinforced concrete walls with openings, *ACI Structural J*, 95 (4), 420-433.

TDY, 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi,* Yayın No: İMO/09/01, İzmir.

Terzioğlu, T., 2011, Experimental evaluation of the lateral load behavior of squat structural walls, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 176.

TS500-2000, Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Şubat 2000, Ankara.

Türk, A.M., 1998, Rehabiliton of reinforced concrete infill walls, Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 213.

Türk, M., Ersoy, U., Özcebe, G., 2003, Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla depreme karşı onarımı ve güçlendirilmesi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs, AT-045, İstanbul,

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

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.

Yıldırım, M., 2008, Deprem etkisindeki betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Hatay*,* 111.

Yılmaz, Ü. S., 2007, Kolonları basınç kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 382.

Zacek, M., 2002, Depreme dayanıklı yapı tasarımı ön proje aşaması, (M. Tolga Akbulut çeviren) YTÜ Uluslar arası Kentsel Çalışmalar Araştırma Merkezi, İstanbul, 113.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Alptuğ ÜNAL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Erzincan 19/06/1983
Telefon : 0332 223 26 49
Faks : 0332 241 06 35
e-mail : alptugunal@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Milli Piyango Anadolu Lisesi, Erzincan	2001
Üniversite	:	Erciyes Üniveristesi, Kayseri	2008
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Konya	2012
Doktora	:	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2009-…	Selçuk Üniversitesi	Arş.Gör.

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR