



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI DETAYLARA SAHİP BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ali ÖZERDEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2023  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ali ÖZERDEM tarafından hazırlanan “FARKLI DETAYLARA SAHİP BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 23/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Fatih Süleyman BALIK

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

Ali ÖZERDEM

Tarih:17/07/2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FARKLI DETAYLARA SAHİP BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ali ÖZERDEM

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih Süleyman BALIK  
İkinci Danışman: Doç. Dr. Fatih BAHADIR

2023, 76 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Fatih Süleyman BALIK  
Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL  
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Ülkemiz coğrafi konumu gereği aktif deprem kuşaklarından birinde bulunmaktadır, bu da depremlerin hayatımızın bir parçası olduğunu ortaya koymaktadır. Deprem gibi doğal afetler, yapıların inşa edilme süreçlerini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, ülkemizde mevcut olan yapılar için belirli şartları ve esasları olan yönetmelikler geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, deprem yönetmeliklerinde yapılan değişiklikleri yansıtabilecek nitelikte 1/5 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 3 adet betonarme çerçeve numunelerin üretilerek deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesidir. Üretilen bu numunelerde temel değişken donatı detayları olmuştur. Deney numuneleri deprem yüklerini simüle eden tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Çalışma kapsamında, farklılıkları daha iyi gözlemlemek amacıyla bir numune referans olarak seçilerek test edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre betonarme çerçevede uygulanan donatı detaylarının çerçeve davranışını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bindirme boylarının fazla tutulması ve enine donatılarda aralıkların sık olması çerçevenin rijitlik, yük taşıma kapasitesi, dayanım ve enerji tüketme kapasitesini artırmıştır. Bu çalışma, depremlere karşı dayanıklı yapıların tasarımı ve inşası konusunda önemli bir katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, gelecekteki yapı projelerinde deprem etkilerinin daha etkin bir şekilde dikkate alınmasına yardımcı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme çerçeve, donatı detayları, deprem davranışı, tersinir-tekrarlanır yükleme, yapı yönetmelikleri

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH DIFFERENT DETAILS**

**Ali ÖZERDEM**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih Süleyman BALIK  
Co Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih BAHADIR**

**2023,76 Pages**

### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Fatih Süleyman BALIK  
Assoc. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL  
Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER**

Our country is located in one of the active earthquake zones due to its geographical location, which reveals that earthquakes are a part of our lives. Natural disasters such as earthquakes are among the factors affecting the construction processes of buildings. In this context, regulations with certain conditions and principles have been developed for the existing buildings in our country.

The aim of this study is to produce three 1/5 scale, single span and two-store reinforced concrete frame specimens that can reflect the changes in earthquake regulations and to determine their behaviors under earthquake effects. The main variable in these specimens was the reinforcement details. The specimens were tested under reversible-repeatable loads simulating earthquake loads. Within the scope of the study, one specimen was selected and tested as a reference to better observe the differences.

According to the results obtained, it was observed that the reinforcement details applied in the reinforced concrete frame significantly affected the frame behavior. The stiffness, load carrying capacity, strength and energy dissipation capacity of the frame increased when the lap lengths were kept high and the spacing of the transverse reinforcements was frequent.

This study makes an important contribution to the design and construction of earthquake resistant structures. The findings will help to consider earthquake effects more effectively in future building projects.

**Keywords:** Reinforced concrete frame, reinforcement details, earthquake behavior, reversible-repeatable loading, building codes

## ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmanın her aşamasında bana destek veren ve çok emeği olan danışman hocam Doç. Dr. Fatih Süleyman BALIK'a ve tez ikinci danışman hocam Doç. Dr. Fatih BAHADIR'a öncelikle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü öğrencilerine teşekkür ederim.

Son olarak çalışmam boyunca dualarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda bana destek olan ve değerli katkılarından dolayı eniştem Dr. Abdullah Sencer TEMEL'e teşekkür ederim.

Ali ÖZERDEM  
KONYA-2023

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi .....	5
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>13</b>
3.1. Deney Numunelerinin Detayları .....	13
3.1.1. Kusurlu betonarme çerçeve .....	15
3.1.2. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve .....	16
3.1.3. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve .....	17
3.1.4. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri .....	18
3.2. Deney Düzenegi, Ölçüm Tekniği ve Ölçümlerin değerlendirilmesi .....	18
3.2.1. Yükleme düzenegi .....	18
3.2.2. Ölçüm tekniği .....	20
3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi .....	21
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>24</b>
4.1. Deney Sonuçları.....	25
4.1.1. Kusurlu betonarme çerçeve .....	25
4.1.2. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve .....	34
4.1.3. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve .....	43
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	51
4.2.1. Çalışma kapsamındaki numunelerin karşılaştırılması .....	52
4.2.1.1. Dayanımların karşılaştırılması .....	52
4.2.1.2. Rijitliklerin karşılaştırılması .....	53
4.2.1.3. Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması .....	55
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>58</b>
5.1. Sonuçlar .....	58
5.2. Öneriler .....	60
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>61</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

kN : KiloNewton

MPa : Megapascal

cm : Santimetre

mm : Milimetre

$\ell_b$  : Kenetlenme boyu

$\rho$  : Çekme donatısı oranı

$f_y$  : Boyuna donatı akma dayanımı

$f_{su}$  : Boyuna donatı kopma oranı

$\phi_i$  : Rijitlik değeri

$F_1$  : Üst kata uygulanan toplam yatay yük

$F_2$  : Alt kata uygulanan toplam yatay yük

$\delta_i$  : Deneylerin itme ve çekme çevrimlerinde ölçülen yatay deplasman değerleri

### Kısaltmalar

DBYBHY 2007 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

TBDY 2018 : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

ABYYHY 1998 : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

TS500-2000 : Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları

LVDT : Linear variable differential transformer

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018) .....	1
Şekil 1.2. Kahramanmaraş depremi sonrası oluşan yıkım (TMMOB, 2023) .....	2
Şekil 1.3. 1999 Gölcük depremi sonrası yapılarda oluşan hasarlar (Gürbüz, 2015) .....	3
Şekil 1.4. Çirozların yönetmeliklere göre kıyası (TBDY 2018 ve DBYDHY 2007).....	3
Şekil 1.5. Kolon boyuna donatısı bindirmeli ekin DBYBHY 2007'ye göre yerleşimi ....	4
Şekil 1.6. Kolon boyuna donatısı bindirmeli ekin TBDY 2018'e göre yerleşimi .....	5
Şekil 3.1. Betonarme çerçevelerin üretim sürecine ait fotoğraflar .....	14
Şekil 3.2. Kusurlu betonarme çerçeve .....	15
Şekil 3.3. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve.....	16
Şekil 3.4. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve.....	17
Şekil 3.5. Numunelerin test edileceği yükleme düzeneği.....	19
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi (Balık, 2012).....	20
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin numuneler üzerindeki yerleşimi .....	21
Şekil 3.8. Numune rijitliklerinin belirlenmesi .....	22
Şekil 3.9. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması (Arslan, 2007) .....	23
Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi.....	24
Şekil 4.2. Deney numunesi 1'in deney öncesi görünümü (D.N.1).....	25
Şekil 4.3. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)	25
Şekil 4.4. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre) .....	26
Şekil 4.5. Deney numunesi 1'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar .....	27
Şekil 4.6. Deney numunesi 1'nin akma sonrası görünümü (+8 itme çevrimi).....	28
Şekil 4.7. Deney numunesi 1'in maksimum yükleme sonrası görünümü (+7 itme çevrimi).....	29
Şekil 4.8. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+11 itme çevrimi).....	30
Şekil 4.9. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar .....	31
Şekil 4.10. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar .....	32
Şekil 4.11. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N.1).....	33

<b>Şekil 4.12.</b> Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.1) .....	33
<b>Şekil 4.13.</b> Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.1) .....	33
<b>Şekil 4.14.</b> Rijitlik azalımı grafiği (D.N.1).....	34
<b>Şekil 4.15.</b> Deney numunesi 2'in deney öncesi görünümü (D.N.2).....	34
<b>Şekil 4.16.</b> Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) .....	35
<b>Şekil 4.17.</b> Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre) .....	35
<b>Şekil 4.18.</b> Deney numunesi 2'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar ...	36
<b>Şekil 4.19.</b> Deney numunesi 2'nin akma sonrası görünümü (+14 itme çevrimi).....	37
<b>Şekil 4.20.</b> Deney numunesi 2'nin maksimum yükleme sonrası görünümü (+13 itme çevrimi) .....	38
<b>Şekil 4.21.</b> Deney numunesi 2'nin göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+15 itme çevrimi) .....	39
<b>Şekil 4.22.</b> Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar .....	40
<b>Şekil 4.23.</b> Deney numunesi 2'nin, kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar .....	41
<b>Şekil 4.24.</b> Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N.2) .....	41
<b>Şekil 4.25.</b> Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.2) .....	42
<b>Şekil 4.26.</b> Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.2) .....	42
<b>Şekil 4.27.</b> Rijitlik azalımı grafiği (D.N.2).....	42
<b>Şekil 4.28.</b> Deney numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (D.N.3) .....	43
<b>Şekil 4.29.</b> Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) .....	43
<b>Şekil 4.30.</b> Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) .....	44
<b>Şekil 4.31.</b> Deney numunesi 3'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar ....	45
<b>Şekil 4.32.</b> Deney numunesi 3'ün akma sonrası görünümü (+10 itme çevrimi) .....	46
<b>Şekil 4.33.</b> Deney numunesi 3'ün, maksimum yükleme sonrası görünümü (+13 itme çevrimi) .....	47

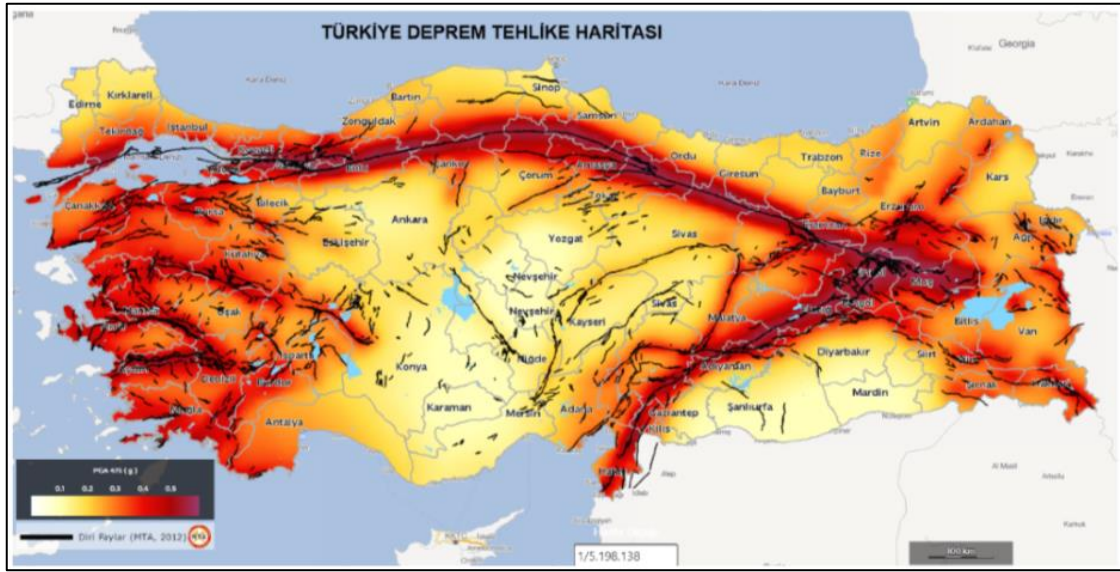
<b>Şekil 4.34.</b> Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+17 itme çevrimi) .....	48
<b>Şekil 4.35.</b> Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar .....	49
<b>Şekil 4.36.</b> Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N.3) .....	50
<b>Şekil 4.37.</b> Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.3) .....	50
<b>Şekil 4.38.</b> Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.3) .....	50
<b>Şekil 4.39.</b> Rijitlik azalımı grafiği (D.N.3) .....	51
<b>Şekil 4.40.</b> Tüm numunelere ait yük- deplasman zarf eğrileri grafiği .....	52
<b>Şekil 4.41.</b> Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği .....	53
<b>Şekil 4.42.</b> Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri .....	54
<b>Şekil 4.43.</b> Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği .....	55
<b>Şekil 4.44.</b> Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre) .....	56

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 1.1.</b> Türkiye’de son yıllarda meydana gelen önemli depremler (Altun, 2018 ve İnel ve ark., 2008) .....	1
<b>Çizelge 3.1.</b> Donatı özellikleri .....	18
<b>Çizelge 4.1.</b> Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları .....	53
<b>Çizelge 4.2.</b> Tüm numuneler için rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik azalımı oranları .....	54
<b>Çizelge 4.3.</b> İtme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları .....	56
<b>Çizelge 4.4.</b> Çekme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları .....	57

## 1. GİRİŞ

Depremler insanların hayatını büyük oranda etkileyen doğal afetlerden biridir. Türkiye en aktif deprem kuşağı olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi ülkemizdeki deprem bölgelerinin dağılımı gösterilmiştir (AFAD, 2018). Deprem tehlikesi haritasına göre ülkemizin %92'sinin deprem bölgesi içinde yer aldığı görülmektedir (TMMOB, 2012).



Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)

Ülkemiz aktif deprem kuşağında bulunduğundan dolayı günümüze kadar çok sayıda deprem yaşanmıştır. Çizelge 1.1'de Türkiye'de önemli hasara ve yıkıma neden olan depremler listelenmiştir. Bu depremlerin neden olduğu sonuçlara bakıldığında depremlerin yaşamımızın bir parçası olduğu gerçeği görülmektedir (Emir, 2020).

Çizelge 1.1. Türkiye'de son yıllarda meydana gelen önemli depremler (Altun, 2018 ve İnel ve ark., 2008)

NO	TARİH	YER	MS	CAN KAYBI	HASARLI BİNA
1	13.03.1992	Erzincan	6,8	653	6702
3	17.08.1999	Kocaeli	7,4	15000	50000
4	12.11.1999	Düzce	7,2	845	15389
5	1.05.2003	Bingöl	6,4	184	8142
6	23.10.2011	Erciş (Van)	7,2	644	17005
7	06.02.2023	Kahramanmaraş	7,7	45968	279655

Türkiye'de 6 Şubat 2023 Pazartesi günü saat 04.17'de, Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesi merkezli 7.7 büyüklüğünde bir deprem ve saat 13.24'te Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesi merkezli 7.6 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir (Şekil 1.2). Bu yaşanan acı felaket on bir şehrimizi etkilemiştir. Bu iki deprem ile ilgili elde edilen ön değerlendirme raporunda yaşanan bu felaketle ilgili önemli bilgiler yayınlanmıştır. Bu rapor incelendiğinde binaların verimli araziler üzerine yapıldığı bu arazilerde zemin sıvılaşması görüldüğü bildirilmiştir. Binaların mevcut yönetmeliklerden daha önce inşa edildiği ve o dönemlerde kullanılan metotların yapı güvenliği açısından yeterli olmadığı görülmüştür. Yapı tasarımlarında kullanılan beton sınıfı, donatı türü ve donatı sayılarının yeterli olmadığı bu da malzeme zafiyetlerinin olduğunu göstermiştir. Ancak 2018 deprem yönetmeliğine göre inşa edilmiş yapılarda bile göçmeler görülmüştür. Bu durum da bize yapılarda yapılacak denetlemelerin daha nitelikli olması, yapıların tasarım ve uygulama süreçlerinin daha titiz bir şekilde yürütülmesi gerektiğini göstermiştir (TMMOB, 2023).



Şekil 1.2. Kahramanmaraş depremi sonrası oluşan yıkım (TMMOB, 2023)

Yaşanılan bu doğal afetin sonucunda maddi ve manevi olarak yaşanan kayıplar insanların hayatlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Ülkemizde bu çaplı büyük bir yıkım en son olarak 1999 yılında meydana gelen Gölcük depremiyle tecrübe edilmiştir (Şekil 1.3). Bu kayıpların önüne geçmek için yapılardaki uygulamaların hayata geçirilmesi sürecinde belirli şartnamelerin yer aldığı deprem yönetmelikleri oluşturulmuştur. Daha sonrasında bu yönetmeliklerde karşılaşılan problemler ve zamanla elde edilen deneyimlerin

sayesinde belirli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişikliklerin başında; 1 Ocak 1998'den beri uygulanan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin” düzenlemesi ile 2007 yılında yürürlüğe konulan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” olmuştur (Balık, 2012). 18 Mart 2018 resmî gazetede yayınlanan “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ile yeniden yapılacak, değiştirilecek resmi ve özel yapıların hepsi ve mevcut olan binaların deprem üzerindeki etkisi ile performanslarına etki eden gerekli koşullar belirtilmiştir.



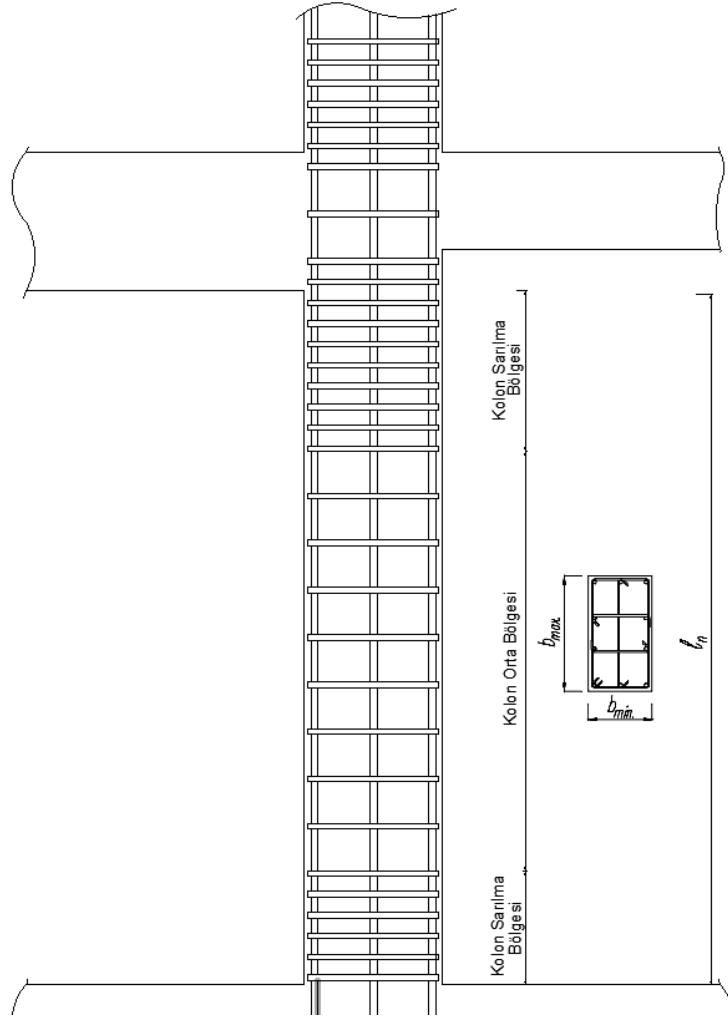
Şekil 1.3. 1999 Gölcük depremi sonrası yapılarda oluşan hasarlar (Gürbüz, 2015)

Deprem yönetmeliklerinde daha güvenli ve dayanıklı tasarımlar yapmak amacıyla bazı değişikliklere gidilmiştir. Donatıların mesafe ve detaylarının değişmesi bu değişikliklerin içerisinde. Yeni yönetmelikte kolon ve perdelerde çirozlar, her iki ucunda da boyuna donatıları ve dış etriyeyi sarması gerekmektedir (Şekil 1.4).

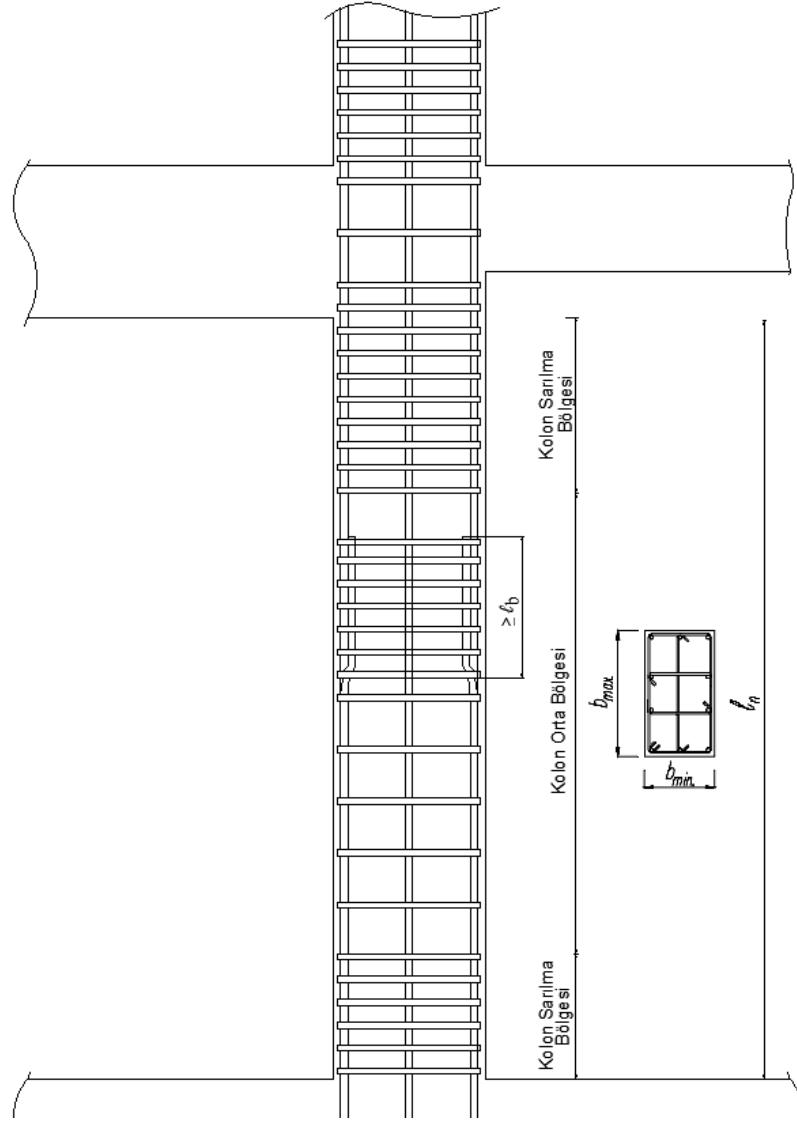


Şekil 1.4. Çirozların yönetmeliklere göre kıyası (TBDY 2018 ve DBYDHY 2007)

Eski yönetmelikte kolon boyuna donatı bindirme ekleri kolon orta bölgesinde yapıldığında  $\ell_b$ , kolonun üst noktasında yapılırsa  $1,5 \ell_b$  alınırken (Şekil 1.5) yeni yönetmelikte bindirme ekmeleri kolonun serbest bölgesinin orta üçte birlik bölgesinde yapılması ve bindirmeli ekinin boyu  $\ell_b$ 'den küçük olmaması gerektiği belirtilmiştir (Şekil 1.6). Kirişlerdeki yatay çirozlar eski yönetmelikte kullanımı zorunlu değilken 2018 deprem yönetmeliğinde yüksek kirişlerde en fazla 60 cm ara ile atılmaktadır. Perdelerde ise yatay donatılar 2007 deprem yönetmeliğinde düşey boyuna donatıların dışından geçilerek perde altında gönyelenirken (DBYBHY 2007), 2018 deprem yönetmeliğinde perde yatay donatıları düşey boyuna donatıların içinden geçirilerek perde uç bölgesi içinde gönyelendiği belirtilmiştir (TBDY 2018).



Şekil 1.5. Kolon boyuna donatısı bindirmeli ekin DBYBHY 2007'ye göre yerleşimi



Şekil 1.6. Kolon boyuna donatısı bindirmeli ekin TBKY 2018'e göre yerleşimi

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Ülkemizin coğrafi konumu, Dünya'daki en aktif deprem kuşaklarından biri olan bölgede bulunduğu için deprem riskiyle karşı karşıyadır. Geçmişten günümüze kadar yaşanan bu depremler, yapı tasarımlarındaki ve uygulamalarındaki hassasiyetin önemini ortaya koymaktadır. Zamanla elde edilen deneyimler, yapıların depreme dayanıklı bir şekilde inşa edilebilmesi için çeşitli faktörlerin etkili olduğunu göstermiştir. Bunun sonucu olarak depreme dayanıklılığı sağlamak amacıyla yapıların inşasında gereken esaslar ve belirli ölçütleri içeren yönetmelikler geliştirilmiştir.

Ülkemizde büyük tahribat ve yıkımlara neden olan depremler sonrasında atılan önemli adımların başında; 1 Ocak 1998'den beri uygulanan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin" düzenlemesi ile 2007 yılında yürürlüğe konulan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" olmuştur. 18 Mart 2018 resmî gazetede yayınlanan Türkiye'de, 18 Mart 2018 tarihinde resmî gazetede yayınlanan "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", yeniden yapılacak, değiştirilecek ve büyütülecek tüm resmi ve özel binaların, aynı şekilde bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin deprem etkisi altında tasarımı, yapımı, mevcut binaların ise deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli kurallar ve minimum koşulları belirlemektedir (Balık, 2012).

Yıllar içerisinde meydana gelen depremlerden elde edilen tecrübeler ve inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak deprem yönetmeliklerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu yönetmeliklerde betonarme taşıyıcı sistemli yapıların elemanlarının, boyutları ile ilgili minimum şart değişiklikleri, donatı detaylarındaki değişiklikler ve yapıda kullanılacak minimum beton sınıfı ile ilgili değişiklikler ilk olarak göze çarpan hususlardır. Yapı elemanlarının detaylarında yapılan bu değişiklikler, yapıların yük taşıma kapasitelerine, yanıl rijitliklerine, süneklik özelliklerine ve enerji tüketme kapasitelerine etki eden unsurlardır.

Bu tez çalışmasında; deprem yönetmeliklerinde yapılan değişiklikleri gösterecek şekilde, 1/5 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı 3 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Yapılan bu numunelerde temel değişken donatı detayları olmuştur. Deney numuneleri, sabit aksenal yük ve deprem yüklerinin tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında simüle edildiği testlere tabi tutulmuştur. Bu sayede farklı detaylara sahip betonarme çerçevelerin deprem davranışları hakkında detaylı bilgi edinilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile betonarme çerçevelerin deprem davranışlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Böylece, betonarme taşıyıcı sistemli yapıların donatı detaylarında yapılan değişikliğin sisteme olan katkıları hakkında detaylı olarak fikir sahibi olunmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaltakçı ve Yavuz (2006), çalışmalarında deprem etkisinin fazla olduğu 1. ve 2. deprem bölgelerinde yetersiz sismik detaylara sahip binaları temsilen iki katlı ve iki açıklıklı 1/3 ölçekli betonarme çerçeve üretmişlerdir. Bu çerçeve tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılmış dayanım ve yük taşıma kapasiteleri ile ilgili bazı veriler elde edilmiştir. Bu verileri SAP2000 programında bulunan verilerle karşılaştırmışlardır. Deney çalışmalarının sonucunda SAP2000'nin analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmüş, deney numunesinde meydana gelen geçmede eğilme durumu etkili olurken kesme etkisinden kaynaklı bir etki görülmemiştir.

Uçar ve Merter (2015), Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olarak üç, dört ve beş katlı betonarme çerçevelerin farklı deprem düzeyleri için plastik enerji tüketebilmek yeteneklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, plastik kesitlerin kiriş uçları ve alt kolon uçlarında oluştuğunu ve hesaplanan plastik enerjinin büyük bir kısmının kiriş plastik mafsallarından sağlandığını göstermiştir. Ayrıca, Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olarak tasarlanan betonarme çerçevelerin yeterli plastik enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Özkaynak (2002), yaptığı çalışmada betonarme yapı elemanlarında uyulması gereken donatı düzenleme kurallarını incelemiştir. Bu kuralları "TS500-2000" ve "ABYYHY 1998" yönetmeliklerine göre belirtmiştir. Yapılarda kullanılacak en uygun donatı düzeni için her yapı elemanı kendi içerisinde ayrı olarak gösterdiği davranışlar baz alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada donatı düzenleme ilkeleri ve belirtilen kurallara uyulmadığında karşılaşılabilecek durumlarla alakalı bilgilendirmeler yapmıştır. Sonuç olarak bir yapı projesinin tamamlanması için sadece statik bilgilerin yeterli olmadığını görmüştür. Donatıların mevcut yönetmeliklerdeki kabullere göre yerleştirilmesi gerektiği sonuca ulaşmıştır.

Esen vd. (2022), çalışmada kiriş elemanlarda beton dayanımı, çekme donatısı miktarı ve etriye aralığı gibi parametrelerin kiriş kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 1/2 ölçekli 16 adet betonarme kiriş numune kullanmışlardır. Numuneler, üç noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda, numunelerin yük taşıma kapasiteleri, süneklikleri, rijitlikleri ve enerji tüketme kapasiteleri

değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen deney verileri aşağıdaki şekilde sunulmuştur:

- 1) Etriye sıklaştırmalarının bulunmadığı veya beton dayanımının düşük olduğu numunelerde eğik çekme çatlaklarının ani olarak gerçekleştiği görülmüştür.
- 2) Deneyde belirlenen parametrelerin birden fazlasında kusur olduğunda numune davranışlarının olumsuz olduğu tespit edilmiştir.
- 3) Beton dayanımı düşük (5 MPa) olan numunede etriye sıklaştırmalarının verdiği hasar, beton dayanımı yüksek olan (7 MPa ve 9 MPa) numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- 4) Kiriş elemanın çekme bölgelerinde bulunan donatı miktarı arttığında numunenin sünekliği azalırken diğer parametrelerin ve sünekliğini arttırmıştır.

Akın vd. (2006), çalışma kapsamında üç katlı üç açıklıklı betonarme çerçeveler incelenmiştir. İlk olarak, etriye kanca açıları 135 derece olan ve birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılan çerçeveler, deprem etkisine benzeyen tersinir-tekrarlanır yatay yük altında davranışlarını incelemiştir. Ardından, etriye kancaları 90 derece olan ve birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmayan çerçeveler, deprem etkisine benzeyen tersinir-tekrarlanır yatay yük altında davranışlarını incelemiştir. Bu deneylerin sonucunda etriye sıklaştırması ile birleşim bölgelerdeki hasarın engellendiğini görmüşlerdir. Etriye kancaları 135 derece olan betonarme çerçevenin, etriye kancaları 90 derece olan çerçeve sistemine göre yük taşıma kapasitesi ve diğer özellikleri bakımından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

İlki ve Kumbasar (2000), betonarme yapılarda tersinir-tekrarlı yükler altındaki hareketlerini incelemiştir. İTÜ deprem laboratuvarında yapılan deneylerde betonarme elemanların yapıdaki davranışlarını etkileyen birden çok faktör olduğunu gözlemlemiştir. Gösterdiği davranışa etki eden faktörlerinin anlatılması için tek tip modelin yetersiz olduğunu görmüşlerdir. Bu nedenle, betonarme elemanların yatay yük-deplasman ilişkisi için önemli etkilere sahip değişkenlerin kullanıldığı bir tersinir-tekrarlı model sunulmuştur.

Kalkan vd. (2019), yaptıkları bu çalışmada boyuna donatı oranının kare boşluklu betonarme kiriş elemanlarının davranışını incelemiştir. Çalışmalarında literatürde

öncesinde yapılmış olan deneysel çalışmalar ile analitik çalışmaları kıyaslamışlardır. Bunun neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır:

- 1) Betonarme kirişlerin sonlu analiz eleman analizleri ile deneysel çalışma sonuçlarının uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- 2) Kare boşluklu betonarme kirişlerde dikmelerdeki etriye bulunma durumuna bağlı olarak boyuna donatı oranının artırılması, yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri ve akma rijitlikleri açısından etriye bulunmayan numunelere göre daha yüksek değerler göstermiştir.
- 3) Boyuna donatı oranının artırılmasıyla kirişlerin kullanım yükü altındaki sehimlerinde azalmalar görülmüştür.
- 4) Kiriş sehimlerinin önemli olduğu yapılarda çekme donatılarının artırılmasıyla oluşacak deformasyonları azaltmak için etkili olmuştur.

Hajirasouliha vd. (2012), çalışmalarında sismik uyarılmalara maruz bırakılan betonarme çerçeveler için pratik bir yöntem geliştirmişlerdir. 5, 10 ve 15 katlı betonarme çerçevelere uygulanan bu yöntem tek tip bir deformasyonun hâkim olduğu anda yapıların güçlü kısımlarından zayıf kısımlara doğru yeniden dağıtılmasıyla elde edilmiştir. Bu tasarım yöntemi sayesinde boyuna donatı ağırlığında %50'den fazla azalmanın sağlanacağı görmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre %30'a kadar daha az hasarın olduğu bunun da betonarme çerçevelerin yapıdaki davranışları olumlu etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Özkal ve Uysal (2017), betonarme yapı elemanlarında kesme kuvvetinin etkili olduğu alanda hesap ve tasarımlarındaki problemleri en aza indirmek için çubuk benzeşimi yöntemi kullanılarak yapı içerisindeki donatıların dizilimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu yöntemleri uygulamak için betonarme konsol bir kiriş üretmişlerdir. Bu çalışmada topoloji eniyilemesi algoritması ile çubuk benzeşimi yöntemleri birbirlerine entegre edilerek bu konsol kiriş üzerine uygulanmıştır. Yapılan deneyler ile donatı dizilimleri oluşturulmuş ve yapısal davranışları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, topoloji eniyilemesi ve çubuk benzeşimi yöntemlerinin birlikte kullanılmasının, mevcut yapı elemanlarının tasarımlarında kullanılan yöntemlere kıyasla daha üstün sonuçlar sağladığını göstermiştir.

Lee ve Woo (2002), yaptıkları çalışmada 1/5 ölçekli üç katlı betonarme çerçevenin sismik performansı ve mevcut statik güvenilirliğini araştırmışlardır. Numuneler deprem simülasyon testlerine ve yapı statik itme analizlerine maruz bırakılmıştır. Bu analizleri birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Uygulanan bu test ve analizlerin sonuçlarında yüksek seviyedeki deprem simülasyon testlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Turan (2022), yaptığı tez çalışmasında betonarme kirişlerin tasarımlarına etki eden bazı faktörleri iki aşamalı olarak anlatmıştır. İlk aşamada betonarme kirişlerde farklı  $b_w/h$  oranının kirişteki davranışına nasıl etki ettiği araştırmıştır. İkinci aşamada ise yönetmelikte buluna minimum ve maksimum donatı sınırlarına uyulan ve bu sınırlara uyulmayan numuneler üretmiştir. Kirişlerde donatının miktarı artması kırılma yüklerinin de artışına etki ettiğini görmüştür. Farklı donatı detaylarına sahip numunelerde ilk çatlağın oluştuğu anda yer değiştirme eğrilerinin doğrusal olduğunu görmüştür. Sonrasında meydana gelen deformasyonların sonucunda kirişlerdeki yük taşıma kapasiteleri ve dayanım rijitliklerinin düştüğü sonucuna ulaşmıştır.

Severcan vd. (2016), farklı donatı oranına sahip betonarme kirişlerde farklı türde yüklemelere maruz bırakılarak oluşan sehimleri incelemişlerdir. Üç farklı tipte donatı oranlarına sahip kirişler laboratuvar ortamında hazırlanmıştır ve analitik yöntem yoluyla bu yüklemelerden elde edilen sonuçları birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirlerine yakın olduğunu görmüşlerdir. Kiriş elemanlarda bulunan boyuna donatıların sayısı arttıkça oluşan deformasyonların sehimler üzerindeki etkisinin önemini ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir.

Yüksel vd. (2020), yaptıkları çalışmada betonarme kirişlerde farklı miktarlarda çekme ve basınç donatıları kullanılarak moment-eğrilik ilişkisini incelemişlerdir. Bu numunelerde değişken olarak beton sınıfını baz almışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda betonarme kiriş modellerinde basınç donatısı artırıldığı zaman akma ve kırılma momentlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Betonarme kiriş numunelerde basınç donatısının artırılması rijitlik, moment taşıma kapasitesi ve süneklik davranışlarında artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kaung ve Wong (2011), sismik tasarıma sahip olmayan betonarme kiriş-kolon derzleri üzerinde döngüsel yük testlerini yapmışlardır. Bu çalışmada yatay etriyelerin bu

tasarıma sahip yapılardaki davranışı incelenmiştir. Yatay etriyelerin bu yapılarda, sismik davranışı artırdığı gözlenmiş ayrıca kesme dayanımlarının da yükseldiğini görmüşlerdir.

Özkal (2017), yaptığı çalışmada kesme açıklığının küçük olduğu kiriş elemanında kesme etkisi sınırlandırılarak farklı etriye dizilimine sahip betonarme kirişler oluşturmuştur. Üretilen 9 adet betonarme kiriş yapılarında farklı tipte etriyeler kullanmıştır. Bu etriyelerin kancaları farklı şekilde ve açıda kullanılarak yapının aderansı hakkında incelemeler yapmıştır. Deney sonuçlarına göre, kesme açıklığının küçük olmasının kesme davranışını tamamen ortadan kaldırmadığını tespit etmiştir. Ayrıca, etriyelerin yerleşiminde kanca açısı, davranış ve aderansında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir.

Turmanidze (2017), enine donatıların kanca açılarının 90 derece ve 135 derece olduğu betonarme kolonlar üzerinde deneyler yapılarak süneklik ve yük-yer değiştirme eğrileri açısından karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmaların sonucunda etriyelerin 135 derece olarak kullanılmasının gerekliliği şu şekilde özetlemiştir:

- 1) Kolon numunelerde boyuna donatı burkulmaları gözlemlenmiştir.
- 2) Etriye kanca açısı 90 derece olan numunelerin etriyelerinde kırılma ve göçmelerin olduğu görülmüştür.

Yıldız (2009), yaptığı çalışmada minimum bindirme boyuna sahip boyuna donatıları olan ve düşük kaliteli beton kullanılarak betonarme kolonları üretmiştir. Bu numuneler farklı eksenel yüklemelere maruz bırakılmıştır. Numunelerden birine herhangi bir yükleme yapılmamıştır. Diğer numunelere %25 ve %50 kapasitesinde eksenel yükler uygulanmıştır. Yüklemelerin sonucunda betonarme kolonlar üzerinde rijitlik, yük taşıma kapasiteleri, oluşan göçme ve hasarları gözlemlenmiştir.

Üstün (2020), yaptığı tez çalışmasında kirişlerin kesme kapasitelerini 30,45,60,90, 135 derece açılarla yerleştirilip konumlandırılan etriyelerin altı farklı kiriş modeli ile kıyaslamıştır. Bu çalışmanın amacı etriye kanca açılarının kiriş modellerdeki davranışlarını incelemektir. Bu nedenle kirişlerin farklı kesitlerdeki donatı çapları, etriye sayıları ve donatı oranları tüm kiriş modellerinde aynı tutularak daha iyi gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda 45° açıyla modellenmiş numunelerin diğer numunelere göre daha iyi dayanım ve performans gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Elde edilen

sonuçların doğrulanması amacıyla ABAQUS sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen numuneler programa girilmiştir. Programdaki verilerde de 45° açı ile modellenen numunenin daha uyumlu sonuçlar verdiğini görmüştür.

Töre (2013), yaptığı tez çalışmasında betonarme kirişlerin plastik şekil değiştirme, süneklik gibi özellikleri incelemiştir. Farklı donatı detaylarına sahip dört adet konsol kiriş numune kötü ve olumsuz durumlar baz alınarak yetersiz sargılı olarak üretmiştir. Bu kirişlerde enine donatı türü, üst ve alt boyuna donatıları değişken olarak kullanmıştır. Simetrik donatılı numunelerin asimetrik donatılı numunelere göre itme ve çekme kuvvetlerinde daha sünek davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Tek etriyeye sahip numunelerdeki çatlak ve hasarın, çift etriyeye sahip numunelere göre daha fazla ve etki alanının daha büyük olduğu sonucuna ulaşmıştır. Alt üst donatı oranının farkının yüksek olduğunda eğilme-kesme göçmesi durumunun oluştuğunu görmüştür.

Yılmaz (2009), düz donatı detaylarına ve kanca şeklindeki bindirme boylarına sahip betonarme yapılar yatay yüklemelere maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda numunelerin gösterdikleri davranışlar incelenmiştir. Betonarme yapılarda plastik deformasyonlar, dayanım ve süneklik davranışı gibi özellikleri gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada bindirme boylarının yapılardaki en önemli etkisinin enerji yutma kapasitesi özelliğinin olduğu görülmüştür. Bindirme boylarının enerji yutma kapasitelerini artırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Baran ve Tankut (2009), yaptıkları çalışmada boyuna donatıları yetersiz bindirme ekine sahip 1/3 ölçeğinde dört adet betonarme çerçeve üretmişlerdir. Numunelere yatay ve düşey yönlerde yüklemeler yapmışlardır. Betonarme çerçevelerin bu yüklemelerin sonucunda yük taşıma kapasiteleri, tüketilen enerji ve dayanımlarını incelemişlerdir. Eksenel yönde yapılan yüklemenin belirtilen ölçüde kalmasının daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, deprem yönetmeliklerinde yapılan değişiklikleri yansıtabilecek nitelikte, 1/5 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı 3 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen numunelerde, donatı detayları temel değişkenler olarak belirlenmiştir. Numunelerin testleri, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Deney Numunelerinin Detayları

Numunelerin betonarme çerçeveleri için kat yüksekliği 540 mm ve çerçeve açıklığı 900 mm olarak belirlenmiştir. Kirişlerin boyutu 90x90 mm ve kolonların boyutları ise 60x90 mm olarak seçilmiştir. Betonarme çerçeve, 200x300x1300 mm boyutlarındaki betonarme temel kirişine mesnetlenmiştir. Çerçeve donatılarının üretimi için kolon ve kiriş etriyelerinde düz yüzeyli donatılar (S220) uygulanmıştır. Diğer donatılarda ise nervürlü donatılar (S420) kullanılmıştır. Kirişlerde pilye kullanılmamış olup, açıklıkta ve mesnette donatı oranı sabit tutulmuştur. Üretilen çerçeve numunelerinde açıklıkta 3 $\phi$ 5 eğilme donatısı ve üstte 3 $\phi$ 5 montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı  $\rho=0,0073$  olarak belirlenmiştir. Kolonlarda ise kusurlu betonarme çerçeve numunede 4 $\phi$ 5 boyuna donatı kullanılmış ve donatı oranı  $\rho=0,0145$  olarak hesaplanmış, diğer numunelerde ise 6 $\phi$ 5 boyuna donatı kullanılmış donatı oranı  $\rho=0,0218$  olarak hesaplanmıştır.

Betonarme çerçevelerin üretim sürecinde ilk olarak donatılar belirlenen detaylara uygun olarak hazırlanmıştır. Ardından, çerçeve detaylarına uygun olan kolon, kiriş ve temel boyutlarını sağlayacak şekilde 18 mm kalınlığındaki suntadan kalıplar hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar içerisine, pas payı dikkate alınarak temel, kolon ve kiriş donatıları yerleştirilmiştir. Beton döküm süreci öncesinde, kalıplar özenle hazırlanmış ve betonun dökümü için gerekli olan siparişi verilmiştir. Sonrasında, yönetmeliklere uygun olarak hazırlanan beton kalıplara dökülmüştür. Betonun kalıplara yerleştirilmesinde çelik şişler kullanılmıştır. Beton döküm işleminden sonra, beton yüzeyi düzeltilmiş ve numunelerin prizini alması için 7 gün beklenmiştir. Daha sonra, numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Betonun dayanım kazanması için numuneler yatay konumdan

dik konuma getirilmiş ve bir ay boyunca bekletilmiştir. Betonarme numunelerin üretim aşamalarına ilişkin fotoğraflar Şekil 3.1’de yer almaktadır.

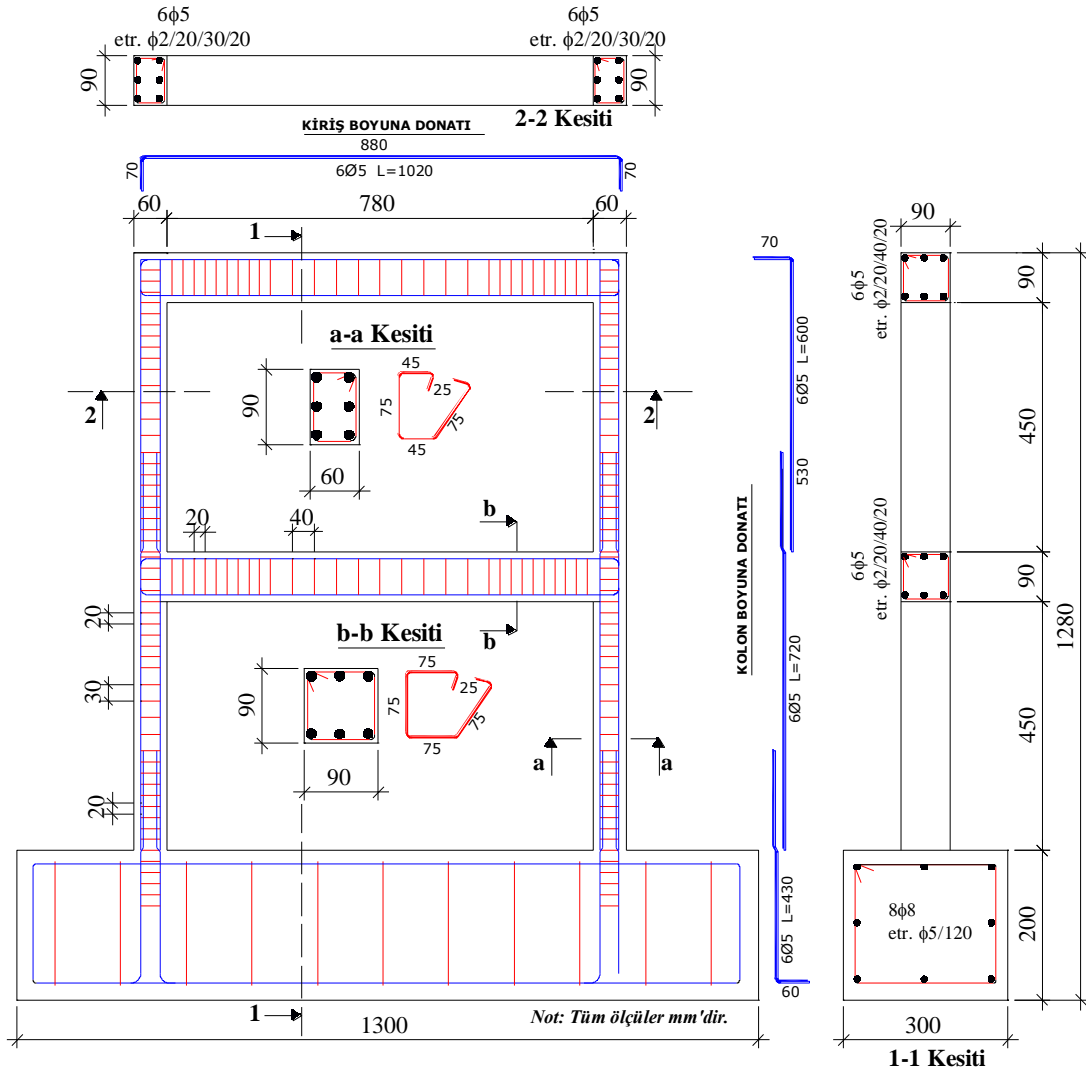


Şekil 3.1. Betonarme çerçevelerin üretim sürecine ait fotoğraflar



### 3.1.2. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve

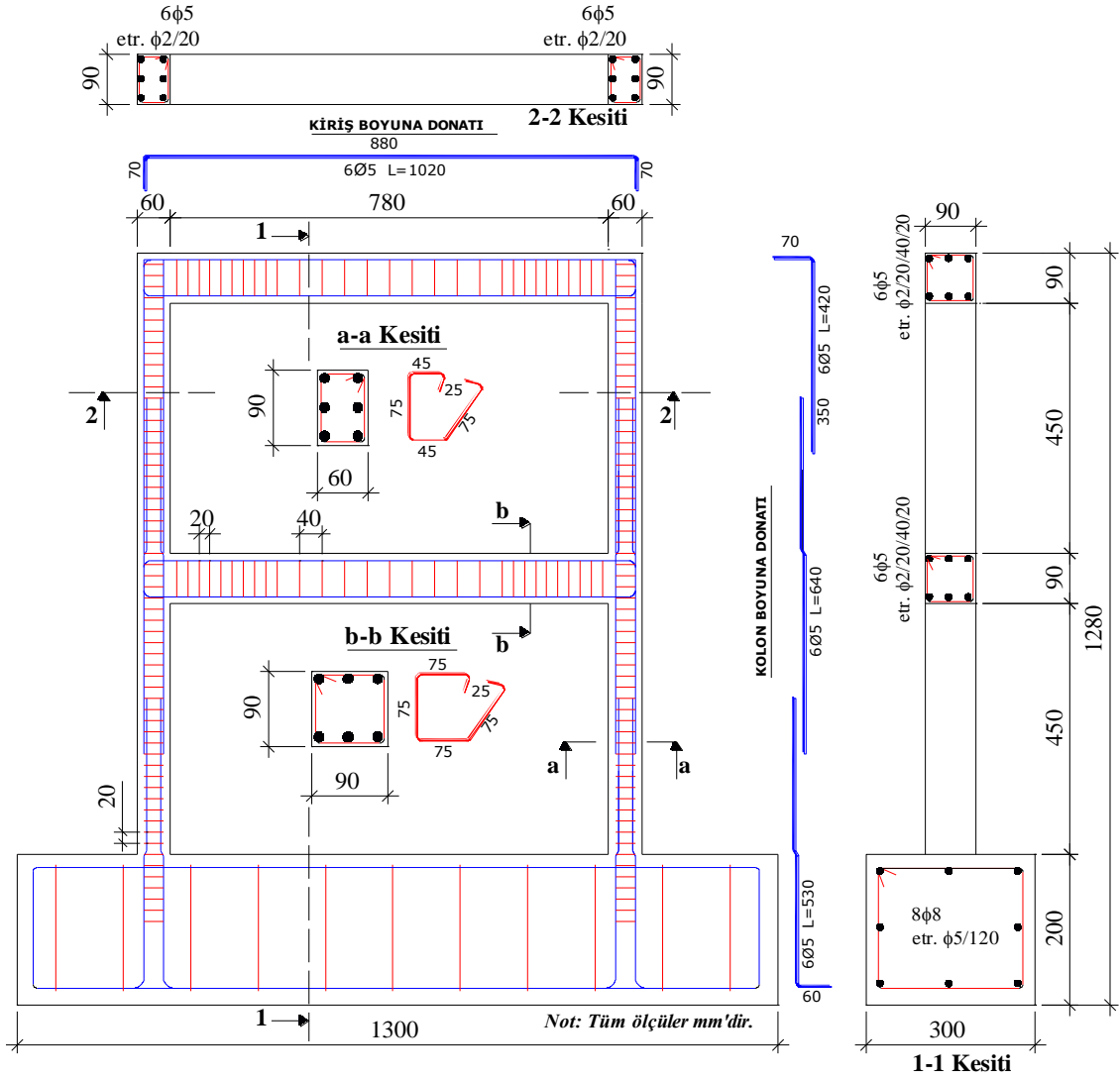
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre üretilen numuneye ait donatı ve boyut detayları Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve

### 3.1.3. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve

Deprem Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre üretilen numuneye ait donatı ve boyut detayları Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve

### 3.1.4. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri

Deney numunelerinin üretiminde hazır beton kullanılmıştır. Betonun ortalama küp basınç dayanımı 24 MPa'dır. Numunelerde aynı kalitede beton kullanılmış ve tüm numunelerin betonu eş zamanlı olarak dökülmüştür. Betonarme çerçevelerin kolon ve kirişlerinde kullanılan donatıların dayanımları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Donatı özellikleri

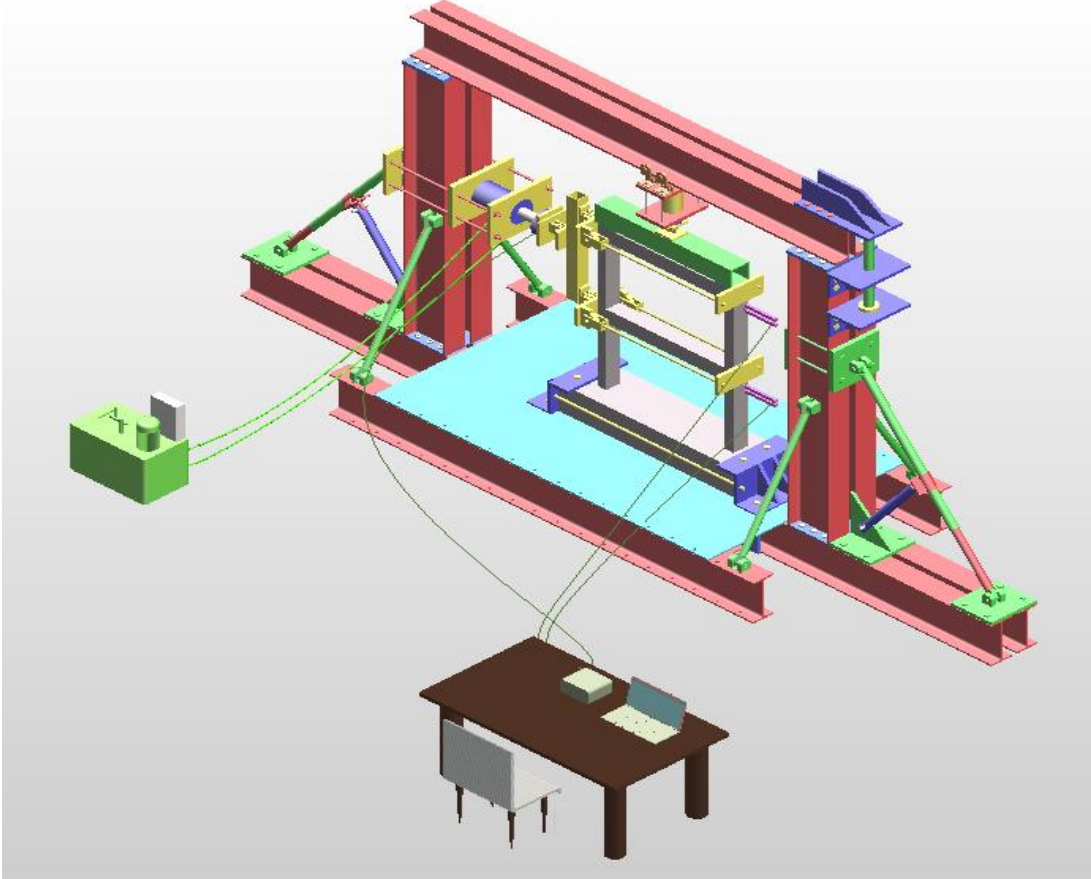
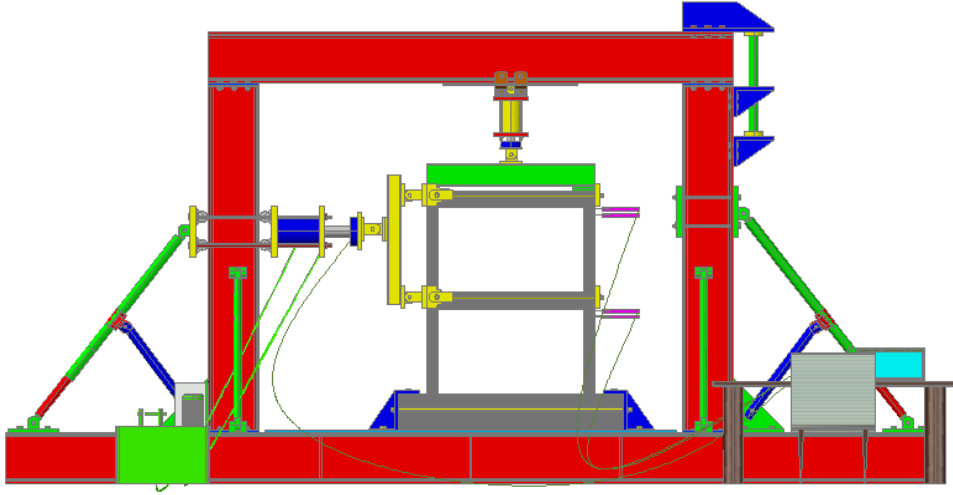
Donatı çapı (mm)	$f_y$ (MPa)	$f_{su}$ (MPa)	Donatı Tipi
2	435	595	Düz
5	634	809	Nervürlü

### 3.2. Deney Düzenegi, Ölçüm Tekniği ve Ölçümlerin değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında, üretilen 1/5 ölçekli 3 numunenin tersinir-tekrarlanır yük altında test edilmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü laboratuvarında bulunan yükleme düzeneginde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında, yatay yük ölçümleri yük ölçerler kullanılarak yapılmış ve çerçeve sistemindeki yer değiştirmeler potansiyometrik cetveller aracılığıyla belirlenmiştir. Ölçüm aletlerinde elde edilen veriler, bilgisayara bağlı veri toplama sistemi kullanılarak kaydedilmiştir.

#### 3.2.1. Yükleme düzenegi

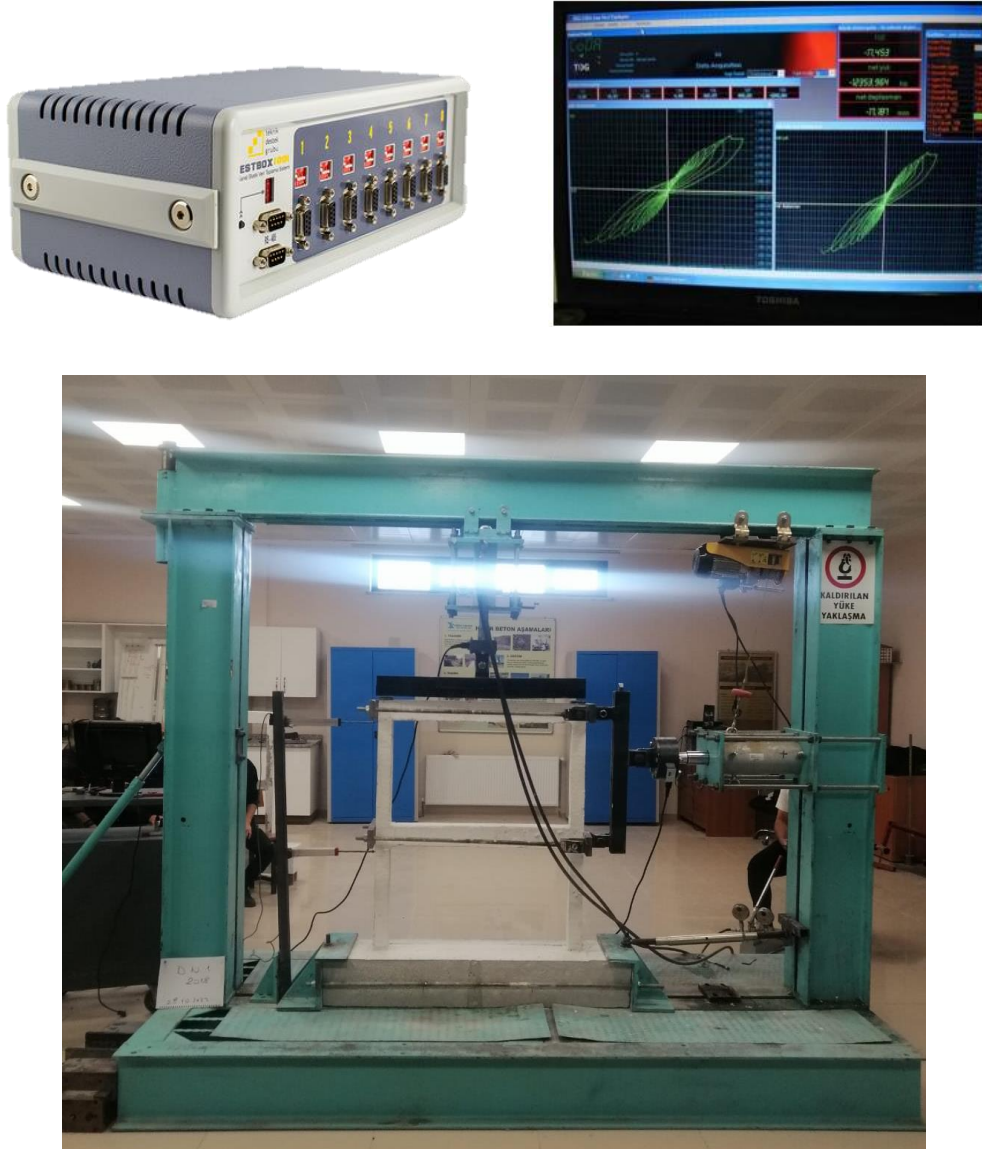
Deney numunelerine 200 kN itme-çekme kapasiteli hidrolik kriko kullanılarak yatay yükleme uygulanmıştır. Yükleme, el ile kumandalı hidrolik kriko kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinden elde edilen veriler, 200 kN itme ve çekme kapasitesine sahip yük hücresi kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu hidrolik krikonun ucunda bulunan yük hücresi, mafsalı çelik levha ile bağlanmıştır. Bu levha, numuneye çekme çevrimlerinde yük aktarımını sağlamak üzere betonarme çerçevelerin kirişlerine hizalı bir şekilde bağlanmıştır. Betonarme çerçevelerin yükleme düzenine yerleştirilmiş hali ve şematik görüntüleri Şekil 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Numunelerin test edileceği yükleme düzeneği

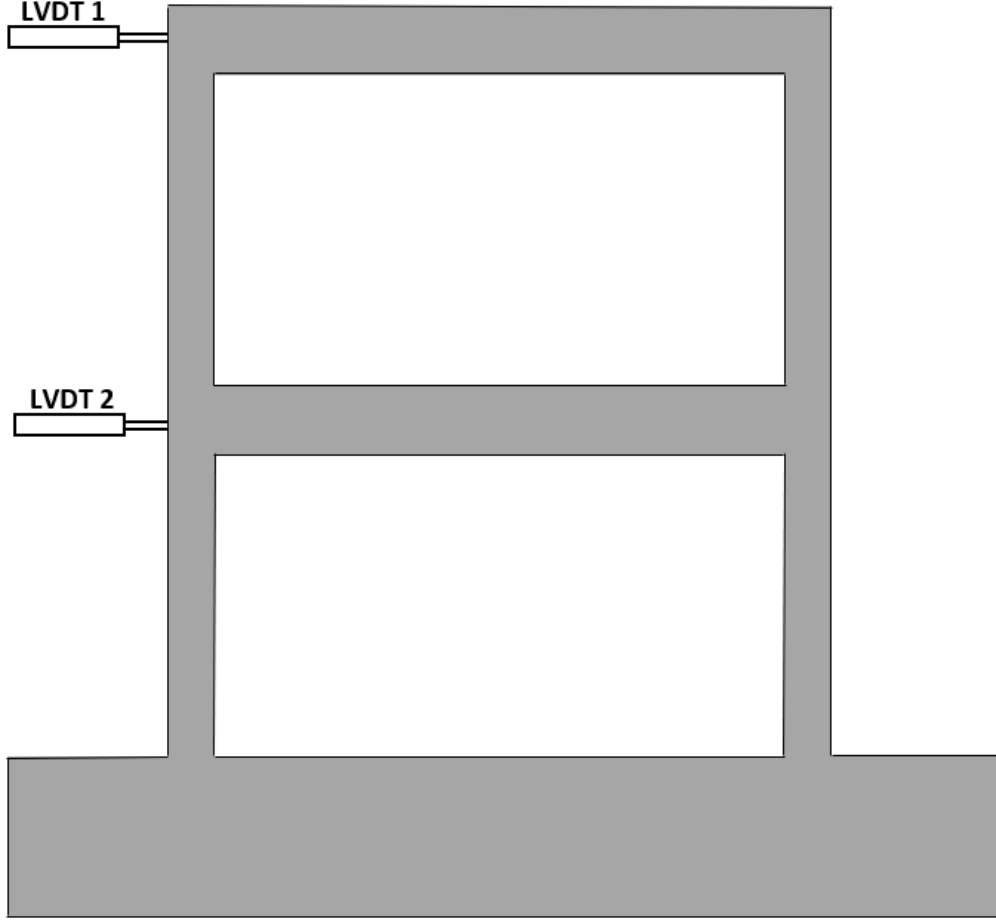
### 3.2.2. Ölçüm tekniği

Deneylerde, yatay yükleme için 200 kN kapasiteli bir adet yük hücresi ve eksenel yükleme için 50 kN kapasiteli bir adet yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlanmış ve elde edilen yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi (Balık, 2012)

Deneylerde betonarme çerçevede oluşacak deplasman ölçümleri için 2 adet LVDT kalibre edilmiştir. LVDT'ler verileri düzgün bir şekilde aktarabilmek ve deneyler arasında daha doğru kıyaslamalar yapmak için aynı kat hizasında kat kirişinin hizasına yerleştirilmiştir. Bunun nedeni çekme kuvvetinin uygulanabilirliğini sağlayan çelik levhaların LVDT'ler ile aynı hizada bulunmasındandır. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin, numuneler üzerindeki yerleşim düzeni Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin numuneler üzerindeki yerleşimi

### 3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Yapılan deneyde kullanılan LVDT'ler ve yük hücrelerinden ölçülen değerler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu veriler sayesinde her bir numunede oluşan davranış ve diğer özellikleri açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu numuneler için grafiklerin oluşturulması için izlenen yol sırasıyla şu şekildedir;

### a) Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin oluşturulması

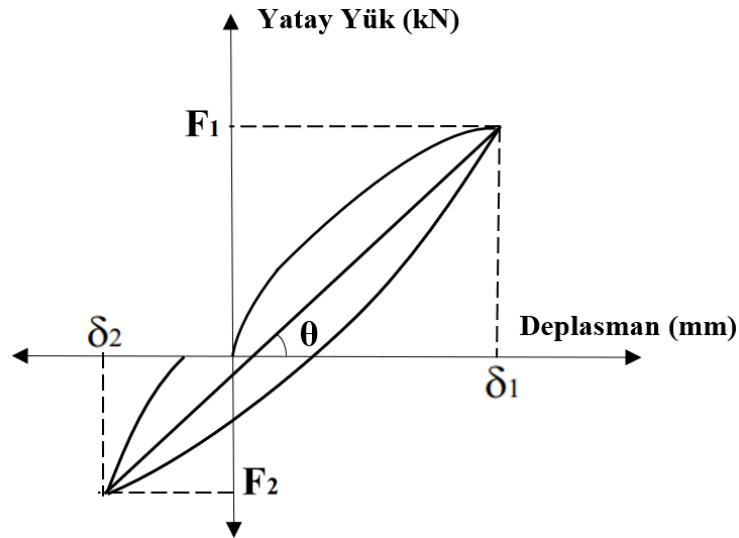
Yapılan deneylerde tatbik edilen çevrimlerde ileri ve geri yüklemelerden elde edilen maksimum yüke karşılık gelen tepe deplasman değerleri tespit edilerek, yük geçmişi grafikleri çizilmiştir. Numuneler grafiksel olarak değerlendirilmiş deney sonuçları bölümünde verilmiştir (Akın, 2011).

### b) Rijitlik değişim grafiklerinin oluşturulması

Yapı elemanlarının bir yük altında uğradıkları deformasyona karşı gösterdiği direnç rijitlik olarak tanımlanır. Numunelerin rijitliği, her bir çevrim için yük-deplasman değerleri baz alınarak oluşturulan grafiğin eğimi alınarak bulunmuştur. Tüm çevrimlerde yük-deplasman eğrisinde yatay yük değerleri  $F_1$  ve  $F_2$ , deplasman değerleri de  $\delta_1$  ve  $\delta_2$ , o çevrim için rijitlik değeri ( $\phi$ ) Denklem 3.1’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Rijitlik(\phi) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \quad (3.1)$$

Deney numunelerinde rijitlik değişim grafiklerinde kıyaslama yapabilmek için ilk rijitlik değerleri, yatay yükte oluşan maksimum rijitlik ve deney sonunda oluşan son çevrim rijitlik değerleri incelenmiştir. Şekil 3.8’de rijitlik değerlerinin hesabı grafik üzerinde gösterilmiştir (Aksoylu, 2018).



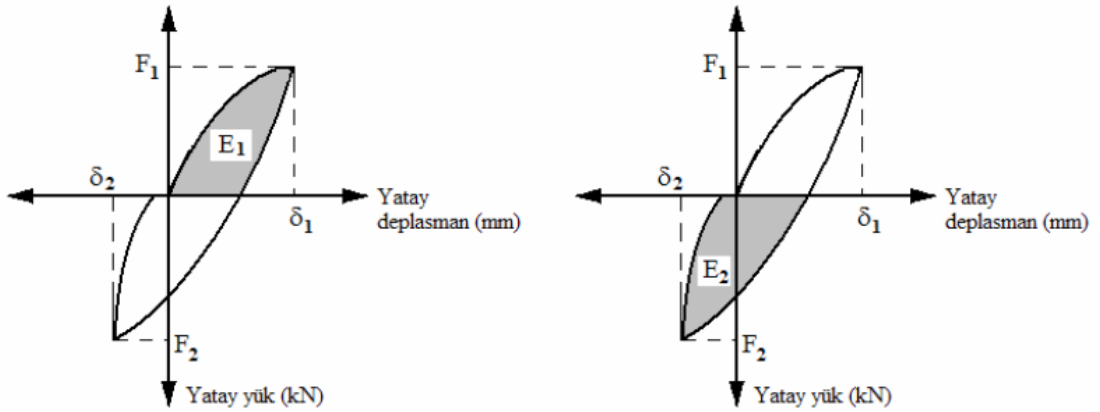
Şekil 3.8. Numune rijitliklerinin belirlenmesi

### c) Tüketilen enerji grafiklerinin oluşturulması

Deney numunelerinde toplam tüketilen enerji yük-deplasman eğrisinin altındaki alanların toplanması ile elde edilmiştir (Altın ve ark., 2004). Deney numunelerinin enerji tüketimleri aşağıda anlatıldığı gibi bulunmuştur;

- 1) İlk olarak her bir çevrim için ileri ve geri yüklemeler için sırasıyla grafik altında kalan  $E_1$  ve  $E_2$  alanları hesaplanmıştır.
- 2) Bir çevrimde oluşan enerji tüketimi, önceki aşamada tespit edilen  $E_1$  ve  $E_2$  alanlarının toplanması ile elde edilir.
- 3) Deney numunesinde uygulanan çevrimlerdeki bu enerji tüketim değerlerinin birbirine eklenerek toplanmasıyla toplam tüketilen enerji değeri bulunur.

Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen toplam tüketilen enerji grafikleri “tepe deplasman / toplam yükseklik” oranı ile oluşturulmuştur (Şekil 3.9).



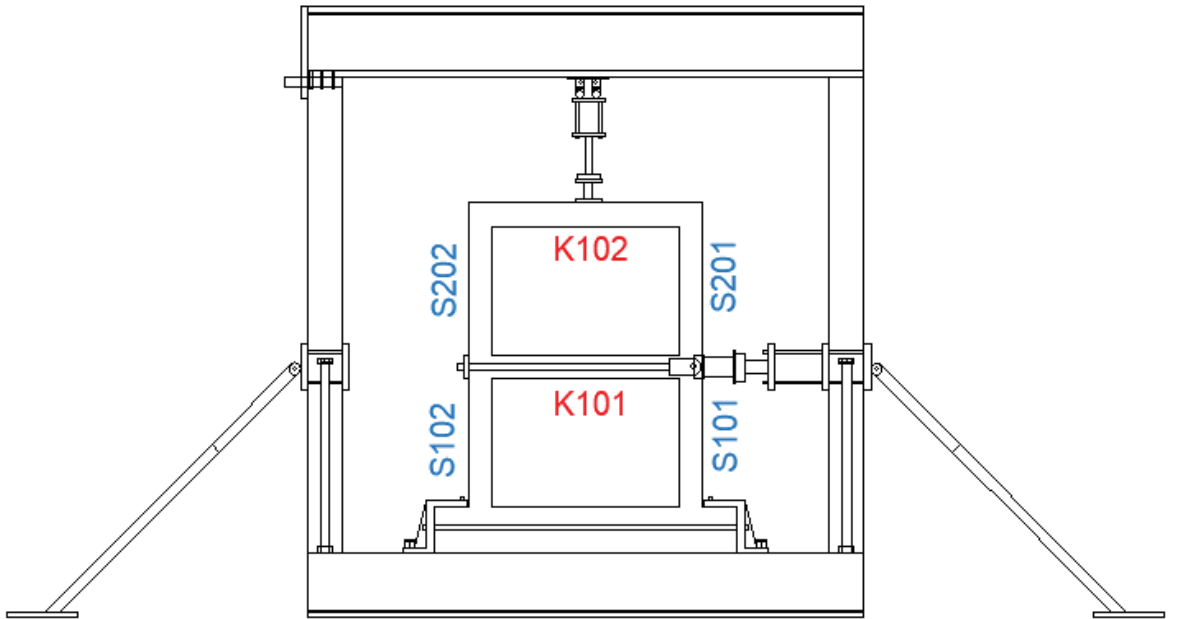
Şekil 3.9. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması (Arslan, 2007)

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, depremi simüle eden tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilen deney numunelerinin yöntemi ve diğer aşamaların oluşumu hakkında bilgi sunulmuştur. Deneylere, yük kontrollü bir program kullanılarak başlanmış ve ardından numuneler akma sınırına ulaştığında deplasman kontrollü olarak devam etmiştir. Bu yüklemeler, deney elemanlarında ciddi hasarlar meydana gelene kadar sürdürülmüştür.

Her bir deney numunesinde meydana gelen çatlak ve hasar durumlarını açıklamak için bu numunelerin kiriş ve kolonlarında adlandırma sistemi Şekil 4.1’de gösterildiği gibi kullanılmıştır. Deneylerde uygulanan çevrimler sonrasında oluşan çatlaklar sırasıyla numaralandırılmış ve işaretlenmiştir. Her deney sonunda deney fotoğraflarına yer verilmiştir. Ayrıca deney numunelerinin daha net anlaşılması ve elde edilen sonuçları birbirleri ile kıyaslamak için aşağıdaki grafikler çizilmiştir;

- Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi
- Rijitlik azalımı grafiği
- Yükleme geçmiş grafiği (yatay yüke göre)
- Deplasman geçmiş grafiği (tepe deplasmanına göre)
- Tüketilen enerji-deplasman grafiği



Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi

## 4.1. Deney Sonuçları

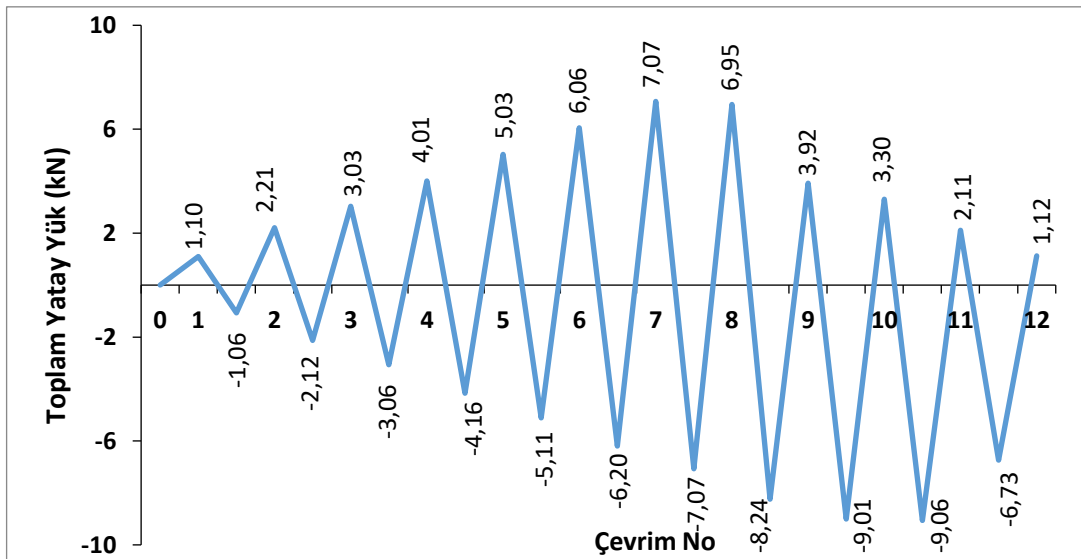
### 4.1.1. Kusurlu betonarme çerçeve

Belirli yapı kusurları dikkate alınarak tasarlanan ve kusurlu olarak adlandırdığımız betonarme çerçevenin (D.N.1), deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

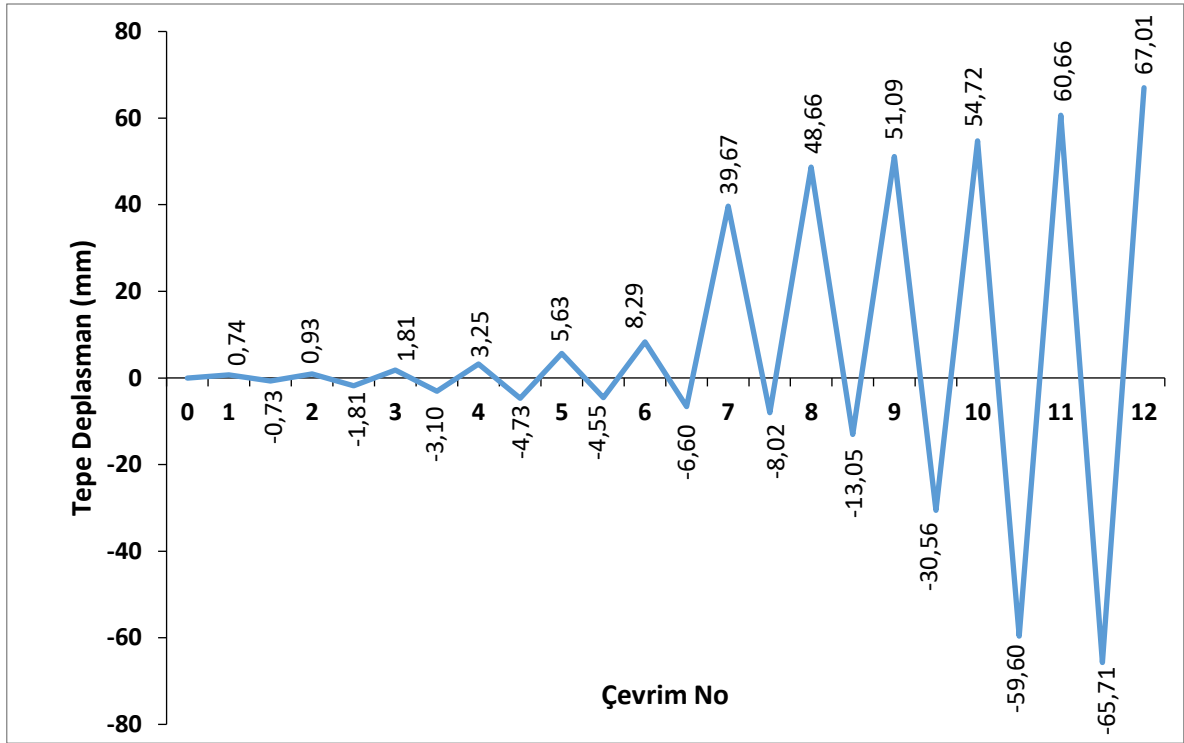


Şekil 4.2. Deney numunesi 1'in deney öncesi görünümü (D.N.1)

Deney numunesine uygulanan yük geçmişi, yatay yük bazında Şekil 4.3’te ve tepe deplasmanına göre Şekil 4.4’te belirtilmiştir. Deney numunesine 12 yük çevrimi itme ve 11 yük çevrimi çekme uygulanmıştır.



Şekil 4.3. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)

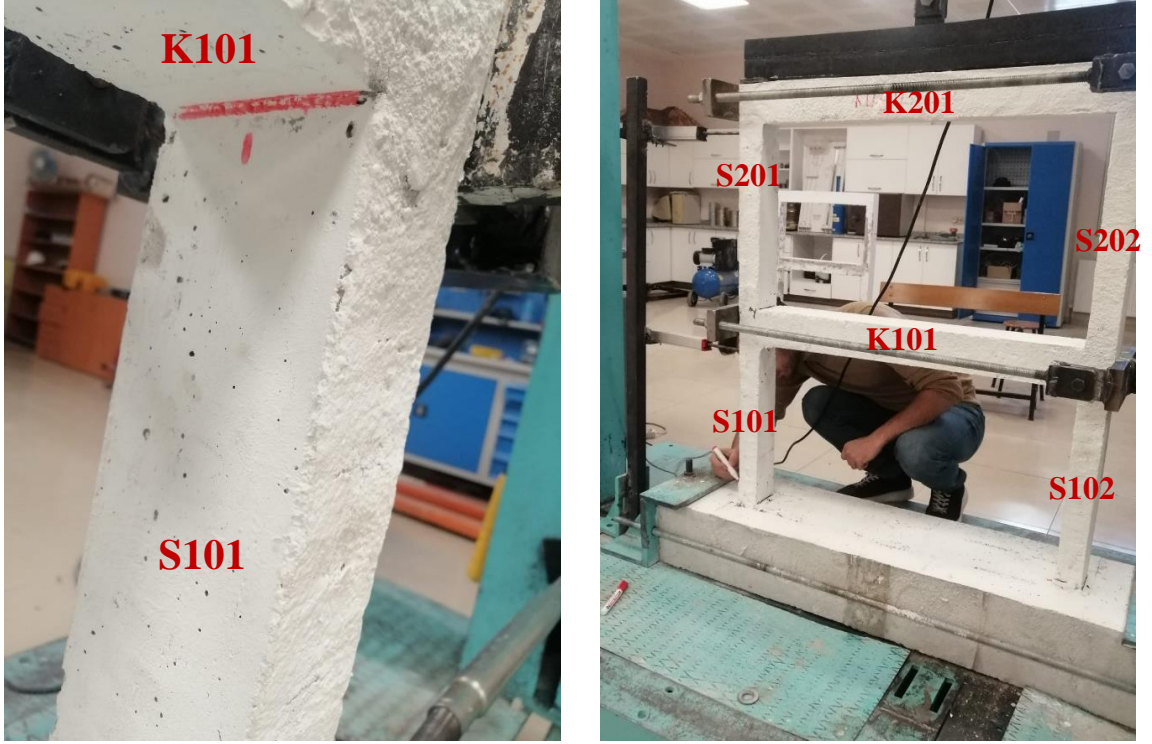


Şekil 4.4. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre)

Yük geçmişi grafiklerinin incelenmesi sonucunda, sistemde ideal akma gerçekleşene kadar yük kontrollü yükleme ve sonrasında deplasman kontrollü yükleme yöntemiyle devam edilmiştir. Numune üzerindeki toplam yük, +7 çevriminde maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Deney numunesi 1'in, +7 çevriminde maksimum 7.07 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 39.67 mm tepe deplasmanı gerçekleştirdiği belirlenmiştir. -10 çevriminde ise 9.06 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanın 59.60 mm olduğu gözlenmiştir. Deneyde, itme çevrimlerinde en fazla 67.01 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 65.71 mm deplasman düzeyine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, +12 çevriminde numunenin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde büyük hasarlar meydana gelmesi nedeniyle sonlandırılmıştır.

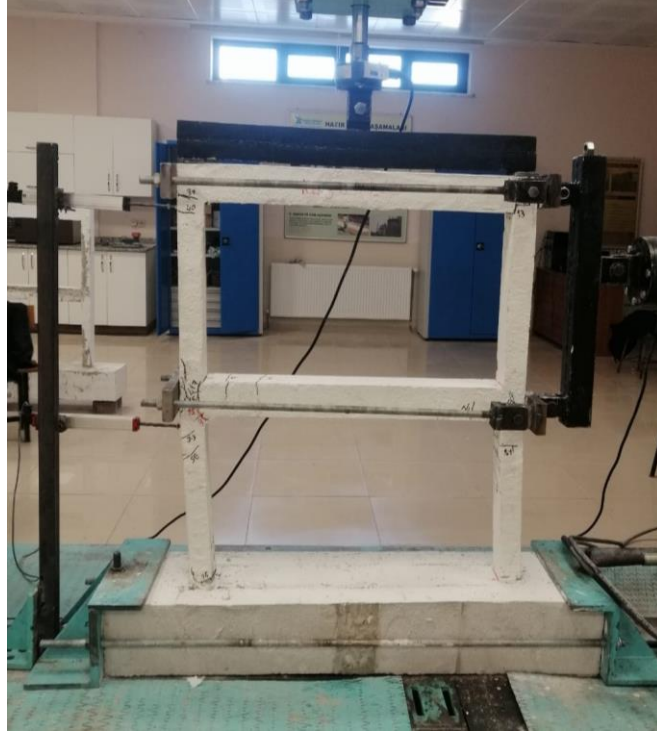
Deney sürecinde, numuneye toplamda 44 kN eksenel yük uygulanmıştır. Bu, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 22 kN eksenel yük verilerek gerçekleştirilmiştir. Kolonlar, yaklaşık 20 MPa ortalama basınç dayanımına ve 90x60 mm kesite sahiptir. Uygulanan eksenel yükler, kolonların taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si civarında olmuştur.

Deneyin ilk üç çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Şekil 4.5'te deney numunesi 1'de oluşan ilk çatlaklar verilmiştir. İtmede oluşan ilk çatlak +3 çevriminde, çekmede ise -2 çevriminde gözlemlenmiştir.

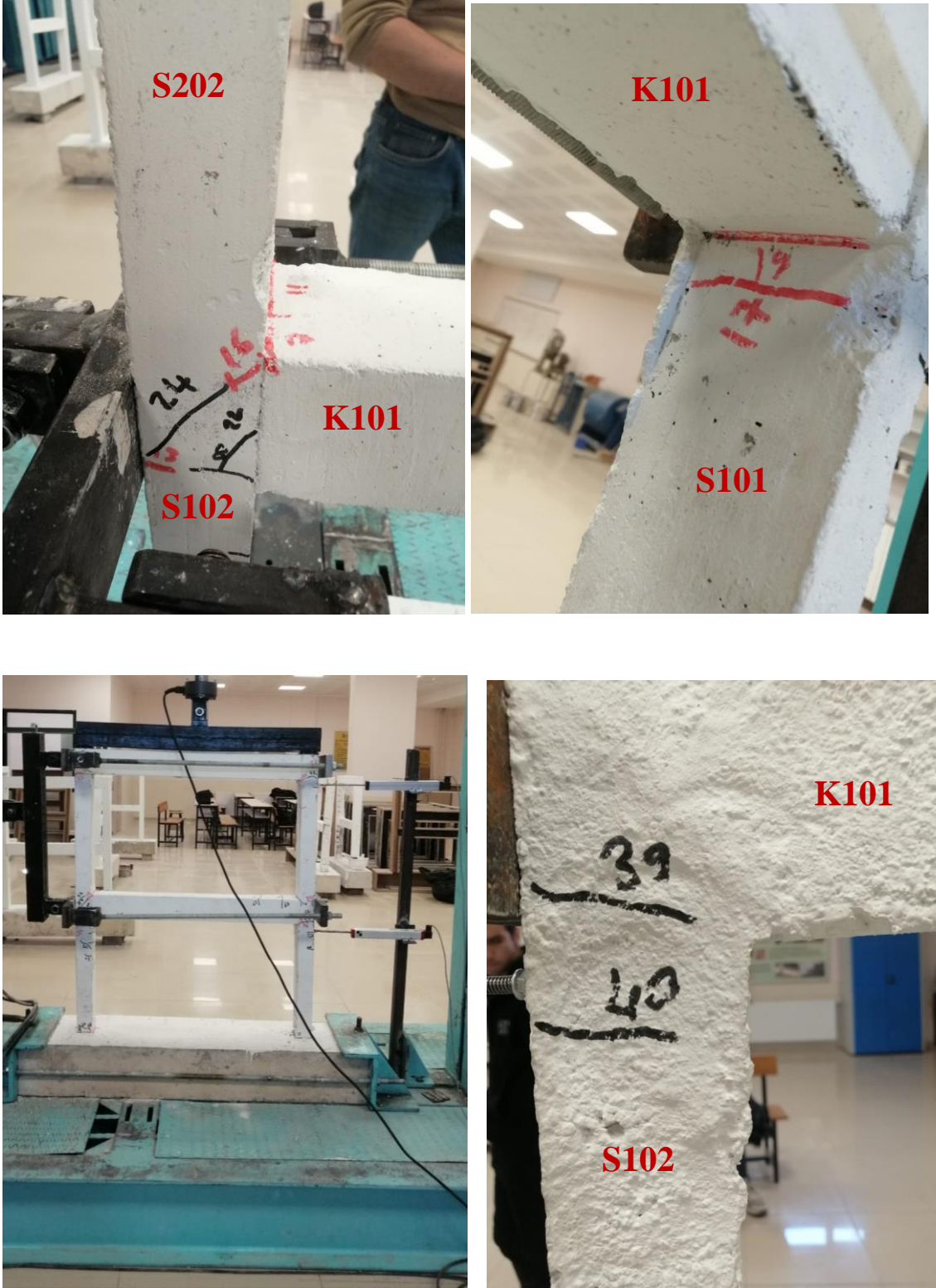


Şekil 4.5. Deney numunesi 1'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar

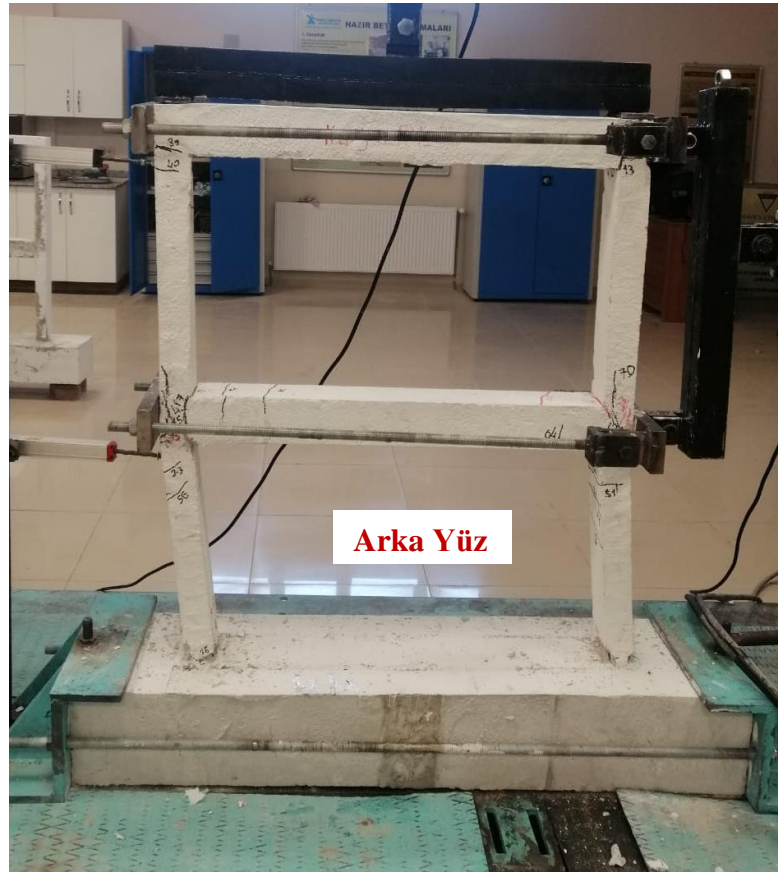
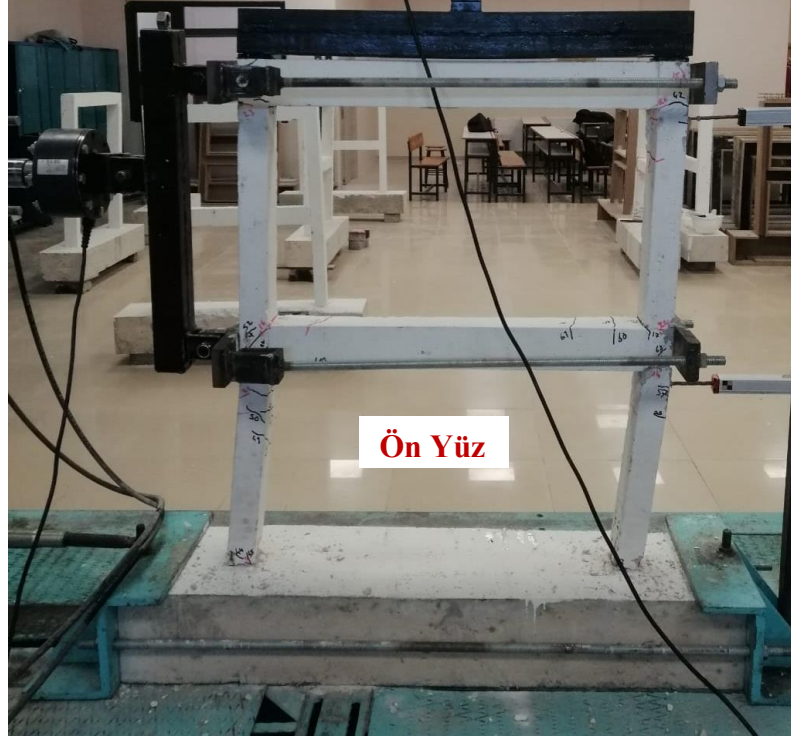
Deneyde, +8 çevriminde donatılar görülmeye başlanmıştır. S102 ve S101 kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar oluşumunun arttığı ve beton ezilmelerinin olduğu gözlemlenmiştir. +10 çevriminde kolon temel birleşim bölgelerinde akmalar olduğu görülmüştür. Numunede meydana gelen hasarların itme yönünde durumu, akma konumunda Şekil 4.6'da, maksimum yükleme durumunda Şekil 4.7'de, göçme durumunda ise Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



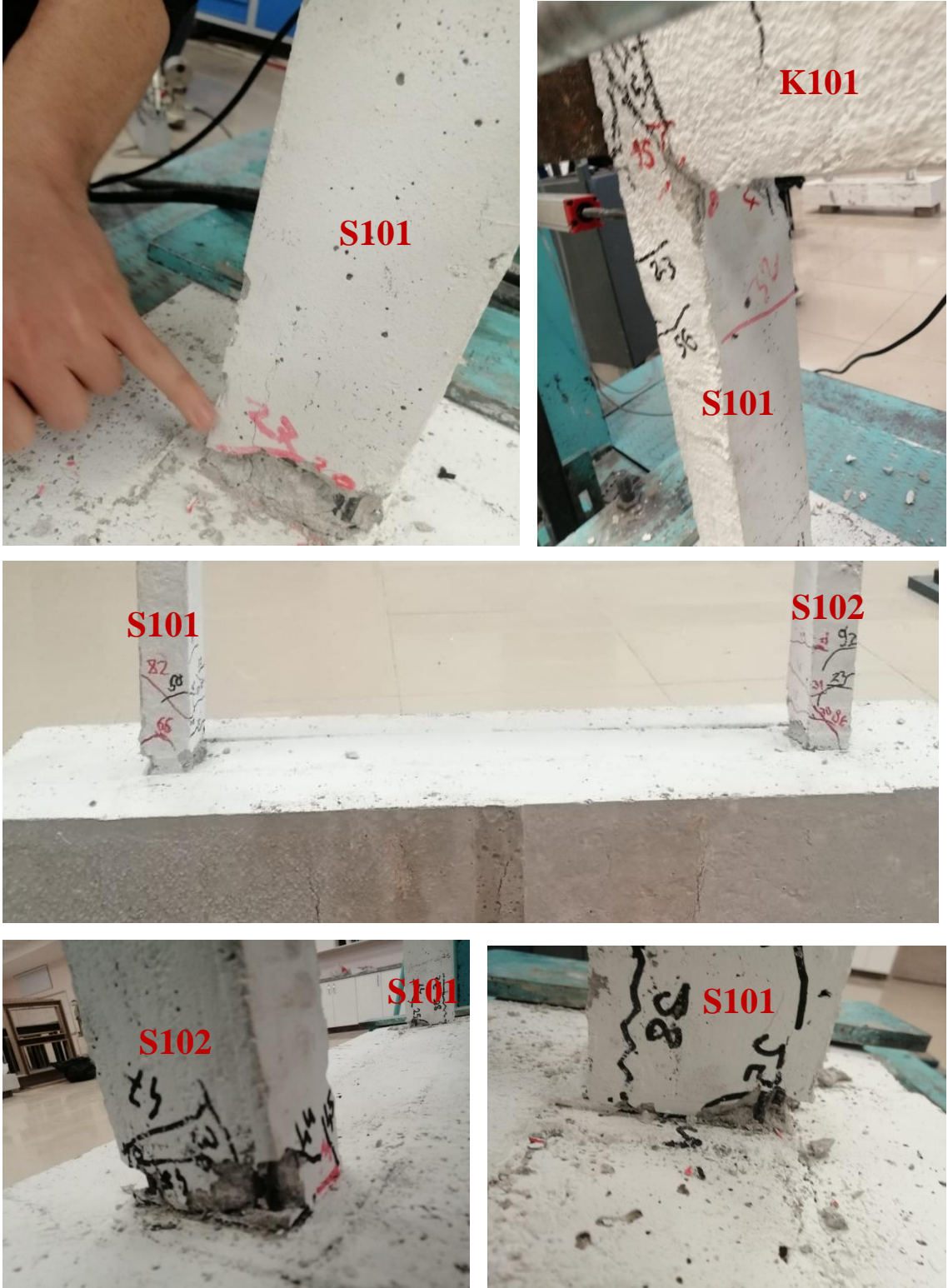
Şekil 4.6. Deneş numunesi 1'nin akma sonrası görünümü (+8 itme çevrimi)



Şekil 4.7. Deney numunesi 1'in maksimum yükleme sonrası görünümü (+7 itme çevrimi)



Şekil 4.8. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+11 itme çevrimi)

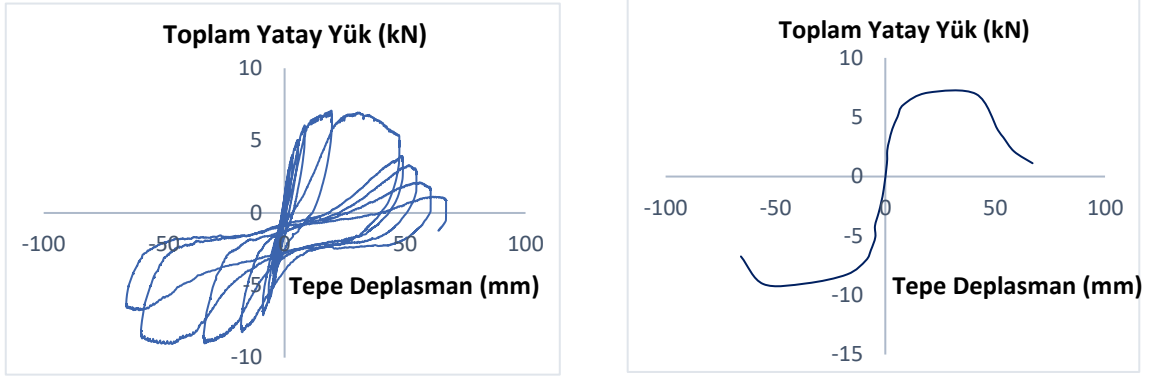


Şekil 4.9. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar

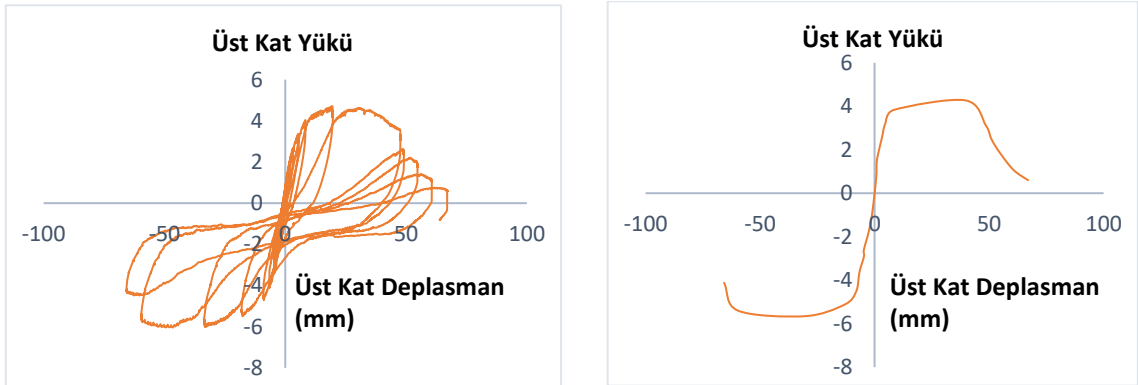


**Şekil 4.10.** Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

Deney numunesi 1'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanın çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.12'de verilmiştir.

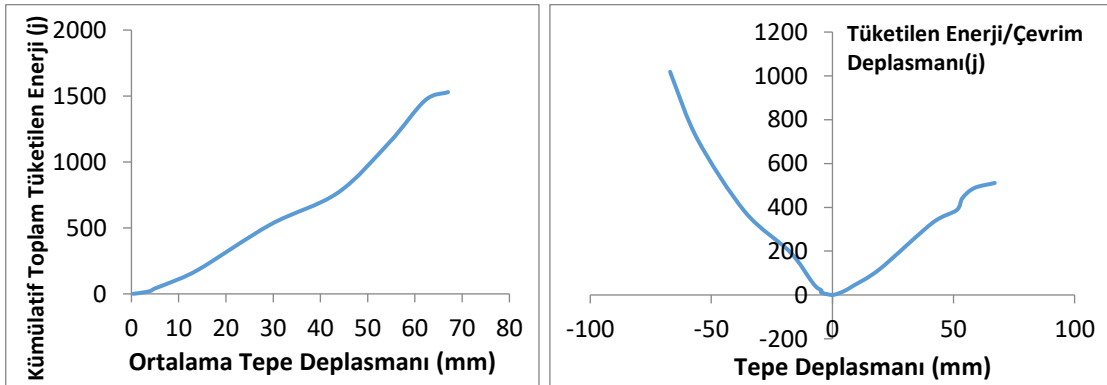


Şekil 4.11. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarfı eğrisi (D.N.1)



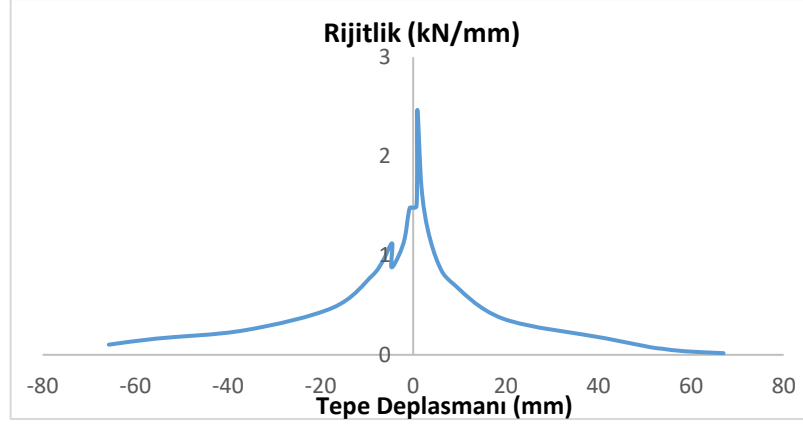
Şekil 4.12. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.1)

Numunenin enerji tüketme kapasitesi, toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilmiş ve bu hesaplama sonucu elde edilen değer, Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.1)

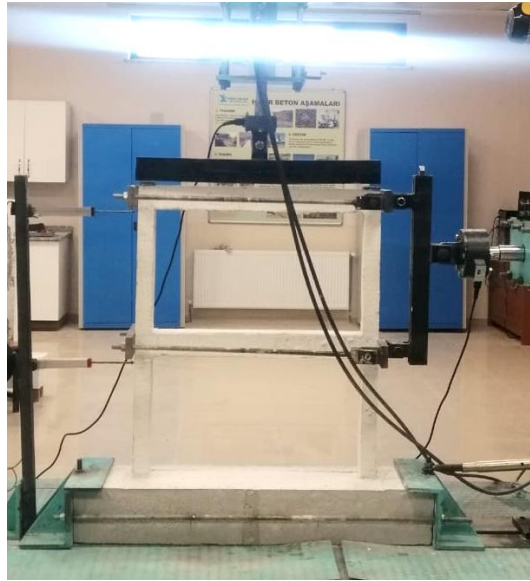
Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerleri, buna karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanarak her bir çevrim için rijitlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.14). İtme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için ise sol tarafında yer almaktadır.



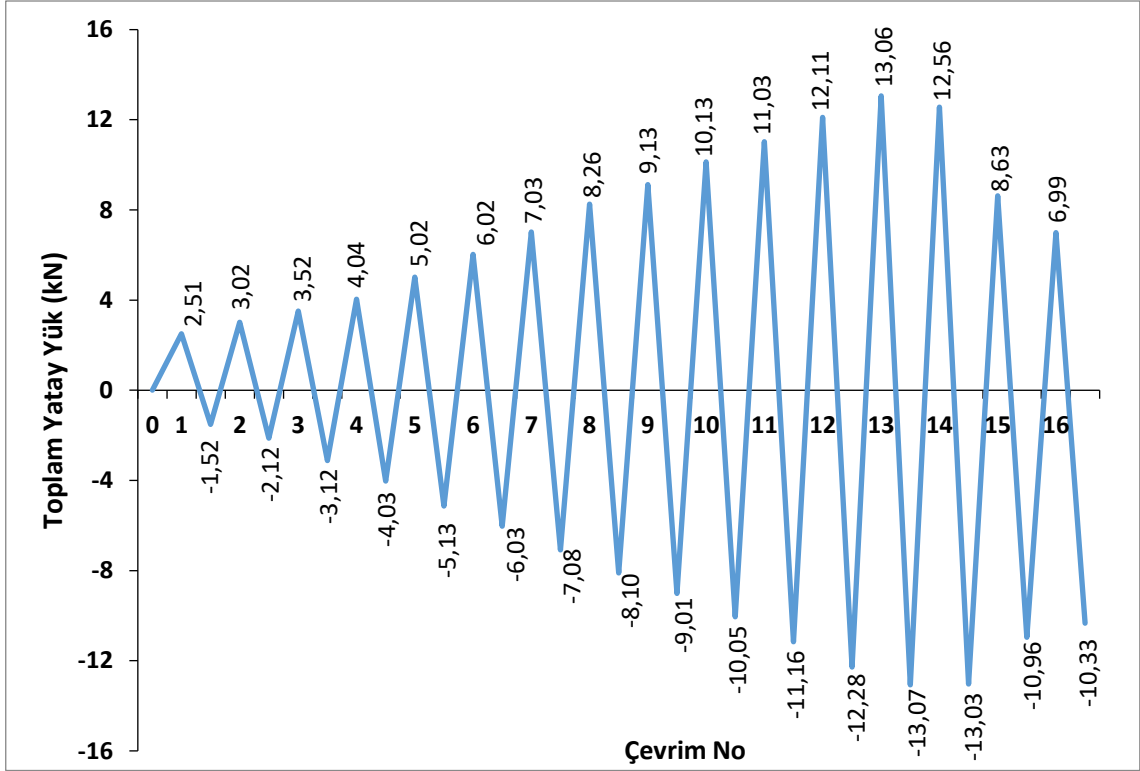
Şekil 4.14. Rijitlik azalımı grafiği (D.N.1)

#### 4.1.2. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve

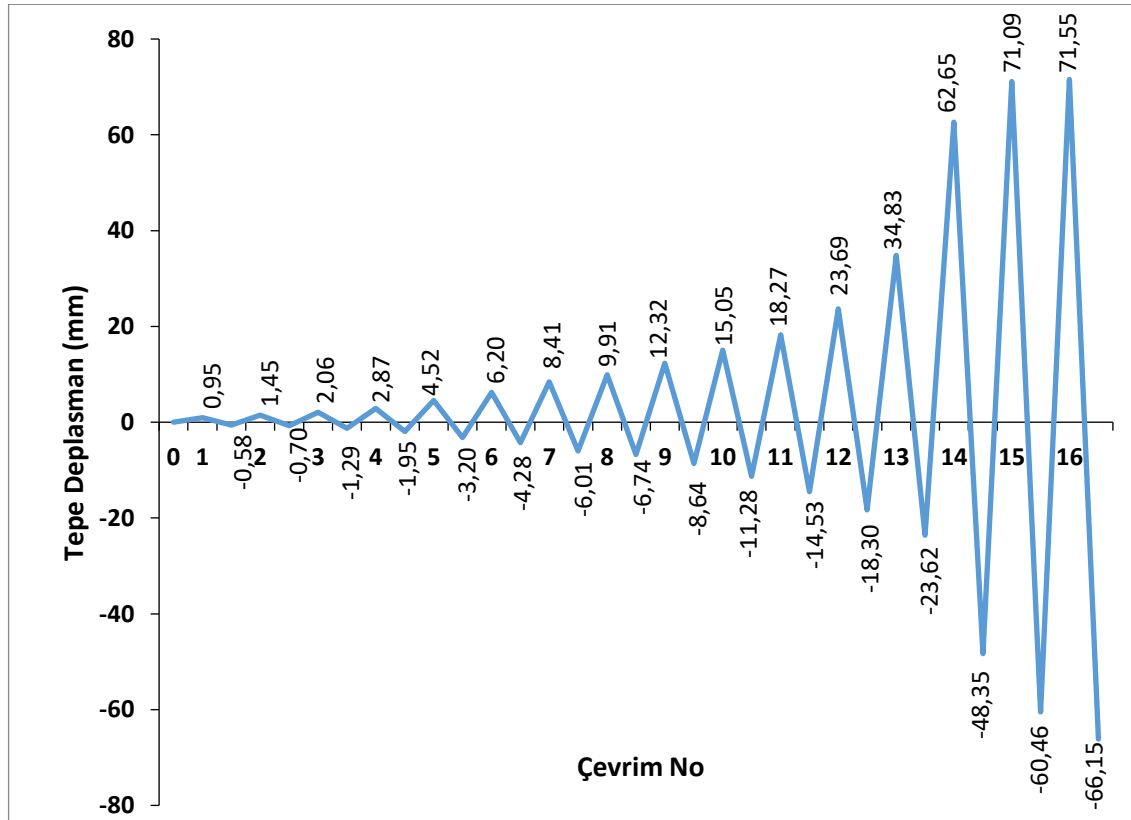
DBYBHY 2007 standartlarına uygun olarak tasarlanmış olan D.N.2 betonarme çerçevenin, deney düzeneğindeki konumu Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Deney sürecinde, yük geçmişi numuneye yatay yüke göre Şekil 4.16'da, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.17'de yer almaktadır. Deney numunesine itme ve çekme yönünde toplamda 16 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.15. Deney numunesi 2'in deney öncesi görünümü (D.N.2)



Şekil 4.16. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.17. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre)

Yük geçmişi grafiklerinin incelenmesi sonucunda, sistemde ideal akma gerçekleşene kadar yük kontrollü yükleme yöntemiyle deneye başlandığı ve ardından deplasman kontrollü yükleme yöntemiyle devam edilmiştir. 13. çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum seviyeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma görülmüştür. Deney numunesi 2'nin, +13 çevriminde maksimum 13.06 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 34.83 mm tepe deplasmanı gerçekleştirdiği belirlenmiştir. -13 çevriminde ise 13.07 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanın 23.62 mm olduğu gözlenmiştir. Deneyde, itme çevrimlerinde en fazla 71.55 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 66.15 mm deplasman düzeyine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -16 çevriminde numunede kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen hasar boyutunun artması ve kolonlarda oluşan beton ezilmeleri nedeniyle sonlandırılmıştır.

Deney sürecinde numuneye toplamda 44 kN eksenel yük uygulanmıştır. Bu durumda S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 22 kN'lik eksenel yük uygulanmıştır. Kolonlar, yaklaşık 20 MPa ortalama basınç dayanımı ve 90x60 mm kesite sahiptir. Bu şekilde, kolonların taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deneyin ilk dört çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Şekil 4.18'de deney numunesi 2'de oluşan ilk çatlaklar verilmiştir. İtmede oluşan ilk çatlak +3 çevriminde, çekmede ise -3 çevriminde gözlemlenmiştir.

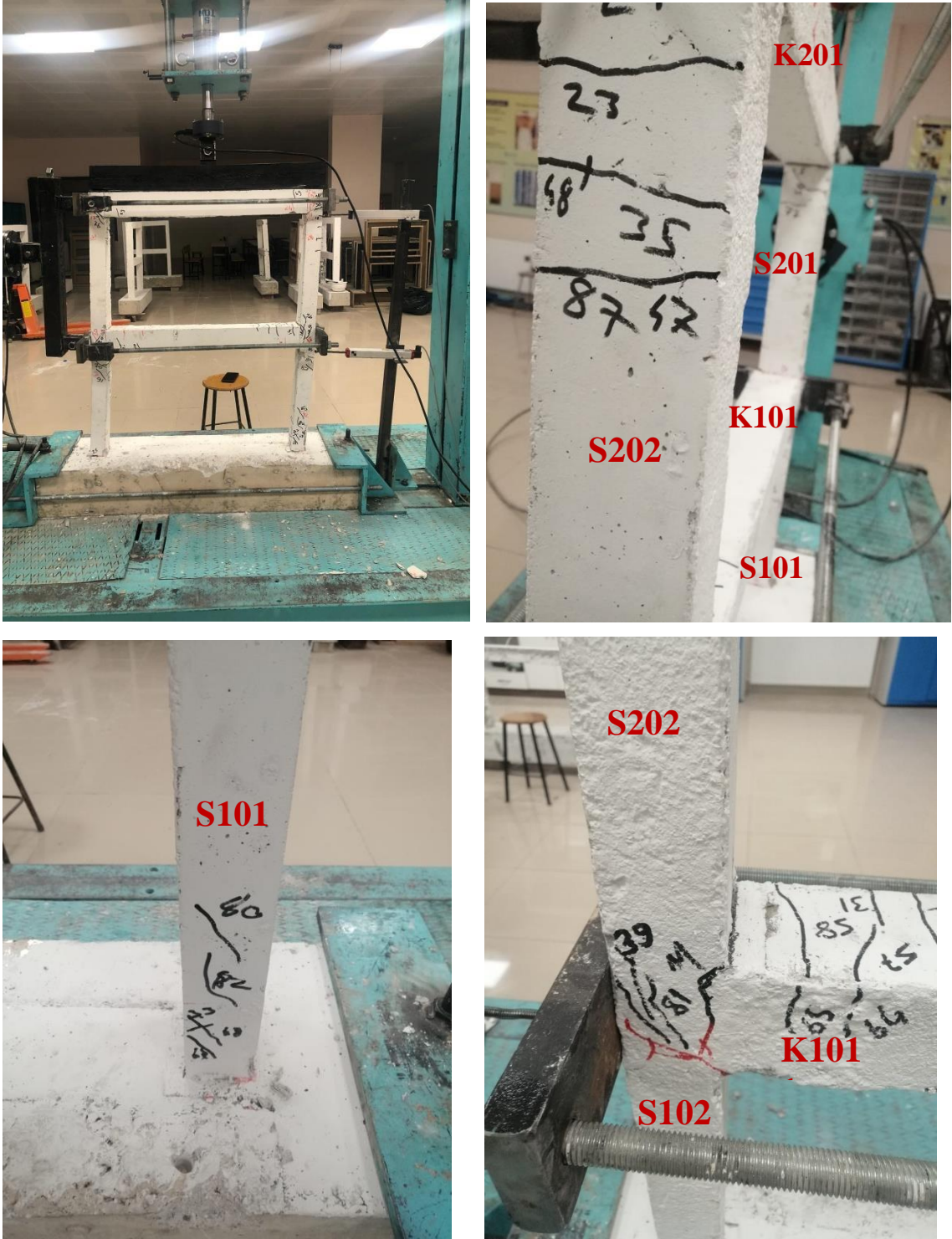


Şekil 4.18. Deney numunesi 2'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar

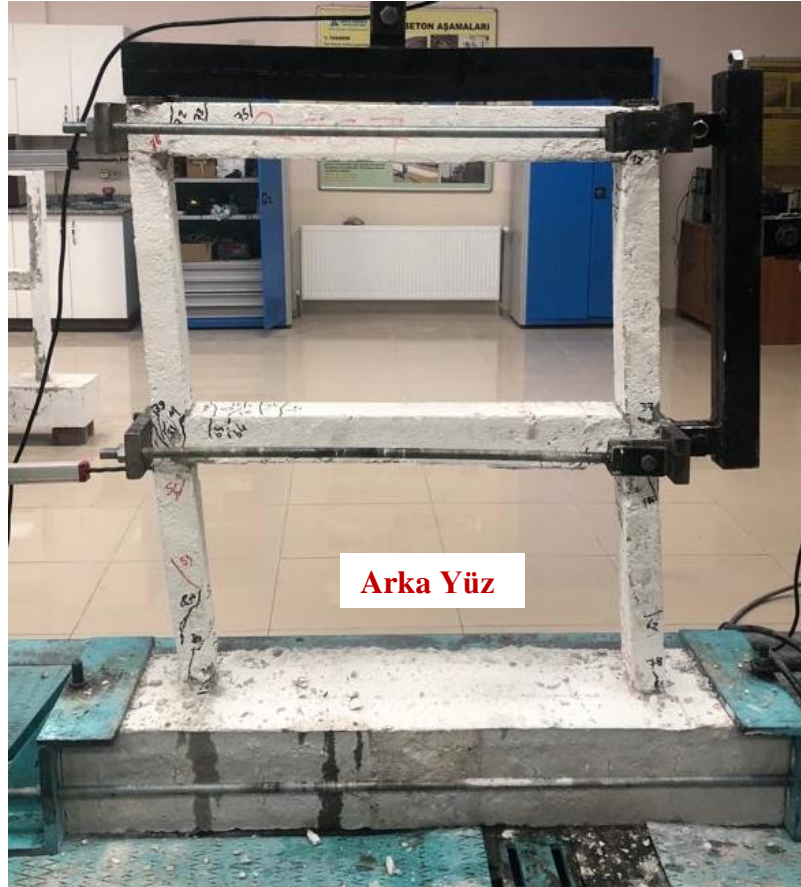
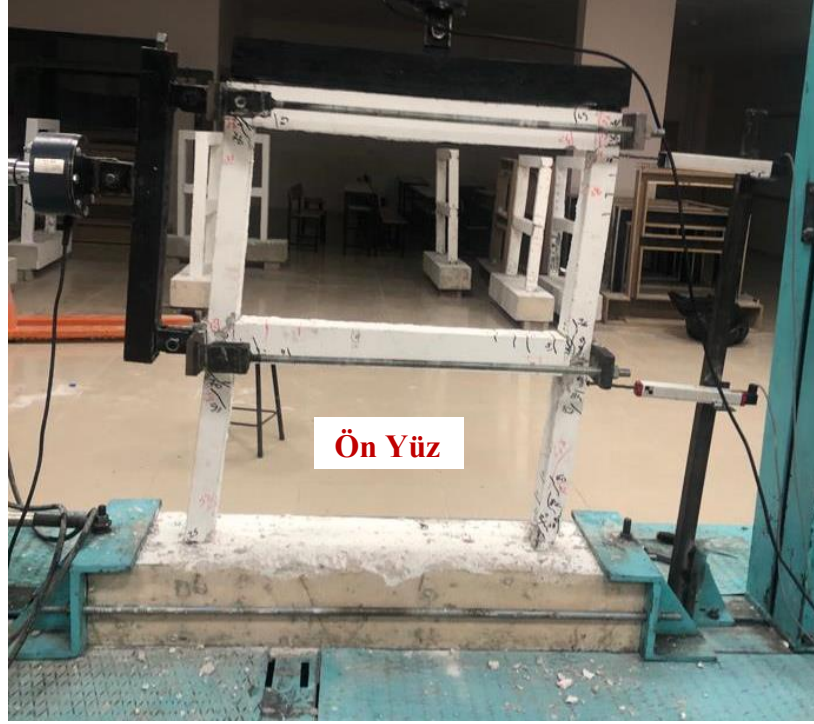
Deneyde, +13 çevriminde S101 kolonunda kabuk betonun ayrıldığı görülmüştür. S102 ve S101 kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir. +13 çevriminde numunede donatılar görülmeye başlanmıştır. Numunenin itme yönünde meydana gelen hasarların durumu, akma noktasında Şekil 4.19'da, maksimum yük uygulanan noktada Şekil 4.20'de, göçme durumunda ise Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Deney numunesi 2'nin akma sonrası görünümü (+14 itme çevrimi)



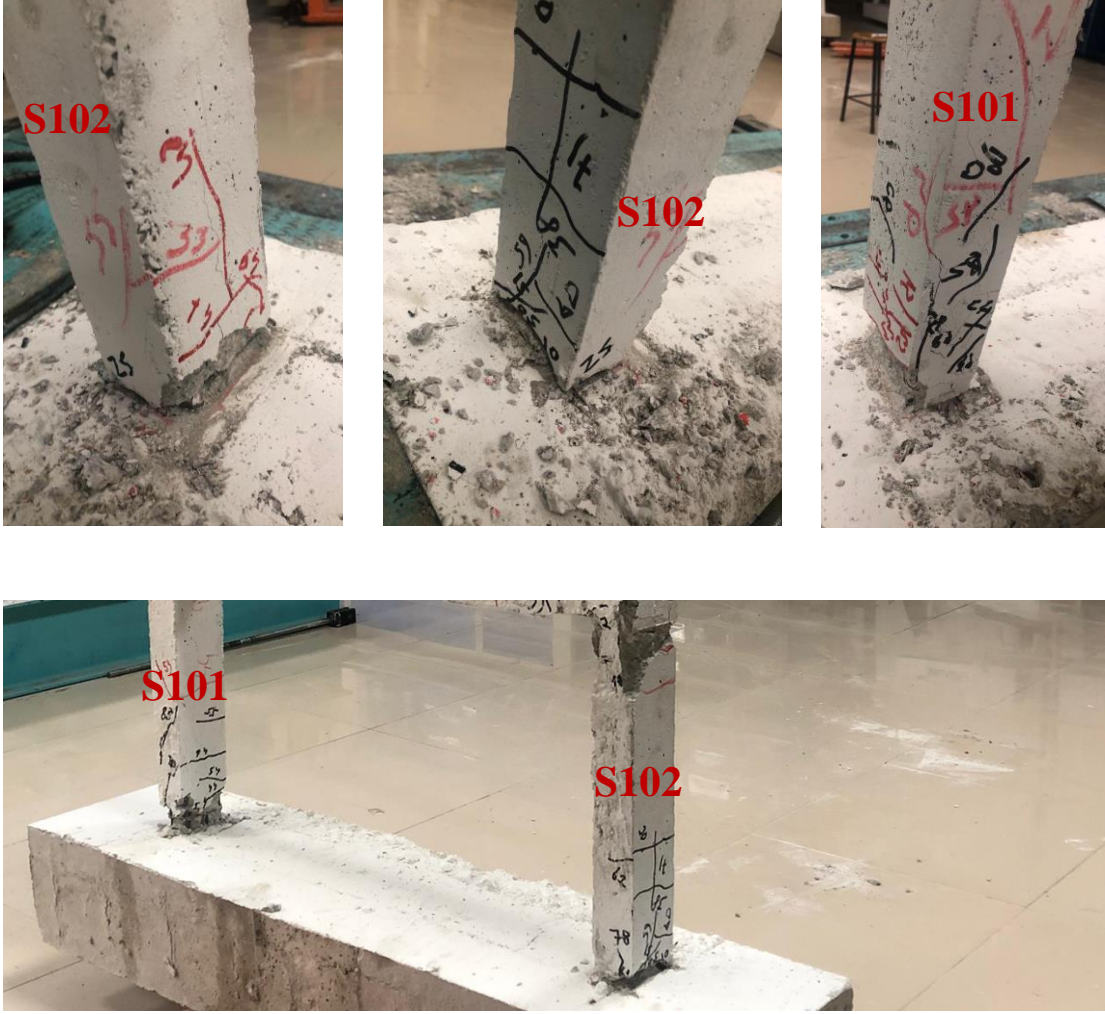
Şekil 4.20. Deney numunesi 2'nin maksimum yükleme sonrası görünümü (+13 itme çevrimi)



Şekil 4.21. Deney numunesi 2'nin göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+15 itme çevrimi)

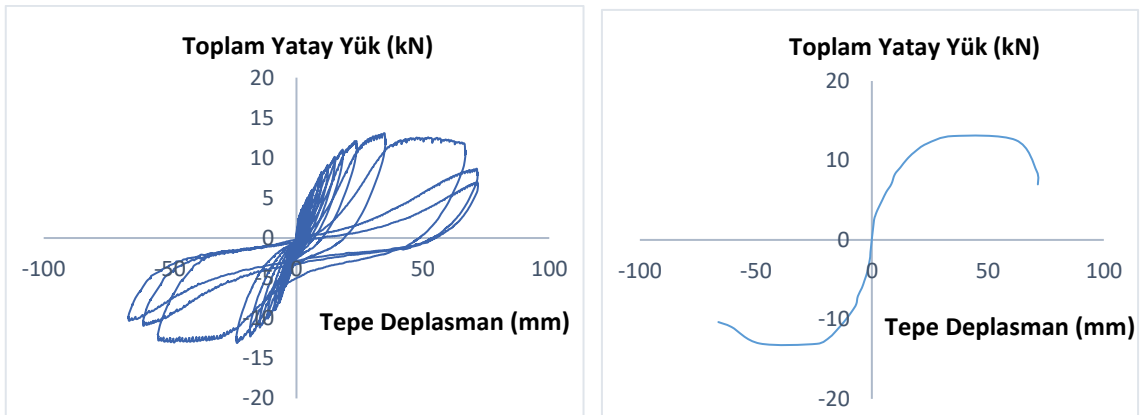


Şekil 4.22. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

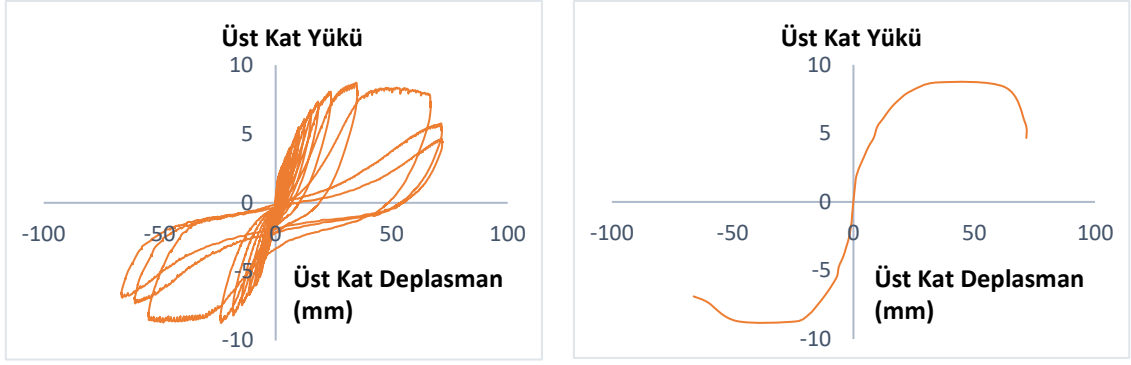


Şekil 4.23. Deney numunesi 2'nin, kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar

Deney numunesi 2 için toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Ayrıca deney sırasında numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanın çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.25'de verilmiştir.

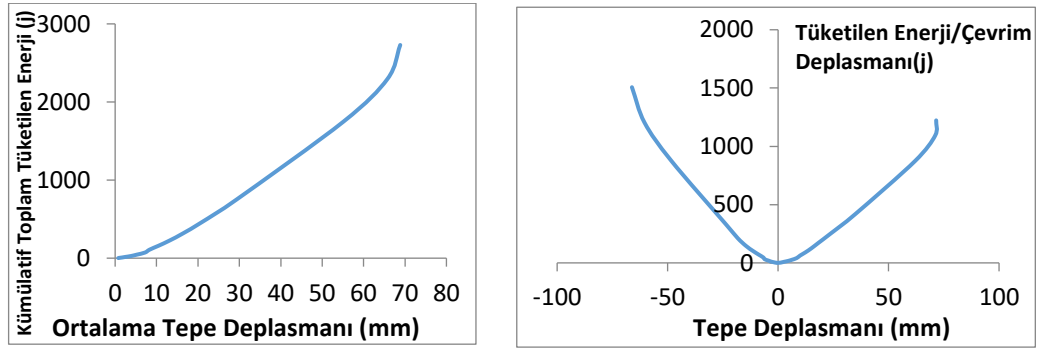


Şekil 4.24. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N.2)



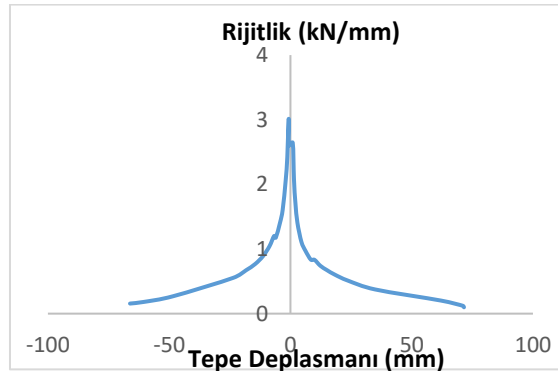
Şekil 4.25. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.2)

Toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması sonucunda numunenin enerji tüketme kapasitesi belirlenmiş ve bu değer Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.2)

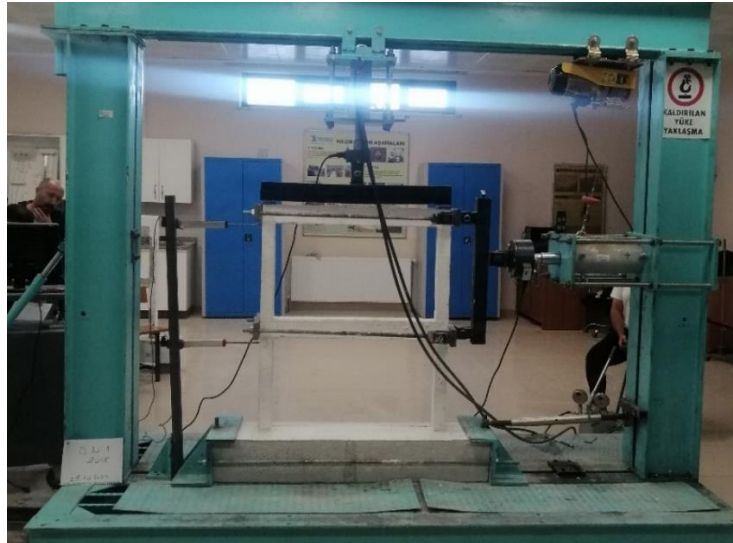
Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerleri, bu değerlere karşılık gelen yatay deplasman değerleriyle oranlanarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.27). İtme çevrimleri için elde edilen rijitlik değerleri grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan rijitlik değerleri ise grafiğin sol tarafında yer almaktadır.



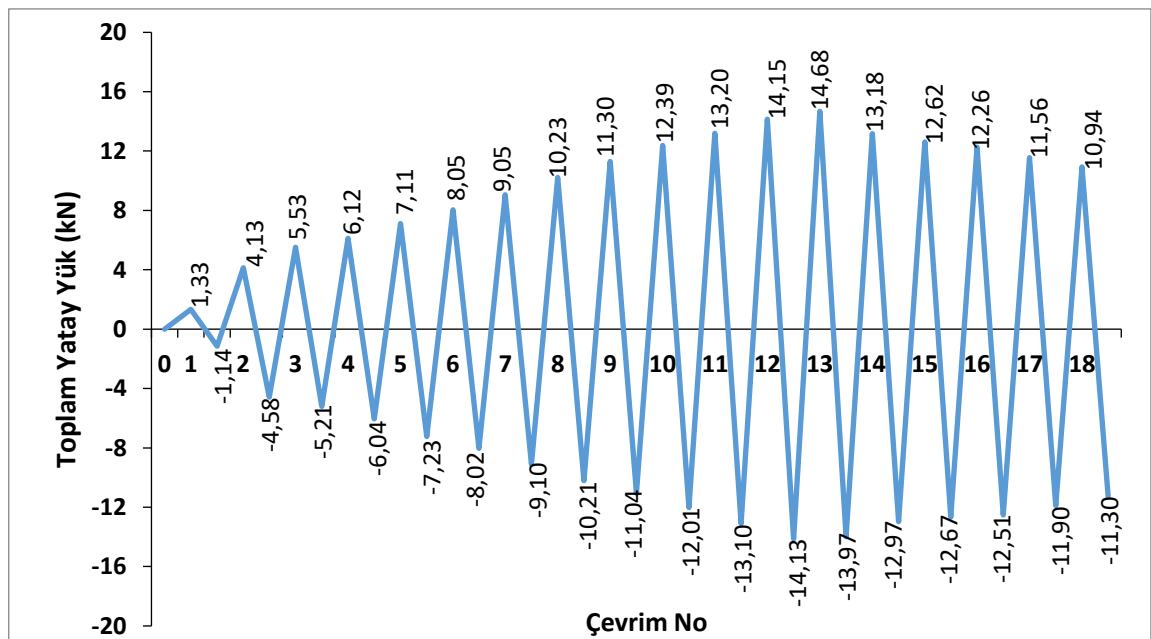
Şekil 4.27. Rijitlik azalımı grafiği (D.N.2)

#### 4.1.3. TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve

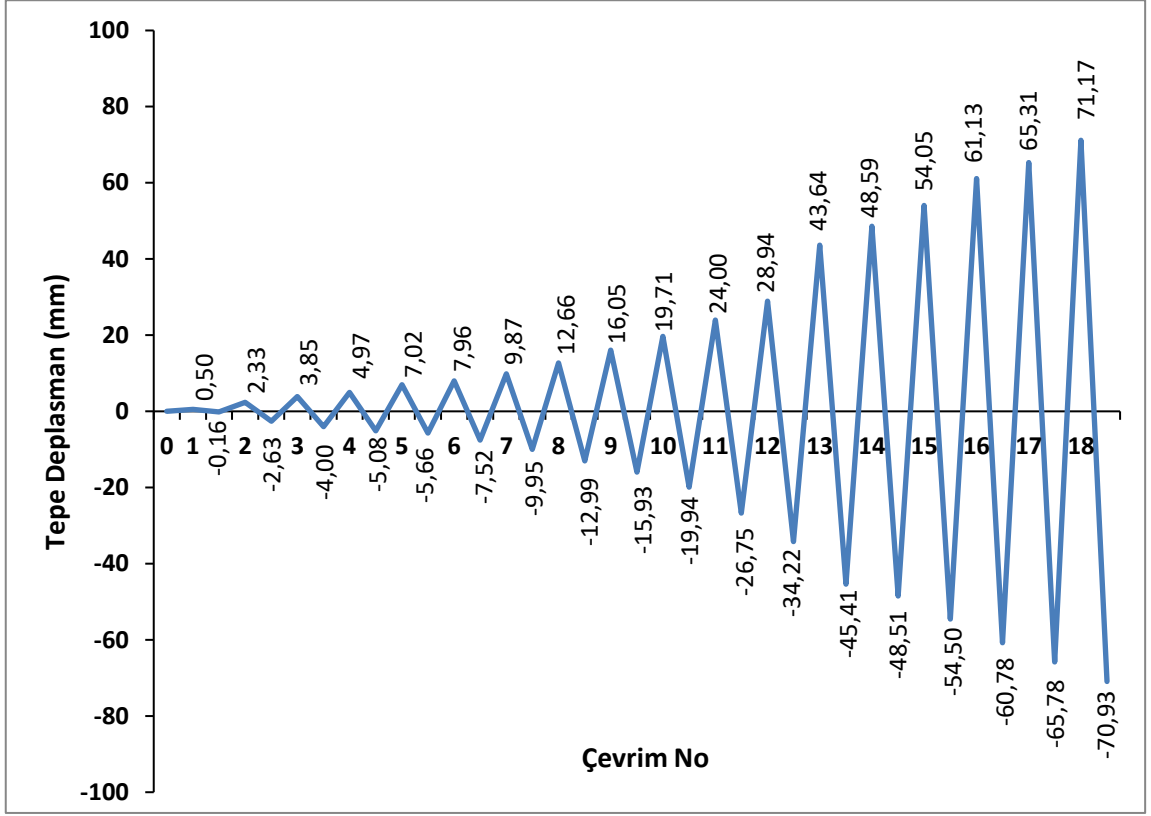
Çalışma kapsamında ilk olarak TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve (D.N.3) test edilmiştir. Deney numunesi 3, deney düzeneğine yerleştirilmiş halde Şekil 4.2'de sunulmuştur. Deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.29'da, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Deney numunesine itme ve çekme yönünde toplamda 18 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.28. Deney numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (D.N.3)



Şekil 4.29. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.30. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)

Yük geçmişi grafikleri incelendiğinde, sistemde ideal akma gerçekleşene kadar yük kontrollü yükleme ile başlayan deneye deplasman kontrollü yükleme yöntemiyle devam edilmiştir. 13. çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma gözlemlenmiştir. Deney numunesi 3'te, +13 çevriminde maksimum 14.68 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 43.64 mm tepe deplasmanı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. -12 çevriminde ise 14.13 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanın 34.22 mm olduğu gözlemlenmiştir. Deneyde, itme çevrimlerinde en fazla 71.17 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 70.93 mm deplasman düzeyine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -18 çevriminde numunenin kolonlarında beton ezilmesi ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde büyük hasarların meydana gelmesi nedeniyle sonlandırılmıştır.

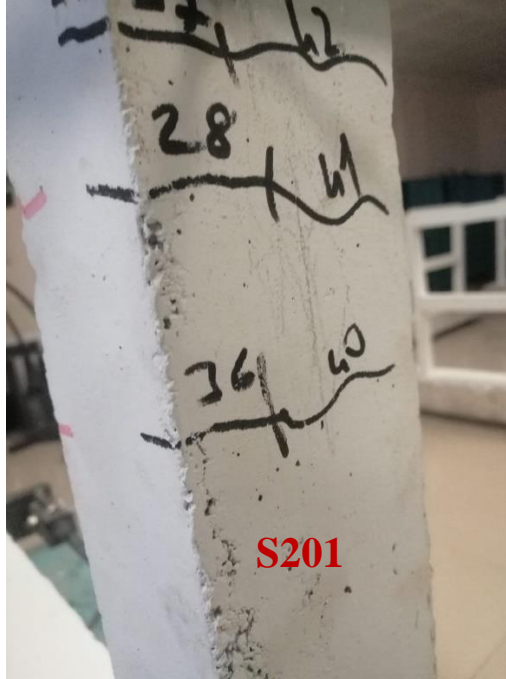
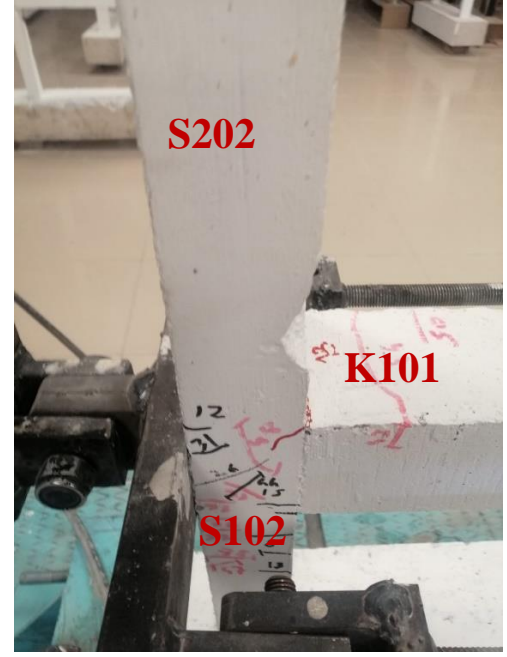
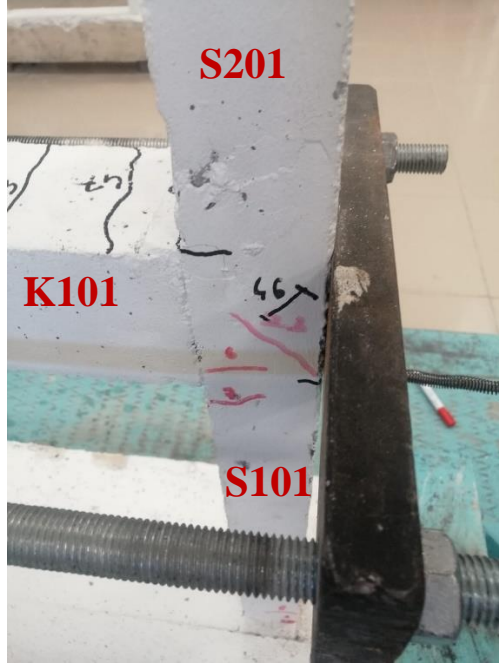
Deney sürecinde, numuneye toplamda 44 kN eksenel yük uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 22 kN'lik eksenel yük aktarılmıştır. Yaklaşık 20 MPa basınç dayanımına ve 90x60 mm kesit alanına sahip olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Şekil 4.31'de deney numunesi 3'te oluşan ilk çatlaklar verilmiştir. İtmede oluşan ilk çatlak +2 çevriminde, çekmede ise -2 çevriminde gözlemlenmiştir.

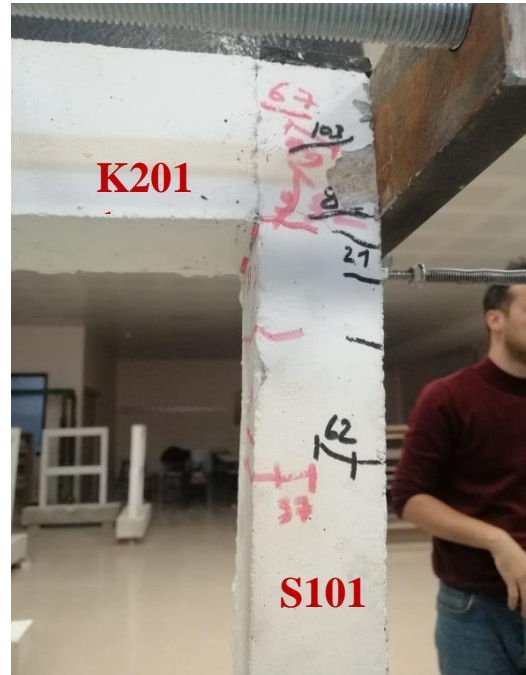
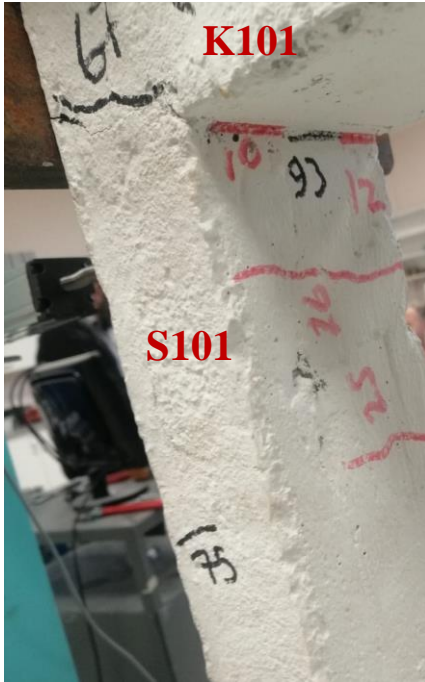
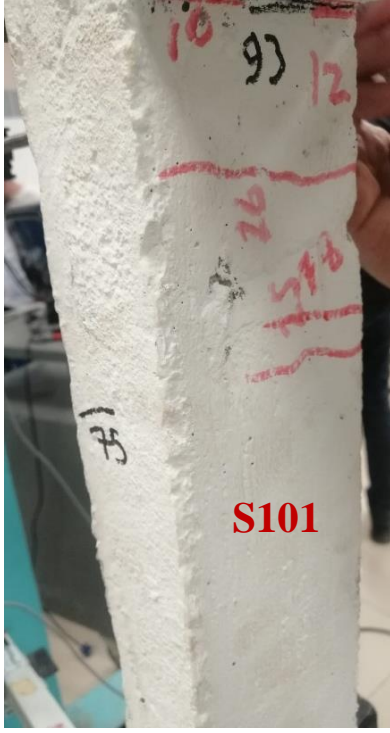


**Şekil 4.31.** Deney numunesi 3'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar

Deneyde, -12 çevriminde kolonların ezilmeye başladığı görülmüştür. S102 kolonunda +16 çevriminde betonun dökülerek donatıların açığa çıktığı gözlemlenmiştir. S101 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir. Numunenin itme yönünde meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.32'de, maksimum yüklemde Şekil 4.33'de ve göçme durumunda ise Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



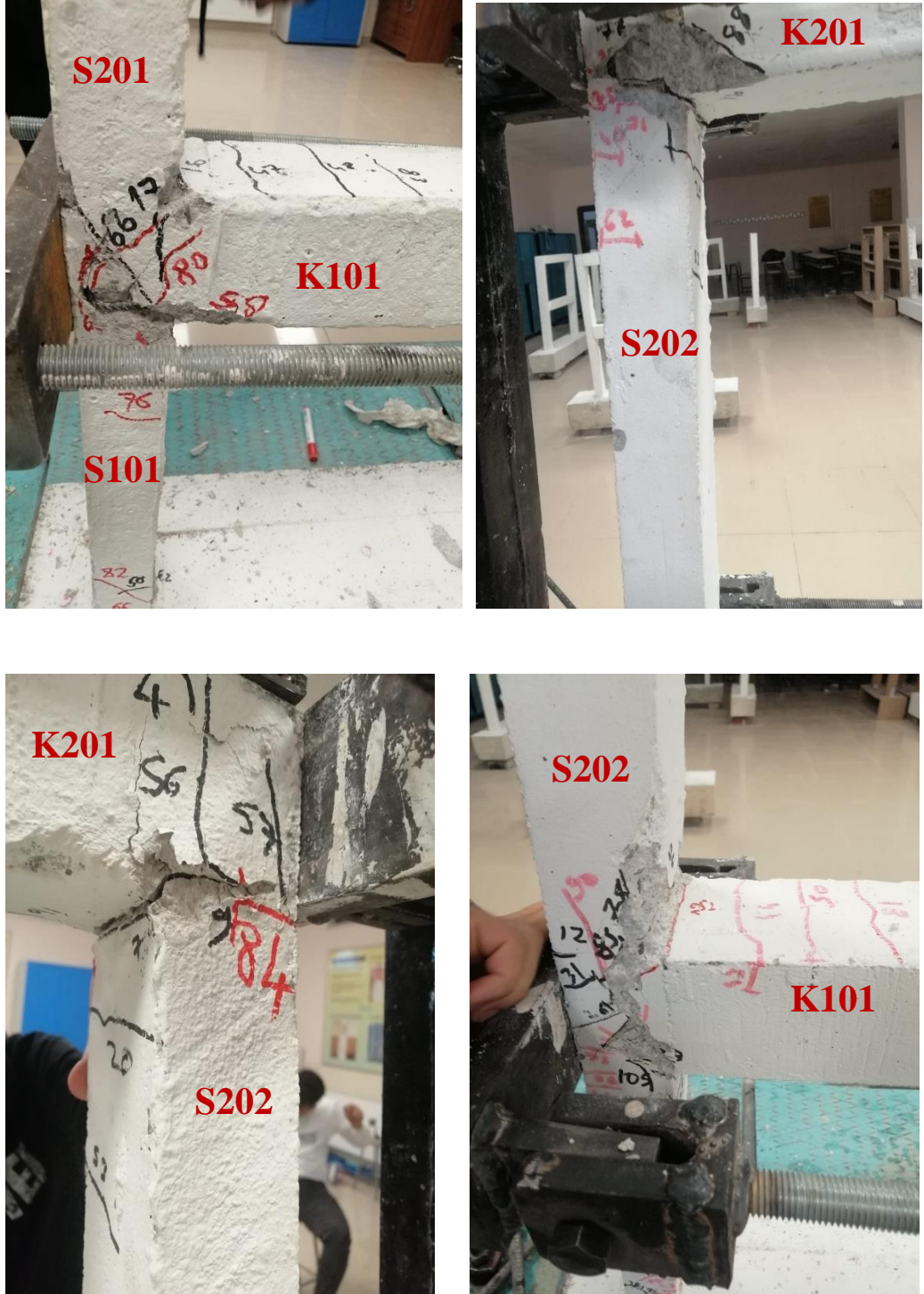
Şekil 4.32. Deney numunesi 3'ün akma sonrası görünümü (+10 itme çevrimi)



Şekil 4.33. Deney numunesi 3'ün, maksimum yükleme sonrası görünümü (+13 itme çevrimi)

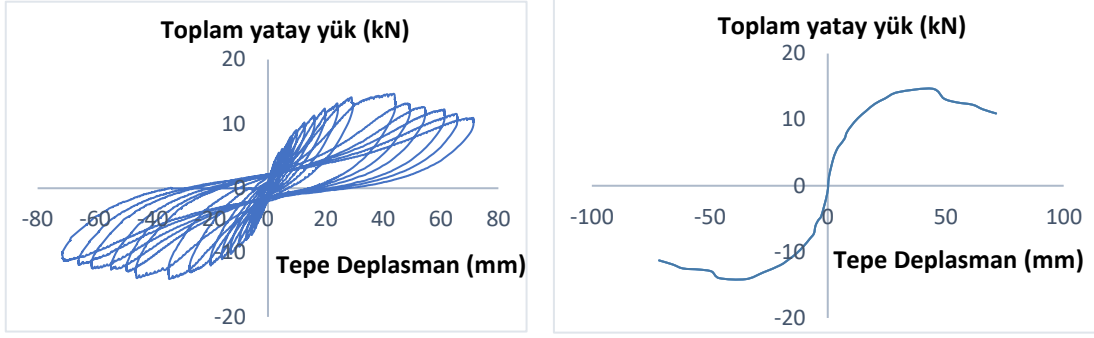


Şekil 4.34. Deneş numunesi 3'ün, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+17 itme çevrimi)

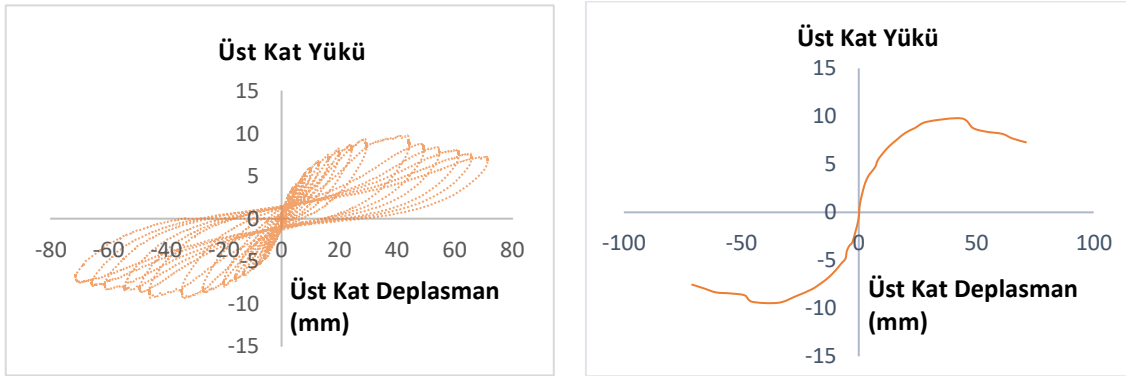


Şekil 4.35. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

Deney numunesi 3'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanın çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.37'de verilmiştir.

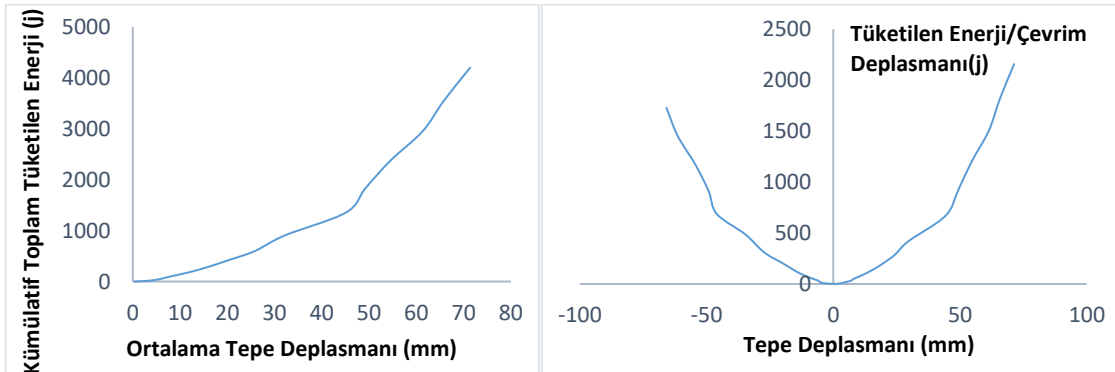


Şekil 4.36. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N.3)



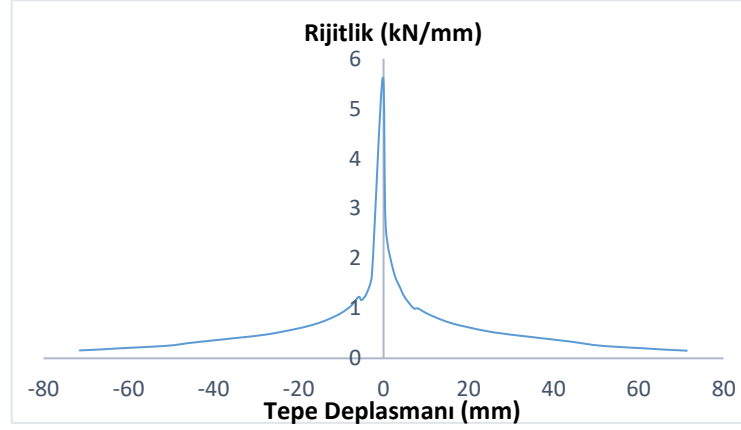
Şekil 4.37. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (D.N.3)

Numunenin enerji tüketme kapasitesini belirlemek amacıyla, toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histeresis eğrilerinin altında kalan alan hesaplanmış ve bu sonuçlar Şekil 4.38'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N.3)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bu değerlere karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanmasıyla her çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen rijitlik değerleri gösterilmiştir (Şekil 4.39). İtme çevrimleri için hesaplanan değerler sağ tarafta yer alırken, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafikte sol tarafta yer almaktadır.



Şekil 4.39. Rijitlik azalımı grafiği (D.N.3)

#### 4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

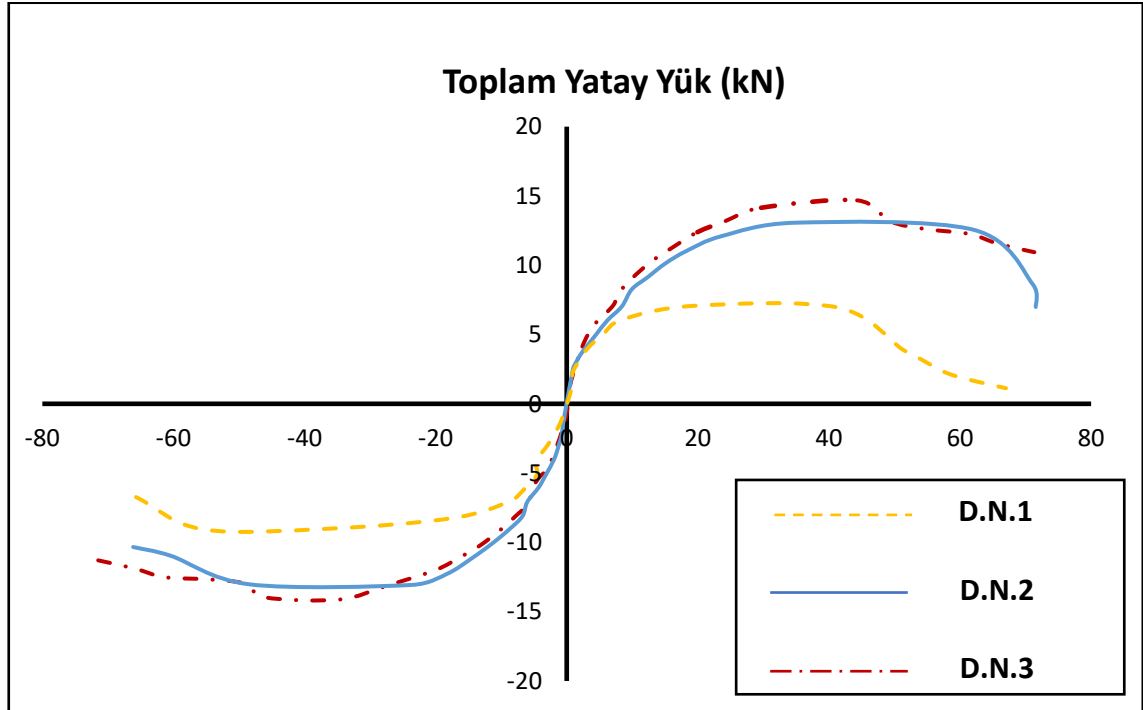
Bu bölümde, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre deney numunelerinin birbirlerine göre kıyaslamaları yapılmıştır. Bu veriler, sayısal sonuçlar olarak grafikler ve çizelgeler şeklinde gösterilmiştir.

- Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği,
- Üst kat yükü-üst kat kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği,
- Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları çizelgesi
- Numunelerin rijitlik azalımı grafiği,
- Numunelerin rijitlik değerleri ve rijitlik azalımı oranları çizelgesi,
- İtme ve çekme yönünde tüketilen enerji grafiği,
- İtme ve çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları çizelgesi.

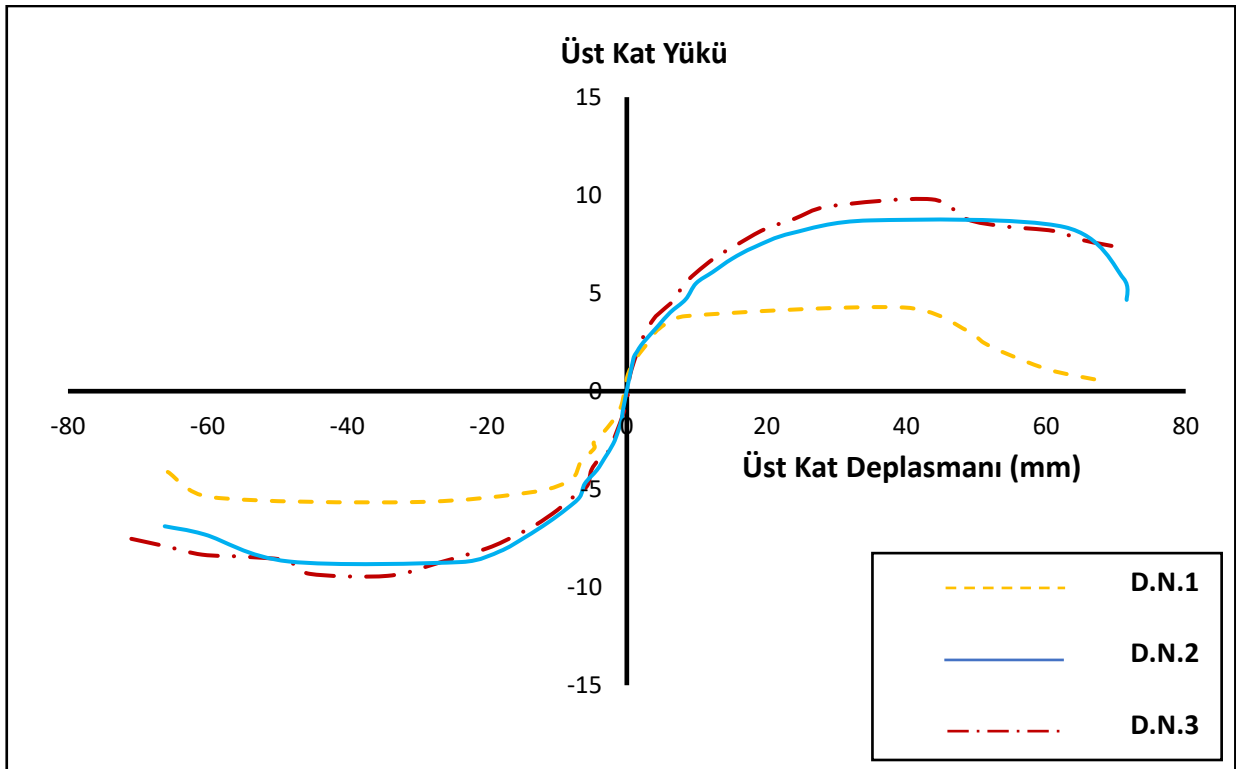
#### 4.2.1. Çalışma kapsamındaki numunelerin karşılaştırılması

##### 4.2.1.1. Dayanımların karşılaştırılması

Kusurlu, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 standartlarına göre tasarlanmış betonarme çerçeve numunelerine ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.40'da, üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği ise Şekil 4.41'de verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen veriler kullanılarak, kusurlu olarak tasarlanmış numuneye göre DBYBHY 2007 ve TBDY 2018'ye göre tasarlanmış numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunenin (D.N.3) en yüksek yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış D.N.2 numunesi, kusurlu olarak tasarlanmış numuneye göre yaklaşık 1.85 kat daha fazla yatay yüke dayanabilirken, TBDY 2018'e göre tasarlanmış D.N.3 numunesi ise yaklaşık 2.08 kat daha fazla yatay yüke dayanabilmiştir. (itme yönü için)



Şekil 4.40. Tüm numunelere ait yük- deplasman zarf eğrileri grafiği



Şekil 4.41. Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği

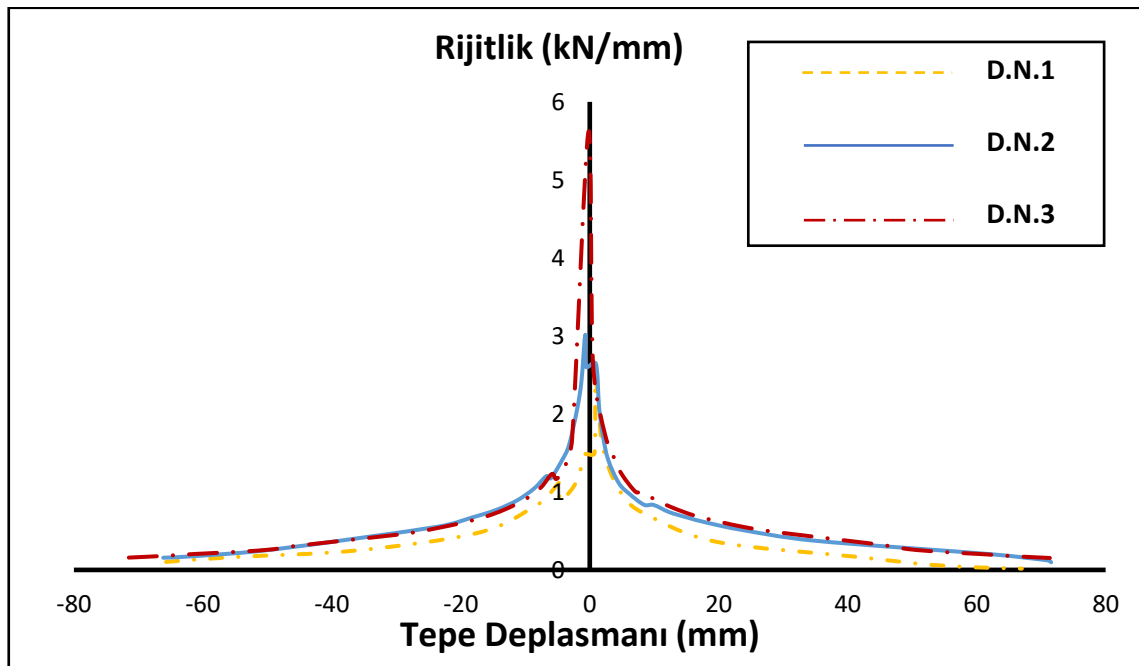
Çizelge 4.1. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları

Deney numunesi	Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Toplam yatay yüke göre					
			Max. yatay yük (kN)		Yatay yük taşıma artış oranları (%)		Yatay yük taşıma artış oranları	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
D.N. 1	39.67	-59.60	7.05	-9.06	0	0	1	1
D.N. 2	34.83	-23.62	13.06	-13.07	85	44	1.85	1.44
D.N. 3	43.64	-34.22	14.68	-14.13	108	56	2.08	1.55

#### 4.2.1.2. Rijitliklerin karşılaştırılması

Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri Şekil 4.42’de verilmiştir. Bu numunelere ait, 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve bu değerler için kusurlu betonarme çerçeveye göre hesaplanan rijitlik oranları Çizelge 4.2’de verilmiştir. 1. çevrimdeki en yüksek rijitlik değeri iki numunede eşit çıkmıştır. DBYBHY 2007’ye göre tasarlanmış D.N.2 ve TBDY 2018’e göre tasarlanmış D.N.3 numuneleri eşit rijitlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Maksimum yükteki rijitlik değeri en yüksek olan

numune ise DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış (D.N.2) numunedir. İtme yönü için numunelerin ilk rijitlik değerlerinin, maksimum yük seviyesine ulaşıldığı andaki azalım oranları; D.N.1 numunesinde 4.16, D.N.2 numunesinde 7.13 ve D.N.3 numunesinde 8'dir. Çekme yönü için rijitlik azalım oranları ise; D.N.1 numunesinde 9.25, D.N.2 numunesinde 4.72 ve D.N.3 numunesinde 14.02'dir. D.N.1'in maksimum yükteki rijitlik değerine göre; D.N.2 numunesi 1.02 kat, D.N.3 numunesi 0.92 kat fazla rijit davranmışlardır (itme yönü için).



Şekil 4.42. Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri

Çizelge 4.2. Tüm numuneler için rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik azalımı oranları

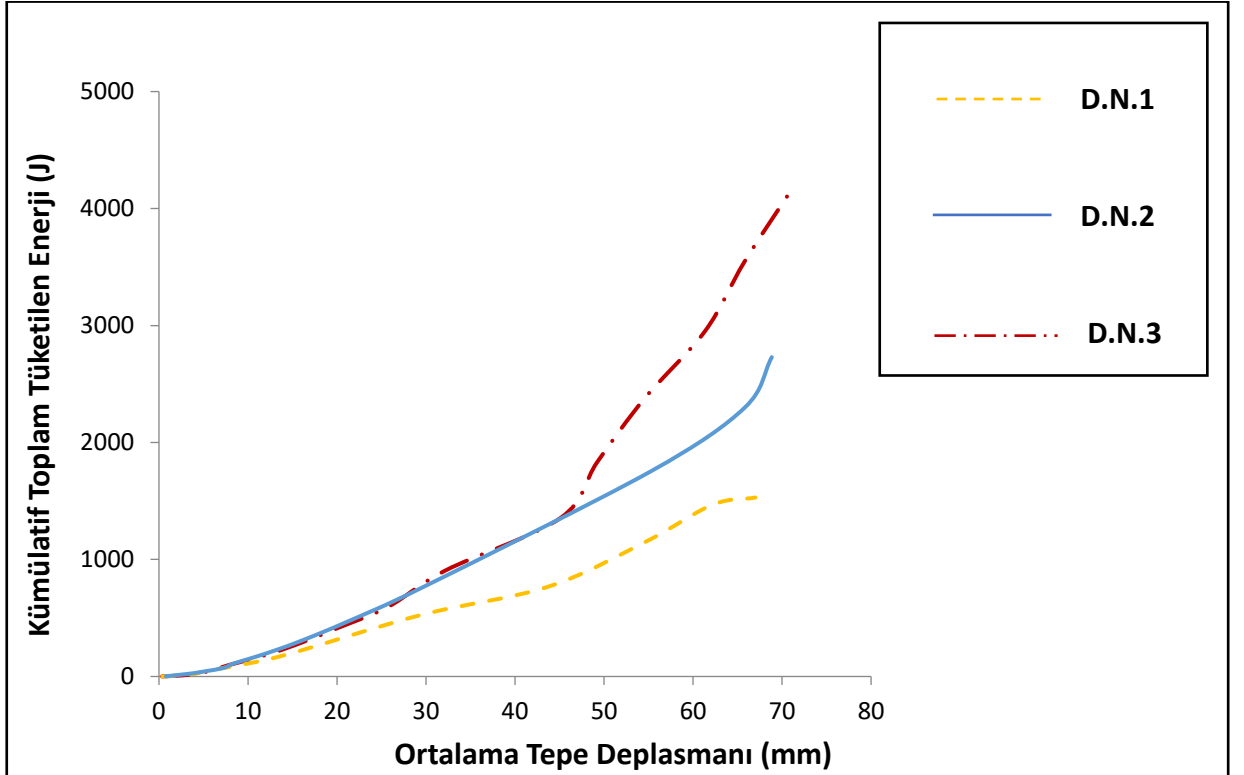
Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları			
	1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
D.N. 1	1.50	1.48	0.36	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00
D.N. 2	2.64	2.60	0.37	0.55	1.76	1.75	1.02	3.43
D.N. 3	2.64	5.61	0.33	0.40	1.76	3.80	0.91	2.50

#### 4.2.1.3. Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması

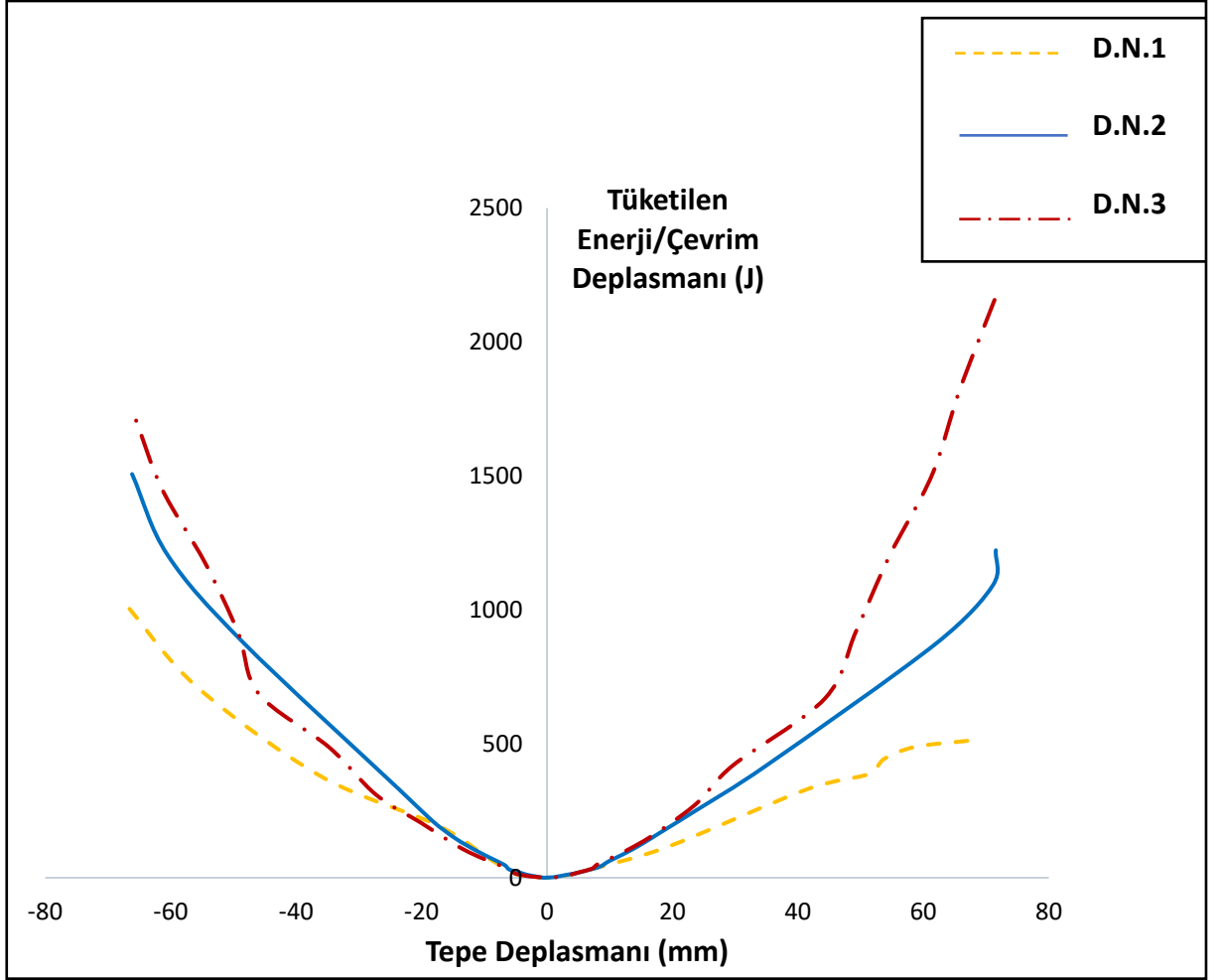
Çalışma kapsamında yer alan tüm numunelerin enerji tüketimi grafikleri Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te verilmiştir. Ayrıca, kusurlu numuneye göre enerji tüketme kapasitelerindeki artış oranları itme yönü için Çizelge 4.3'te, çekme yönü için ise Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.3'deki verilere göre, TBDY 2018 standartlarına göre tasarlanmış D.N.3 numunesi, enerji tüketme kapasitesi açısından en üstün performansa sahip olan numune olmuştur. Kusurlu numuneye (D.N.1) göre karşılaştırıldığında, D.N.2 numunesinin enerji tüketme kapasitesi 2.15 kat daha yüksek, D.N.3 numunesinin ise 1.59 kat daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.4'te TBDY 2018'e göre tasarlanmış D.N.3 numunesinin D.N.2 ve D.N.1'e göre sırasıyla %42, %3 daha az enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.43. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.44. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre)

Çizelge 4.3. İtme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.80*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
D.N. 1	77.34	169.88	1.00	1.00
D.N. 2	168.41	387.96	2.17	2.15
D.N. 3	281.66	287.69	3.22	1.59

**Çizelge 4.4.** Çekme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.80*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
D.N. 1	326.15	277.22	1.00	1.00
D.N. 2	118.21	463,69	0.36	1.67
D.N. 3	176.71	269.03	0.54	0.97

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda 1/5 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı üç adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen bu betonarme numuneler; kusurlu betonarme çerçeve, DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve ve TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçevelerdir. Bu numuneler, sabit eksenel yük altında ve tersinir-tekrarlanır yük etkisi altında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu numunelerin belirli özellikleri açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

### 5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları, numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, akma yük değerleri, göçme yükü değerleri, ilk yanal rijitlik değerleri, kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve göçme mekanizması durumlarına ilişkin aşağıdaki bulgularla ortaya konulmuştur;

- Kusurlu betonarme çerçeve D.N.1'in, itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 7.07 kN, çekme yönünde ise 9.06 kN olarak belirlenmiştir. Göçme yükü değeri ise itme yönünde 5.65 kN, çekme yönünde 7.24 kN olarak belirlenmiştir. D.N.1'in ilk yanal rijitlik değeri, itme yönünde 1.50 kN/mm, çekme yönünde ise 1.48 kN/mm olarak tespit edilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 1529.77 J olarak hesaplanmıştır. Numunede gözlemlenen göçme mekanizması, S101 ve S102 kolonlarında ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde beton ezilmeleri olarak belirlenmiştir.
- DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme çerçeve D.N.2'nin, itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 13.06 kN, çekme yönünde ise 13.07 kN olarak belirlenmiştir. Göçme yükü değeri ise itme yönünde 10.44 kN, çekme yönünde 10.45 kN olarak ölçülmüştür. D.N.2'nin ilk yanal rijitlik değeri, itme yönünde 2.64 kN/mm, çekme yönünde ise 2.60 kN/mm olarak tespit edilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 2729.63 J olarak hesaplanmıştır. Numunede gözlemlenen göçme mekanizması, S101 ve S102 kolonlarında ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, özellikle S101 kolonunda kabuk betonun ortaya çıktığı gözlenmiştir.

- TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme çerçeve D.N.3'ün, itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 14.68 kN, çekme yönünde ise 14.13 kN olarak tespit edilmiştir. Göçme yükü değeri ise itme yönünde 11.70 kN, çekme yönünde ise 11.30 kN olarak ölçülmüştür. D.N.3'ün ilk yanal rijitlik değeri itme yönünde 2.64 kN/mm, çekme yönünde ise 5.61 kN/mm olarak belirlenmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 4202.19 J olarak hesaplanmıştır. Numunede gözlemlenen göçme mekanizması; S102 kolonunda beton dökülerek donatıların açığa çıktığı, S101 kolonunda ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ise hasar oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir.

Deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- TBDY 2018'e göre tasarlanmış betonarme numune, en yüksek yatay yük taşıma kapasitesine sahip numunedir (14.68 kN). Referans numune olan kusurlu numuneye göre; DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış betonarme numunede 1.84 kat, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunede ise 2.07 kat daha fazla yatay yük taşımıştır.
- İlk yanal rijitlik değeri en yüksek olan numune, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunedir (1.73 kN/mm). Referans numune olan kusurlu numuneye göre ilk yanal rijitlik artış oranları DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış numunede 1.01 kat, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunede 1.02 kat fazladır.
- Kusurlu numuneye göre, maksimum yükteki rijitlik değeri en yüksek olan numune, DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış olan numunedir (0.37 kN/mm). DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış numune, kusurlu numuneye göre maksimum yükteki rijitlikte 1.02 kat artış gösterirken, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numune ise 0.92 kat azalış göstermiştir.
- Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri en yüksek olan numune, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunedir (4202.19 J). Referans numune olan kusurlu numuneye göre tüketilen enerjideki artış oranları ise DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış numunede 1.78 kat, TBDY 2018'e göre tasarlanmış numunede 2.75 kat daha fazladır.

Yapılan çalışma neticesinde, betonarme çerçevede uygulanan donatı detaylarının çerçeve davranışını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Özellikle enine donatı aralıklarının sık tutulması ve bindirme boylarının fazla tutulması çerçevenin rijitlik, yük taşıma ve enerji tüketme kapasitesini artırmıştır.

## 5.2. Öneriler

Deprem yönetmeliklerinde yapılan değişiklikleri yansıtmak üzere özellikle donatı detaylandırmasının deprem davranışına olan etkilerini incelemek amacıyla üç farklı türde betonarme çerçeve numuneler üretilmiştir. Bu numunelerden elde edilen sonuçlar ve yapılan araştırmaların geliştirilebilmesi için aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Bu çalışmada değişken olarak sadece donatı detayları alınmıştır. Yönetmeliğin deprem davranışına olan etkisi için farklı tipte değişkenler kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir.
- Yapılacak olan deneysel çalışmalarda yapının davranış ve özelliğini daha iyi gözlemleyebilmek için daha büyük boyutlarda numuneler üretilmelidir.
- Yeni yapılacak olan çalışmalarda, farklı dolgu duvar malzemelerinin kullanıldığı betonarme çerçeveler üretilmelidir.
- Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda numunelerin davranış ve diğer özellikleri analitik olarak incelenebilir. Buradan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları birbirleri ile kıyaslanabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- AFAD, 2018, Türkiye Deprem Tehlike Haritası, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> [Ziyaret Tarihi: 8 Ocak 2023].
- Akın, A., 2011, Önüretimli beton panellerle güçlendirilmiş dolgulu betonarme çerçevelerin deprem davranışının deneysel ve analitik incelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 112-117.
- Akın, S. K., Kara, N., Kaltakçı, M. Y., 2006, Betonarme çerçevelerde etriye düzeninin yatay yük taşıma kapasitesine etkileri üzerine deneysel bir çalışma, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(1), 83-108.
- Aksoylu, C., 2018, Önüretimli beton panellerle güçlendirilmiş dolgulu betonarme çerçevelerin deprem davranışının deneysel ve analitik incelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 87-92.
- Altın, S., Anıl, Ö., Gökten, Y., 2004, Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4), 415-422.
- Altun, F., 2018, Afetlerin ekonomik ve sosyal etkileri: Türkiye örneği üzerinden bir değerlendirme. *Sosyal Çalışma Dergisi*, 2(1), 1-15.
- 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, 149.
- Balık, F. S., 2012, Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-7.
- Baran, M. ve Tankut, T., 2009, Yetersiz boydaki bindirmeli eklerin betonarme çerçeveli yapıların davranışına etkileri. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(2), 71-75.
- DBYBHY, 2007, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Emir, F., 2020, Çelik çaprazlara metalik sönümleyicilerin eklenmesi ile betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Esen, B., Gündoğay, A., Yaman, S., Kabaş, H. T., Demir, F., 2022, Betonarme kirişlerin davranışını etkileyen parametrelerin deneysel incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(3), 1043-1060.
- Gürbüz, K., 2015, <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/marmara-depreminin-16-yili> [Ziyaret Tarihi: 8 Şubat 2023].

- Hajirasouliha, I., Asadi, P., Pilakoutas, K., 2012, An efficient performance-based seismic design method for reinforced concrete frames, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 41(4), 663-679.
- İlki, A. ve Kumbasar, N., 2000, Hysteretic Model For Reinforced Concrete Members, *Fourteenth Engineering Mechanics Conference*, American Society Of Civil Engineers, Austin, Texas, USA, May 21-24.
- İnel, M., Bilgin, H., Özmen, H. B., 2008, Orta yükseklikli betonarme binaların Türkiye’de yaşanan son depremlerdeki performansı, *Teknik Dergi*, 19(91), 4319-4331.
- Kalkan, İ., Kahraman, E., Başaran, B., 2019, Farklı donatı oranlarına sahip düzenli kare boşluklu betonarme kirişlerin eğilme davranışları, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1417-1430.
- Kaltakçı, M. Y. ve Yavuz, G., 2006, Sismik detayları yetersiz betonarme çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(1), 109-118.
- Kaung, J. S. ve Wong, H. F., 2011, Effectiveness of horizontal stirrups in joint core for exterior beam-column joints with nonseismic design, *Procedia Engineering*, 14, 3301-3307.
- Lee, H. S. ve Woo, S. W., 2002, Seismic performance of a 3-story RC frame in a low-seismicity region, *Engineering Structures*, 24(6), 719-734.
- Özkal, F. M., 2017, Kesme açıklığı küçük olan betonarme kirişlerin etriye düzeni ve kenetlenme yönünden incelenmesi, *20. Ulusal Mekanik Kongresi*, Bursa, 551-561.
- Özkal, F. M. ve Uysal, H., 2017, Betonarme yapı elemanlarında en uygun donatı yerleşiminin belirlenmesi: konsol kiriş örneği, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(2), 157-169.
- Özkaynak, H., 2002, Deprem bölgelerindeki betonarme yapılarda donatı düzenleme ilkeleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Severcan, M. H., Kara, İ. F., Akçaözöğlü, K., 2016, Değişik yüklemeler etkisi altında farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların deneysel olarak incelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 135-147.
- TDBY, 2018, Türkiye deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı*, Ankara.
- TMMOB, 2012, Türkiye’de deprem gerçeği ve TMMOB Makina Mühendisleri Odası’nın önerileri: Oda Raporu, MMO Yayınları, Ankara, 1.

- TMMOB, 2023, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremleri ön değerlendirme raporu, 1-16.
- Töre, E., 2013, Geniş betonarme kirişlerde plastik şekil değiştirmenin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Turan, A. F., 2022, Betonarme kirişlerde donatı oranının ve genişlik/yükseklik oranının kiriş davranışına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Turmanidze, Z., 2017, Etriye kanca açısının aksel yüklü betonarme kolon davranışı üzerindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Uçar, T. ve Merter, O., 2015, Farklı deprem düzeyleri için betonarme çerçevelerin plastik enerji istemlerinin belirlenmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 101-113.
- Üstün, S., 2020, Betonarme kirişlerde etriye açısının kesme davranışına etkisinin deneysel ve teorik analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Yıldız, H., 2009, Düşük dayanımlı bindirmeli betonarme kolonların farklı aksel yükler altında yapı performansına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yılmaz, H., 2009, Düşük dayanımlı betonarme elemanlarda donatı bindirme boyunun yatay yükler altındaki davranışa etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yüksel, S. B., Jamal, R., Foroughi, S., 2020, Kirişlerde basınç donatısı oranının moment-eğrilik ilişkisine etkisi, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 1-17.