



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇELİK ÇAPRAZLARA METALİK
SÖNÜMLEYİCİLERİN EKLENMESİ İLE
BETONARME ÇERÇVELERİN
GÜÇLENDİRİLMESİ**

Furkan EMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan EMİR tarafından hazırlanan “ÇELİK ÇAPRAZLARA METALİK SÖNÜMLEYİCİLERİN EKLENMESİ İLE BETONARME ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 02/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK

Üye

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

İmza

.....
.....
.....

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

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
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.

İmza

Furkan EMİR

11.05.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK ÇAPRAZLARA METALİK SÖNÜMLEYİCİLERİN EKLENMESİ İLE BETONARME ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİ

Furkan EMİR

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAHADIR
2020, 87 Sayfa**

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK**

Deprem davranışı yetersiz yapıların çerçeve boşluklarının arasına çelik çapraz elemanlar konularak, yapıların güçlendirilmesinde bugüne kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. V şeklinde çelik çapraz elemanların, çerçeve içerisine uygulanması da bu yöntemlerden biridir. Çelik çapraz elemanlı yapılan güçlendirmelerde karşılaşılan en büyük problem, basınç yükü etkisinde çelik çapraz elemanlarda gerçekleşen burkulmalardır. Çelik elemanlarda oluşan bu burkulma ise yapılan güçlendirme uygulamasının sisteme katkısını önemli derecede azaltmaktadır.

DeneySEL olarak yapılan bu çalışmada; çelik çapraz elemanlar ile yapılan güçlendirmelerde basınç yükü etkisi altında çelik çapraz elemanlarda oluşan burkulmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ülkemizde deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte, 1/4 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Betonarme çerçevelerden üç adedi çelik çapraz elemanlar kullanarak güçlendirilmiştir. Uygulanan bu güçlendirmelerin etkinliğini belirleyebilmek amacıyla betonarme çerçevelerden birisi referans numune olarak test edilmiştir. Numunelerin testleri, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma neticesinde; çelik çapraz elemanların ucunda teşkil edilen damperlerin, burkulma oluşumunu engelleme yönünde olumlu katkı sağlamıştır. Ayrıca damperlerin ve çelik çapraz çubukların numunelerin başlangıç rijitlik değerleri ve enerji tüketme kapasitelerini artırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Burkulma, çelik çapraz elemanlar, güçlendirme, sismik damper, tersinir-tekrarlanır yükleme

ABSTRACT

MS THESIS

STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE FRAMES BY ADDING METALLIC DAMPERS TO STEEL CROSSES

Furkan EMİR

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

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

2020, 87 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Süleyman Kamil AKIN
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Asst. Prof. Dr. Fatih Süleyman BALIK**

Steel cross members have been placed between the frame gaps of buildings with insufficient earthquake behavior and many methods have been developed to strengthen the structures. Application of V-shaped steel cross members into the frame is one of these methods. The biggest problem encountered in reinforcements made with steel cross members is buckling in steel cross members under the effect of pressure load. This buckling in steel elements significantly reduces the contribution of the strengthening application to the system.

In this experimental study; in strengthening made with steel cross members, it is aimed to prevent buckling of steel cross members under the pressure load. For this purpose, 4 reinforced concrete frames with a scale of 1/4 scale, single span and single storey which can reflect the features of existing buildings with insufficient earthquake behavior, have been produced. Three of the reinforced concrete frames were strengthened by using different details of steel cross members. Other frame was the reference specimen to check the effectiveness of the strengthening strategy. These specimens were tested under the cyclic lateral load reversals while a constant axial load was applied.

As a result of the study; the dampers formed at the ends of the steel cross members made a positive contribution to prevent buckling. It has also been shown that dampers and steel cross members increase the initial stiffness values and energy consumption capacities of the specimens.

Keywords: Buckling, steel cross members, strengthening, seismic damper, reversed-cyclic loading

ÖNSÖZ

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan ve büyük emeği geçen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Fatih Süleyman BALIK'a ve tez ikinci danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Fatih BAHADIR'a öncelikle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini ve dualarını her zaman yanımda hissettiğim babama, anneme ve kardeşlerime, çalışmalarım sırasında her zaman bana sabır gösteren ve destek olan sevgili eşime ve biricik kızıma şükranlarımı sunarım.

Furkan EMİR
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Betonarme Yapılardaki Tasarım ve Yapım Hataları.....	3
1.2. Güçlendirme ve Onarım	3
1.3. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler	4
1.3.1. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirme	4
1.3.2. Metalik sönümleyicilerle güçlendirme	4
1.3.3. Burkulması önlenmiş çaprazlarla (BÖÇ) güçlendirme	5
1.4. Çalışmanın Amacı ve Önemi	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Deney Numunelerinin Detayları	15
3.1.1. Boş betonarme çerçeve.....	15
3.1.2. V şeklinde çelik çapraz çubuklarla ve metalik damperlerle güçlendirilen numunelerin detayları.....	18
3.1.3. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri	20
3.2. Yükleme Düzeneği, Ölçüm Tekniği ve Ölçümlerin değerlendirilmesi.....	22
3.2.1. Yükleme düzeneği	22
3.2.2. Ölçüm tekniği	23
3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi.....	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	26
4.1. Deney Sonuçları	27
4.1.1. Boş Betonarme Çerçeve	27
4.1.2. Çelik Çapraz Çubuklarla Güçlendirilen Betonarme Çerçeve.....	32
4.1.3. Çelik Çapraz Çubukların Uçlarına Vidalı Damper Eklenerek Güçlendirilen Betonarme Çerçeve	42
4.1.4. Çelik Çapraz Çubuklara Vidalı Levhalı Damper Eklenerek Güçlendirilen Betonarme Çerçeve	49
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	59

4.2.1. Çalışma kapsamındaki numunelerin karşılaştırılması.....	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
5.1. Sonuçlar.....	64
5.2. Öneriler.....	66
6. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm : Santimetre

mm : Milimetre

F_i : Deneylemlerin itme çevrimlerinde ölçülen yatay yük değlerleri

kN : KiloNewton

δ_i : Deneylemlerin itme çevrimlerinde ölçülen yatay deplasman değlerleri

ϕ_i : Rijitlik değeri

Kısaltmalar

DBYBHY 2007 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

TBDY 2018 : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

UDSEP : Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı 2012-2023

TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

DPT : Devlet Planlama Teşkilatı

ADAS : Added Damping and Stiffness

TADAS : Triangular Added Damping and Stiffness

BÖÇ : Burkulması Önlenmiş Çapraz

AISC : American Institute of Steel Construction

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Polymer

FEMA : Federal Emergency Management Agency

İTVÇÇ : İç Ters V Çelik Çapraz

İÇÇ : İç Çelik Çerçeve

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)	2
Şekil 1.2. TBDY 2018’de verilen merkezi çaprazlı çelik çerçeveler	4
Şekil 1.3. Farklı şekil ve geometrideki metalik sönümleyiciler (Koroğlu, 2012)	5
Şekil 1.4. BÖÇ bileşenleri ve çeşitli BÖÇ en kesitleri (Demir, 2018 ve Xie, 2005).	6
Şekil 3.1. Boş betonarme çerçevenin donatı ve boyut detayları.....	16
Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin üretilmesine ait bazı fotoğraflar	17
Şekil 3.3. Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numune D.N.2’ye ait detaylar	18
Şekil 3.4. D.N.3’te kullanılan çelik bulonlu metalik dampere ait detaylar	19
Şekil 3.5. D.N.4’te kullanılan yarıklı çelik levhadan oluşturulan metalik dampere ait detaylar.....	19
Şekil 3.6. Ankraj deliklerinin hazırlanması ve ankraj bulonlarının ekilmesi	20
Şekil 3.7. Yükleme düzeneği.....	23
Şekil 3.8. Deneylede kullanılan yük hücrelerinin sistemdeki yerleri.....	23
Şekil 3.9. Deneylede kullanılan LVDT’lerin yerleşim düzeni.....	24
Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi.....	26
Şekil 4.2. Deney Numunesi 1’in deney öncesi görünümü (D.N. 1).....	27
Şekil 4.3. Deney numunesi 1’e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) 27	
Şekil 4.4. Deney numunesi 1’e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre).....	28
Şekil 4.5. Deney numunesi 1’de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar.....	29
Şekil 4.6. Deney numunesi 1’in, maksimum yükleme sonrası görünümü (+9 itme çevrimi).....	29
Şekil 4.7. Deney numunesi 1’in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+13 itme çevrimi).....	30
Şekil 4.8. Deney numunesi 1’in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar	30
Şekil 4.9. Deney numunesi 1’in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar.....	30
Şekil 4.10. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 1).....	31
Şekil 4.11. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 1).....	31
Şekil 4.12. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 1).....	32

Şekil 4.13. Deney Numunesi 2'nin deney öncesi görünümü (D.N. 2).....	32
Şekil 4.14. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)	33
Şekil 4.15. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre).....	33
Şekil 4.16. Ankraj sıyırılması ve çelik çapraz çubukların burkulması	34
Şekil 4.17. Ankrajın sıyırılmaya başlaması	35
Şekil 4.18. Ankrajın sıyırılmaya başlaması	35
Şekil 4.19. ÇÇ2'nin burkulmaya başlaması	35
Şekil 4.20. ÇÇ2'nin burkulması ve profilde yırtılma gözlenmesi.....	36
Şekil 4.21. ÇÇ1'in burkulmaya başlaması	36
Şekil 4.22. ÇÇ1'in burkulması	36
Şekil 4.23. ÇÇ1'in burkulması ve ÇÇ2'nin yırtılması	37
Şekil 4.24. Kolon kiriş birleşim bölgesinde ankraj sıyırılması.....	37
Şekil 4.25. Deney numunesi 2'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar...	38
Şekil 4.26. Deney numunesi 2'nin, maksimum yükleme sonrası görünümü (+22 itme çevrimi).....	38
Şekil 4.27. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar	39
Şekil 4.28. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar.....	39
Şekil 4.29. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+23 itme çevrimi)	40
Şekil 4.30. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda çelik çapraz ve sönümleyicide oluşan hasarlar	40
Şekil 4.31. Deney numunesi 2'de deney sonunda oluşan hasarlar.....	40
Şekil 4.32. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 2).....	41
Şekil 4.33. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 2).....	41
Şekil 4.34. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 2).....	41
Şekil 4.35. Deney Numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (D.N. 3).....	42
Şekil 4.36. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)	42

Şekil 4.37. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre).....	43
Şekil 4.38. Damperdeki vidaların kopması nedeniyle deneyin sonlandırılması.....	44
Şekil 4.39. Deney numunesi 3'te +15 ve -15 çevrimlerinde oluşan hasarlar	44
Şekil 4.40. Deney numunesi 3'te +16 ve -16 çevrimlerinde oluşan hasarlar	45
Şekil 4.41. Deney numunesi 3'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar....	45
Şekil 4.42. Deney numunesi 3'ün, maksimum yükleme sonrası görünümü (+15 itme çevrimi).....	46
Şekil 4.43. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+16 itme çevrimi)	47
Şekil 4.44. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar	47
Şekil 4.45. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar.....	47
Şekil 4.46. Deney numunesi 3'te göçme konumunda damperde oluşan hasarlar	48
Şekil 4.47. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 3).....	48
Şekil 4.48. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 3).....	49
Şekil 4.49. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 3).....	49
Şekil 4.50. Deney Numunesi 4'ün deney öncesi görünümü (D.N. 4).....	50
Şekil 4.51. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)	50
Şekil 4.52. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre).....	51
Şekil 4.53. Damperdeki vidaların kopması ve levhaların şekil değiştirmesi nedeniyle deneyin sonlandırılması	52
Şekil 4.54. Deney numunesi 4'te +21 ve -21 çevrimlerinde damperlerde oluşan hasarlar	52
Şekil 4.55. Deney numunesi 4'te +22 ve -22 çevrimlerinde damperlerde oluşan hasarlar	53
Şekil 4.56. Deney numunesi 4'te +21 ve -21 çevrimlerinde kolonlarda oluşan hasarlar.....	53
Şekil 4.57. Deney numunesi 4'te -22. çevrimde oluşan hasarlar	54
Şekil 4.58. Deney numunesi 4'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar....	55

Şekil 4.59. Deney numunesi 4'ün, maksimum yükleme sonrası görünümü (+20 itme çevrimi).....	55
Şekil 4.60. Deney numunesi 4'ün, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+21 itme çevrimi).....	56
Şekil 4.61. Deney numunesi 4'ün, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar	56
Şekil 4.62. Deney numunesi 4'ün, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar.....	56
Şekil 4.63. Deney numunesi 4'ün, göçme konumunda sönmüleyicide oluşan hasarlar.	57
Şekil 4.64. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 4).....	57
Şekil 4.65. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 4).....	58
Şekil 4.66. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 4).....	58
Şekil 4.67. Tüm numunelere ait yük- deplasman zarf eğrileri grafiği.....	60
Şekil 4.68. Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri.....	61
Şekil 4.69. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği	62
Şekil 4.70. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre).....	62

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Türkiye’de son yıllarda meydana gelen önemli depremler (Altun, 2018 ve Balık,2012)	1
Çizelge 3.1. Çerçevesinin üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı	21
Çizelge 3.2. Donatı çubuklarının test sonuçları.....	21
Çizelge 3.3. Epoksi esaslı montaj malzemesine ait bazı özellikler	21
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları ...	60
Çizelge 4.2. Tüm numuneler için rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik azalımı oranları	61
Çizelge 4.3. İtme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları	62
Çizelge 4.4. Çekme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları	63

1. GİRİŞ

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de insanlığın sıklıkla karşı karşıya kaldığı felaketlerin başında gelen depremler, büyük oranda mal ve can kaybına neden olmaktadır (Altun, 2018). Yer kabuğu içindeki oluşan kırılmalar nedeniyle yeryüzünde hissedilen sarsıntılara deprem denir (Köroğlu, 2012).

Ülkemiz dünyadaki en etkin deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Türkiye’de nüfusun %98’i deprem tehdidi altında yaşadığı, büyük sanayi merkezlerinin %98’inin ve barajların %93’inin deprem bölgelerinde inşa edildiği bilinmektedir (TMMOB, 2012). Türkiye’de son yıllarda meydana gelen ve büyük can ve mal kayıplarına neden olan önemli depremler Çizelge 1.1’de verilmiştir (Altun, 2018 ve Balık, 2012). Ülkemizde var olan bu deprem gerçeği, yapıların proje tasarımında, inşa aşamasında ve yapının ekonomik ömrü içerisinde özellikle deprem kuvvetlerine karşı yapı güvenliği hususunu önemli hale getirmektedir. Çünkü insan yaşamının büyük çoğunluğu inşa edilen bu yapılarda geçmektedir. Dolayısıyla yapılara deprem yükü gibi ilave bir yükün etki etmesinin beklendiği durumlarda; yapıların, insanların can ve mallarını koruyacak şekilde uygun inşaat yöntemleri kullanılarak inşa edilmesi gerekmektedir (Balık, 2012).

Çizelge 1.1. Türkiye’de son yıllarda meydana gelen önemli depremler (Altun, 2018 ve Balık,2012)

NO	TARİH	YER	MS	CAN KAYBI	HASARLI BİNA
1	13.03.1992	Erzincan	6,8	653	6.702
2	1.10.1995	Dinar (Afyon)	5,9	90	4.909
3	27.06.1998	Ceyhan (Adana)	5,9	146	4.000
4	17.08.1999	Gölcük (Kocaeli)	7,4	15.000	50.000
5	12.11.1999	Düzce	7,2	845	15.389
*6	1.05.2003	Bingöl	6,4	184	8.142
*7	23.10.2011	Van	7,2	644	38.515

*AFAD verilerinden derlenmiştir.

Ülkemizde meydana gelen depremler sebebiyle yaşanan can ve mal kayıpları ile ekonomik, sosyal ve çevresel zararların gerçekleşmesi, geleneksel yara sarma yaklaşımı yerine olası zarar azaltma (risk azaltma) çalışmalarının ön plana çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle deprem riskini azaltmada ve depremle baş edebilmede hazırlıklı ve dirençli bir toplum oluşturulması ve bu amaca yönelik kurumsal alt yapının oluşturulması planlanmıştır (UDSEP, 2011). Ülkemizdeki deprem riskini azaltmak ve toplumun depreme hazırlıklı ve dirençli bir hale gelebilmesine yönelik yapılan

1.1. Betonarme Yapılardaki Tasarım ve Yapım Hataları

Van'da meydana gelen depremde 48666 yapı ağır hasar almış veya yıkılmıştır (Bikçe, 2017). Marmara Depreminde ise yıkılan veya hasar gören konut ve işyeri sayısı 93 bin 618 olarak belirlenmiştir (DPT, 1999). Bu depremlerde mühendislik hizmeti almış, yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmiş yapıların da büyük hasarlar gördüğü tespit edilmiştir (Şahin, 2008).

Betonarme binalarda bu kadar fazla hasar ve yıkım oluşmasının sebepleri yapılardaki tasarım kusurları, yapım kusurları ve yapı kullanım süresi içerisinde taşıyıcı sistemlerinde bilinçsizce yapılan değişiklikler olarak gösterilebilir. Bu kusurlar;

- Yapıda kullanılan beton dayanımının projede belirtilenden düşük olması,
- Yapının kullanım amacının dışında kullanılması,
- Yapıya proje dışı kat eklenmesi nedeniyle yapı yükünün artması,
- İnşa aşamasında proje detaylarına uyulmaması,
- Taşıyıcı sistemin yanlış veya eksik tasarlanması,
- Malzeme ve imalat kusurları,
- Zemin emniyet gerilmesinin hatalı belirlenmesi,
- Proje ve inşa aşamasında yetersiz teknik denetim,
- İnşa sonrası gerekli bakım ve onarımların yapılmaması olarak sıralanabilir (Balık, 2012).

1.2. Güçlendirme ve Onarım

Deprem kuvveti etkisi altında yapının göçmemesi ve depremi ufak hasarlarla atlatabilmesi için yalnızca yeterli mukavemete değil, aynı zamanda uygun düzeyde rijitlik ve süneklik özelliklerine sahip olması gerekmektedir (Beyli, 2002). Deprem öncesinde yapı veya yapı elemanlarının kapasitelerinin artırılarak istenilen düzeye çıkarılmasına “güçlendirme”, hasar görmüş yapı veya yapı elemanlarının kapasitelerinin hasar öncesi düzeye getirilmesine ise “onarım” denilmektedir (Altın, 2008).

Yapılarda planlanan onarım ve güçlendirme çalışmalarının temel hedefleri;

- Yapıların yük taşıma kapasitelerini düşey ve yatay yönde artırmak,
- Yapıların rijitliklerini ve sünekliklerini artırmak,

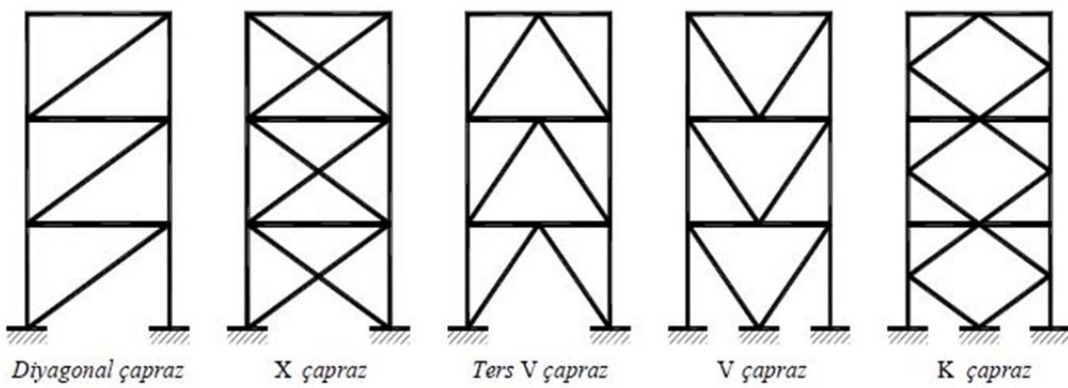
- Yapıların deprem sırasında enerji sönümleme kapasitelerini artırmak olarak sayılabilir (Balık, 2012).

1.3. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler

Mevcut yapıların güçlendirilmesinin öneminin her geçen gün arttığı günümüzde farklı şekillerde güçlendirme çalışmaları bulunmaktadır (Korkmaz, 2007). Bu bölümde yapıları çelik çapraz elemanlarla güçlendirme, metalik sönümleyicilerle güçlendirme ve burkulması önlenmiş çapraz elemanlarla güçlendirme yöntemlerinden bahsedilecektir.

1.3.1. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirme

Yapının dayanımı ve yanal rijitliğinin artırılması için çelik çaprazların çerçeve bölmeleri içine yerleştirilmesiyle uygulanan yöntemdir. Çelik çapraz elemanlarla yapılan güçlendirmelerde yapı ağırlığı çok fazla artmadığından yapıya etkileyecek deprem kuvvetleri de artmayacaktır. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirmenin çok kısa sürelerde uygulanabiliyor olması avantaj sağlarken, betonarme perdelerle göre yatay kuvvetlere karşı daha zayıf bir davranış göstermesi ve maliyetinin biraz daha fazla olması dezavantaj olarak görülebilir (Öğütçü, 2016). TBDY 2018’de verilen merkezi çaprazlı çelik çerçeveler Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Merkezi çelik çaprazlar yanında dış merkez çaprazlar da kullanılabilir (TBDY 2018).

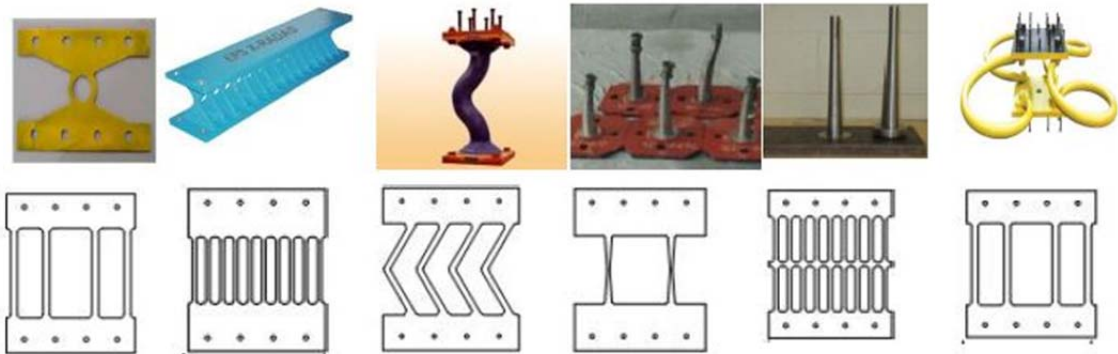


Şekil 1.2. TBDY 2018’de verilen merkezi çaprazlı çelik çerçeveler

1.3.2. Metalik sönümleyicilerle güçlendirme

Metalik sönümleyiciler, metallerin elastik olmayan davranışlarının kullanılarak sismik enerjinin tüketilmesi mantığıyla üretilmişlerdir. Metalik sönümleyiciler rüzgâr,

deprem gibi yanal yükler etkisinde yeterli rijitliğe, histeretik davranışa ve yüksek enerji tüketme kapasitesine sahip olmalıdırlar. Şekil 1.3'te farklı şekil ve geometrideki ADAS (Added Damping and Stiffness), TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness), petek, yarıklı sönümleyici, çan şeklinde sönümleyici, kurşun ekli sönümleyici ve pi sönümleyiciler olarak adlandırılan birçok metalik sönümleyici türü gösterilmiştir (Koroğlu, 2012).

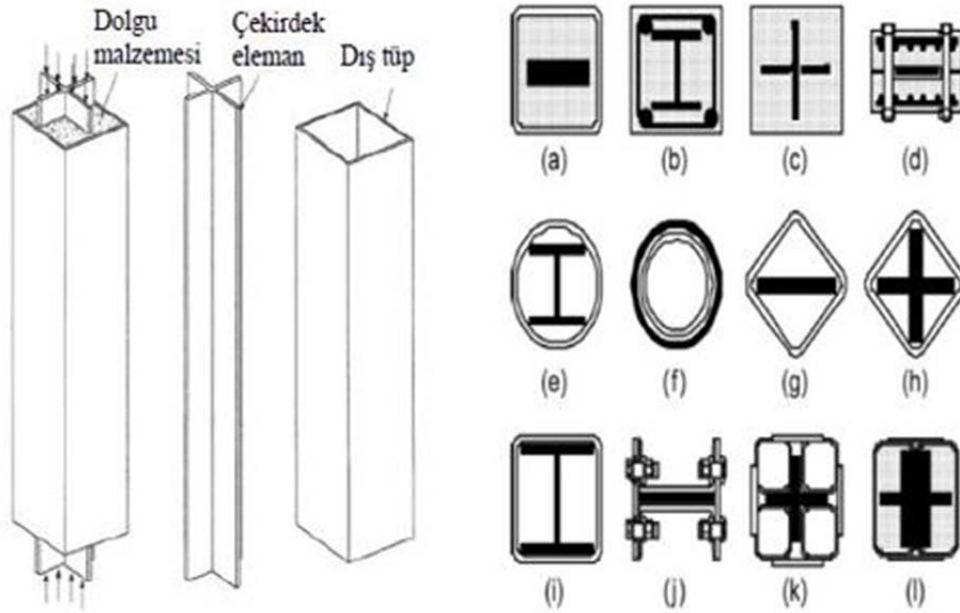


Şekil 1.3. Farklı şekil ve geometrideki metalik sönümleyiciler (Koroğlu, 2012)

1.3.3. Burkulması önlenmiş çaprazlarla (BÖÇ) güçlendirme

Burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ), deprem kuvvetlerinin sebep olduğu basınç ve çekme kuvvetlerinin her ikisi altında da dengeli ve simetrik histeretik davranış göstermektedir. Bu nedenle mevcut çelik ve betonarme çerçevesel binaların rijitlik, dayanım ve süneklikleri artırılarak güçlendirme amacıyla, yeni yapılan binalarda ise enerji tüketme elemanı olarak kullanılabilir (Karataş ve Çelik, 2019).

BÖÇ'lerde burkulması önlenen ve aksenal kuvveti taşıyan eleman "çekirdek eleman", çelik çekirdeğin burkulmasını önleyip onu koruyan dış eleman ise "dış tüp" olarak adlandırılır. Çelik çekirdek ile kasa arasında bir "dolgu malzemesi" ve görevi bu dolgu malzemesi ile çelik çekirdeğin birbiri ile olan aderansını engellemek olan "ayırıcı bir yüzey" bulunmaktadır. BÖÇ bileşenleri ve çeşitli BÖÇ çekirdek eleman en kesitleri Şekil 1.4'te gösterilmiştir (Demir, 2018 ve Xie, 2005).



Şekil 1.4. BÖÇ bileşenleri ve çeşitli BÖÇ en kesitleri (Demir, 2018 ve Xie, 2005).

1.4. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Ülkemiz, dünyadaki en etkin deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Türkiye’de büyük sanayi merkezlerinin %98’i ve barajların %93’ü deprem bölgelerinde inşa edildiği, nüfusun %98’inin deprem tehdidi altında yaşadığı biliniyorken gelecekte olabilecek depremlere karşı önlemler alınması gerekmektedir (TMMOB, 2012). Bu önlemlerden en önemlisi mevcut yapıların deprem performans analizlerinin yapılması ve güçlendirme gereken yapıların güçlendirme çalışmalarının beklenilmeksizin yapılmasıdır.

Güçlendirme işlemi yapılacak olan bir yapıda hangi güçlendirme yönteminin uygulanacağını belirlemek önemli bir husustur. Bu sebeple güçlendirme yöntemlerinin, yapıların yanal rijitliklerine, süneklik özelliklerine, yük taşıma ve enerji tüketme kapasitelerine nasıl bir katkıları olduğunun bilinmesi gerekmektedir (Balık, 2012). Yapım aşamasında veya kullanılmakta olan bir yapıda ortaya çıkan yapı hasarlarının tespit edilmesi, yapılacak onarım veya güçlendirme yönteminin seçimi bakımından son derece önemlidir (Özdöner, 2011). Güçlendirme yönteminin seçiminde maliyet, uygulanabilirlik, mimari zorunluluklar, yapının kullanım özelliğinin azaltılması veya değiştirilmesi, güçlendirme işleminin süresi ve güçlendirme işleminin ölü yükü ne kadar artırdığı gibi faktörler belirleyici olur (Bahadır, 2012).

Deprem davranışı yetersiz yapıların güçlendirilmesinde V şeklinde çelik çapraz elemanların, çerçeve içerisine uygulanması ile yapılan güçlendirmede bu yöntemlerden biridir. Ancak bu tür güçlendirmelerde karşılaşılan en büyük problem, basınç yükü etkisinde çelik çapraz elemanlarda gerçekleşen burkulmalardır. Çelik elemanlarda oluşan bu burkulma ise yapılan güçlendirme uygulamasının sisteme katkısını önemli derecede azalmaktadır. Çelik çapraz elemanlarda gerçekleşen burkulmaları önlemek için birçok farklı basınç çubuğu tasarımları geliştirilmiştir. Burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) olarak adlandırılan bu çelik çaprazlarla ilgili literatürde birçok deneysel veya analitik çalışma yer almaktadır.

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada; çelik çapraz elemanlar ile yapılan güçlendirmelerde basınç yükü etkisi altında çelik çapraz elemanlarda oluşan burkulmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ülkemizde deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte, 1/4 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen numunelerinden; 1 adedi boş betonarme çerçeve olarak, 1 adedi V şeklinde çelik çapraz çubuklarla, 2 adedi ise V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin bağlanması ile oluşturulan sistemle güçlendirilerek tersinir-tekrarlanır yük etkisi altında test edilmiştir. Yapılan testler neticesinde elde edilen numunelere ait sonuçlar birbiriyle kıyaslanarak, çelik çapraz elemanın bir ucuna yerleştirilen çelik sönümleyicilerin sisteme katkısı araştırılmıştır. Böylelikle, V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin bağlanması ile oluşturulan sistemle güçlendirilen betonarme çerçevelerin deprem davranışları hakkında detaylı bilgi edinilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre mevcut betonarme çerçeveli yapılarda, V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna metalik sönümleyicilerin bağlanması ile oluşturulan sistemle yapılan güçlendirme yönteminin etkinliği ve uygulanabilirliği hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler ile mevcut yapıların bu tür güçlendirme yöntemi ile güçlendirilmesi çalışmalarında, tasarım ve uygulama aşamalarında hangi hususlara dikkat edileceğinin belirlenmesine büyük ölçüde katkı sağlayacaktır.

Böylece çalışma kapsamında elde edilen bilgi ve tecrübelerle bağlı olarak bu tür yöntemi ile güçlendirilen yapıların olası bir depreme karşı güvenliği en üst düzeyde sağlanabilecek ve hasar riski en aza indirgenebilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapıların depreme karşı korunması ve deprem sonrası güçlendirilmesi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmanın kaynak araştırması yapılırken çelik ve betonarme çerçeveli yapıların; depreme karşı korunması, güçlendirme uygulamaları ve kolon-kiriş birleşiminde yapılan deneysel ve analitik çalışmalar incelenmiştir. Bu bölümde burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ) üzerine yapılan çalışmalar, sismik sönümleyiciler üzerine yapılan çalışmalar ve çelik çaprazlar üzerine yapılan deneysel ve analitik çalışmalar irdelenmiş ve sunulmuştur.

Karataş ve Çelik (2019), farklı çelik uç detayına sahip burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı uç detayına sahip 5 adet BÖÇ üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Özgün detaylar ile üretilen ve denenen BÖÇ'lerin yeterli bir performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tunca ve Güneyisi (2013), burkulması önlenmiş çelik çaprazların, mevcut betonarme bir yapının sismik performansına olan etkisini analitik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında örnek olarak seçilen her iki doğrultuda simetrik, 4 açıklıklı ve 3 katlı betonarme bir binaya burkulması önlenmiş çaprazlar yapının dış aksına yerleştirilerek, yapının burkulması önlenmiş çaprazlı ve çaprazsız durumlarının deprem yüklemesi altındaki davranışını doğrusal olmayan dinamik analizler yaparak irdelenmişlerdir. Araştırma sonucunda burkulması önlenmiş çaprazların eklendiği çerçeve sisteminin daha rijitleştiği, serbest titreşim periyotlarının azaldığı, kat yer değiştirmesinin ise mevcut çerçevenin yer değiştirmesinden yaklaşık 4,4 kat daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Asgarian vd. (2008), 4-12 katlı çelik yapı sistemine burkulması önlenmiş çelik çaprazları V, ters V ve X şeklinde ekleyerek, yapı modellerinin doğrusal olmayan dinamik davranışlarını araştırmışlardır. İran deprem yönetmeliğine göre uyarlanan analizlerde burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin elastik deformasyon aralığında kaldığı ve daha iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Özçelik vd. (2015), eksenel çekme ve basınç kapasiteleri birbirine yaklaşık eşit olan burkulması önlenmiş çelik çaprazların eksenel yükler altında davranışları deneysel olarak incelemişlerdir. Burkulması önlenen 5 farklı numune ile yaptıkları deneyler

sonucunda tasarlanan bazı çelik çaprazların %2 birim uzama değerine kadar yeterli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Özkan (2013), beş katlı çelik taşıyıcı sistemli bir yapının BÖÇ'lerle tasarımını AISC ve FEMA 450'ye göre yapmıştır. Çalışmasındaki temel parametreler çelik çekirdek başlık alanı ve çelik çekirdek akma uzunluğudur. Çalışma sonucunda çelik çekirdeğin başlık alanları arttırıldıkça yapıdaki yanal ötelenme ve dönmelerin azaldığı, başlık alanlarını sabit tutup çelik çekirdeğin akma kısmının uzunluğunu arttırıldığında ise maksimum kat ötelenmelerinin arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Tsai vd. (2008), geleneksel burkulması önlenmiş çubuklarda, imalat ve bağlantı detaylarındaki eksikliklerden kaynaklanan dezavantajları düzeltmek için çekirdeği kavisli olan burkulması önlenmiş çelik çaprazlı yapı sistemi üzerinde deneysel çalışmıştır. Deneysel çalışmalardaki yapı sistemlerinin, döngüsel yükler altında sabit mekanik davranış gösterdiğini ve deprem performansının arttığını gözlemlemişlerdir.

Tsai ve Lai (2004), farklı sürtünmesiz yüzey malzemeleri ile oluşturulmuş BÖÇ'lü çelik çerçevelerin tekrarlı yükler altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Yapışmayan malzemeler olarak 2 mm kalınlığında silikon kauçuk şeritlerin kullanılmasının daha küçük eksenel yük farkına sahip olduğunu, önerilen çift çekirdekli BÖÇ'lerin davranışlarının çok kararlı olduğunu ve BÖÇ uç bağlantılarının kısaltılmasını sağlayarak toplam bulon sayısını %50 azalttığını göstermişlerdir. Ayrıca 11 metre uzunluğundaki tam ölçekli BÖÇ numunelerinin döngüsel artan deformasyonları dikkat çekici bir performansla sürdürebildiği ve kabul edilebilir bir deformasyon ömrüne sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Xie (2005), hem basınç hem de çekmede benzer davranışı gösteren BÖÇ'ler ile deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmasında farklı parametrelere sahip BÖÇ'leri ve BÖÇ eklenmiş çerçeve sistemi tersinir tekrarlanır yük altında test etmiştir. Uygulanan BÖÇ'lerin binaların sismik güçlendirme uygulamalarında başarılı olduğu belirtilmiştir.

Chou vd. (2016), çalışmalarında burkulması önlenmiş çift çekirdekli çaprazlar ile burkulması önlenmiş yüzey plakalı çaprazları karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucunda burkulması önlenmiş çift çekirdekli çaprazların eksenel elastik ve elastik sonrası rijitliklerinin burkulması önlenmiş yüzey plakalı çaprazlara göre yaklaşık iki ila beş kat fazla çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca yapılarda yanal kuvvetlere

karşı burkulması önlenmiş çift çekirdekli çaprazların burkulması önlenmiş yüzey plakalı çaprazlardan daha etkili olduğu ve burkulması önlenmiş çift çekirdekli çaprazların enerji tüketme kapasitelerinin burkulması önlenmiş yüzey plakalı çaprazların yaklaşık üçte biri olduğunu belirtmişlerdir.

Jia vd. (2017), çekirdek plakası balık kılıcı şeklinde tasarlanan burkulması önlenmiş çubuk üzerinde çalışmışlardır. Bir çekirdek plaka, iki dolgu plakası, iki tutucu plaka ve civata malzemelerinden oluşturulan farklı burkulması önlenmiş çubuklar ile yapılan deneyler sonucunda geleneksel burkulması önlenmiş çubuklara göre daha olumlu sismik performans elde edildiğini belirtmişlerdir.

Andrews vd. (2009), çalışmalarında burkulması önlenmiş çaprazlar ile daha önce yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını kullanarak burkulması önlenmiş çaprazlar için sünellik kapasitesi modelleri geliştirmiştir.

Zhu ve Zhang (2007), çalışmalarında yeniden kullanılabilir sönümleme çubuklarıyla güçlendirilmiş çerçeveli binaların doğrusal olmayan analizini yapmışlardır. Analiz sonuçlarını burkulması önlenmiş çaprazlar kullanılarak oluşturulan çerçeveler ile karşılaştırdıklarında yeniden kullanılabilir sönümleme çubuklarıyla oluşturulan çerçevenin kayma problemini ortadan kaldırarak burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerden daha iyi performans gösterme potansiyeli olduğunu belirtmişlerdir.

Seker ve Shen (2017), çalışmalarında burkulması önlenmiş çaprazları boru içerisine geçirerek denemişlerdir. Deneyler sonucunda, boru içine geçirilen BÖÇ'lerin kırılma süresinin uzadığı ve gerilimin 7-8 kat azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Hsu ve Halim (2018), çelik çaprazların çeşitli kavisli sönümleyiciler ile desteklendiği mekanizma tasarımlarının değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Yapılan testlerde referans mekanizma ile önerilen mekanizma arasında yaklaşık %25,8 ile %36,65 oranında önemli viskoz sönümleme elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca önerilen destekli mekanizmanın yüksek mukavemet ve büyük deformasyon kabiliyeti, başarılı şekilde enerji tüketmesi gibi özellikleri nedeniyle depreme dayanıklı yapı tasarımlarında kullanabileceğini belirtmişlerdir.

Gültekin ve Güneysi (2015), çalışmalarında 3 açıklıklı, 8 katlı betonarme bir yapının deprem davranışının iyileştirilebilmesinde yapısal çelik elaman olarak geleneksel ters-V tipi, fermuar tipi ve burkulması önlenmiş çelik çapraz kullanmışlardır. Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda kullanılan tüm yapısal çelik elemanların

yapının deprem davranışını iyileştirdiğini, fermuar tipi ve burkulması önlenmiş çelik çapraz kullanılan çerçevelerin benzer deprem davranışı gösterdiğini gözlemlemiştir.

İnce vd. (2015), çalışmalarında tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli yalın betonarme çerçeve ile Y çapraz sistemli güçlendirme tekniği kullanılarak güçlendirilmiş betonarme çerçevenin davranışını tersinir tekrarlanır yükler altında incelemiştir. Deneyler sonucunda güçlendirme sisteminin yalın betonarme çerçevenin enerji tüketme kapasitesini ve yanal yük taşıma kapasitesini artırdığını ifade etmiştir.

Korkmaz (2007), çalışmasında betonarme yapıları temsil etmek üzere 10 katlı betonarme çerçeve bir yapı tasarlamış ve bu çerçeve yapıyı farklı şekillerde çelik çapraz elemanlarla güçlendirerek yapıların deprem davranışlarını doğrusal olmayan analizler yardımıyla incelemiştir. Sonuç olarak yapıların güçlendirilmesi ile yapı kapasitesinde meydana gelen artış, güçlendirme yapıma şekline bağlı olarak değişmekle beraber güçlendirme işleminin yapı kapasitesini en az iki kat artırdığını belirtmiştir.

Entezari vd. (2017), çalışmalarında betonarme çerçevelerin farklı tip çelik desteklerle güçlendirilmesiyle oluşan davranış değişimlerini incelemiştir. X, V, ters-V, zikzak, dirsek ve eksantrik gibi farklı desteklerle güçlendirilen 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerle yapılan deneylerde süneklik ve kuvvet azaltma faktörüne göre eksantrik desteğin diğer örneklere göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu, bununla birlikte sertlik, kuvvet ve çatlama kontrolü açısından, X desteğinin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Özçelik vd. (2011), çalışmalarında ülkemizdeki yapı stokunun önemli bir kısmını kapsayan kusurlu betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesi için iç ters V çelik çapraz (İTVÇÇ) ve iç çelik çerçeve (İÇÇ) olmak üzere iki farklı güçlendirme tekniğini dinamik benzeri deney yöntemi kullanarak incelemiştir. Düz donatı, düşük beton dayanımı, yetersiz sargı donatısı gibi yapıların deprem davranışlarını olumsuz etkileyen ve ülkemizde mevcut kusurlu yapılarda görülen ayrıntılara benzer şekilde hazırladıkları 3 adet 1/2 ölçekli, iki katlı, üç açıklıklı çerçeveleri test etmişlerdir. 1999 Düzce deprem kaydının kullanıldığı bu deneyler sonucunda, referans çerçevesi %140 Düzce testi sonunda ağır hasar alırken iç ters V çelik çaprazlı ve iç çelik çerçeve sistemlerinin hasar seviyesi sınırlı seviyede kaldığı belirtilmiştir. Ayrıca iç ters V çelik çaprazlı sistemlerin yatay ötelenmelerinin oldukça sınırlı seviyede kaldığını, iç çelik çerçeve sistemlerinde daha sünek bir yapı elde edildiğini ve uygulanan yatay yüklerin iç

çelik çerçeve ile elde edilen yeni yatay yük taşıyıcı sistem tarafından oldukça başarılı bir şekilde taşındığını ifade etmişlerdir.

Yılmaz vd. (2018), çalışmalarında ülkemizde bulunan mevcut yapılardaki kusurlar dikkate alınarak bir adet referans numunesi, iki adette güçlendirme teknikleri uygulanmış numuneler hazırlamış ve yatay yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Seçilen güçlendirme teknikleri sayesinde hem yatay yük taşıma kapasitesinde artış hem de süneklik yani çerçevenin yaptığı deplasmanda artış sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Javadi ve Yamakawa (2013), betonarme çerçevelerin çelik plakalar, yüksek dayanımlı cıvatalar ve yüksek dayanımlı harçtan oluşan hibrit bağlantı tekniği ile güçlendirmesi üzerine çalışmıştır. Deneysel çalışmalar için Japonya'da düşük katlı bir okul binası 1/4 ve 1/3 ölçeğinde modellenmiş ve beş adet tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçeve ve bir adet tek açıklıklı, iki katlı betonarme çerçeve üretmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda hibrit bağlantı tekniği ile güçlendirilen çerçevelerin yanal mukavemeti ve rijitliğinin yanı sıra, süneklik ve enerji emiliminin de arttırdığını belirtmişlerdir.

Haydaroğlu ve Çelik (2015), zayıflatılmış uç kesitten olası kopmanın geciktirilmesi için bu bölgelerin CFRP elemanlarla (plaka ve kumaş) güçlendirilmesini önermişlerdir. Zayıflatılmış kesitte güçlendirmenin etkisini araştırmak için kompakt kesitli, gerçeğe yakın ölçekli kutu 50x50x4 profillerden üç numune üretmişler ve tersinir tekrarlanır yükler altında denemişlerdir. Deney sonucunda, CFRP ile bölgesel güçlendirmenin çaprazların aksenal dayanım ve rijitliğinin önemli seviyede artırmaması, önerilen yöntemin çaprazlı çelik çerçevelerin depreme karşı sünekliklerinin iyileştirilmesi için uygun, uygulaması kolay bir yöntem olduğunu ve deprem etkilerine karşı güçlendirme uygulamalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Motamedi ve Nateghi-A. (2018), çalışmalarında akordeon metalik sönümleyicilerinin enerji tüketme performanslarını incelemişlerdir. Metalik ince cidarlı akordeon borular üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre akordeon metalik sönümleyicilerin kararlı histerezis davranışı gösterdiğini, yüksek enerji tüketme potansiyeli gösterdiğini ve akordeon metalik sönümleyicilerin çerçeve yapıların sismik davranışını iyileştirmek için kullanılabilecek mükemmel bir enerji tüketme cihazı olduğunu ifade etmişlerdir.

Amiri vd. (2018), çalışmalarında blok yarık sönümleyici adı verilen yeni bir metalik sönümleyici önermişlerdir. Çok düşük yükseklik / kalınlık oranına sahip olan sönümleyicilerden farklı en boy oranlarına sahip 5 numune üreterek davranışlarını yarı statik bir şekilde test etmişlerdir. Deney sonucunda sönümleyicilerin kayma ve enerji tüketme kapasitelerinin arttığını fakat yer değiştirme kapasitesinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Mualla ve Belev (2002), tek katlı çelik çerçevelere bir sürtünme sönümleyicisi eklenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kirişin ortasından ters V şeklindeki ön gerilmeli çapraz çubuklara ve kirişe sönümleyici bağlanmasıyla elde edilen sistemin sismik davranışını test etmişlerdir. Deneyler sonucunda sürtünme sönümleyicisinin hem depreme dayanıklı yeni yapıların tasarımında hem de mevcut yapıların güçlendirilmesinde uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Nuzzo vd. (2018), yapıların sismik koruması için yeni tasarlanmış bir çelik sönümleyici üzerine deneysel araştırma yapmışlardır. Deneylerde 5 farklı geometri için 10 test yapmışlardır. Çelik sönümleyici elemanını ana çerçeveye ve destek çaprazına cıvata ile bağlamışlar ve bu bağlantının temel avantajlarını gelen yüke göre geometrik tasarlanabilmesi, diğer sönümleyicilere kıyasla daha ucuz imal edilmesi ve hasar durumunda sönümleyicinin kolayca takılıp değiştirilebilmesi olarak belirtmişlerdir. Sonuç olarak çelik sönümleyicinin özel şekli nedeniyle ortaya çıkan yüksek yayılma kabiliyetinin yüksek burkulma direncine yol açtığını gözlemlemişlerdir.

Oh vd. (2009), çalışmalarında üstün deformasyon kapasitesine ve depremden sonra tamir kolaylığına sahip yarık sönümleyicinin kirişin alt flanşına yüksek mukavemetli cıvatalar kullanılarak bağlandığı yeni bir kiriş-kolon bağlantı sistemi önermişlerdir. Üretilen yarık sönümleyicilere sahip üç tam ölçekli numune üzerinde yapılan testler sonucunda, plastik deformasyonun yarık sönümleyicilerde yoğunlaşırken, kirişler ve kolonların neredeyse elastik kaldığının ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bu sayede yarık sönümleyicilerin, depremden sonra kirişlerden ve kolonlardan daha kolay bir şekilde değiştirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Sahoo ve Rai (2010), çalışmalarında mevcut betonarme çerçevelerin yanal dayanımını, sertliğini ve enerji tüketme potansiyelini arttırmak için enerji tüketici cihazlar olarak alüminyum kesme bağlantılarını kullanarak sismik bir güçlendirme tekniği önermişlerdir. Biri referans numunesi diğeri güçlendirilmiş numune olmak üzere

ürettikleri iki adet numuneye yapılan deneyler sonucunda güçlendirilmiş numunenin referans çerçeveye kıyasla daha fazla yanal kuvvet, sertlik ve enerji tüketme potansiyeli sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Köroğlu (2012), çalışmasında kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sismik sönümleyicisi kullanımını incelemiştir. Sünek davranış gösteren farklı şekil, boyut ve bağlantı türlerine sahip 13 adet sönümleyici kullanarak tam ölçek köşe kolon-kiriş birleşim bölgesi deneyleri yapmıştır. Deneyler çalışmalar sonucunda sönümleyicilerin genel davranışları, enerji tüketme kapasiteleri, yük taşıma güçleri ve rijitlik özellikleri elde edilerek sönümleyicilerin karşılaştırıldığını belirtmiştir.

Lee vd. (2016), çalışmalarında geleneksel yarı sönümleyicinin gelişmiş şekli olan kum saati şeklindeki bir şerit sönümleyici önermişlerdir. Monotonik ve döngüsel yüklere maruz kalan sönümleyicilerin yapısal davranışlarını bulmak için deneysel testler yapmışlardır. Deneyler sonucunda kum saati şeklindeki sönümleyicilerin, tüm şerit yüksekliği boyunca hasar dağılımıyla birlikte monotonik yüklemeler altında önemli bir yük direnci kapasitesini gösterdiğini ve döngüsel yüklemeler altında mükemmel süneklik ve enerji tüketimi sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Demir (2018), testere tipi sismik enerji sönümleyici olarak isimlendirilmiş pasif enerji tüketim sistemi üzerinde çalışmıştır. Dış çekirdek ve iç tüp adında iki ana parçadan oluşan testere tipi sismik enerji sönümleyicinin iç çekirdeğinde bulunan orta profilin iki yanında bir seri metalik sönümleyici levha bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca metalik sönümleyici levhaların dış tüpün iç çekirdeğe göre yapacağı hareket sonucunda eğilme kuvveti etkisinde akmak üzere tasarlandığı ifade edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, testere tipi sismik enerji sönümleyici ile geleneksel çelik çapraz elemanın çevrimsel yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonuçlarının testere tipi sismik enerji sönümleyicilerin mevcut yapıların güçlendirilmesinde ya da yeni yapıların projelendirilmesinde kullanılabileceğini gösterdiği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler için 1/4 ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı 4 adet betonarme çerçeve, Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında üretilmiştir. Betonarme çerçeveler, geometrik özellikleri ve donatı özellikleri aynı olacak şekilde üretilmiştir. Betonarme çerçevedeki eleman boyutları, ülkemizdeki mevcut yapılardaki kolon ve kiriş boyutları ile laboratuvar şartları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Numunelerin betonarme çerçeveleri, aşağıda belirtilen kusur ve zayıflıklara sahip olacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir;

- a) Beton dayanımının düşük olması,
- b) Kuvvetli kiriş-zayıf kolon uygulaması,
- c) Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye bulunmaması,
- d) Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmaması,
- e) Etriye kancalarının 135° olması yerine 90° olması.

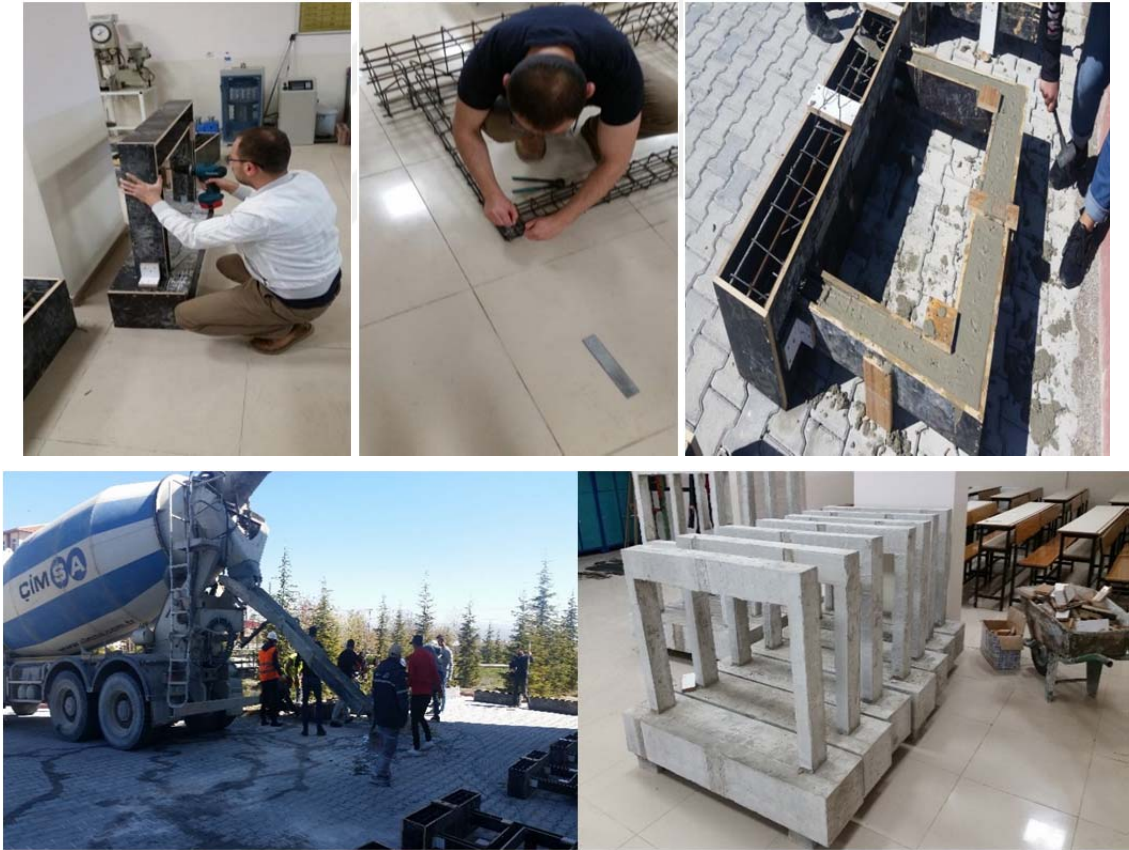
Üretilen betonarme çerçevelerden; 1 adedi boş betonarme çerçeve olarak, 1 adedi V şeklinde çelik çapraz çubuklarla, 2 adedi ise V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin bağlanması ile oluşturulan sistemle güçlendirilerek, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yük etkisi altında test edilmiştir. Deney numunelerinde kullanılacak olan çelik çapraz çubuk modellerinin parçaları sanayide üretilmiş ve montajları tasarım detaylarına göre laboratuvarda gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deney Numunelerinin Detayları

3.1.1. Boş betonarme çerçeve

Çalışma kapsamında üretilen betonarme çerçevelerde kat yüksekliği 750 mm, çerçeve açıklığı ise 1125 mm'dir. Güçlü kiriş-zayıf kolon uygulaması için, kirişlerin boyutu 115x115 mm ve kolonların boyutları ise 75x115 mm olarak belirlenmiştir. Betonarme çerçeve 200x300x1400 mm boyutlarındaki betonarme temel kirişine mesnetlenmiştir. Çerçeve donatılarının üretiminde; kolon ve kirişlerde düz yüzeyli

vidalarla birbirlerine bağlanmıştır. Hazırlanan kalıplar içerine temel, kolon ve kiriş donatıları pas payına dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Bütün numune kalıpların donatılarının yerleştirilmesi ve beton dökümüne hazır hale getirilmesinden sonra hazır beton santralinden beton siparişi verilmiştir. Hazır beton santralinden transmikslerle getirilen beton, kalıplara sırayla dökülmüştür. Betonun kalıplara doğru bir şekilde yerleşmesi için vibratör ve çelik şişler kullanılmıştır. Betonun kalıplara dökülmesinden sonra beton yüzeyi mala yardımıyla düzeltilmiştir. Beton döküm işlemi gerçekleştirildikten sonra numunelerin prizini alması için uygun şartlarda 7 gün bekletilmiş ve daha sonra kalıptan çıkartılmıştır. Kalıptan çıkartılabilmesi için yatay konumdan dik konuma getirilen numuneler beton dayanımını alabilmesi için bir ay bekletilmiştir. Betonarme çerçevelerin üretilmesi sırasında çekilen bazı fotoğraflar Şekil 3.2’de verilmiştir.

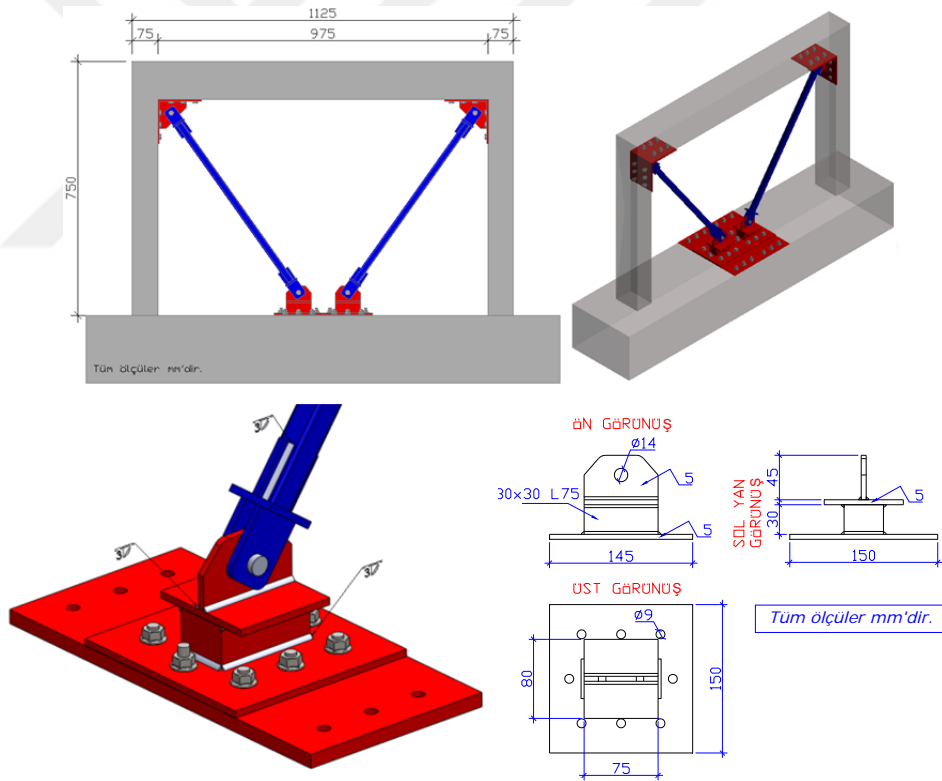


Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin üretilmesine ait bazı fotoğraflar

3.1.2. V şeklinde çelik çapraz çubuklarla ve metalik damperlerle güçlendirilen numunelerin detayları

Üretilen betonarme çerçevelerden; 1 adedi V şeklinde çelik çapraz çubuklarla, 2 adedi ise V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin eklenmesi ile oluşturulan sistemle güçlendirilmiştir. Güçlendirme çalışmalarında, V şeklinde çelik çapraz eleman olarak 30x30x1.2 mm boyutunda çelik profil kullanılmıştır.

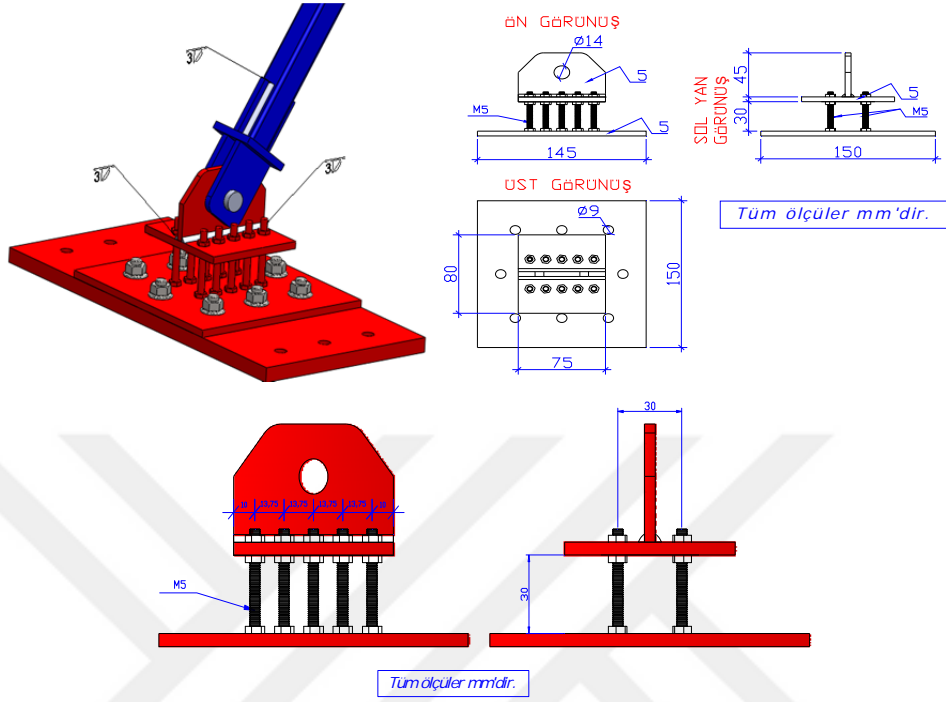
Metalik damper kullanmadan sadece çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen Deney Numunesi 2 (D.N.2)'de kullanılan çelik çapraz uzunluklarını, diğer numunelerdeki çelik çapraz uzunlukları ile eşit tutmak için sönümleyici bölgesinde 30x30 mm kesitinde dolu gövdeli çelik eleman kullanılmıştır. D.N.2'ye ait detaylar Şekil 3.3'te verilmiştir.



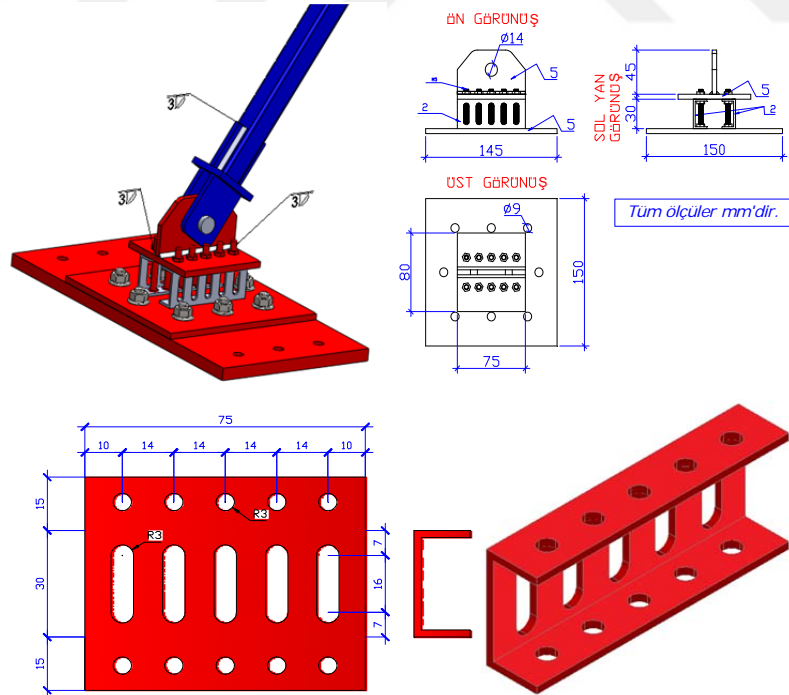
Şekil 3.3. Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numune D.N.2'ye ait detaylar

V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin eklenmesi ile yapılan güçlendirme çalışmalarında; Deney Numunesi 3 (D.N.3)'te toplam on adet çelik bulondan (M5) oluşturulan metalik damper (Şekil 3.4), Deney

Numunesi 4 (D.N.4)'te ise 2 mm kalınlığında iki adet yarıklı çelik levha ve on adet çelik bulondan (M5) oluşturulan metalik damper kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. D.N.3'te kullanılan çelik bulonlu metalik dampere ait detaylar



Şekil 3.5. D.N.4'te kullanılan yarıklı çelik levhadan oluşturulan metalik dampere ait detaylar

Güçlendirme çalışmalarında, ankraj bulonlarının betonarme çerçeveye ekilebilmesi için betonarme çerçeve üzerinde belirlenen yerlerde darbeli matkap kullanılarak delikler açılmıştır. Ankraj derinliklerinin temelde 200 mm (20 ϕ), kolonlarda 80 mm (8 ϕ) ve kirişlerde 130 mm (13 ϕ) olmasına özen gösterilmiştir. Delik açma işlemi tamamlandıktan sonra deliklerde biriken tozlar basınçlı hava kullanılarak temizlenmiştir. Temizlenen delikler, kartuşlu epoksi ile delik diplerinden başlanılarak tamamen doldurulmuş ve ankraj bulonları, epoksi reçinesi sertleşmeden yerlerine ekilmiştir. Bu işlemler sırasında çekilen bazı fotoğraflar Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Ankraj deliklerinin hazırlanması ve ankraj bulonlarının ekilmesi

3.1.3. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri

Betonarme çerçevelerde kullanılacak olan betonun, basınç dayanımının (17 MPa) olması hedeflenmiştir. Betonarme çerçevelerin beton kalitesinin aynı olabilmesi için bütün numunelerin betonu, hazır beton olarak aynı anda dökülmüştür. Deney numunelerinin betonarme çerçevelerinin üretiminde kullanılan beton üzerinde basınç deneyi sonucunda elde edilen dayanım değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Betonarme çerçevelerinin üretiminde kullanılan donatıların karakteristik değerlerinin

belirlenebilmesi amacıyla 3'er adet 400 mm uzunluğunda numuneler alınarak test edilmiş ve test sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı

Numune Numarası	Silindir Basınç Dayanımı $f_{c\ 28.gün}$ (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı f_{cm} (MPa)
1	18.90	17.10
2	17.25	
3	15.15	

Çizelge 3.2. Donatı çubuklarının test sonuçları

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_y (MPa)		Kopma dayanımı f_{su} (MPa)		Donatı türü ve kullanıldığı yerler
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	
Ø3	719	715	905	902	S220 Kolon, kiriş enine donatıları
	706		897		
	720		904		
Ø5	645	640	809	809	S420 Temel enine donatıları
	635		808		
Ø8	401	402	458	551	S220 Kolon, kiriş boyuna donatıları
	399		450		
	406		555		
Ø10	392	392	453	451	S420 Temel boyuna donatıları
	385		455		
	399		445		

Güçlendirme çalışmalarında ankraj bulonlarının betonarme çerçeveye ekilmesinde, kartuşlu iki bileşenli, epoksi esaslı montaj malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeye ait ve ürün kataloğunda yer alan bazı teknik özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Epoksi esaslı montaj malzemesine ait bazı özellikler

Malzemenin yapısı	Epoksi akrilat esaslı, çift bileşenli, nem toleranslı, tiksotropik, kartuşlu, hızlı kürleşen, ankraj epoksisi
Basınç dayanımı (7 günlük)	≥ 70 N/mm ²
Eğilme dayanımı (7 günlük)	≥ 20 N/mm ²
Çekip çıkarma dayanımı	$\leq 0,6$ mm (75 kN yükte)
Servis sıcaklığı	0°C ile +80 °C

3.2. Yükleme Düzenegi, Ölçüm Tekniğı ve Ölçümlerin değeriendirilmesi

Çalışma kapsamında üretilen numunelere, eksenel yükleme ve yatay yükleme hidrolik krikolar yardımıyla uygulanmıştır. Deneylerde yük ölçümleri yük ölçerler ile yer değıştirmeler ise potansiyometrik cetveller kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde ölçüm aletlerden okunan değeri, bilgisayara veri toplama sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

3.2.1. Yükleme düzenegi

Numunelerinin deneyleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında bulunan tersinir tekrarlanır yükleme düzeneginde gerçekleştirilmiştir. Yükleme düzenegine yerleştirilen numunelere yatay yükleme uygulamadan önce numunelerin kolon üst noktalarından her bir kolona yaklaşık 16 kN'luk eksenel yük, çelik malzemedan imal edilen dağıtma kiriş i ile uygulanmıştır. Bir adet hidrolik kriko ile uygulanan bu eksenel yüklemede, yükü ölçmek için bir adet 50 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yatay yüklemeler sırasında eksenel yükleme sisteminin yatay yönde hareket edebilmesi için yükleme düzenegi üst kiriş i ile eksenel yükleme sistemi arasında çelik tekerlekler kullanılmıştır.

Deney numunelerin yatay yüklenmesinde, el ile kumandalı hidrolik pompa ve 200 kN itme-çekme kapasiteli hidrolik kriko kullanılmıştır. Deney numunelerine itme ve çekme çevrimlerinde uygulan yatay yüklemelerin ölçümünde kapasitesi 200 kN olan yük hücresi kullanılmıştır. Yatay yüklemede kullanılan hidrolik krikonun ucuna bağlanan bu yük hücresinin ucuna mafsalı bir çelik levha bağlanmıştır. Bu mafsalı levhaya, çekme çevrimlerinde numuneye yük aktarımı sağlamak amacıyla bir çelik levha betonarme çerçevenin diğeri yüzeyinde ve kiriş hizasında olacak şekilde bağlanmıştır. Bu bağlantıda, bir ucu mafsalı olarak teşkil edilen çelik gergi milleri kullanılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiğı yükleme düzenegi Şekil 3.7'de verilmiştir.



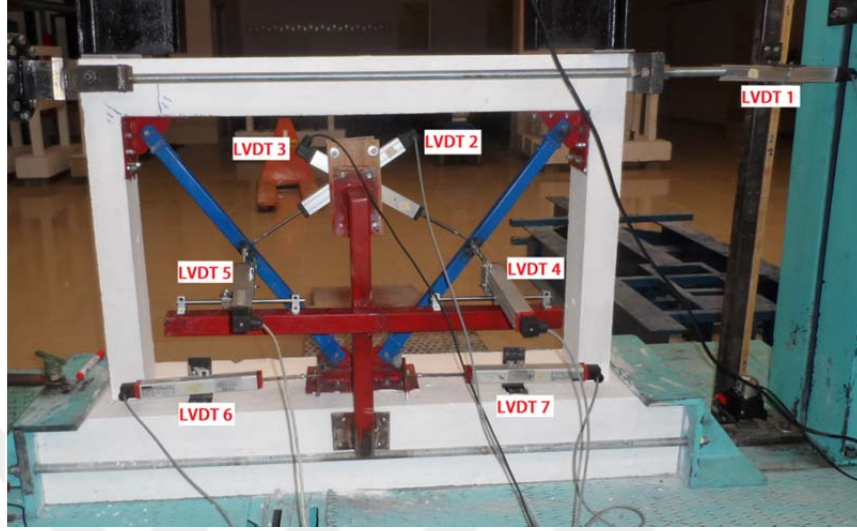
3.2.2. Ölçüm tekniği

Deneylerde; yatay yükleme için 1 adet 200 kN kapasiteli, aksenal yükleme için ise 1 adet 50 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.8). Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlanmış ve okunan yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan yük hücrelerinin sistemdeki yerleri

Deneylerde, yer değiştirmeleri ölçmek için toplam 7 adet LVDT kalibre edilmiştir. Betonarme çerçevede oluşacak yer değiştirmeyi ölçmek için 1 adet LVDT kat kirişi hizasında yerleştirilmiştir. Diğer LVDT'ler ise çelik çapraz çubuklarda ve metalik damperlerde oluşacak yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin yerleşim düzeni

3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Numuneler üzerinde yapılan deneylerde kullanılan LVDT'ler ve yük hücrelerinden ölçülen veriler ile her bir numunenin davranış özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Deney numuneleri için hazırlanan grafiklerin nasıl oluşturulduğu sırasıyla açıklanmıştır;

a) Yük geçmişi grafiklerinin oluşturulması

Deneylerde numunelere uygulanan itme ve çekme yüklemelerinde ölçülen maksimum yük değerleri ile tepe deplasman değerleri belirlenerek, yük geçmişi grafikleri oluşturulmuştur. Numuneler için bu yük geçmişi grafikleri deney sonuçları kısmında verilmiştir.

b) Yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerinin oluşturulması

Yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerinin oluşturulmasında, deneyler sırasında yük hücrelerinden ve LVDT'lerden bilgisayar ortamına aktarılan verilerden faydalanılmıştır. İlk olarak numunelere ait toplam yük-tepe deplasmanı histeresis eğrisi

çizilmiştir. Bu çizimlerde itme ve çekme çevrimlerde ayrı ayrı değerler alındığı için grafiğin üst ve alt kısmında sürekli devam eden bir çevrimsel eğriler oluşmuştur. Her bir çevrimde elde edilen maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile de numunelere ait dayanım zarf eğrileri oluşturulmuştur. Numuneler için oluşturulan, toplam yük-tepe deplasmanı histeresis eğrileri ve zarf eğrileri deney sonuçları kısmında verilmiştir.

c) Rijitlik azalımı grafiklerinin oluşturulması

Yapı elemanlarında, yer değiştirme etkilerine karşı koyma derecesi rijitlik olarak adlandırılır. Şekil değiştirme olabilmesi için gereken etki kuvveti de, rijitlik arttıkça artmaktadır. Deneyleri yapılan numunelerinin rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi ($Rijitlik(\phi_i) = (|F_i|)/(|\delta_i|)$) bulunarak belirlenmiştir. Deney numuneleri için oluşturulan rijitlik azalımı grafiklerinde; sağ taraf itme çevrimlerini ve sol taraf ise çekme çevrimlerini ifade etmektedir. Her bir numune için oluşturulan rijitlik azalımı grafikleri, deney sonuçları kısmında grafiksel olarak verilmiştir. Her bir deney numunesi için başlangıç rijitliği değerleri, numunelerin testinde ilk eğilme çatlağının oluştuğu yük düzeyi için hesaplanmıştır. Maksimum yük düzeyindeki rijitlik değerleri ise numunelere uygulanan itme ve çekme çevrimleri için hesaplanmış ve bu değerler çizelge halinde deney sonuçları kısmında verilmiştir (Kara, 2006).

e) Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

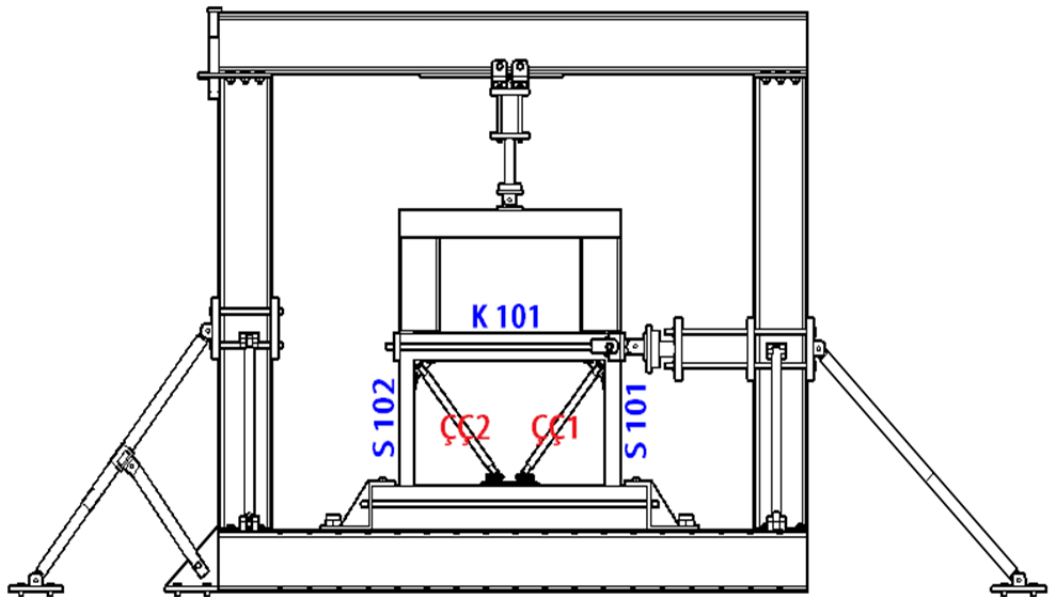
Deney numunelerinin enerji tüketim kapasiteleri yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla belirlenmiştir (Altın ve ark., 2004). Her bir numune için iki adet enerji grafiği çizilmiş ve bu grafikler deney sonuçları kısmında verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde; deney numunelerinin, tersinir-tekrarlanır yükler altında nasıl test edildiği ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Deneylerde yükleme programı; numunelerin akma yüküne kadar yük kontrollü olarak daha sonra ise deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilen çevrimlerde numunelerde büyük hasarlar meydana gelene kadar deneylere devam edilmiştir.

Deneylerde numunelerde oluşan çatlak ve hasar durumlarını belirtebilmek için numune elemanlarında kullanılan isimlendirme sistemi, Şekil 4.1’de verilmiştir. Deneylerde, her çevrimden sonra numunelerin betonarme çerçevesinde oluşan çatlaklar işaretlenerek numaralandırılmış ve deney fotoğrafları her deneyin sonunda verilmiştir. Ayrıca deney sonuçlarının daha iyi anlaşılması ve sonuçların birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için her bir numune için aşağıdaki grafikler çizilmiştir;

- Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,
- Tüketilen enerji-deplasman grafiği,
- Rijitlik azalımı grafiği,
- Deney numunelerine uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre),
- Deney numunelerine uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre).



Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi

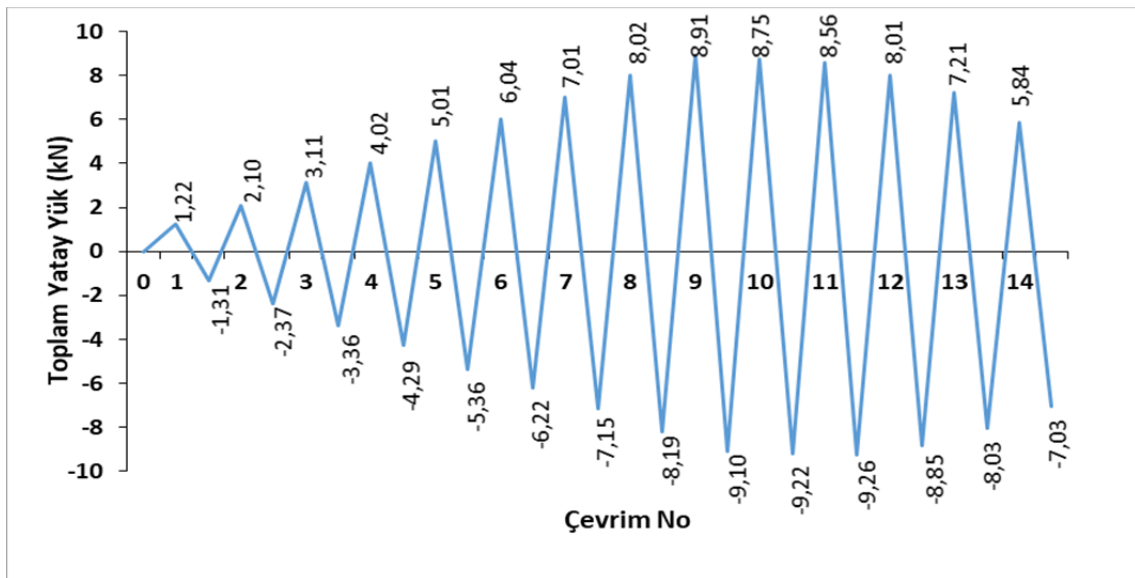
4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Boş Betonarme Çerçeve

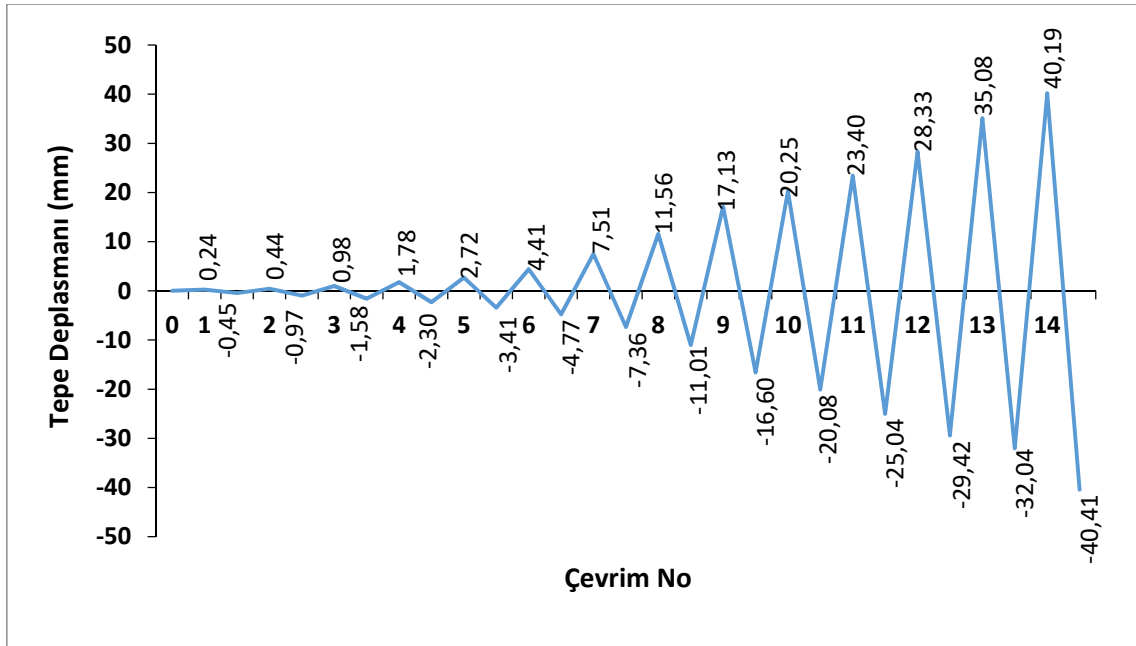
Çalışma kapsamında ilk olarak boş B/A çerçeve (D.N.1) test edilmiştir. Deney numunesi 1'in, deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu numuneye deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.3'te, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 14 yük çevrimi uygulanmıştır.



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



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 grafiklerden de anlaşılacağı üzere deneye, yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. 9. Çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney numunesi 1'in, +9 çevriminde maksimum 8.91 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 17.13 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -11 çevriminde ise 9.26 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının da 25.03 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 40.19 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 40.41 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -14. çevriminde numunede kolon kiriş birleşim bölgelerinde kabuk betonun dökülmesi ve kolon temel birleşim bölgelerinde beton ezilmeleri meydana geldiği için sonlandırılmıştır. Deneyde genel olarak numunede güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir.

Deney sırasında numuneye, toplam 32 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101 ve S 102 kolonlarına 16 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.10 MPa ve 75x115 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deneyin son çevrimlerinde S101 kolonundaki +11 nolu çatlakın olduğu bölgede, kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir.

Deney numunesi 1'de; itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede oluşan hasarların durumu, maksimum yüklemde Şekil 4.6'da, göçme konumu için ise Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.



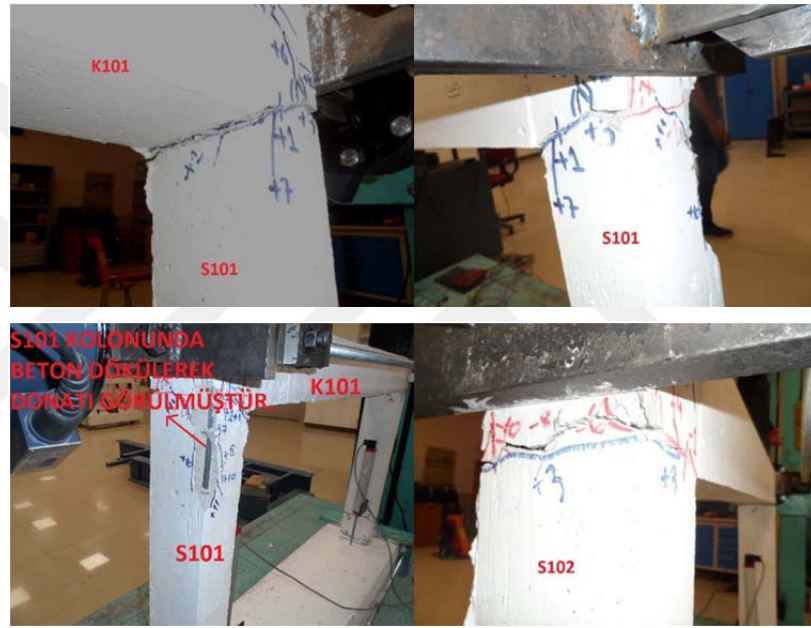
Şekil 4.5. Deney numunesi 1'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



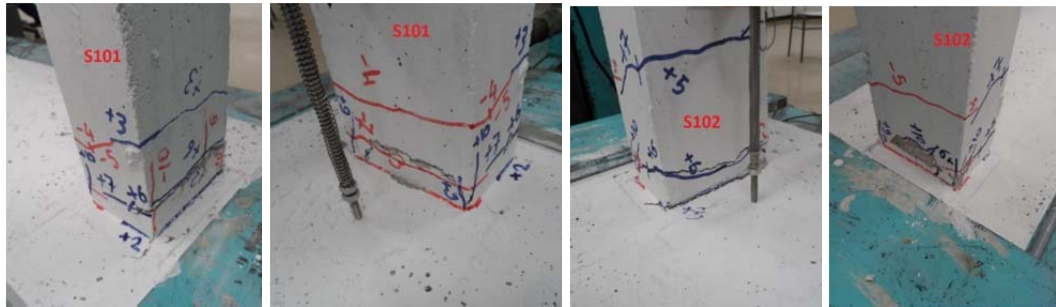
Şekil 4.6. Deney numunesi 1'in, maksimum yüklem sonrası görünümü (+9 itme çevrimi)



Şekil 4.7. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+13 itme çevrimi)

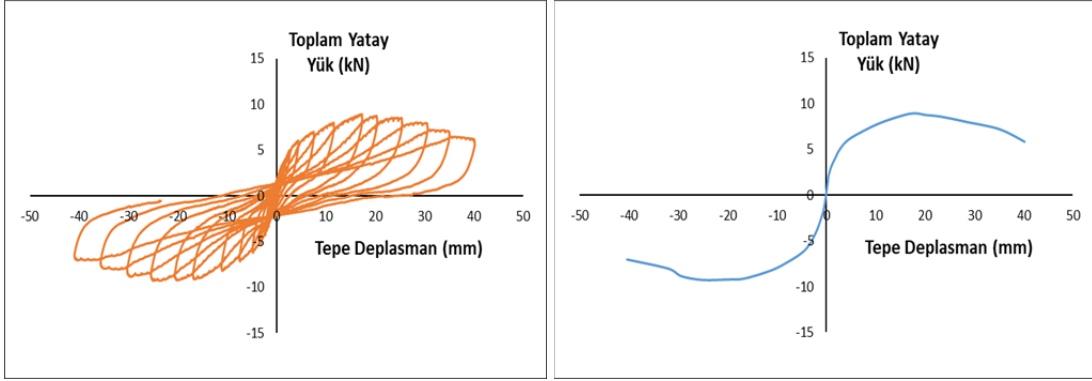


Şekil 4.8. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar



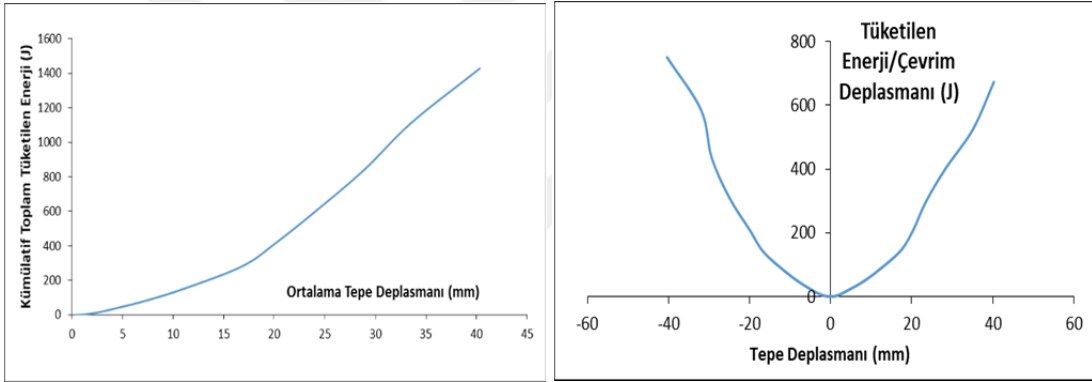
Şekil 4.9. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar

Deney numunesi 1'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.10'da verilmiştir.



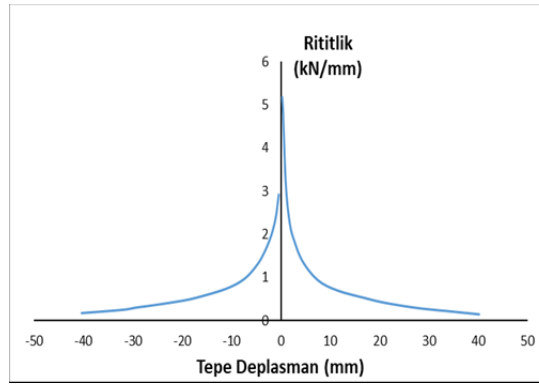
Şekil 4.10. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 1)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 1)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.12). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



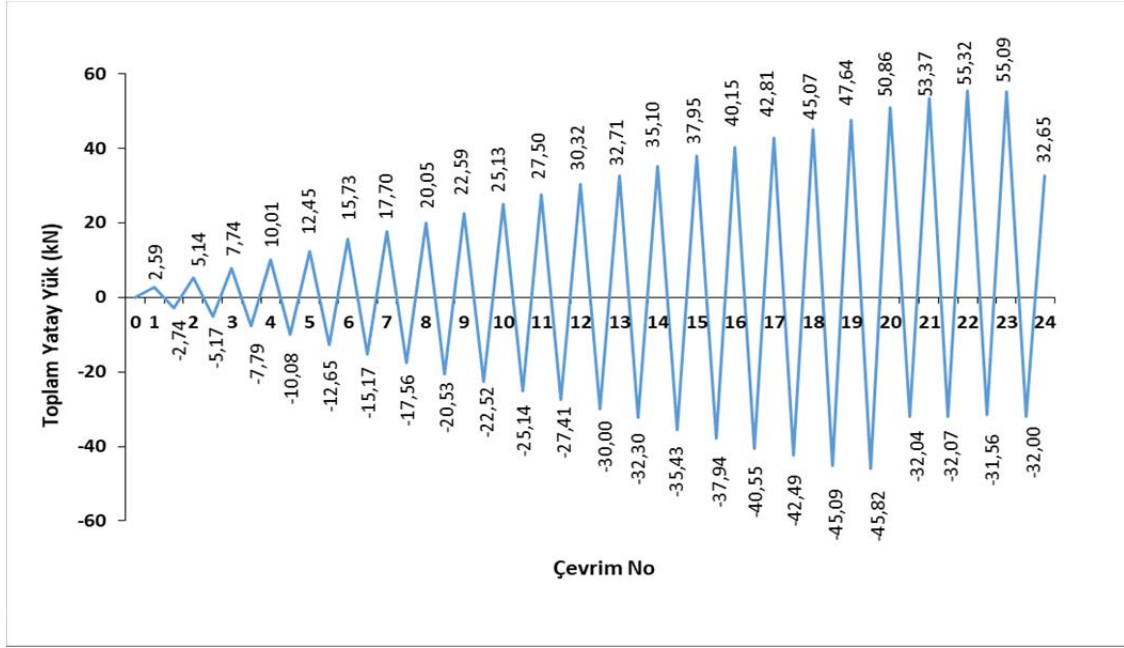
Şekil 4.12. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 1)

4.1.2. Çelik Çapraz Çubuklarla Güçlendirilen Betonarme Çerçeve

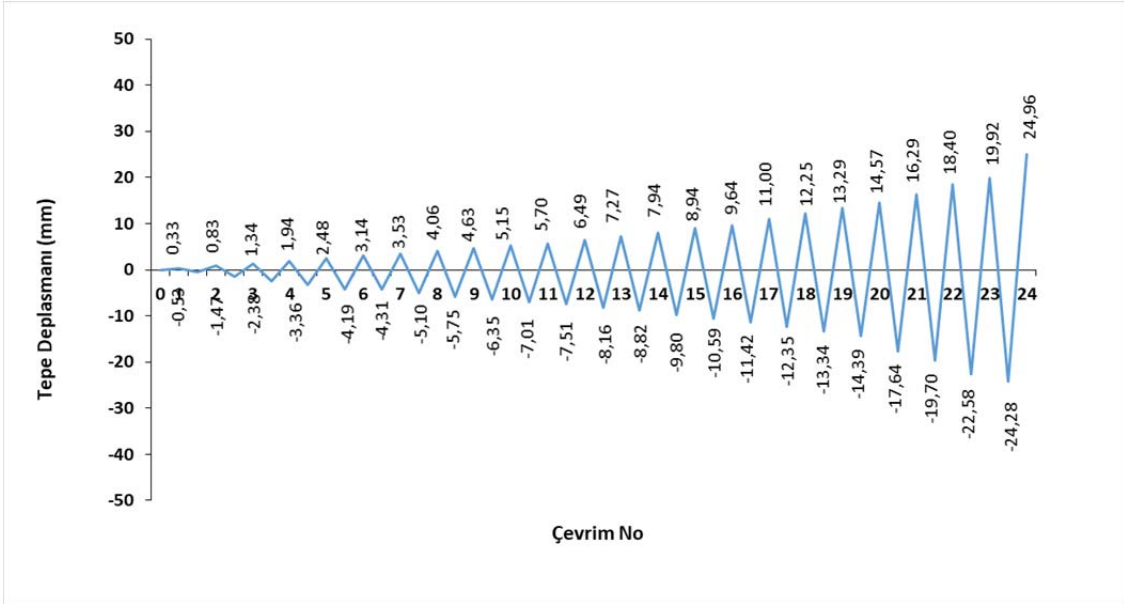
Çelik çapraz çubuk kullanılarak ve dampersiz olarak hazırlanan B/A çerçevenin (D.N.2), deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.13'te verilmiştir. Bu numuneye deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.14'te, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.15'te verilmiştir. Deney numunesine itmede 24 yük çevrimi, çekmede ise 23 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.13. Deney Numunesi 2'nin deney öncesi görünümü (D.N. 2)



Şekil 4.14. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)

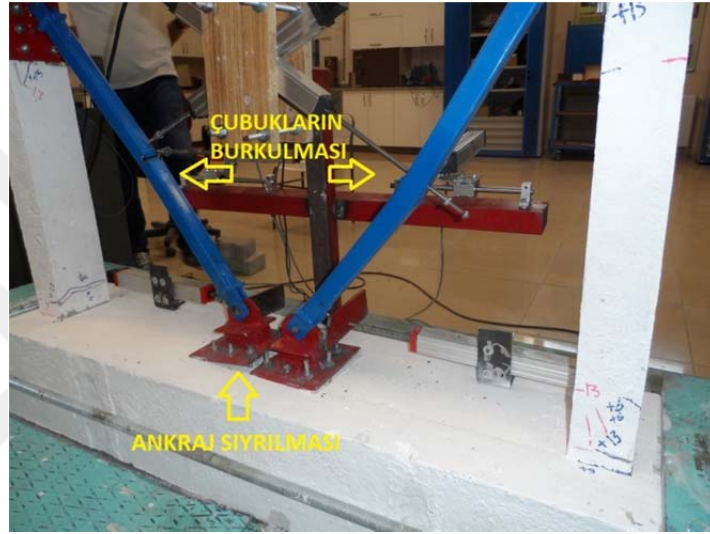


Şekil 4.15. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre)

Deney sırasında numuneye, toplam 32 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101 ve S 102 kolonlarına 16 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.10 MPa ve 75x115 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Yük geçmişi grafiklerden de anlaşılacağı üzere deneye, yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. 22. Çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır.

Deney numunesi 2'nin, +22 çevriminde maksimum 55,32 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 18,40 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -19 çevriminde ise -45,82 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanın da -14,39 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 24,96 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 24,28 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, +24 çevriminde numunede çelik çapraz çubukları temele bağlayan levhanın ankrajından sıyrılması ve çelik çapraz çubukların burkulması nedeniyle sonlandırılmıştır (Şekil 4.16).

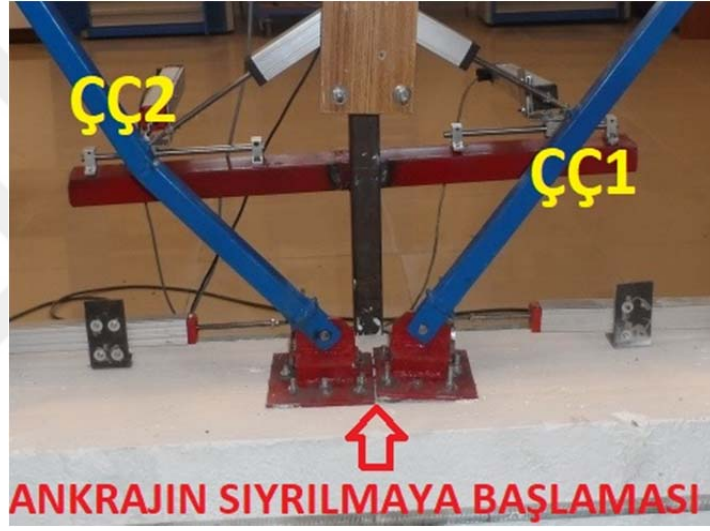


Şekil 4.16. Ankraj sıyrılması ve çelik çapraz çubukların burkulması

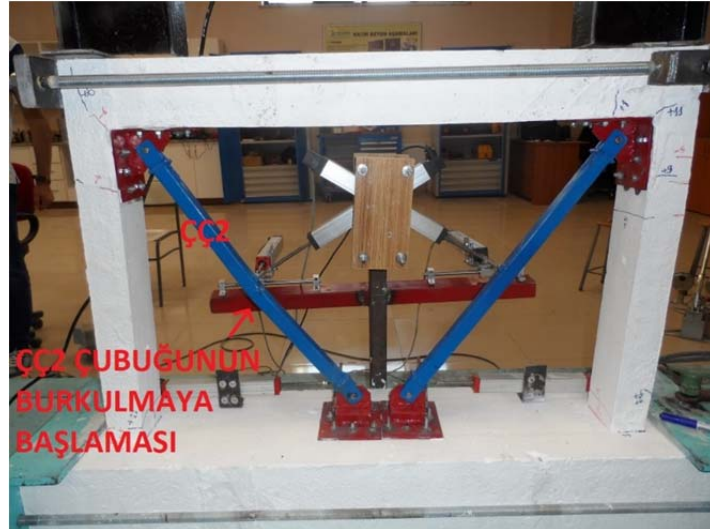
Deneyin +16 itme çevriminde, ÇÇ2 çelik çapraz çubuğu ile temelin bağlantısını sağlayan çelik levhanın ankrajlarında sıyrılmaların başladığı (Şekil 4.17), ÇÇ1 çelik çapraz çubuğunda ise bu durumun -22 çekme çevriminde oluşmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4.18). Deneyin -19 çekme çevriminde ÇÇ2 çubuğunun düzlemde 10,72 mm deplasman yaparak burkulmaya başladığı (Şekil 4.19), -23 çekme çevriminde ise ÇÇ2 çubuğunun yine düzlemde 28,76 mm deplasman yaptığı ve çelik profilde büyük yırtılmaların olduğu görülmüştür (Şekil 4.20).



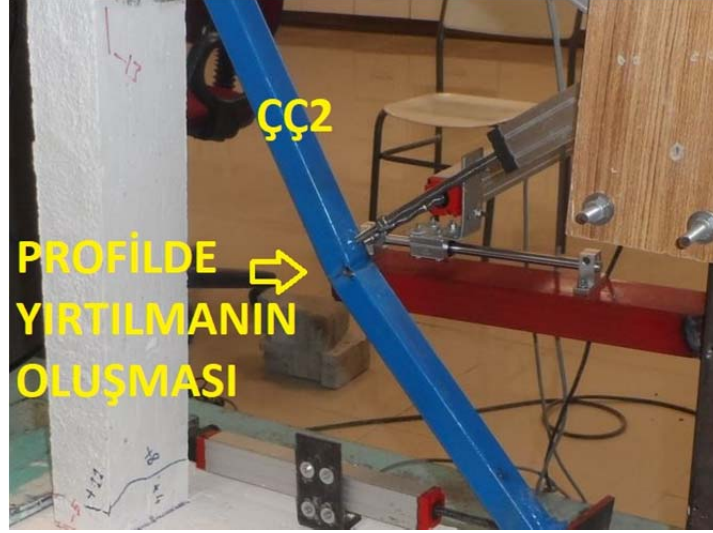
Şekil 4.17. Ankrajın sıyrılmaya başlaması



Şekil 4.18. Ankrajın sıyrılmaya başlaması

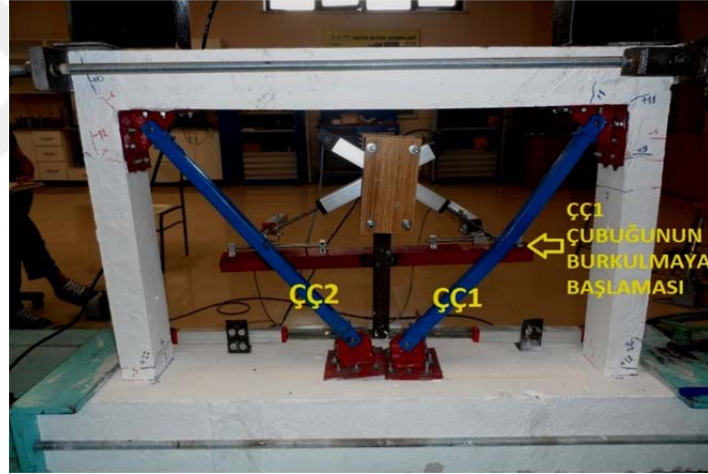


Şekil 4.19. ÇÇ2'nin burkulmaya başlaması



Şekil 4.20. ÇÇ2'nin burkulması ve profilde yırtılma gözlenmesi

+23 itme çevriminde ÇÇ1 çubuğunun düzlemde 14,48 mm deplasman yaparak burkulmaya başladığı (Şekil 4.21), -23 çekme çevriminde ise ÇÇ1 çubuğunda yine düzlemde 23,26 mm burkulma olduğu görülmüştür (Şekil 4.22).

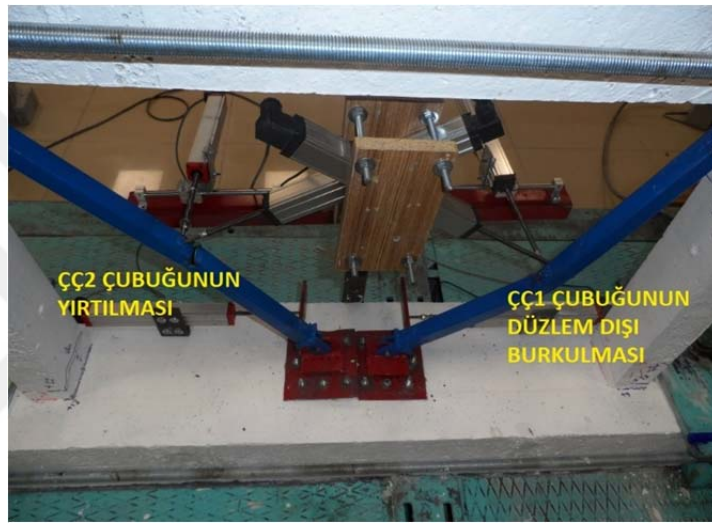


Şekil 4.21. ÇÇ1'in burkulmaya başlaması

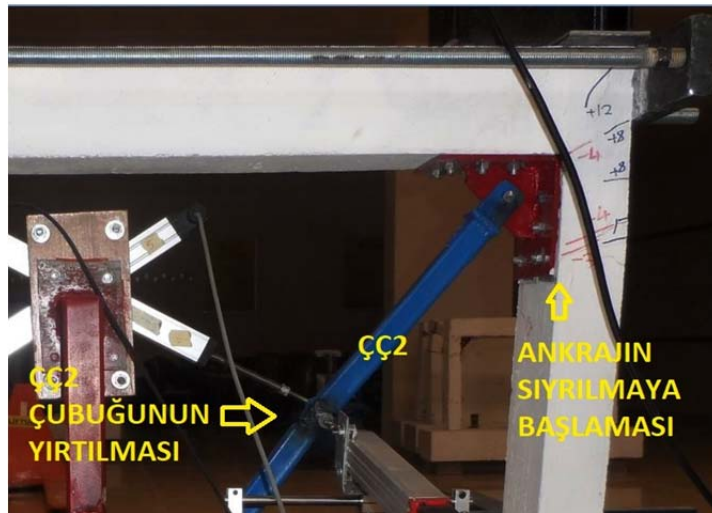


Şekil 4.22. ÇÇ1'in burkulması

+24 itme çevriminde, ÇÇ1 çubuğunun düzlem dışı burkulması sonucunda ölçüm yapan LVTD'nin uç kısmı çubuktan sıyrılması, ÇÇ2 çubuğunda çelik çapraz profilin yırtılması sonucunda ölçüm yapan LVTD'nin uç kısmının çubuktan çıkması nedeniyle ölçüm alınamamıştır (Şekil 4.23). Ayrıca ÇÇ2 çubuğunun S102 kolonuna bağlantısını sağlayan çelik levhanın alt ankraj çubuklarında sıyrılmaların da başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.24). Numunenin betonarme çerçevesinin, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür.

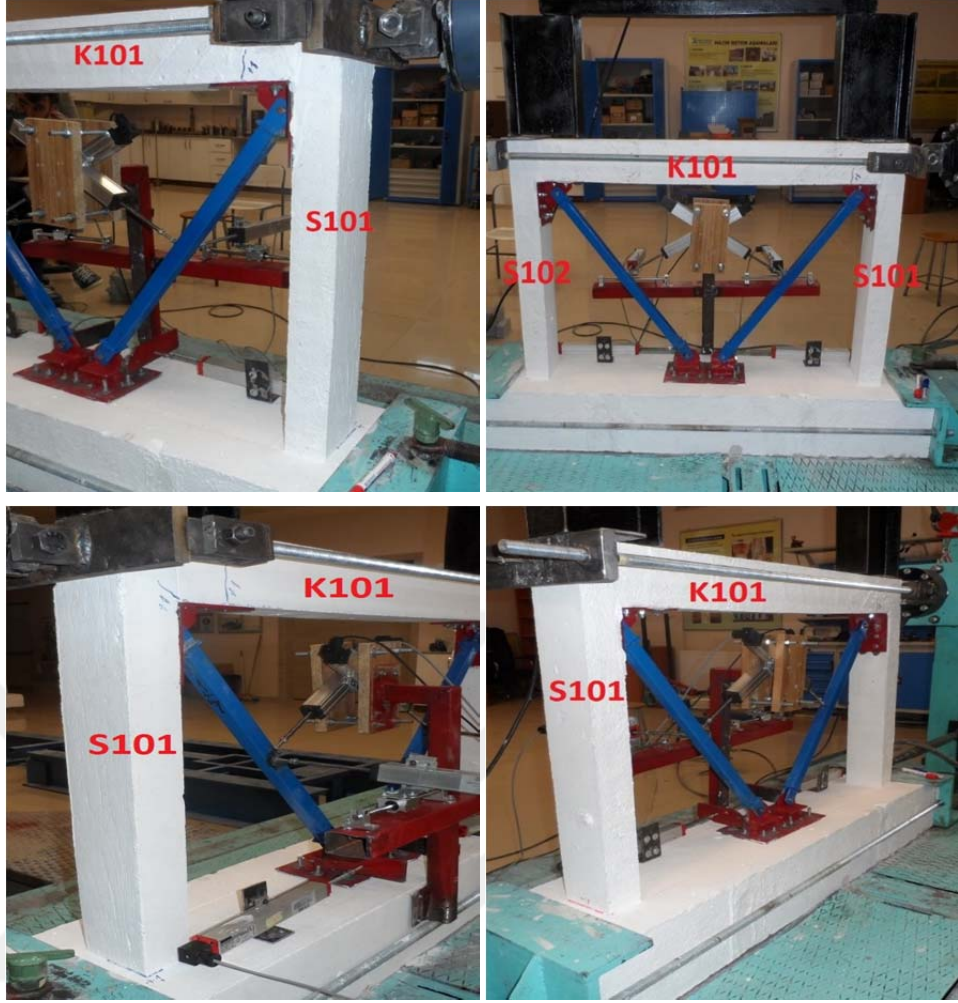


Şekil 4.23. ÇÇ1'in burkulması ve ÇÇ2'nin yırtılması

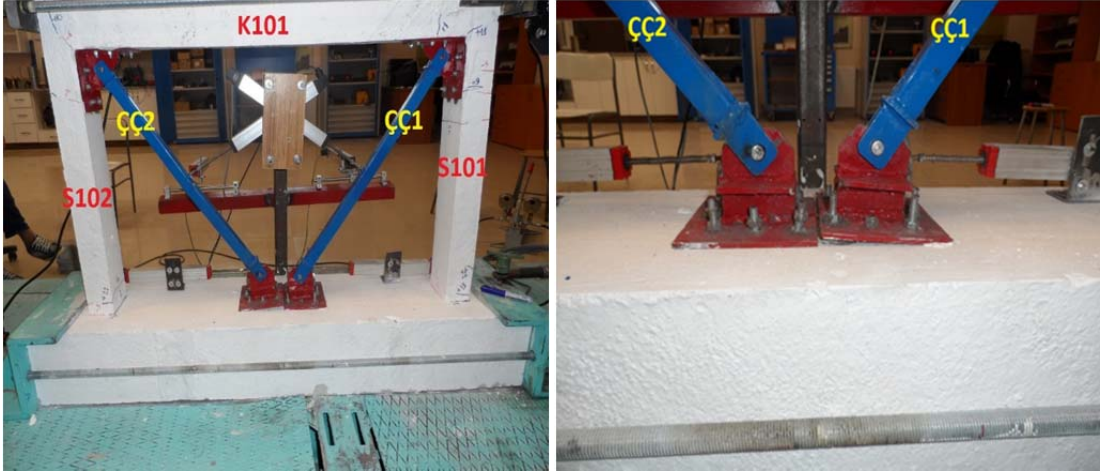


Şekil 4.24. Kolon kiriş birleşim bölgesinde ankraj sıyrılması

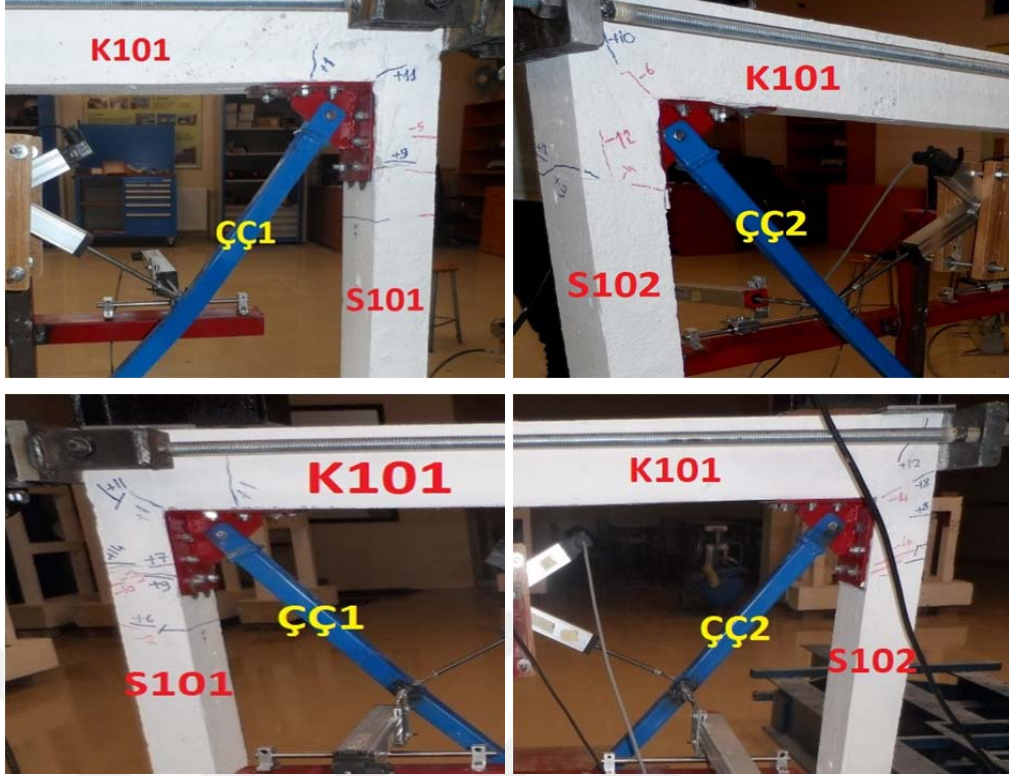
Deney numunesi 2'de; itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.25'te verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede oluşan hasarların durumu, maksimum yüklemede Şekil 4.26'da, göçme konumu için ise Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir.



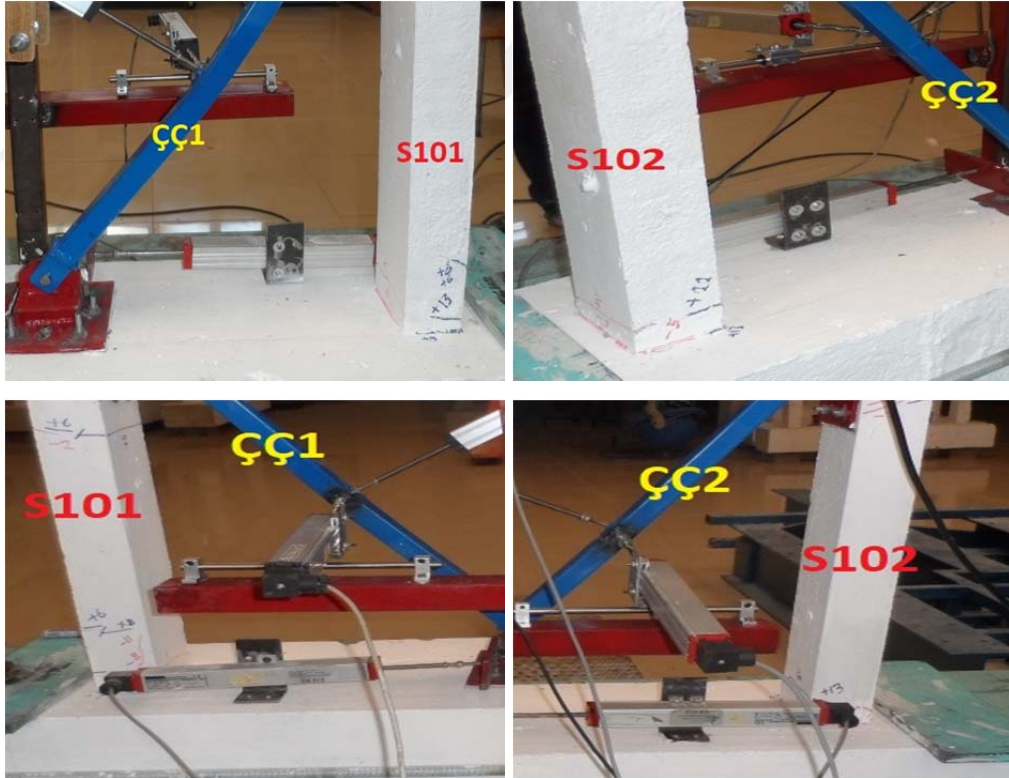
Şekil 4.25. Deney numunesi 2’de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



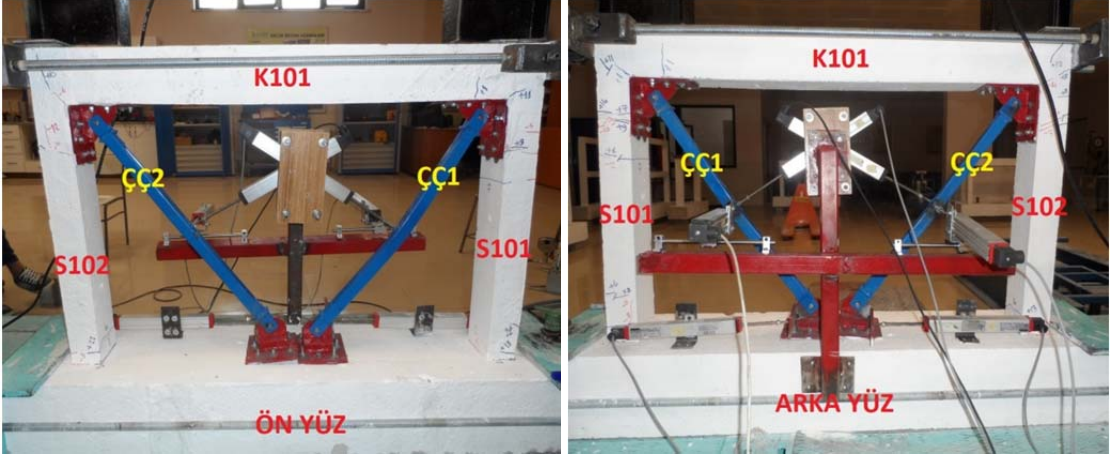
Şekil 4.26. Deney numunesi 2’nin, maksimum yükleme sonrası görünümü (+22 itme çevrimi)



Şekil 4.27. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar



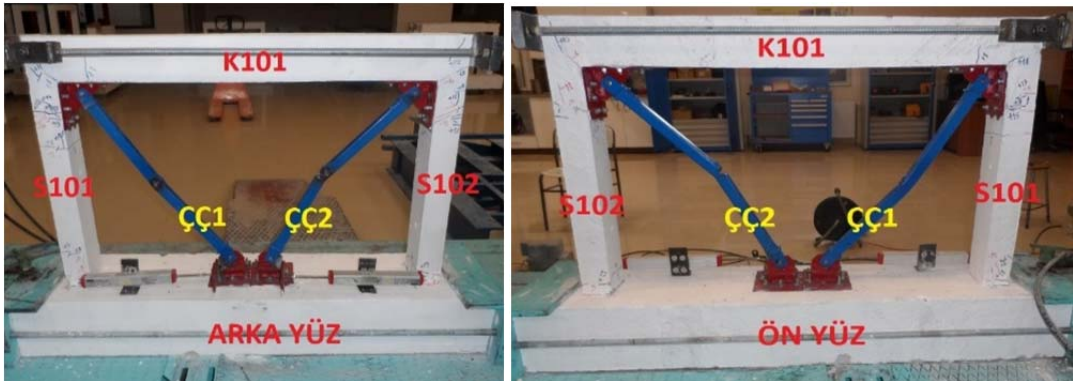
Şekil 4.28. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar



Şekil 4.29. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+23 itme çevrimi)

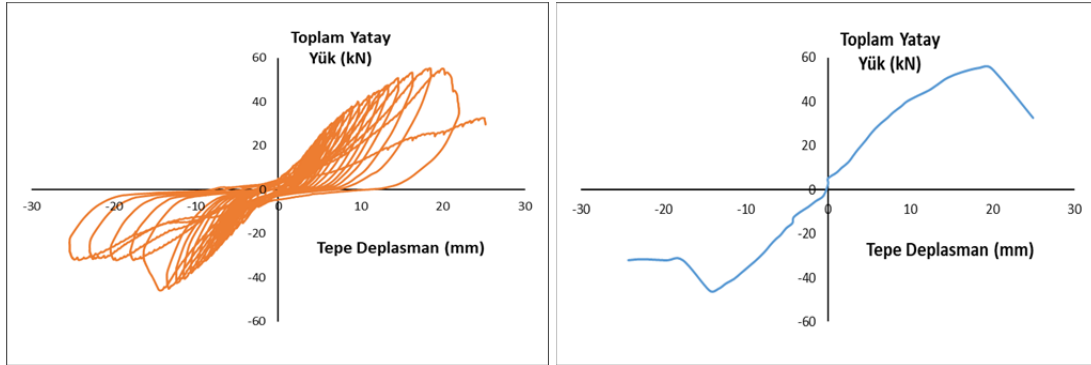


Şekil 4.30. Deney numunesi 2'nin, göçme konumunda çelik çapraz ve sönümleyicide oluşan hasarlar
Deney numunesi 2'de; deney sonunda oluşan hasarlar Şekil 4.31'de verilmiştir.



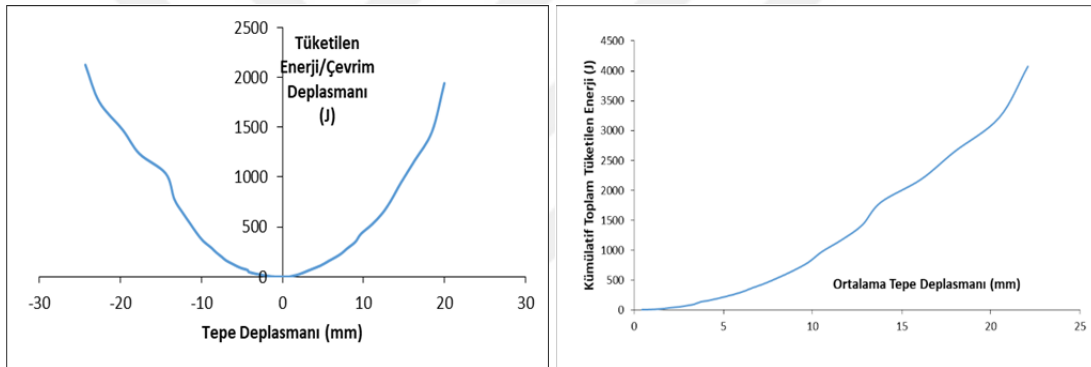
Şekil 4.31. Deney numunesi 2'de deney sonunda oluşan hasarlar

Deney numunesi 2'ye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.32'de verilmiştir.



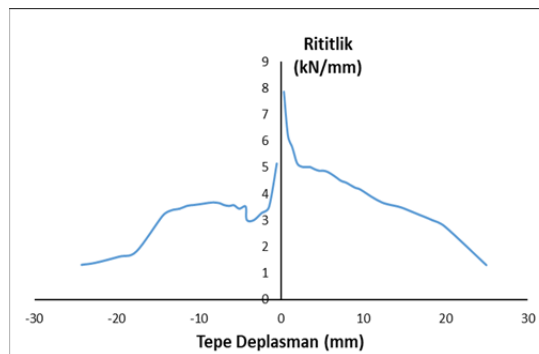
Şekil 4.32. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarfı eğrisi (D.N. 2)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 2)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.34). İtme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağında, çekme çevrimleri için ise grafiğin solunda verilmiştir.



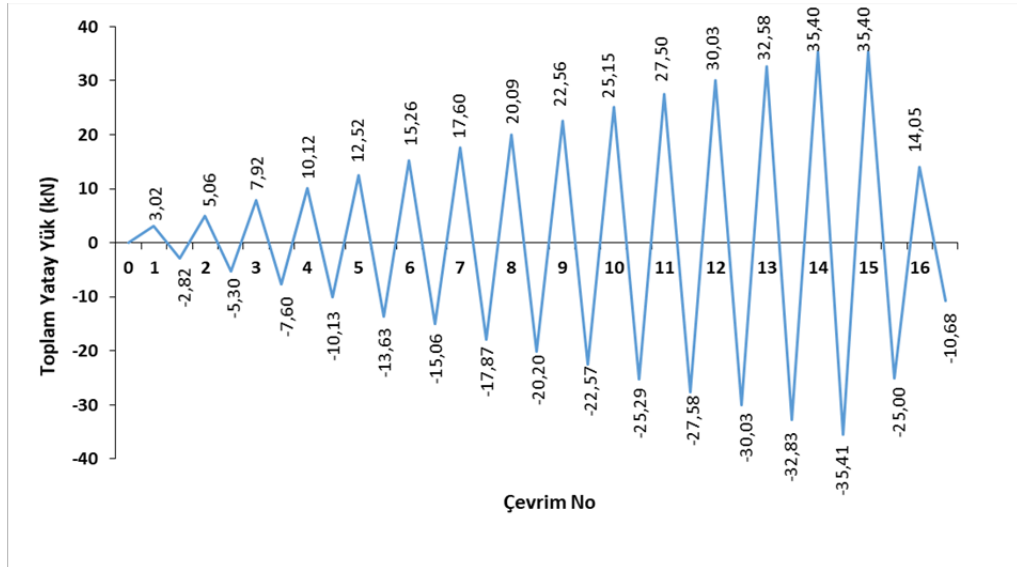
Şekil 4.34. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 2)

4.1.3. Çelik Çapraz Çubukların Uçlarına Vidalı Damper Eklenererek Güçlendirilen Betonarme Çerçeve

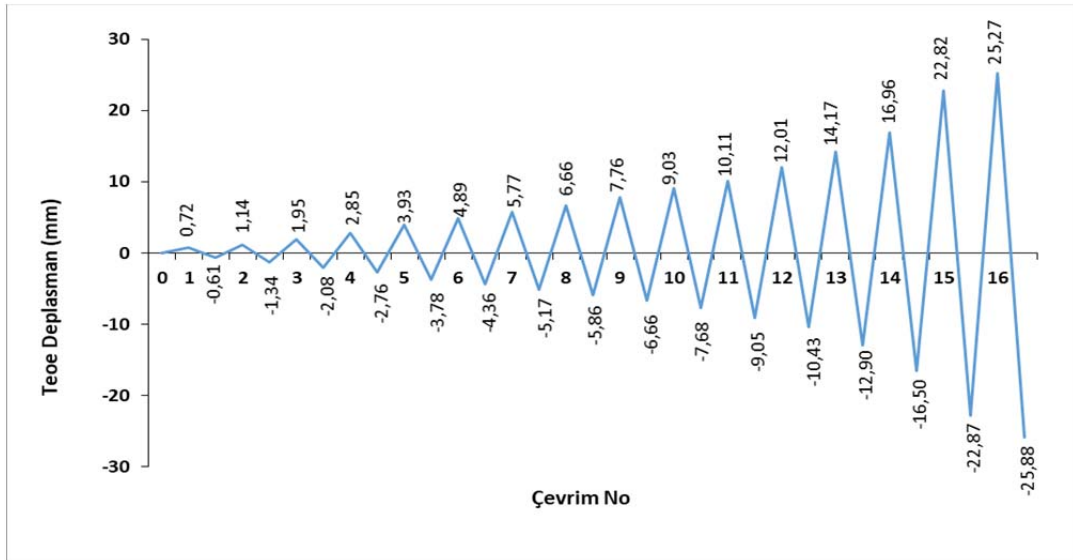
Çelik çapraz çubuk ve vidalı damper kullanılarak hazırlanan B/A çerçevenin (D.N.3), deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.35'te verilmiştir. Bu numuneye deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.36'da, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.37'de verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 16 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.35. Deney Numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (D.N. 3)



Şekil 4.36. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.37. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre)

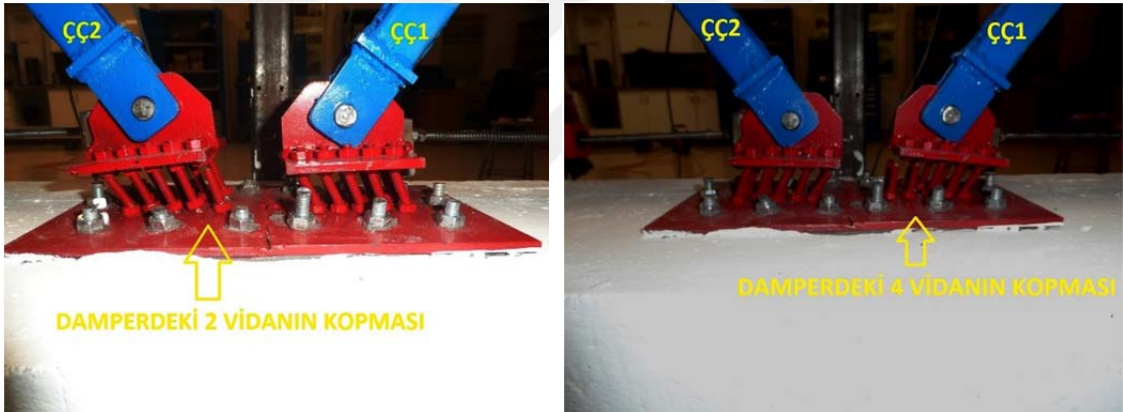
Deney sırasında numuneye, toplam 32 kN aksel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101 ve S 102 kolonlarına 16 kN'luk aksel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.10 MPa ve 75x115 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar aksel yük uygulanmıştır.

Yük geçmişi grafiklerden de anlaşılacağı üzere deneye, yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. 15. Çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney numunesi 3'ün, +15 çevriminde maksimum 35,4 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 22,82 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -14 çevriminde ise -35,41 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının da -16,50 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 25,27 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 25,88 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -16 çevriminde damperdeki vidaların kopması nedeniyle sonlandırılmıştır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Damperdeki vidaların kopması nedeniyle deneyin sonlandırılması

Deneyin +15. çevriminde ÇÇ2 çubuğunda kullanılan vidalı damperin itme yönünde 9,45 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 2 vidanın koptuğu görülmüştür. -15 çevriminde ise ÇÇ1 çubuğunda kullanılan vidalı damperin çekme yönünde 13,10 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 4 vidanın koptuğu görülmüştür (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Deney numunesi 3'te +15 ve -15 çevrimlerinde oluşan hasarlar

Deneyin +16. çevriminde ÇÇ2 çubuğunda kullanılan vidalı damperin itme yönünde 11,72 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 2 vidanın daha koptuğu, ayrıca damperde meydana gelen deplasman nedeniyle ÇÇ2 çubuğunun düzlem içi burkulmasını ölçmeye yarayan LVTD'nin yerinden çıktığı görülmüştür. -16 çevriminde ise ÇÇ1 çubuğunda kullanılan vidalı damperin çekme yönünde 18,37 mm deplasman yaptığı ve ÇÇ1 çubuğunun bağlı olduğu damperdeki 4 vidanın daha, ÇÇ2 çubuğunun bağlı olduğu damperde ise 6 vidanın daha koptuğu görülmüştür (Şekil 4.40).

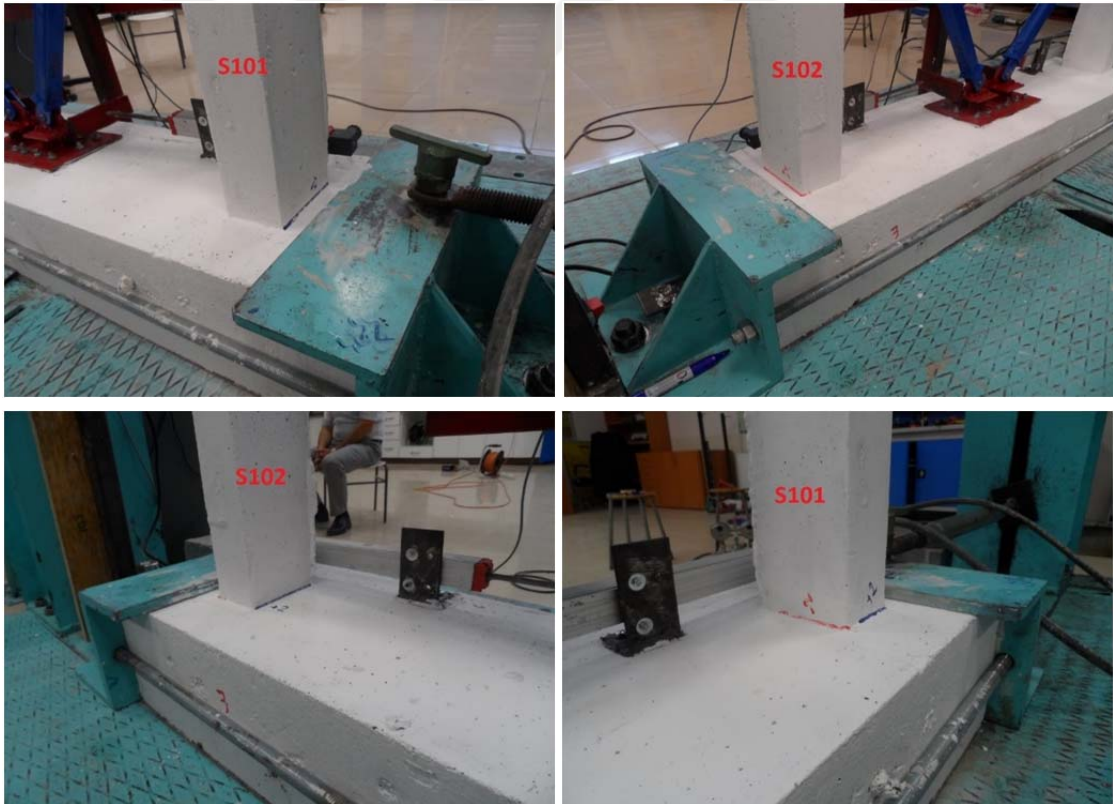


Şekil 4.40. Deney numunesi 3'te +16 ve -16 çevrimlerinde oluşan hasarlar

Damperlerde gerçekleşen bu deplasmanlar sayesinde damperlerin sistemin enerji tüketimine katkısı olmuştur.

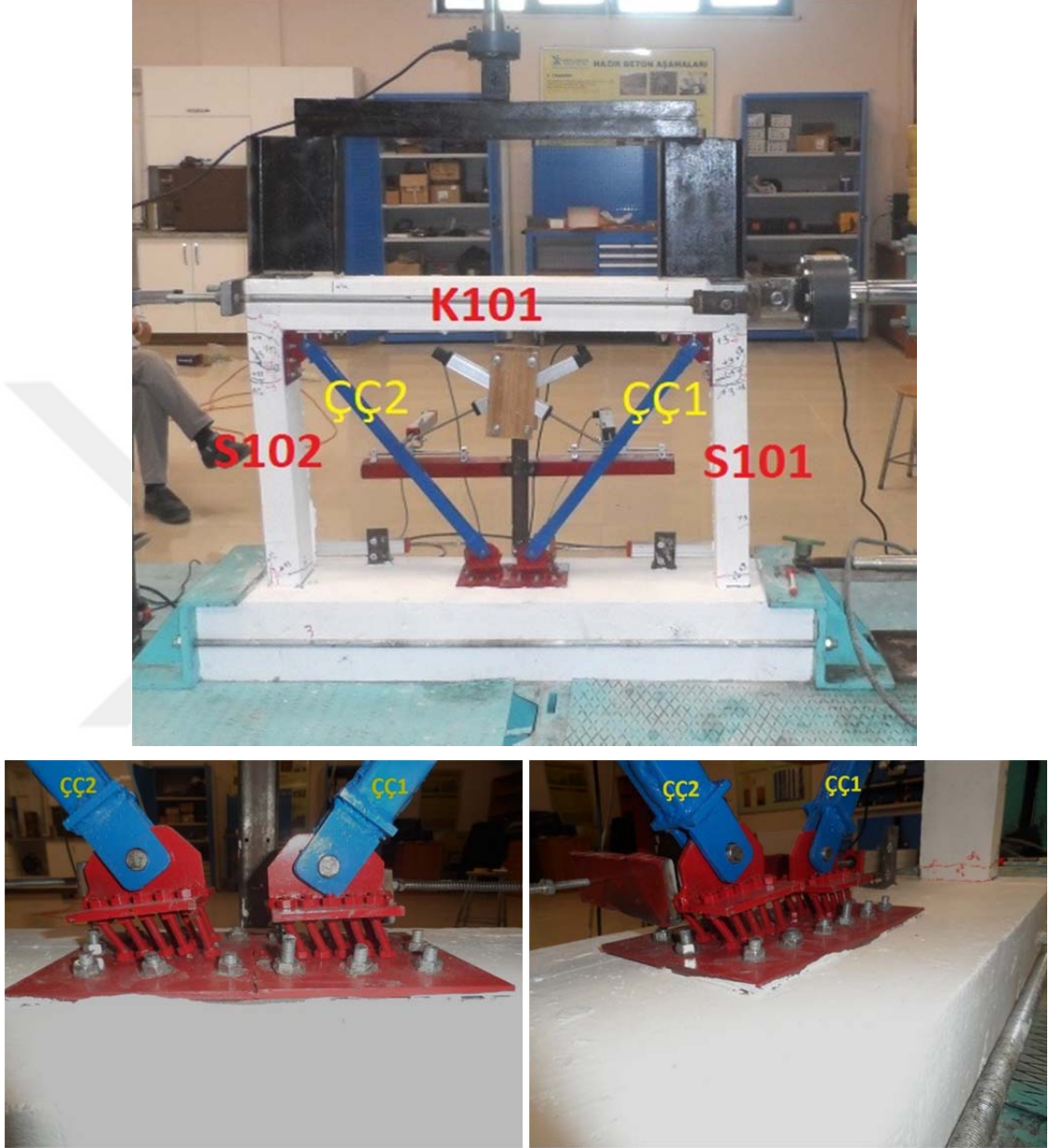
Deneyde ÇÇ1 ve ÇÇ2 çubuklarında burkulma olmadığı görülmüştür. Numunenin betonarme çerçevesinin, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür.

Deney numunesi 3'te; itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.41'de verilmiştir.

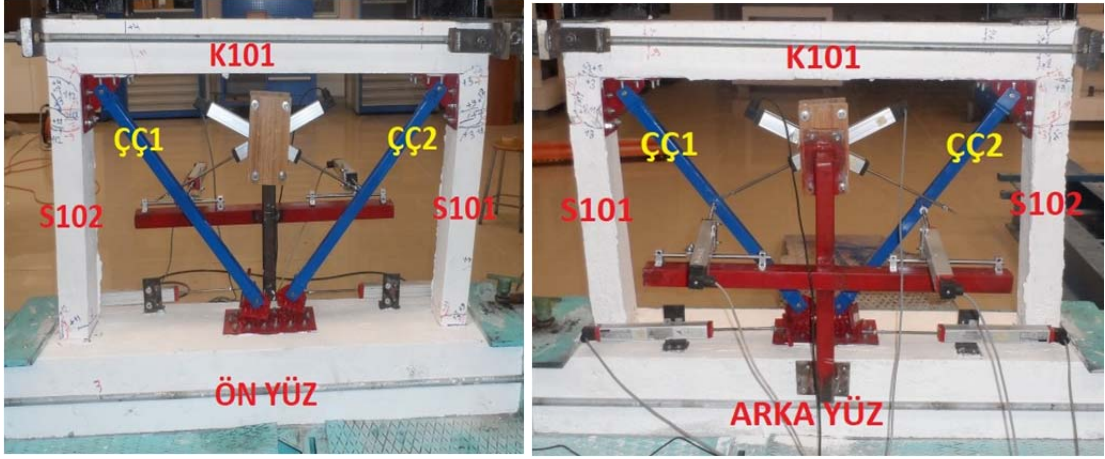


Şekil 4.41. Deney numunesi 3'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar

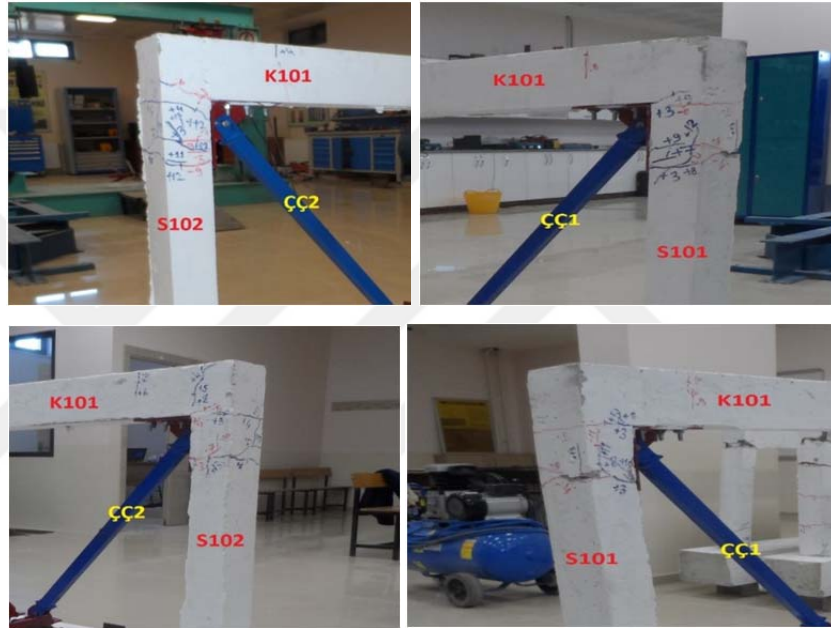
Deney numunesi 3'te, itme yönü için numunede oluşan hasarların durumu, maksimum yüklemde Şekil 4.42'de, göçme konumu için ise, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.42. Deney numunesi 3'ün, maksimum yüklem sonrası görünümü (+15 itme çevrimi)



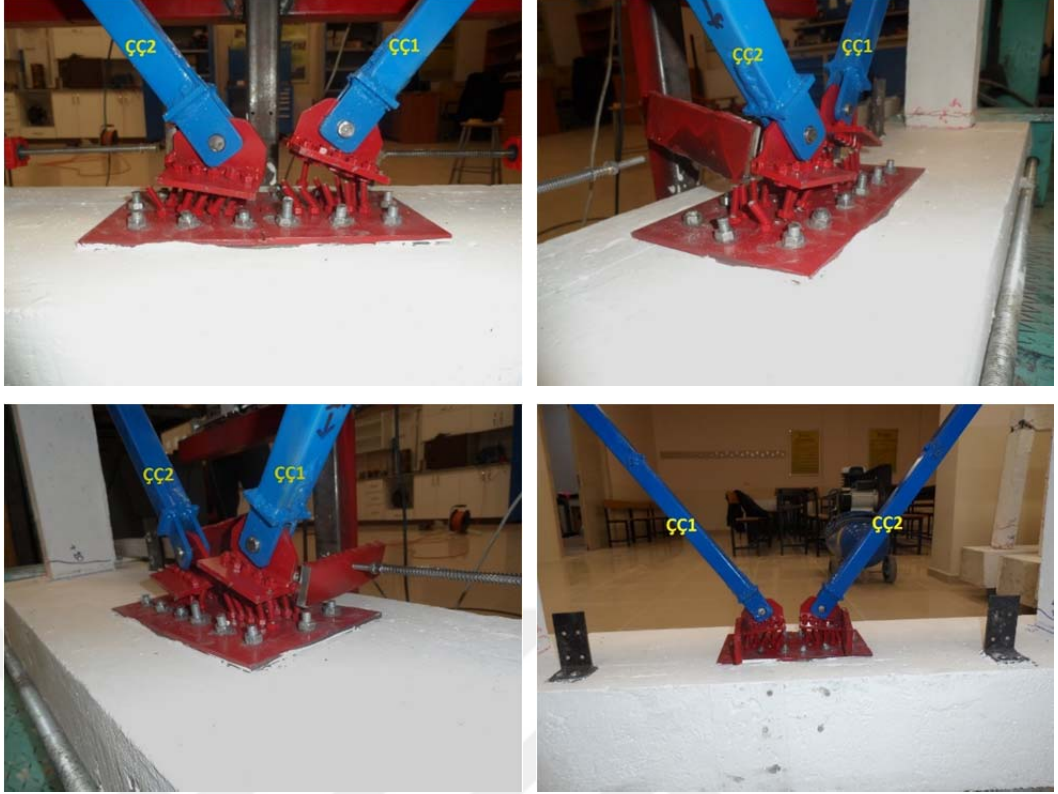
Şekil 4.43. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+16 itme çevrimi)



Şekil 4.44. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar

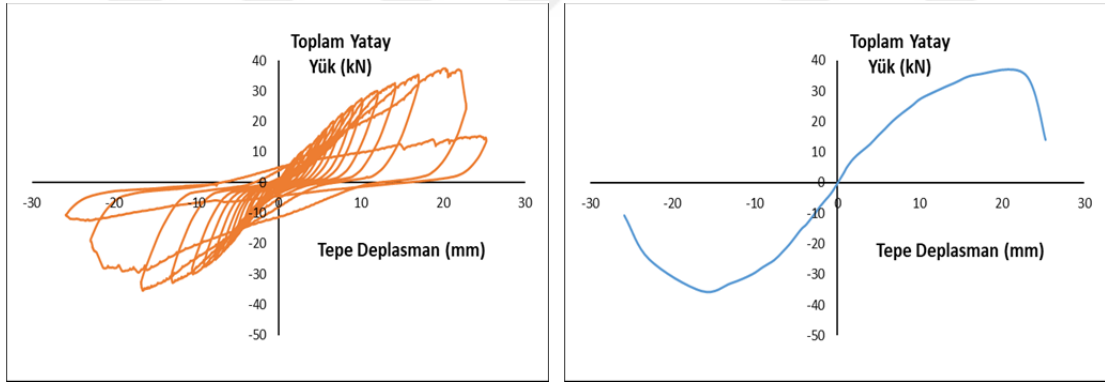


Şekil 4.45. Deney numunesi 3'ün, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar



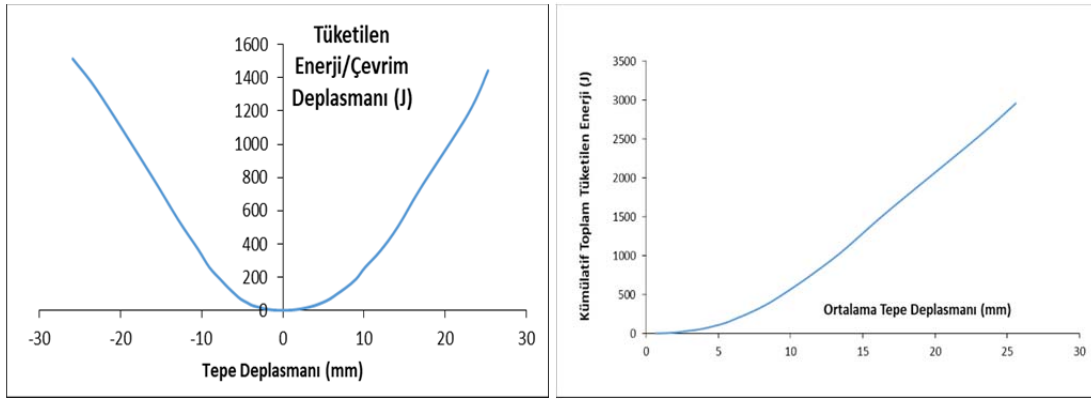
Şekil 4.46. Deney numunesi 3'te göçme konumunda damperde oluşan hasarlar

Deney numunesi 3'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.47'de verilmiştir.



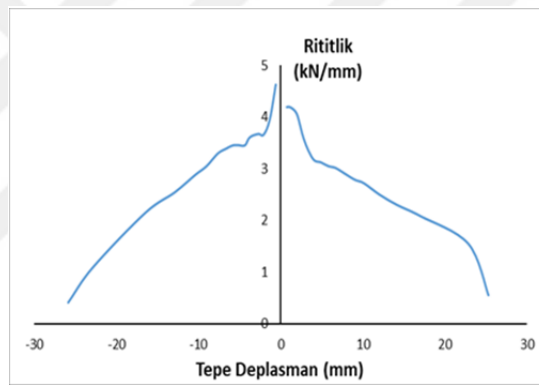
Şekil 4.47. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 3)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 3)

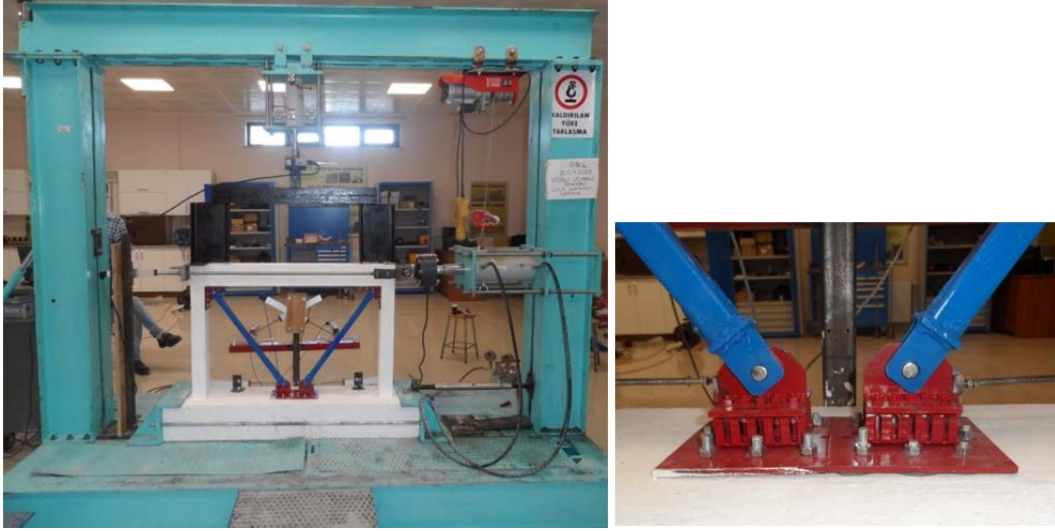
Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.49). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



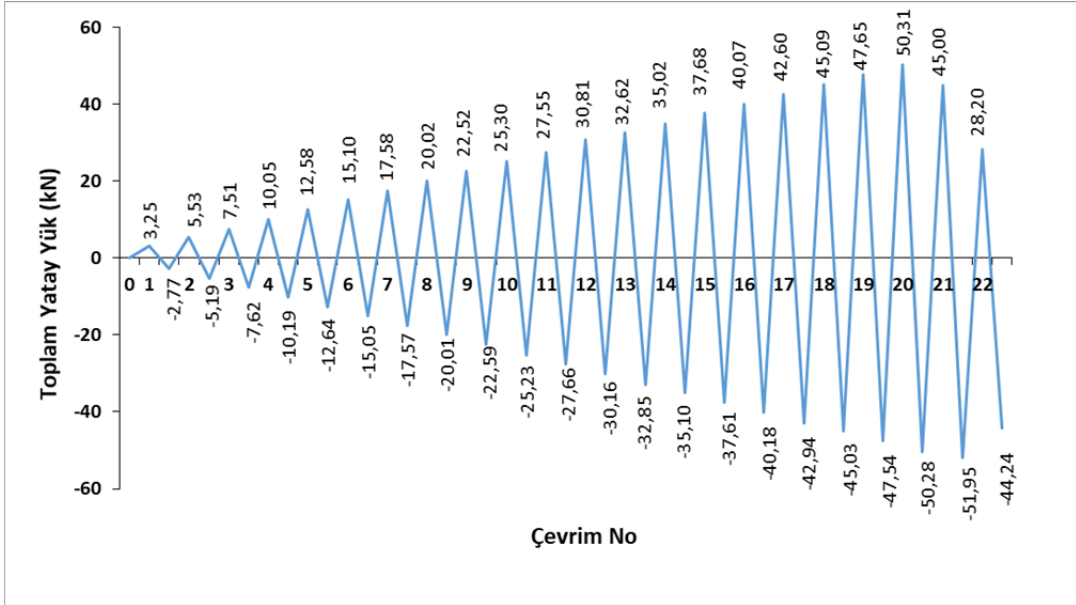
Şekil 4.49. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 3)

4.1.4. Çelik Çapraz Çubuklara Vidalı Levhalı Damper Eklenerek Güçlendirilen Betonarme Çerçeve

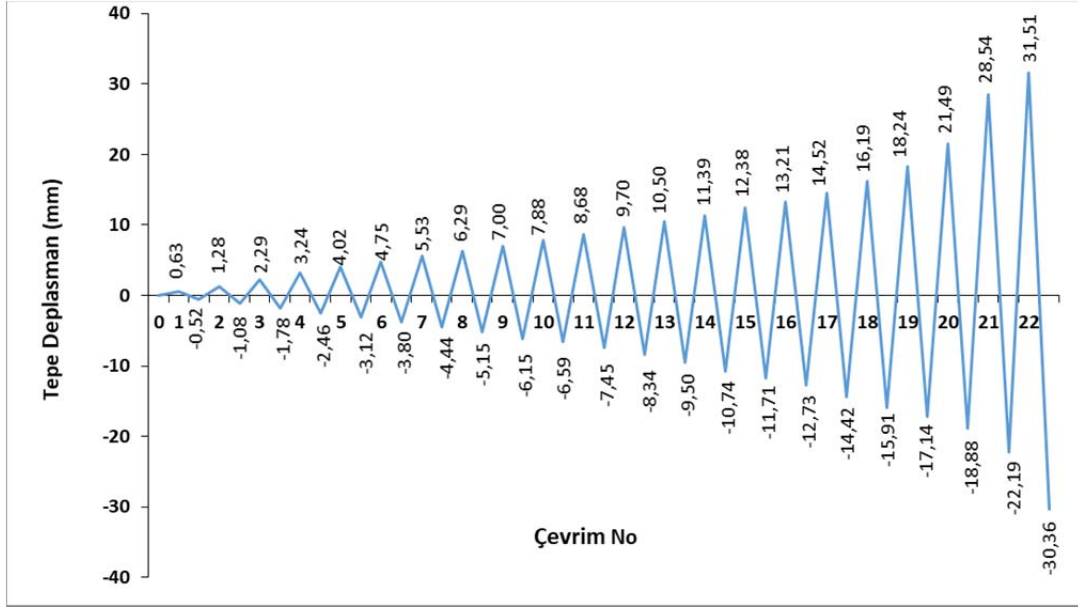
Çelik çapraz çubuk ve vidalı levhalı damper kullanılarak hazırlanan B/A çerçevenin (D.N.4), deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.50'de verilmiştir. Bu numuneye deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.51'de, tepe deplasmanına göre ise Şekil 4.52'de verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 22 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.50. Deney Numunesi 4'ün deney öncesi görünümü (D.N. 4)



Şekil 4.51. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yükleme göre)



Şekil 4.52. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmanına göre)

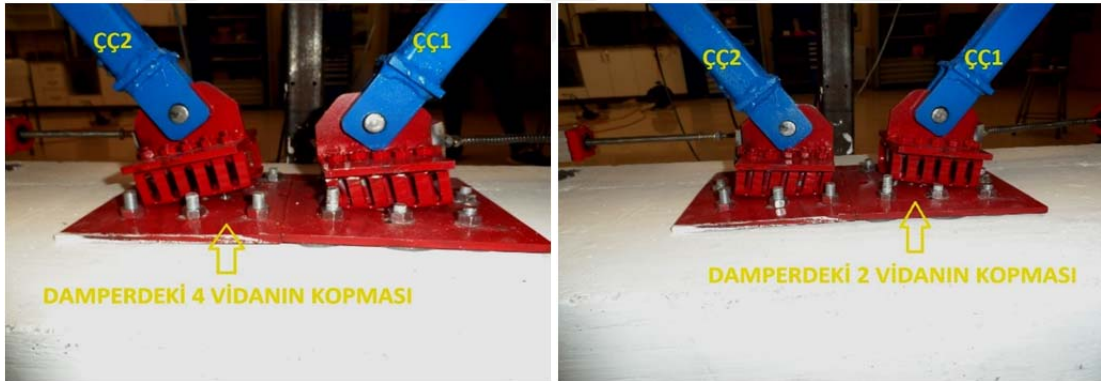
Deney sırasında numuneye, toplam 32 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101 ve S 102 kolonlarına 16 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.10 MPa ve 75x115 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Yük geçmişi grafiklerden de anlaşılacağı üzere deneye, yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. +20. Çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney numunesi 4'ün, +20 çevriminde maksimum 50,31 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 21,50 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -21 çevriminde ise -51,94 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının -22,19 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 31,51 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 24,33 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -22 çevriminde damperdeki vidaların kopması ve levhalı damperin kalıcı deplasman ve şekil değiştirme yapması nedeniyle sonlandırılmıştır (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Damperdeki vidaların kopması ve levhaların şekil değiştirmesi nedeniyle deneyin sonlandırılması

Deneyin +21. çevriminde ÇÇ2 çubuğunda kullanılan vidalı levhalı damperin itme yönünde 7,43 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 4 vidanın koptuğu görülmüştür. -21 çevriminde ise ÇÇ1 çubuğunda kullanılan vidalı levhalı damperin çekme yönünde 5,20 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 2 vidanın koptuğu görülmüştür (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. Deney numunesi 4'te +21 ve -21 çevrimlerinde damperlerde oluşan hasarlar

Deneyin +22. çevriminde ÇÇ2 çubuğunda kullanılan vidalı levhalı damperin itme yönünde 8,54 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 4 vidanın daha koptuğu görülmüştür. Deneyin -22 çevriminde ise ÇÇ1 çubuğunda kullanılan vidalı levhalı damperin çekme yönünde 5,95 mm deplasman yaptığı ve damperdeki 2 vidanın koptuğu görülmüştür (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Deney numunesi 4'te +22 ve -22 çevrimlerinde damperlerde oluşan hasarlar

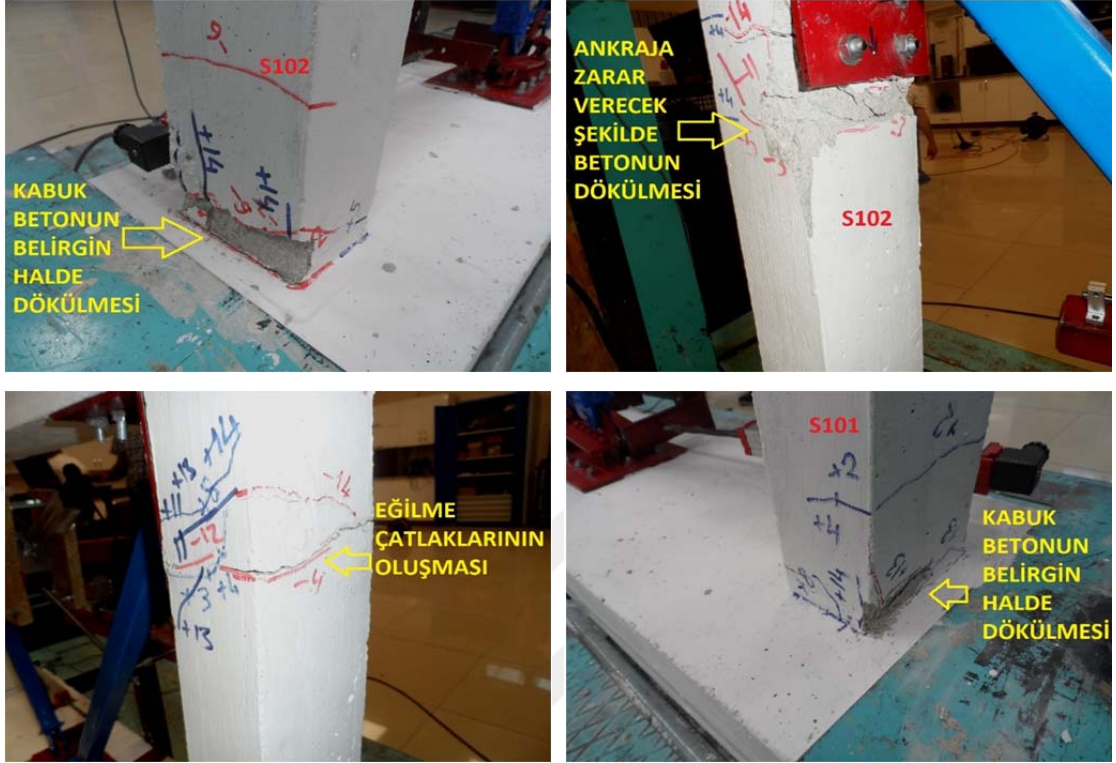
Deneyin +21. Çevriminde S102 kolonunun temel birleşim bölgesinde ve çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgesinde kabuk betonun dökülmeye başladığı görülmüştür. Deneyin -21. Çevriminde S102 kolonunun temel birleşim bölgesinde ve çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgesinde kabuk betonun belirgin halde döküldüğü, S101 kolonunun temel birleşim bölgesinde kabuk betonun dökülmeye başladığı görülmüştür (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. Deney numunesi 4'te +21 ve -21 çevrimlerinde kolonlarda oluşan hasarlar

-22. Çevrimde S101 ve S102 kolonlarının temel birleşim bölgelerinde kabuk betonun belirgin halde döküldüğü, S102 kolonunun çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgesinde ankraj çubuklarına zarar verecek şekilde beton dökülmesinin olduğu görülmüştür. Numunenin betonarme çerçevesinin, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde

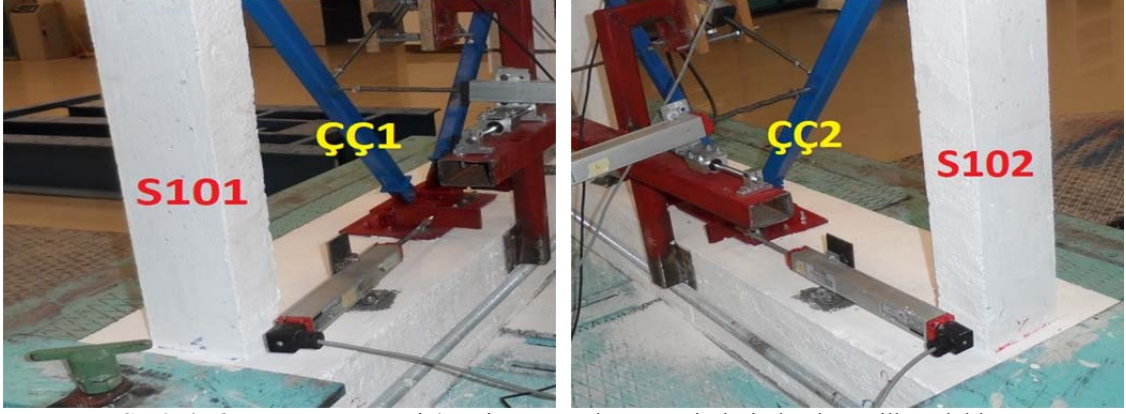
kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.57).



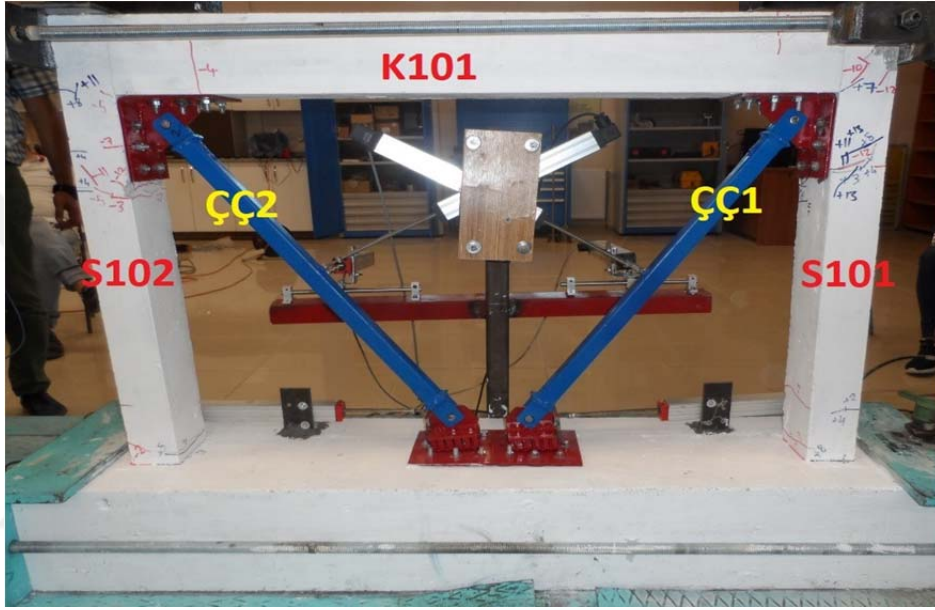
Şekil 4.57. Deney numunesi 4'te -22. çevrimde oluşan hasarlar

Deneyde ÇÇ1 ve ÇÇ2 çubuklarında burkulma olmadığı görülmüştür. ÇÇ1 çubuğu maksimum deplasmanı +21. çevrimde 16,70 mm ile ÇÇ2 çubuğu ise maksimum deplasmanı yine +21. çevrimde 15,89 mm ile yapmıştır.

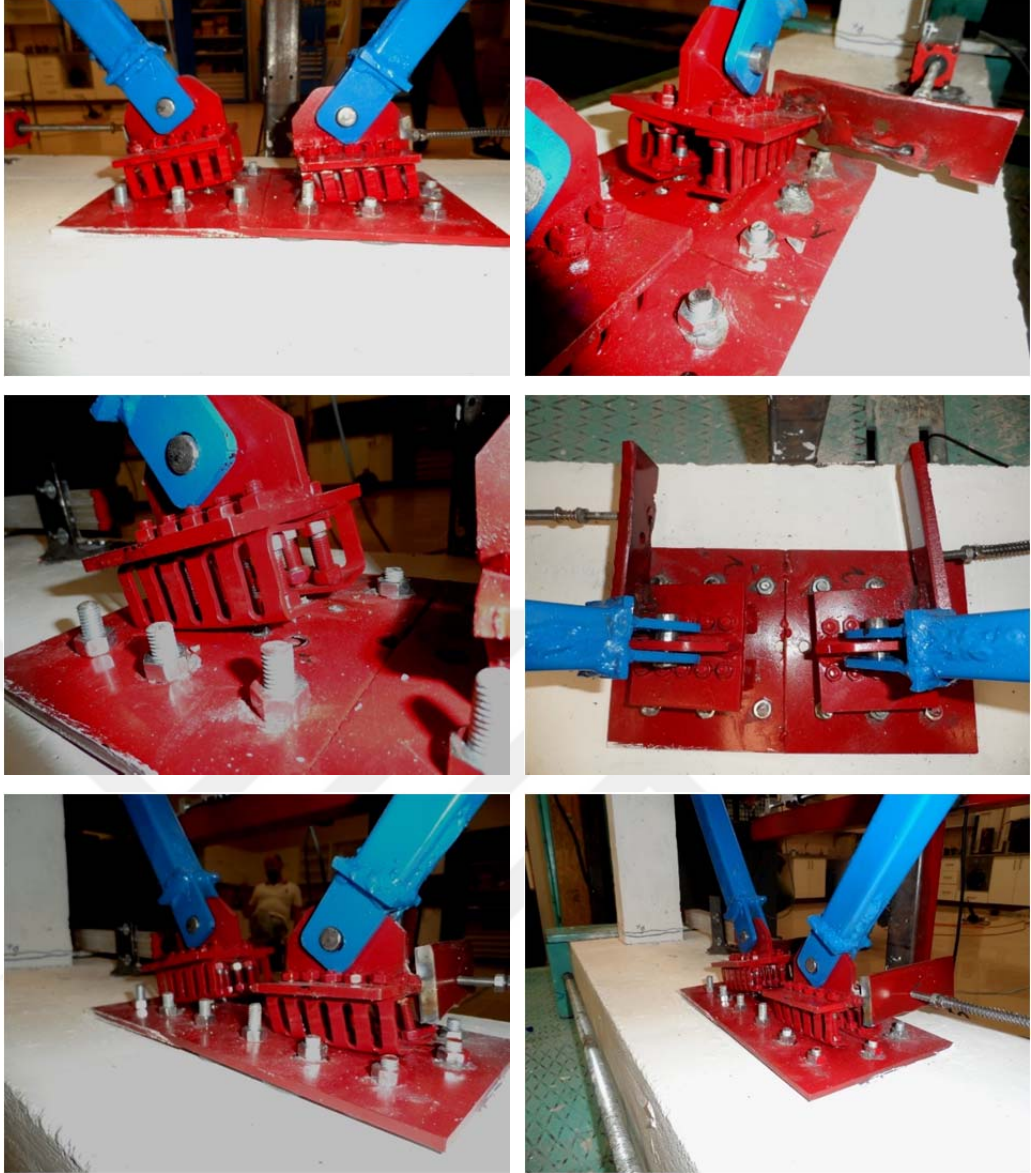
Deney numunesi 4'te; itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.58'te verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede oluşan hasarların durumu, maksimum yüklemde Şekil 4.59'da, göçme konumu için ise Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'te verilmiştir.



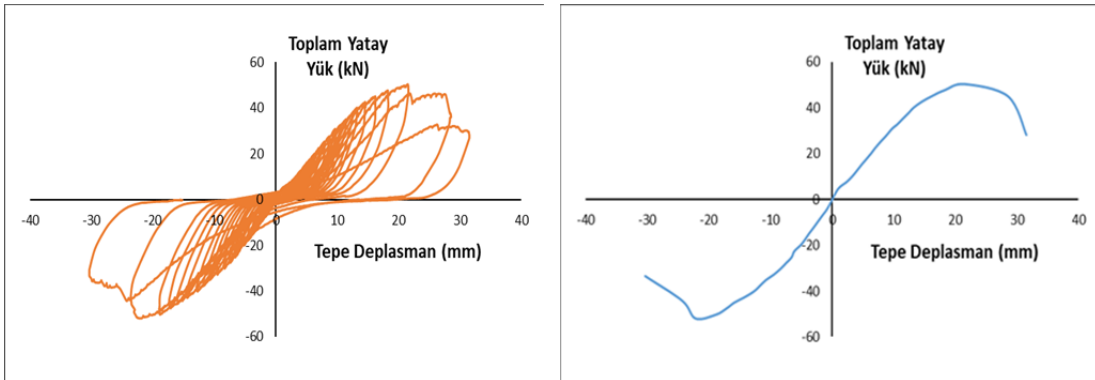
Şekil 4.58. Deney numunesi 4'te, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.59. Deney numunesi 4'ün, maksimum yükleme sonrası görünümü (+20 itme çevrimi)



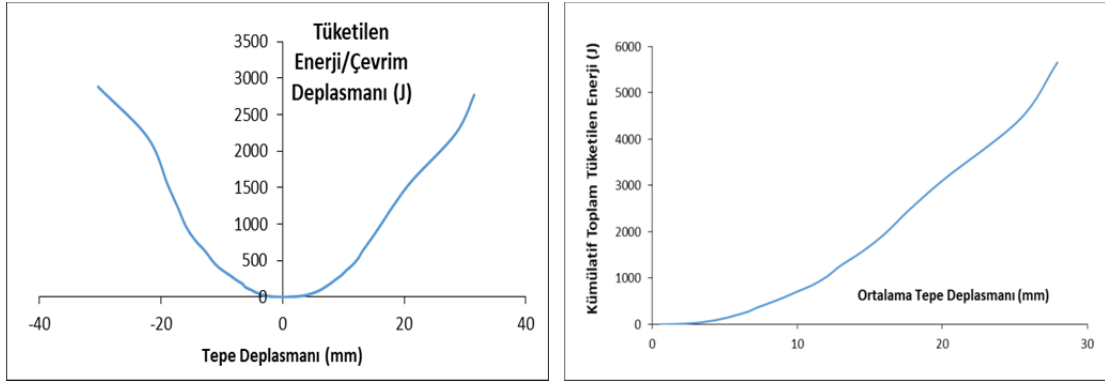
Şekil 4.63. Deney numunesi 4'ün, göçme konumunda sönmüleyicide oluşan hasarlar



Şekil 4.64. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (D.N. 4)

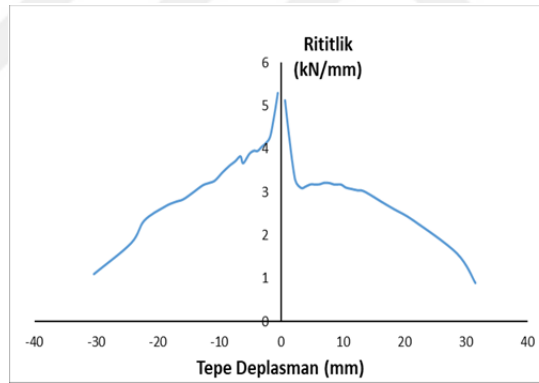
Deney numunesi 4'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfi eğrisi Şekil 4.64'te verilmiştir.

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.65'te verilmiştir.



Şekil 4.65. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (D.N. 4)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.66). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir.



Şekil 4.66. Rijitlik azalımı grafiği (D.N. 4)

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

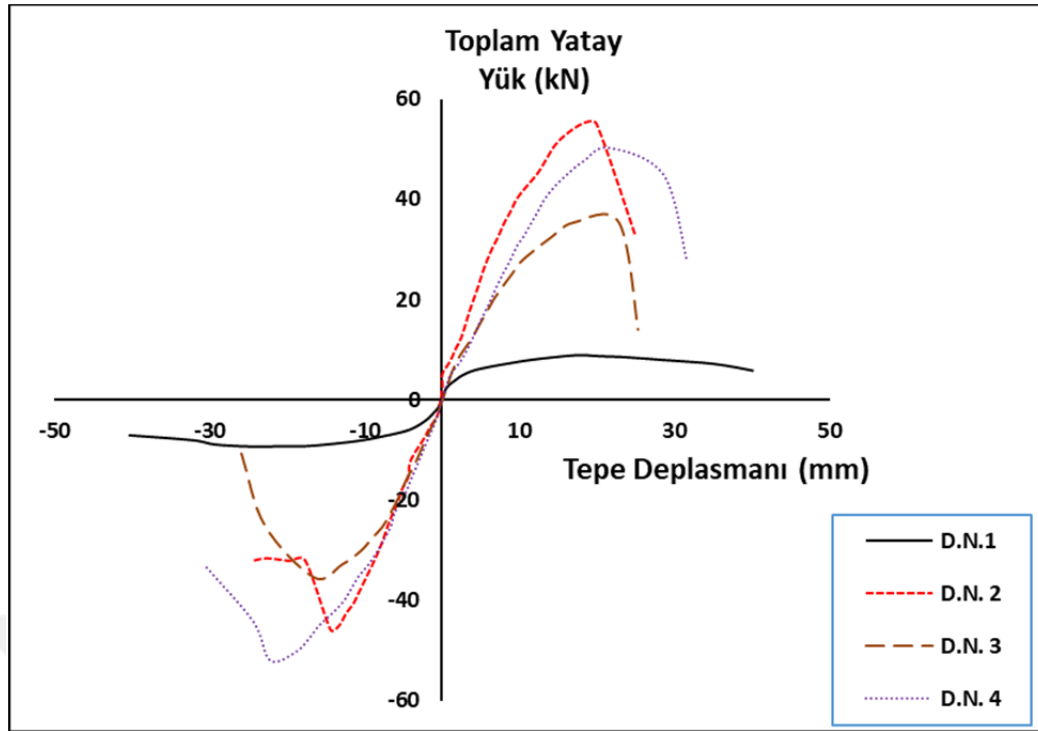
Bu bölümde, çalışma kapsamında deneyleri yapılan 4 adet numunenin, deneysel verilerinin birbirleri ile karşılaştırılması yapılmış ve deneylerden elde edilen sayısal sonuçlar, grafik ve çizelgeler şeklinde verilmiştir. Karşılaştırmalar için verilmiş olan grafikler ve çizelgeler şunlardır;

- a) Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği,
- b) Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları çizelgesi,
- c) Numunelerin rijitlik azalımı grafiği,
- d) Numunelerin rijitlik değerleri ve rijitlik azalımı oranları çizelgesi,
- e) İtme ve çekme yönünde tüketilen enerji grafiği,
- f) 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

Çalışma kapsamında deneyleri yapılan 4 adet numuneye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.67’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafiğe göre çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numune, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen numune ve çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen numunelerin, boş B/A çerçevesi numuneye göre yatay yük taşıma kapasitelerinin itme ve çekme yönlerindeki artış oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’den anlaşılacağı üzere; deney numuneleri arasında en fazla yatay yükü çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numune taşımıştır (55.32kN). Boş B/A çerçevesi numuneye göre; çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen D.N.2 numunesi 6.21 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen D.N.3 numunesi 3.97 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen D.N.4 numunesi ise 5.65 kat daha fazla yatay yüke dayanım göstermişlerdir (itme yönü için).



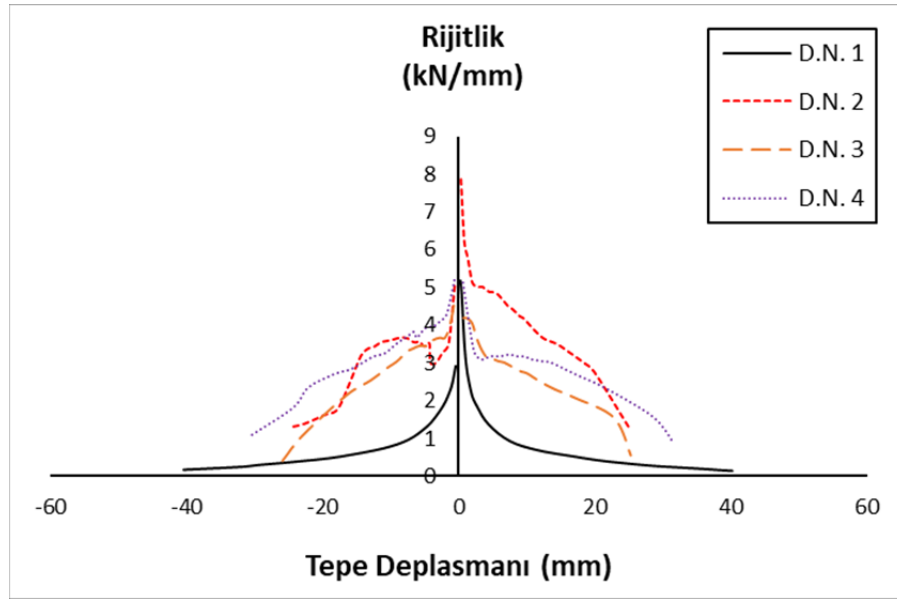
Şekil 4.67. Tüm numunelere ait yük- deplasman zarf eğrileri grafiği

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları

Deney numunesi	Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Kat ötelenme oranları		Toplam yatay yüke göre			
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	Max. yatay yük (kN)		Yatay yük taşıma artış oranları	
					İtme	Çekme	İtme	Çekme
D.N. 1	17,13	-25,04	0,025	0,036	8,91	-9,26	1,00	1,00
D.N. 2	18,40	-14,39	0,027	0,021	55,32	-45,82	6,21	4,95
D.N. 3	22,82	-16,50	0,033	0,024	35,40	-35,41	3,97	3,82
D.N. 4	21,49	-22,19	0,031	0,032	50,31	-51,95	5,65	5,61

4.2.1.2. Rijitliklerin karşılaştırılması

Şekil 4.68'de, çalışma kapsamında yer alan tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri verilmiştir. Tüm numunelerin 1. çevrimdeki ve maksimum yükteki rijitlik değerleri ile bu değerler için boş B/A çerçeveli numuneye göre hesaplanan rijitlik azalımı oranları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen D.N.2 numunesi, rijitlik değeri 1. çevrimdeki ve maksimum yükteki en fazla olan numunedir. D.N.1'in maksimum yükteki rititlik değerine göre; D.N.2 numunesi 2,49 kat, D.N.3 numunesi 1,33 kat, D.N.4 numunesi ise 1,62 kat daha fazla rijit davranmışlardır (itme yönü için).



Şekil 4.68. Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri

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

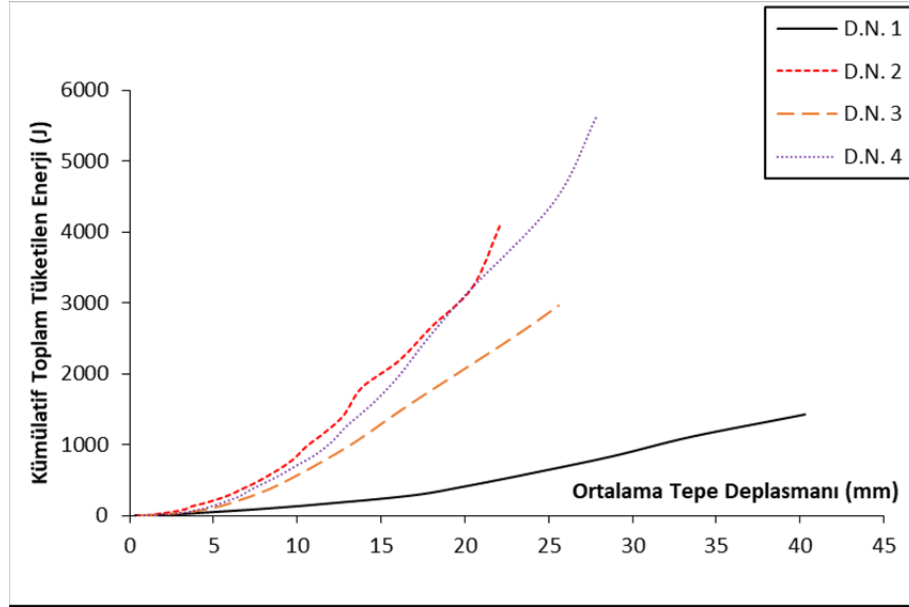
Deney numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları			
	1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
D.N. 1	3,16	2,12	0,52	0,37	1,00	1,00	1,00	1,00
D.N. 2	7,86	5,15	3,01	3,18	2,49	2,43	5,78	8,60
D.N. 3	4,19	4,63	1,55	2,15	1,33	2,18	2,98	5,80
D.N. 4	5,13	5,30	2,34	2,34	1,62	2,50	4,50	6,33

4.2.1.3. Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması

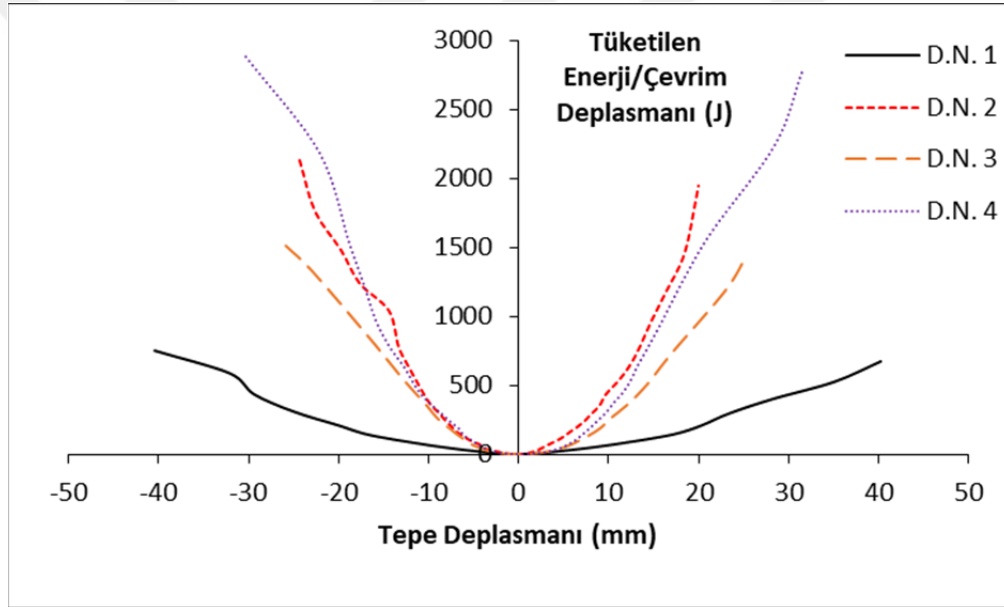
Çalışma kapsamındaki bütün numunelerin tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’de, boş B/A çerçevesi numuneye göre enerji tüketme kapasitelerindeki artış oranları, itme yönü için Çizelge 4.3’te, çekme yönü için Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.3’e göre, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen D.N.4 en fazla enerji tüketme kapasitesine sahip numune olmuştur. Boş B/A çerçevesi numuneye (D.N.1) göre; D.N.2’nin 4.19 kat, D.N.3’ün 2.65 kat, D.N.4’ün ise 4.92 kat daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4’e göre ise boş B/A çerçevesi numunenin (D.N.1); D.N.2’ye göre 3,23 kat, D.N.3’e göre 2,04 kat ve D.N.4’e göre ise 3,79 kat daha az enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.69. Tüm numnelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.70. Tüm numnelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre)

Çizelge 4.3. İtme yönü için tüm numnelere 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 (0.85*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
D.N. 1	143,20	471,14	1,00	1,00
D.N. 2	1460,50	1974,20	10,20	4,19
D.N. 3	1183,77	1248,10	8,27	2,65
D.N. 4	1615,09	2317,00	11,28	4,92

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 (0.85*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
D.N. 1	310,15	611,83	1,00	1,00
D.N. 2	1039,73	1138,61	3,35	1,86
D.N. 3	835,69	1084,88	2,69	1,77
D.N. 4	2188,02	2371,21	7,05	3,88

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel olarak yapılan çalışma kapsamında; deprem davranışı yetersiz mevcut betonarme çerçevesel yapıların özelliklerini yansıtılabilmek amacıyla; 1/4 ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı 4 adet betonarme çerçeve Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında üretilmiştir. Üretilen bu betonarme çerçevelerden; 1 adedi boş betonarme çerçeve olarak, 1 adedi V şeklinde çelik çapraz çubuklarla, 2 adedi ise V şeklinde çelik çapraz çubukların bir ucuna değişik tip metalik damperlerin bağlanması ile oluşturulan sistemle güçlendirilerek, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yük etkisi altında test edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, akma yük değerleri, göçme yükü değerleri, ilk yanal rijitlik değerleri, kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve göçme mekanizması durumları için aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

- Boş betonarme çerçeve D.N.1'in, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itme yönünde 8.91 kN, çekme yönünde 9.26 kN, göçme yükü değeri ise itme yönünde 7.57 kN, çekme yönünde 7.87 kN olarak bulunmuştur. D.N.1'in, ilk yanal rijitlik değeri itme yönünde 3.16 kN/mm, çekme yönünde 2.12 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 1425.21 J olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101 ve S102 kolonları ile K101 kirişi birleşim bölgelerinde kabuk beton dökülmesi ve kolon temel birleşim bölgelerinde önemli derecede beton ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Böylelikle bu numunede zayıf kolon-güçlü kiriş davranışının oluşumu gözlemlenmiştir.
- Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen betonarme numune D.N.2'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itme yönünde 55.32 kN, çekme yönünde 45.82 kN, göçme yükü değeri itme yönünde 41.48 kN, çekme yönünde 34.36 kN olarak bulunmuştur. D.N.2'nin, ilk yanal rijitlik değeri itme yönünde 7.86 kN/mm, çekme yönünde 5.15 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 4154.73 J olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; betonarme çerçevenin, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluşması, çelik

çapraz çubukları temele bağlayan levhanın ankrajından sıyrılması ve çelik çapraz çubukların burkulması şeklinde gerçekleşmiştir.

- Çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen betonarme numune D.N.3'ün, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itme yönünde 35.40 kN, çekme yönünde 35.41 kN, göçme yükü değeri itme yönünde 30.1 kN, çekme yönünde 30.1 kN olarak bulunmuştur. D.N.3'ün, ilk yanal rijitlik değeri itme yönünde 4.19 kN/mm, çekme yönünde 4.63 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 2957.82 J olarak bulunmuştur. Deneyde ÇÇ1 ve ÇÇ2 çubuklarında burkulma olmadığı görülmüştür. Numunede göçme mekanizması; vidalı damperdeki 18 adet vidanın kopması, damperlerin kalıcı şekil değiştirme yapması, betonarme çerçevenin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluşması şeklinde gerçekleşmiştir.

- Çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen betonarme numune D.N.4'ün, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itme yönünde 50.31 kN, çekme yönünde 51.95 kN, göçme yükü değeri itme yönünde 42.76 kN, çekme yönünde 44.15 kN olarak bulunmuştur. D.N. 4'ün, ilk yanal rijitlik değeri itme yönünde 5.13 kN/mm, çekme yönünde 5.30 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri ise 5650.62 J olarak bulunmuştur. Deneyde ÇÇ1 ve ÇÇ2 çubuklarında burkulma olmadığı görülmüştür. Numunede göçme mekanizması; vidalı levhalı damperdeki 12 adet vidanın kopması, levhalı damperin kalıcı şekil değiştirme yapması, betonarme çerçevenin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlaklarının, S101 ve S102 kolonları ile çapraz çubuk bağlantı levhalarının alt bölgelerinde ise yoğun olarak eğilme çatlaklarının oluşması şeklinde gerçekleşmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

- Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen betonarme numune, en fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip numunedir (55.32 kN). Boş B/A çerçeveli numuneye göre; çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numunede 6.21 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen numunede 3.97 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen numunede ise 5.65 kat yatay yük taşıma kapasitesi artışı olduğu görülmüştür.

- İlk yanal rijitlik değeri en fazla olan numune, çelik çapraz çubuklarla güçlendirilmiş B/A numunedir (7.86kN/mm). Boş B/A çerçevesi numuneye göre ilk yanal rijitlik oranları ise çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numunede 2.49 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen numunede 1,55 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen numunede ise 2,34 kat şeklinde olmuştur.
- Numunelere ait maksimum yükteki rijitlik değeri en fazla olan numune, çelik çapraz çubuklarla güçlendirilmiş B/A numunedir (3.01kN/mm). Boş B/A çerçevesi numuneye göre maksimum yükteki rijitlik oranları ise çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numunede 5.78 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı damper eklenerek güçlendirilen numunede 2.98 kat, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilen numunede ise 4.50 kat olarak bulunmuştur.
- Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri en fazla olan numune, çelik çapraz çubukların uçlarına vidalı levhalı damper eklenerek güçlendirilmiş numunedir (5650.62 J). Deneylerin itme çevrimlerinde, maksimum yatay yüke kadar Boş B/A çerçevesi numuneye göre tüketilen enerji oranları D.N.2’de 10.20 kat, D.N. 3’te 8,27 kat, D.N. 4’te ise 11,28 kat şeklinde olmuştur. Deneylerin itme çevrimlerinde, göçme yüküne kadar Boş B/A çerçevesi numuneye göre tüketilen enerji D.N.2’de 4.19 kat, D.N.3’de 2.65 kat, D.N.4’te ise 4.92 kat şeklinde olmuştur.
- Deneylerin çekme çevrimlerinde, maksimum yatay yüke kadar Boş B/A çerçevesi numuneye göre tüketilen enerji oranları D.N.2’de 3,35 kat, D.N. 3’te 2,69 kat, D.N.4’te ise 7.05 kat şeklinde olmuştur. Deneylerin çekme çevrimlerinde, göçme yüküne kadar Boş B/A çerçevesi numuneye göre tüketilen enerji oranları D.N.2’de 1,86 kat, D.N.3’te 1,77 kat, D.N.4’te ise 3.88 kat şeklinde olmuştur.

5.2. Öneriler

Deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin, çelik çapraz çubuklarla ve çelik çapraz çubukların uçlarına çelik damperler eklenerek güçlendirilmesi konusunda yapılan araştırma neticesinde geliştirilen öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Yapılan güçlendirme çalışmalarının, betonarme çerçeve sistemine önemli yatay yük taşıma kapasitesi artışı, yanal rijitlik artışı ve enerji tüketme kapasitesi artışı

sağladığı görülmüştür. Ancak çelik çapraz çubuklarla güçlendirilen numunede çelik çapraz çubuğun burkulduğu görülmüştür. Çelik çapraz çubuğun boyutları büyütülerek veya farklı türde damper çeşitleri geliştirilerek çelik çapraz çubukta oluşan burkulmanın önlenebileceği düşünülmektedir.

✓ Yapılacak olan yeni bir çalışma kapsamında; çelik çapraz çubuklarla ve çeşitli damperlerle güçlendirilmiş numunelerin davranışları analitik olarak incelenebilir. Böylelikle, numuneler için deneylerden elde edilen sonuçlar, analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir.

✓ Hazırlanan bu çalışmada, deney numunelerinin çerçevelerinde ortalama basınç dayanımı 17.10 MPa olan beton kullanılmıştır. Yapılacak olan yeni bir çalışmada, numunelerin çerçeve betonu olarak daha düşük basınç dayanımına sahip beton kullanılarak deneysel bir çalışma yapılabilir. Böylelikle, beton basınç dayanımı düşük olan mevcut betonarme yapılarda, çelik çapraz çubuklar ve damperlerle yapılan güçlendirme yönteminin uygulanabilirliği hakkında fikir sahibi olunabilir.

✓ Ülkemizde ve dünyadaki gerçek yapılarda uygulanan bu tür güçlendirme çalışmaları dikkate alınarak ve bu çalışmadaki çelik çapraz çubuğun özellikleri, damperlerin tür ve özellikleri, bağlantı noktalarının yeri vb. yerleri değiştirilerek yeni bir çalışma yapılabilir.

✓ Yapılara uygulanacak olan güçlendirme yönteminin seçiminde, güçlendirme işlemleri sırasında binanın kullanılmaması veya kapatılma süresi en önemli bir etkenlerden biridir. Bu tür güçlendirme çalışmalarının, yapıların dış cephelerindeki çerçevelere kolayca uygulanabilmesi bu tür olumsuzlukları en aza indirmesiyle birlikte maliyet açısından da önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

✓ Çelik çapraz çubuklarla güçlendirilmiş betonarme çerçeveler üzerinde bugüne kadar birçok deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu güçlendirme çalışmaları, betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini, yanal rijitliklerini ve enerji tüketme kapasitelerini artırdığını ortaya koymuştur. Yapılan bu çalışmada çelik çapraz çubuklar V şeklinde yerleştirilmiştir. Yapılacak olan yeni bir çalışma kapsamında da; tersinir-tekrarlanır yükler altında, çelik çapraz çubuklar X, ters V, K, ters K, >, < gibi şekillerde yerleştirilerek betonarme çerçeveli numuneler test edilebilir.

- ✓ Benzer konularda yapılacak olan deneysel çalışmalarda, gerçek yapı davranışını daha iyi yansıtabilecek daha büyük ölçekli numuneler ve 3 boyutlu numuneler kullanılabilir. Fakat bu durum, deneylerde kullanılan yükleme ve ölçüm düzeneğinin değişmesi ve gelişmesini zorunlu kılmaktadır.



6. KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2020].
- Altın, S., Anıl, Ö., Gökten, Y., 2004, Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması, *Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, 19(4), 415-422.
- Altun, A., 2018, Afetlerin ekonomik ve sosyal etkileri: Türkiye örneği üzerinden bir değerlendirme1. *Turkish Journal of Social Work*, 2(1), 1-15.
- Amiri, H. A., Najafabadi, E. P., Estekanchi, H. E., 2018, Experimental and analytical study of Block Slit Damper, *Journal of Constructional Steel Research*, 141, 167-178.
- Andrews, B. M., Fahnestock, L. A., Song, J., 2009, Ductility capacity models for buckling-restrained braces, *Journal of Constructional Steel Research*, 65(8-9), 1712-1720.
- Asgarian, B., Shokrgozar, H. R., Abitorabi, M., 2008, Effect of design loads in buckling restrained braced frames performance, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China, 12-17.
- Bahadır, F., Düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-45.
- Balık, F.S., Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-19.
- Beyli, E., Betonarme binalara uygulanan güçlendirme yöntemleri ve perde yüksekliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-19.
- Bikçe, M., 2017, 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar alan yapının güçlendirme önce ve sonrasının analitik incelenmesi, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 29(1), 341-347.
- Chou, C. C., Chung, P. T., Cheng, Y. T., 2016, Experimental evaluation of large-scale dual-core self-centering braces and sandwiched buckling-restrained braces, *Engineering Structures*, 116, 12-25.
- DBYBHY, 2007, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

- Demir, S., Testere tipi sismik enerji sönümleyicilerin tasarımı ve çevrimsel yük etkisindeki davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- DPT, 1999, Depremin ekonomik ve sosyal etkileri, muhtemel finansman ihtiyacı, kısa-orta ve uzun vadede alınabilecek tedbirler raporu, DPT Yayınları, Ankara, 13.
- Güneyisi, E. M., Altay, G., 2004, Seismic behavior of an r/c frame retrofitted by eccentric steel bracing, *Sixth International Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul, 6-8.
- Gültekin, A. ve Güneyisi, E.M., 2015, Yapısal çelik elemanlarla güçlendirilmiş sekiz katlı betonarme bir yapının doğrusal olmayan davranışı, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 1021-1064.
- Haydaroğlu, C. ve Çelik, O. C., 2015, Zayıflatılmış uç kesitleri karbon lifli polimer elemanlarla güçlendirilmiş çelik tüp çaprazların histeretik davranışı, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 21(6), 203-212.
- Hsu, H. L. ve Halim, H., 2018, Brace performance with steel curved dampers and amplified deformation mechanisms, *Engineering Structures*, 175, 628-644.
- İnce, G., Tekeli, H., İnce, H. H., Öcal, C., Mercan, K., Ulutaş, H., 2015, Betonarme çerçevelerin düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlarla güçlendirilmesi, *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, IBEEES-2015*, Burdur, 7-9.
- Javadi, P. Ve Yamakawa, T., 2013, Retrofitting of RC frames by steel braced frames utilizing a hybrid connection technique. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11(3), 89-107.
- Jia, L. J., Ge, H., Maruyama, R., Shinohara, K., 2017, Development of a novel high-performance all-steel fish-bone shaped buckling-restrained brace. *Engineering Structures*, 138, 105-119.
- Karataş, Ç. A. ve Çelik, O. C., 2019, Çelik çekirdekli burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) tasarımı, üretimi ve deneysel incelenmesi, *Teknik Dergi*, 8861(8886), 526.
- Korkmaz, K. A., 2007, Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8(2), 191-201.
- Köroğlu, M.A., 2012, Çelik çerçeve kolon kiriş birleşim bölgelerinde sismik sönümleyici kullanımı, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-22.
- Lee, C. H., Lho, S. H., Kim, D. H., Oh, J., Ju, Y. K., 2016, Hourglass-shaped strip damper subjected to monotonic and cyclic loadings, *Engineering Structures*, 119, 122-134.
- Motamedi, M. ve Nateghi-A, F., 2018, Study on mechanical characteristics of accordion metallic damper, *Journal of Constructional Steel Research*, 142, 68-77.

- Mualla, I. H. ve Belev, B., 2002, Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation, *Engineering Structures*, 24(3), 365-371.
- Nuzzo, I., Losanno, D., Caterino, N., Serino, G., Rotondo, L. M. B., 2018, Experimental and analytical characterization of steel shear links for seismic energy dissipation. *Engineering Structures*, 172, 405-418.
- Öğütçü, T.F., Sünek olmayan betonarme çerçevelerde yumuşak kat oluşumu üzerine deneysel bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-36.
- Oh, S. H., Kim, Y. J., Ryu, H. S., 2009, Seismic performance of steel structures with slit dampers, *Engineering structures*, 31(9), 1997-2008.
- Özçelik, R., Binici, B., Kurç, Ö., 2011, Yapısal çelik elemanlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin dinamik benzeri deney performansı, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ANKARA, 1-10.
- Özçelik, R., Dikiciaşık, Y., Civelek, K.B., 2015, Yeni nesil burkulması engellenmiş çelik çaprazların histeretik davranışları, *6. Çelik Yapılar Sempozyumu*, 329-339.
- Özdöner, N., Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile artırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-23.
- Özkan, H., Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik yapıların tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-63.
- Sahoo, D. R., ve Rai, D. C., 2010, Seismic strengthening of non-ductile reinforced concrete frames using aluminum shear links as energy-dissipation devices, *Engineering Structures*, 32(11), 3548-3557.
- Seker, O. ve Shen, J., 2017, Developing an all-steel buckling controlled brace, *Journal of Constructional Steel Research*, 131, 94-109.
- Sucuoğlu, H., 2007, 2007 Deprem Yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılıklı değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445, 24-36.
- Şahin, F., Sönümün sismik taban izolasyonu ve sönümleyicilerin kullanıldığı binaların deprem performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-18.
- TahamouliRoudsari, M., Entezari, A., Hadidi, M., Gandomian, O., 2017, Experimental assessment of retrofitted RC frames with different steel braces, *Structures*, 11, 206-217.
- 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.
- Tsai, C.S., Chen, W.S., Lin, Y.C., 2008, Full scale shaking table tests of a steel structure with multi-curved buckling restrained braces, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China, 1-7.
- Tsai, K. C., Lai, J. W., Hwang, Y. C., Lin, S. L., Weng, C. H., 2004, Research and application of double-core buckling restrained braces in Taiwan, *The 13th World Conference on Earthquake Engineering*, 2179.
- Tunca, O. ve Güneyisi, E.M., 2013, Burkulması önlenmiş çaprazların betonarme çerçeveli yapının deprem performansı üzerine etkisi, *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 1-8.
- Tunç, G. ve Tanfener, T., 2016, 2007 ve 2016 Türkiye bina deprem yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi, *3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 1-14.
- UDSEP, 2011, Ulusal deprem stratejisi ve eylem planı 2012-2023, *Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 4.
- Uluğ, A., 2009, Nasıl bir afet yönetimi. *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, İzmir, 8-10.
- Xie, Q., 2005, State of the art of buckling-restrained braces in Asia, *Journal of constructional steel research*, 61(6), 727-748.
- Yavuzarslan, T., 2007 deprem yönetmeliği' nin 1998 deprem yönetmeliği ile karşılaştırılması ve sayısal irdelemesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3.
- Yılmaz, E. E., Uzun, M., Çöğürçü, M. T., 2018, Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ve deprem performansının iyileştirilmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17(3), 100-111.
- Zhu, S. Ve Zhang, Y., 2007, Seismic behaviour of self-centring braced frame buildings with reusable hysteretic damping brace, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 36(10), 1329-1346.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan EMİR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : SEYHAN / 30.11.1988
Telefon : 0507 205 49 59
e-mail : femir@erbakan.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Turgut Özal Lisesi, Seyhan, ADANA	2005
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi, Sarıçam, ADANA	2011
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	Devam

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Proyap İnşaat	Proje Mühendisi
2014	Nuh Öztürk İnşaat	Şantiye Şefi
2015	Etik Gayrimenkul Değerleme	G.D. Uzmanı
2016	Emir Mühendislik	Firma Sahibi
2017	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI: İnşaat Mühendisliği

YABANCI DİLLER : İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Yazılımlar:

Autocad (İyi), Microsoft Office (İyi), Sta4Cad (İyi), İdeCad (Orta)

YAYINLAR

-