

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK DAYANIMLI BETONA SAHİP BETONARME KISA
KOLONLARIN KESME BASINÇ GÖÇMESİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet ŞEKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Haziran 2019

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Mehmet ŞEKER tarafından yapılan “Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kısa Kolonların Kesme Basınç Göçmesinin İncelenmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı

Adı Soyadı

Başkan: Doç. Dr. İdris BEDİRHANOĞLU

Üye : Prof. Dr. Halil GÖRGÜN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 25/07/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../07/2019

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu deneysel yüksek lisans tez çalışmasının hazırlık, uygulama ve gerçekleştirilme sürecinde değerli fikirleriyle her zaman yanımda olan, bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen ve aynı zamanda Tez Danışman hocam olan Doç. Dr. İdris BEDİRHANOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu çalışmada deneylerin gerçekleştirildiği laboratuvarlarda gerekli alet ve ekipman malzemelerinin temininde katkısı olan Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve malzemelerin tedarikinde verdiği destekten dolayı BAP Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Değerli katkıları, görüşleri ve deneysel çalışmanın yapılmasında emekleri olan başta İnşaat Mühendisleri Şehmus YILDIZ, Yunus EFE, Nihat NOYAN ve deney çalışmasına katılan lisans öğrencisi Muaz YALÇIN olmak üzere katkı veren herkese teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel çalışmanın gerçekleştirilme sürecinde her türlü yardımlarını benden esirgemeyen Dicle Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği ile Yapı Malzemesi Laboratuvarları görevli personellerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
EK LİSTELERİ	XIII
EK ÇİZELGE LİSTESİ	XIV
KISALTMA VE SİMGELER	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Kısa Kolon Oluşumu ve Nedenleri	4
1.2. Kısa Kolon Davranışı	8
1.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Göre Kısa Kolonlarda Kesme	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
3. MATERYAL VE METOT	27
3.1. Giriş	27
3.2. Numune Üretimi	27
3.3. Şekildeğiştirmeölçerlerin Donatı Yüzeyine Yapıştırılması	31
3.4. Malzeme Özellikleri ve Malzeme Deneyleri	33
3.4.1. Agrega Malzemesi	33
3.4.2. Çimento	34
3.4.4. Beton Üretimi	37
3.4.5. Standart Silindir Basınç Deneyleri	38
3.4.6. Standart Küp Numune Basınç Deneyleri	41

3.4.7.	Disk Yarma Deneyi	41
3.4.8.	Çekme Deneyleri	43
3.4.9.	Tamir Harcı	49
3.4.9.	Çelik Plaka	51
3.5.	Numune Özellikleri	51
3.5.1.	DS-R ve CCRS-R Numunelerinin Güçlendirilmesi	53
3.6.	Deney Düzeneği	58
3.6.1.	Yükleme Sistemi	58
3.6.2.	Ölçüm Sistemi	62
24.	BULGULAR VE TARTIŞMA	75
4.1.	DS-O numunesine ait temel sonuçlar	75
4.2.	CCRS-O numunesine ait temel sonuçlar	83
4.3.	DS-R numunesine ait temel sonuçlar	91
4.4.	CCRS-R numunesine ait temel sonuçlar	97
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	105
6.	KAYNAKLAR.....	107
EKLER		109
ÖZGEÇMİŞ.....		121

ÖZET

DÜŞÜK DAYANIMLI BETONA SAHİP BETONARME KISA KOLONLARIN KESME BASINÇ GÖÇMESİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ŞEKER

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2019

Deprem sırasında binanın hasar görmesinde etkin rol oynayan kusurların başında kısa kolon kesme dayanımı yetersizliği gelmektedir. Son yıllarda yaşadığımız depremlerden edindiğimiz tecrübelerimiz de göstermektedir ki deprem hasarlarına etriyelerin seyrek olması, kolon kesitlerinin küçük olması, beton dayanımlarının düşük olması, kolon serbest boylarının sonradan oluşturulan duvarlar nedeniyle düşürülmüş olması, kolonların kesme kapasitesi açısından epey yetersiz olmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında bu tür kolonların davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Bu amaç ile mevcut kolonlardaki zayıflıkları temsil edecek şekilde dört adet numune üretilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. İki adet numune TS 500 ve TBDY (2018)'e göre enine donatı bakımından yeterli olacak şekilde tasarlanmıştır. Kalan iki adet numune de yönetmeliğe ve standarda göre yetersiz enine donatı oranına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk önce enine donatısı yönetmeliğe göre yeterli olan ve enine donatısı yönetmeliğe göre yetersiz olan birer adet referans numune test edilerek mevcut davranış incelenmiştir. Ardından kalan diğer iki numune de kesme açıklığı bölgesinde çelik plaka ve tamir harcıyla güçlendirilmiştir. Böylece güçlendirilmiş numuneler yatay kesme kuvveti performansı açısından referans numunelerle karşılaştırılmıştır.

Numuneler düşeyde sabit eksenel yük ve yatayda da artan monotonik yüklemelere maruz bırakılmıştır. Bu deneyler sonucunda bu tür zayıflıklara sahip kısa kolonların davranışları ile ilgili önemli bilgiler elde edilmiştir. Kolonların davranışının adım adım izlenip hasar gelişiminin ne şekilde olduğunu takip edebilmek amacı ile yükleme statik ve monotonik artan bir şekilde uygulanmıştır. Sonuç olarak üretilen referans numunelerin beklendiği gibi kesme hasarı ile gevrek bir şekilde göçtüğü görülmüştür. Güçlendirilmiş numunelerde göçme içteki betonun ezilmesinden dolayı çelik plakaların kolon yüzeyinden ayrılması ile meydana görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Betonarme, düşük dayanımlı beton, kısa kolon, kesme basınç göçmesi, yetersiz etriye

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SHEAR COMPRESSION FAILURE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHORT COLUMNS WITH LOW STRENGTH CONCRETE

Master's THESIS

Mehmet ŞEKER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

Shear strength deficiency of captive columns is one of the most important deficiencies in the damage of the building during the earthquake. Our experience gained from the earthquakes that we have experienced in recent years shows that common deficiencies for these members are sufficient stirrups, insufficient cross-sections, low strength concrete, change in the support conditions of columns where all these deficiencies cause decrease in shear strength of columns. In this study, the behaviors of such columns were investigated experimentally.

For this purpose, four specimens were produced and tested to represent the weaknesses of the existing columns. Two equivalent specimens were designed to be sufficient in terms of transverse reinforcement according to TS 500 and TBDY (2018). The remaining two equivalent specimens are designed to have inadequate transverse reinforcement ratio according to regulations and standards. Within the scope of the study, firstly, two reference specimens where one of them is sufficient according to the transverse regulations and while the other was not, were tested and the existing behavior was examined. Then, the remaining two specimens were retrofitted with perforated steel plate and repair mortar in the shear span area. Thus, the retrofitted specimens were compared with the reference specimens in terms of shear strength and ductility.

The specimens were subjected to constant axial load in vertical and increased monotonic loads in the horizontal directions. As a result of these experiments, important information on the behavior of captive columns with such weaknesses was obtained. In order to follow the behavior of the columns step by step and also can be able to follow the progress of the damage, the loading was increased in a static and monotonic manner. As a result, it was observed that the specimens produced had a brittle failure with shear damage as expected. As a result of the work on, important data accumulation and information about behavior of such columns has been obtained. The failure of the reinforced specimens were caused by the debonding and failure of the steel plates due to the crushing of the internal concrete.

Key Words: Reinforced concrete, low strength concrete, captive column, inadequate stirrup.

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1. 1 m ³ Beton karışım oranları.....	38
Çizelge 3. 2. Standart silindir basınç deneyi sonuçları.....	41
Çizelge 3. 3. Standart küp basınç deneyi sonuçları	41
Çizelge 3. 4. Standart disk yarma deneyi sonuçları.....	43
Çizelge 3. 5. Boyuna donatılara ait gerilme şekil değiştirme değerleri.....	46
Çizelge 3. 6. Enine donatının akma ve çekme dayanımları.....	46
Çizelge 3. 7. Çelik plakaların akma ve çekme dayanımları	46
Çizelge 3. 8. Tijlere ait akma ve çekme dayanımları	47
Çizelge 3. 9. Tamir harcı küp numune basınç deneyi değerleri	50
Çizelge 3. 10. MasterEmaco S 488 Karışım Oranları	50
Çizelge 3. 11. MasterEmaco S 488 Yapısal Tamir Harcı Teknik Özellikleri	50
Çizelge 3. 12. Numunelerin genel özellikleri	53

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)	1
Şekil 1.2. 2011 Van depremi kısa kolon kesme hasarı	3
Şekil 1.3. Merdiven sahanlığından dolayı kat arasına yerleştirilen kirişlerden dolayı meydana gelen kısa kolon oluşum durumu	5
Şekil 1.4. Bina bodrum katında bant pencere nedeniyle kısa kolon oluşum durumu	5
Şekil 1.5. Endüstriyel sanayi yapısında aydınlatma amacıyla bırakılan pencerelerden nedeniyle kısa kolon oluşum durumu	6
Şekil 1.6. Asma kat nedeniyle kısa kolon oluşum durumu	7
Şekil 1.7. Eğimli araziden dolayı kot farklılığından oluşan kısa kolon durumu	7
Şekil 1.8. Kısa kolona etki eden moment ve kesme kuvvetlerinin oluşumu	8
Şekil 1.9. Betonarme bir çerçeve sisteminde kısmi dolgu duvar nedeniyle kısa kolon etkisinin meydana gelmesi	9
Şekil 1.11. TBDY’ e göre kısa kolonlarda enine donatı düzenlenmesi (AFAD 2018)	11
Şekil 3.1. Numune genel görünümü	28
Şekil 3.2. Donatı iskeleti (Bütün ölçüler mm cinsindendir.)	28
Şekil 3.3. DS-O ve DS-R numunelerinin boyuna ve enine donatı detayları (Bütün ölçüler mm cinsinden yazılmıştır.)	29
Şekil 3.4. CCRS-O ve CCRS-R numunelerinin boyuna ve enine donatı detayları (Bütün ölçüler mm cinsindendir.)	30
Şekil 3.5. Şekildeğiştirmeölçer donatı yüzeyine yapıştırılması	32
Şekil 3.6. Şekildeğiştirmeölçerin bantlanarak dış etkenlerden korunması	32
Şekil 3.7. Şekildeğiştirmeölçerlerin isimlendirilmesi	33
Şekil 3.8. Agreg a malzemesinin yıkanması ve hava ortamında kurutulmaya bırakılması	34
Şekil 3.9. Beton karışımında kullanılan kum malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması	35

Şekil 3. 10.	Beton karışımında kullanılan çakıl malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması	36
Şekil 3. 11.	Beton karışımında kullanılan kırma kum malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması	36
Şekil 3. 12.	Beton karışımında kullanılan agrega karışım malzemesinin gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması	37
Şekil 3. 13.	Standart silindir basınç deneyine ait düzenek	39
Şekil 3. 14.	Standart silindir basınç deneyine ait düzenek	39
Şekil 3. 15.	Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (DS-O ve DS-R numuneleri)	40
Şekil 3. 16.	Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (CCRS-O ve CCRS-R numuneleri)	40
Şekil 3. 17.	Disk yarma deneyi için düzenek	42
Şekil 3. 18.	Çelik levha çekme deneyi	44
Şekil 3. 19.	Çelik levha ankrajlanmasında kullanılan tij çekme deneyi.....	44
Şekil 3. 20.	Enine donatı çekme deneyi	44
Şekil 3. 21.	Boyuna donatı çekme deneyi	45
Şekil 3. 22.	Boyuna donatı çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi	47
Şekil 3. 23.	Enine donatı çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi ...	48
Şekil 3. 24.	Çelik levha çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi	48
Şekil 3. 25.	Tij çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi.....	49
Şekil 3. 26.	Güçlendirme uygulamasında kullanılan çelik plaka boyutları ve çekme numune örneği	51
Şekil 3. 27.	Ankraj deliklerinin açılması.....	54
Şekil 3. 28.	Epoksi karışımının hazırlanması.....	54
Şekil 3. 29.	Ankraj deliklerine 8 mm'lik tijlerin epoksi ile sabitlenmesi.....	55
Şekil 3. 30.	Güçlendirme çelik plakaların tijlere sabitlenmesi.....	55
Şekil 3. 31.	Kesme açıklığı bölgesinde güçlendirme uygulamasını gerçekleştirmek amacıyla yapısal tamir harcı için kalıp hazırlanması	56

Şekil 3. 32.	Yapısal tamir harcının kalıplara dökülmesi	57
Şekil 3. 33.	Standart küp deney numuneleri için yapısal tamir harcından küp numune ...	57
Şekil 3. 34.	Deney düzeneğinin perspektif görünümü	60
Şekil 3. 35.	Deney düzeneğinin mesnet bölgesi.....	60
Şekil 3. 36.	Eksenel yük sistemi	60
Şekil 3. 37.	Deney düzeneği sisteminin önden görünümü	61
Şekil 3. 38.	Deney düzeneği sistemine ait elamanlar	61
Şekil 3. 39.	Numune genel görünümü.....	62
Şekil 3. 40.	Ölçüm sistemi	64
Şekil 3. 41.	Donatı yüzeyine şekil değiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi.....	64
Şekil 3. 42.	Donatı yüzeyinde şekil değiştirme ölçerlerin koruyucu bant ile sargılanması	65
Şekil 3. 43.	Donatı yüzeyine şekil değiştirme ölçerlerin isimlendirilmesi.....	65
Şekil 3. 44.	DS-O numunesi ön yüz ölçüm sistemi.....	66
Şekil 3. 45.	DS-O numunesi arka yüz ölçüm sistemi.....	66
Şekil 3. 46.	CCRS-O numunesi ön yüz ölçüm sistemi	67
Şekil 3. 47.	CCRS-O numunesi arka yüz ölçüm sistemi.....	67
Şekil 3. 48.	DS-R numunesi ön yüz ölçüm sistemi.....	68
Şekil 3. 49.	DS-R numunesi arka yüz ölçüm sistemi	68
Şekil 3. 50.	CCRS-R numunesi ön yüz ölçüm sistemi.....	69
Şekil 3. 51.	CCRS-R numunesi arka yüz ölçüm sistemi.....	69
Şekil 3. 52.	DS-R ön yüz çelik plaka güçlendirme detayı	70
Şekil 3. 53.	DS-R arka yüz çelik plaka güçlendirme detayı.....	70
Şekil 3. 54.	DS-R üst yüz çelik plaka güçlendirme detayı.....	71
Şekil 3. 55.	DS-R alt yüz çelik plaka güçlendirme detayı	71
Şekil 3. 56.	CCRS-R ön yüz çelik plaka güçlendirme detayı	72
Şekil 3. 57.	CCRS-R arka yüz çelik plaka güçlendirme detayı	72
Şekil 3. 58.	CCRS-R üst yüz çelik plaka güçlendirme detayı.....	73

Şekil 3. 59.	CCRS-R alt yüz çelik plaka güçlendirme detayı	73
Şekil 3. 60.	Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi (Ön yüzden görünüm)	74
Şekil 3. 61.	Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi (Arka yüzden görünüm)	74
Şekil 4. 1.	DS-O numunesinde oluşan ilk eğik çatlak.....	75
Şekil 4. 2.	DS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi	76
Şekil 4. 3.	DS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	76
Şekil 4. 4.	Yatay yük- yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon	77
Şekil 4. 5.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon	77
Şekil 4. 6.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon	78
Şekil 4. 7.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon 4. kanal.....	78
Şekil 4. 8.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 5. kanal eğrilik).....	79
Şekil 4. 9.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 6. kanal eğrilik).....	79
Şekil 4. 10.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 7. kanal	80
Şekil 4. 11.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 8. kanal	80
Şekil 4. 12.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)	81
Şekil 4. 13.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)	81
Şekil 4. 14.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)	82
Şekil 4. 15.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)	82
Şekil 4. 16.	CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğilme çatlağı.....	83
Şekil 4. 17.	CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğik kesme çatlağı	83
Şekil 4. 18.	CCRS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi.....	84
Şekil 4. 19.	CCRS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	84
Şekil 4. 20.	DS-O ve CCRS-O numunelerinin yatay-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.....	85

Şekil 4. 21.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 1. Kanal...	86
Şekil 4. 22.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 2. kanal ...	86
Şekil 4. 23.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 3. kanal	87
Şekil 4. 24.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 4. kanal	87
Şekil 4. 25.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 5. kanal	88
Şekil 4. 26.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 6. kanal	88
Şekil 4. 27.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 7. kanal	89
Şekil 4. 28.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 8. kayma . deformasyonu)	89
Şekil 4. 29.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)	90
Şekil 4. 30.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)	90
Şekil 4. 31.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)	91
Şekil 4. 32.	DS-R numunesinde oluşan ilk eğik çatlakları.....	91
Şekil 4. 33.	DS-R numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi	92
Şekil 4. 34.	DR-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	92
Şekil 4. 35.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 1. kanal.....	93
Şekil 4. 36.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 2. kanal.....	94
Şekil 4. 37.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi alt kolon 3. kanal	94
Şekil 4. 38.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 5. kanal.....	95
Şekil 4. 39.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R) numunesi üst kolon 6. kanal	95
Şekil 4. 40.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi alt kolon 7. kanal	96
Şekil 4. 41.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi)	96
Şekil 4. 42.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi)	97
Şekil 4. 43.	CCRS-R numunesinde oluşan ilk eğilme çatlakları.....	97
Şekil 4. 44.	CCRS-R numunesinde oluşan ilk eğik kesme çatlağı.....	98

Şekil 4. 45.	CCRS-R numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi	98
Şekil 4. 46.	CCRS-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	99
Şekil 4. 47.	DS-R ve CCRS-R numunelerinin yatay-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.....	99
Şekil 4. 48.	Deney numunelerinin yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	100
Şekil 4. 49.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 1. kanal...	101
Şekil 4. 50.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 2. kanal....	101
Şekil 4. 51.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi alt kolon 3. Kanal....	102
Şekil 4. 52.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 5. kanal....	102
Şekil 4. 53.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 6. kanal....	103
Şekil 4. 54.	Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi alt kolon 7. kanal	103
Şekil 4. 55.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi)	104
Şekil 4. 56.	Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi)	104

EK LİSTESİ

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	Sayfa
EK 1. Deney Numunelerinin Kesme Kapasitelerinin Hesaplanması.....	109
EK 2. Elek analizleri tabloları.....	113
EK 3. Numunelerde oluşan kesme çatlakları ve göçme şekilleri.....	115



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

EK 2. 1.	Agrega karışım oranlarının referans değerlerle karşılaştırılması.....	113
EK 2. 2.	Kum karışımı elek analizi tablosu	113
EK 2. 3.	Kırma kum karışımı elek analizi tablosu.....	114
EK 2. 4.	Çakıl karışımı elek analizi tablosu	114



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
EK 3. 1. DS-O numunesi ön yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları.....	115
EK 3. 2. DS-O numunesi alt kolon arka yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları...	115
EK 3. 3. DS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli	116
EK 3. 4. DS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli	116
EK 3. 5. CCRS-O numunesi ön yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları.....	117
EK 3. 6. CCRS-O numunesi arka yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları.....	117
EK 3. 7. CCRS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme .	118
EK 3. 8. CCRS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme .	118
EK 3. 9. DS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Ön yüzden görünüm).....	119
EK 3. 10. DS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Arka yüzden görünüm).....	119
EK 3. 11. CCRS-R numunesi ön yüzde oluşan eğilme çatlakları.....	120
EK 3. 12. CCRS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Ön yüz).....	120

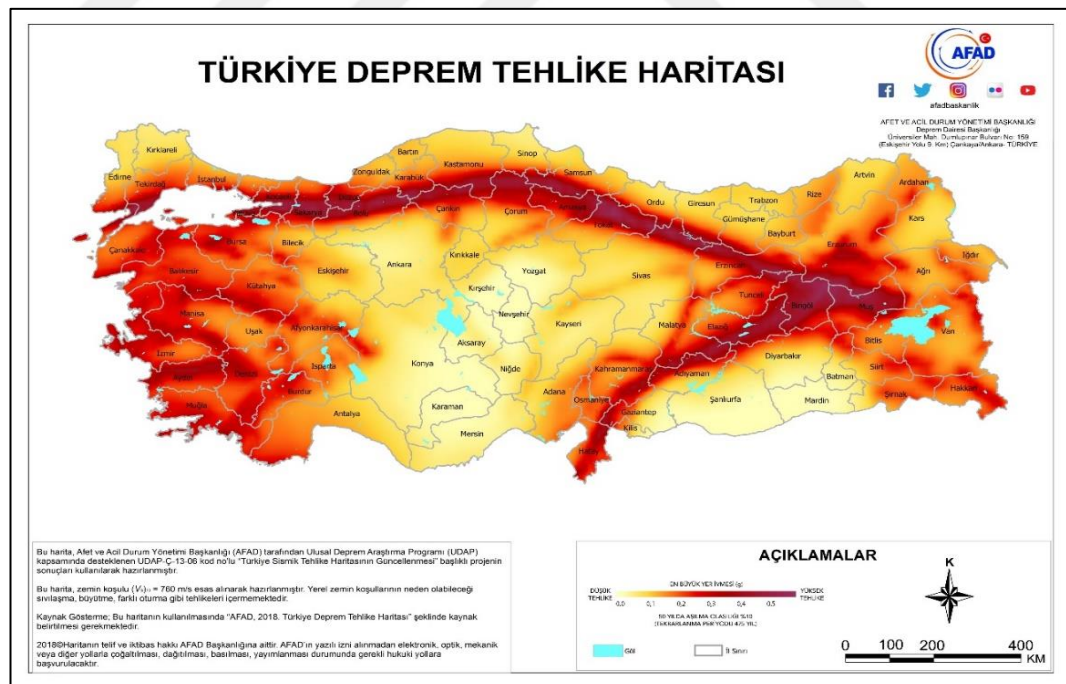
KISALTMA VE SİMGELER

A_s	: Çekme donatısı kesit alanı
A'_s	: Basınç donatısı kesit alanı
a	: kesme açıklığı
A_w	: Kolon enkesit gövde alanı
b	: Kesit genişliği
b_w	: Kolon gövde genişliği
b_c	: Enine donatı genişliğini
c	: Tarafsız eksen derinliği
d	: Faydalı yükseklik
d'	: Paspayı
E	: Elastisite modülü
E_s	: Donatı elastisite modülü
F_c	: Beton basınç kuvveti
F_c	: Donatı çekme kuvveti
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yk}	: Donatı karakteristik akma gerilmesi
f_{yd}	: Donatı tasarım akma gerilmesi
f_{ywk}	: Etriye donatısının karakteristik akma gerilmesi
f_{ywd}	: Etriye donatısının tasarım akma gerilmesi
N	: Eksenel kuvvet
N_d	: Tasarım eksenel kuvveti
n	: Eksenel yük oranı
V_c	: Kesme kuvvetine betonun katkısı
V_{cd}	: Tasarım kesme kuvveti

V_{cr}	: Eğik çatlamayı oluşturan kesme kuvveti
V	: Kesme kuvveti
V_r	: Kesme kuvveti taşıma gücü
V_w	: Kesme kuvvetine etriyenin katkısı
V_e	: Enine donatı kesme kuvveti
V_{max}	: Kolonun taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti
$M_{\bar{u}}$	: Kısa kolon üst uç kapasite momenti
M_a	: Kısa kolon alt uç kapasite momenti
h	: Kolon kesit yüksekliği
h_k	: Kısa kolon yüksekliği
h_c	: Enine donatı yüksekliği
P	: Deneyde ölçülen en büyük yük
ε	: birim boy değişimi
ε_c	: Betonun birim şekildeğiştirmesi
ε_s	: Donatı şekildeğiştirmesi
$\emptyset$	: Boyuna donatı çapı
$\emptyset_e$	: Enine donatı çapı
ρ	: Boyuna donatı oranı
ρ_{sh}	: Hacimsel enine donatı oranı
σ_s	: Basınç donasında gerilmesi
σ'_s	: Çekme donasında gerilmesi

1. GİRİŞ

Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile birlikte yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre ülkemizin İç Anadolu Bölgesinde Konya ve Karaman civarı ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şanlıurfa ve Mardin civarı hariç geriye kalan bölgelerin büyük bir kısmı önemli derecede deprem riskiyle karşı karşıyadır. Yakın geçmişte hem Türkiye'de hem de dünya genelinde sık sık meydana gelen büyük depremler; bizlere bu olası tehlikeye karşı hazırlıklı olmamızın gerekliliğini göstermektedir. Tekirdağ-Mürefte (1912), Türkiye-İran sınırı (1930), Erzincan (1939), Samsun-Ladik (1943), Çanakkale-Yenice (1953), Bolu-Abant (1957), Bolu-Gerede-Çerkeş(1957), Muğla-Fethiye (1957), Kütahya-Gediz (1970), Van-Muradiye(1976), Erzincan (1992), Dinar (1995), Adana-Ceyhan (1998), Kocaeli-İzmit (1999), Bolu-Düzce (1999), Bingöl (2003), Elazığ (2010), Van-Tabanlı (2011), Van-Edremit (2011) depremleri yol açtıkları can ve mal kaybı bakımından ülkemizde meydana gelen en büyük ve en şiddetli depremlere birer örnektir.



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)

Hemen hemen her deprem sonrasında ülke gündemi; genellikle yapılarda kullanılan malzeme niteliklerinin yetersizliği, tasarım ve uygulamalarda yapılan hatalar ile yürürlükte olan yönetmelik ve standartlarının yeterliliği ile ilgili tartışmalara sahne olmaktadır. Meydana gelen depremlerde hasar gören yapılar ve oluşan can ve mal kaybı; daha önceki yönetmeliklere göre yapılan mevcut binaların olası bir deprem tehlikesine karşı yeterli koşulları ve dayanımı sağlayamadığının bir göstergesi olarak görülebilir. Bu durumu sadece yönetmelik kurallarının yetersizliğine bağlamak da yanlış bir değerlendirme olur. Zarar gören yapısal hasarların asıl sebeplerinden biri de mevcut kuralların uygulanmaması ve yapıların hem projelendirilmesinde hem de inşa edilme sürecinde yeterli mühendislik hizmeti almamasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde orta büyüklükteki bir depremde dahi mevcut yapıların ağır hasar aldığı veya tamamen göçtüğüne çoğunlukla tanıklık etmişizdir. Deprem sırasında yıkılan yapıların yanında birçok yapıda hem yapısal hem de yapısal olmayan hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarlar dikkate alındığında depreme dayanıklı yapı yapmak kadar mevcut yapıların güçlendirilmesi de büyük önem arz etmektedir. Betonarme yapılarda ihtiyaç duyulan güçlendirme; yapının yönetmeliklere aykırı yapılmış olmasının yanında kullanım amacında sonradan yapılan değişiklikler de yapılarda güçlendirme ihtiyacını doğurabilmektedir. Bu yapılar için uygun güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi için mevcut yapı elemanların davranışlarının anlaşılması gerekmektedir.

Son depremlerde hasar gören yapılar üzerinde yapılan incelemeler göstermiştir ki yapıların göçmesine neden olan sebeplerin başında kısa kolonlar gelmektedir. Kısa kolonlar; uygulamada Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi kolon kenarlarına örülen kısmi duvarlar, havalandırma ve ışıklandırma için kısmi gömülü bodrumlarda bırakılan bant pencereler, temeli eğimli arazi üzerine oturtulan binalarda oluşan kot farklılığı, yüksek girişler, merdiven sahanlıkları ve yapıda iki kat arasında oluşturulan asma katlar nedeniyle kolon boyunun azalması ile oluşmaktadır. Kısa kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin artırılması durumunda bu kolonlarda sünek bir davranış olan eğilme kesme göçmesi davranışı söz konusu olabilecektir. Bu şekilde binanın bütün taşıyıcı sisteminin deprem dayanımı önemli miktarda arttırılmış olacaktır.



Şekil 1. 2. 2011 Van depremi kısa kolon kesme hasarı
(Doç. Dr. İdris Bedirhanoğlu'nun arşivinden alınmıştır.)

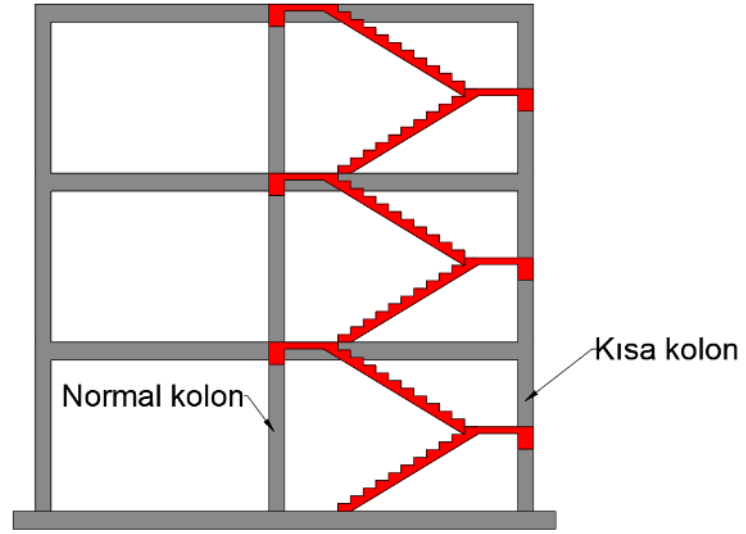
Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmaların literatürdeki çalışmalardan farkı denenen numunelerde beton dayanımının düşük olması ve enine donatı bakımından numunelerin yetersiz olmasıdır. Kesme göçmesi; çekmede kesme ve basınçta kesme olmak üzere temel olarak iki şekilde oluşmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar çekmede kesme göçmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Hâlbuki özellikle gelişmekte olan ülkelerde yapıların beton dayanımları düşük olduğundan ve eksenel yük oranları yüksek olmasından dolayı asal basınç gerilmelerinin beton basınç dayanımını aşarak basınçta kesme göçmesi mümkün olabilmektedir.

Bu durumun başlıca ana sebepleri kullanılan betonun düşük dayanımlı olması, kolon kesitlerinin küçük olması, kolon serbest boylarının sonradan oluşturulan duvarlar ile düşürülmesiyle; kolonların kesme basınç kapasitesi açısından çok yetersiz olmasına sebep olmaktadır.

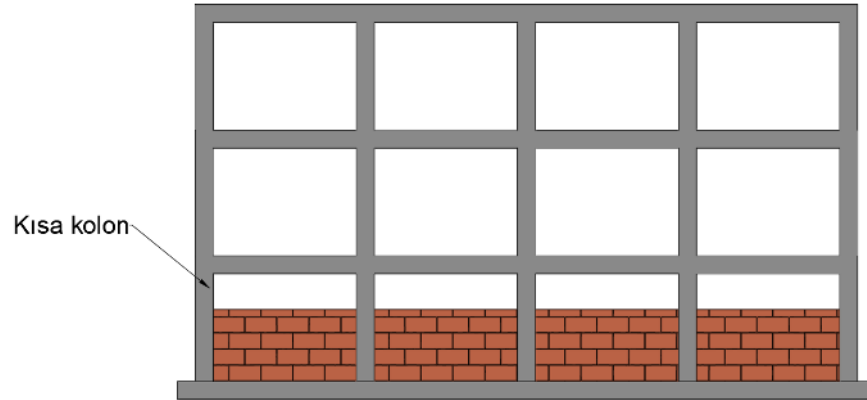
1.1. Kısa Kolon Oluşumu ve Nedenleri

Ülkemiz sismik aktivitelerin yoğun olduğu bir deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bundan dolayı zaman zaman meydana gelen depremlerde betonarme yapılarda çoğu zaman ağır hasarlar meydana gelebilmektedir. Meydana gelen depremlerde yapının taşıyıcı sistemlerinde oluşan ağır hasarların sebeplerinden biri de yapıda ‘kısa kolon veya boyu kısalmış kolon etkisi’ şeklinde tabir edebileceğimiz oluşumdur. TBDY (2018) yönetmeliğinde ‘Kısa kolonlar’ diye tabir edilen oluşumun, taşıyıcı sistem nedeniyle veya dolgu duvarlar arasında bırakılan boşluklar nedeniyle oluşabileceği belirtilmiştir.

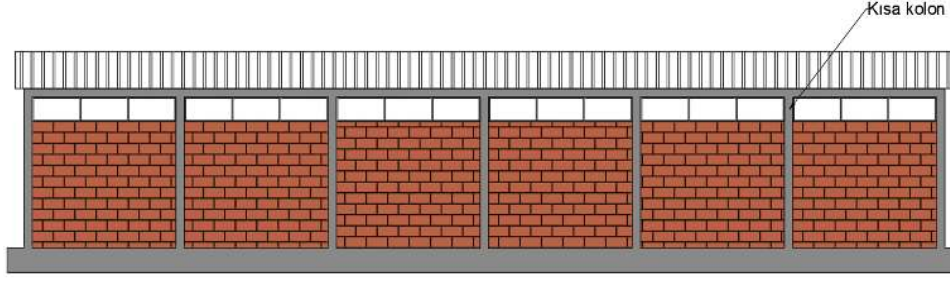
Çeşitli sebeplerden dolayı herhangi bir yapının tasarım veya uygulama aşamasında yapının davranışını deprem etkilerine karşı olumsuz etkileyen kısa kolonlar oluşturulmaktadır. Yapının tasarım aşamasında yönetmeliklere uygun olarak projelendirilen kısa kolonlar; yatay deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı sağlayabilme kapasitesini gösterebilirler. Ancak tasarım aşamasında dikkate alınmayan, uygulama esnasında oluşturulan kısa kolon uygulamaları; yapı güvenliğini ciddi bir şekilde olumsuz etkilemektedir. Şekil 1.3.’te olduğu gibi merdiven sahanlıkları da bağlandıkları kolonların etkili boyunu kısaltmakta ve kısa kolon davranışının oluşmasına neden olmaktadır. Betonarme çerçeveli taşıyıcı sistem elemanları arasında kat yüksekliği boyunca örülen duvarlar, yapıdaki kolonların etkili boyunu kısaltmakta ve bu elemanların yatay deprem kuvvetlerine karşı normalde olduğundan daha fazla kat kesme kuvvetine maruz kalmasına sebep olmaktadır (Şekil 1.4.). Mevcut binaların büyük çoğunluğunda özellikle yetersiz kayma donatısı, bodrum ve zemin katlarda örülen yarım duvarlar, dolgu duvarlar arasında bırakılan boşluklar, pencere üstü hatıllar, endüstriyel sanayi türü yapıların dış çerçeve dolgu duvarlarında aydınlatma ve havalandırma amacıyla bırakılan bant pencereler, kapı boşlukları da kısa kolon oluşumunun ortaya çıkmasına neden olurlar (Şekil 1.5.). Bu durumda rijitliği artan kolonlar kısa kolon davranışı gösterirler ve yapıda gevrek bir göçme şekli olan kesme kırılması meydana gelir. Eğimli arazilerde temellerin farklı seviyelerde yapılması, yapıda asma kat bulunması, kat kirişlerinin süreksiz olması, merdiven sahanlıkları durumunda da yine yapıda kısa kolon oluşumuna neden olur.



Şekil 1. 3. Merdiven sahanlığından dolayı kat arasına yerleştirilen kirişlerden dolayı meydana gelen kısa kolon oluşum durumu

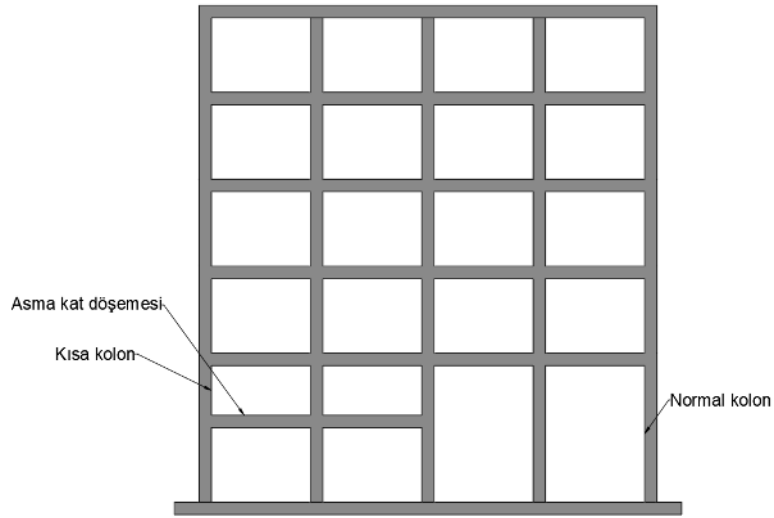


Şekil 1. 4. Bina bodrum katında bant pencere nedeniyle kısa kolon oluşum durumu

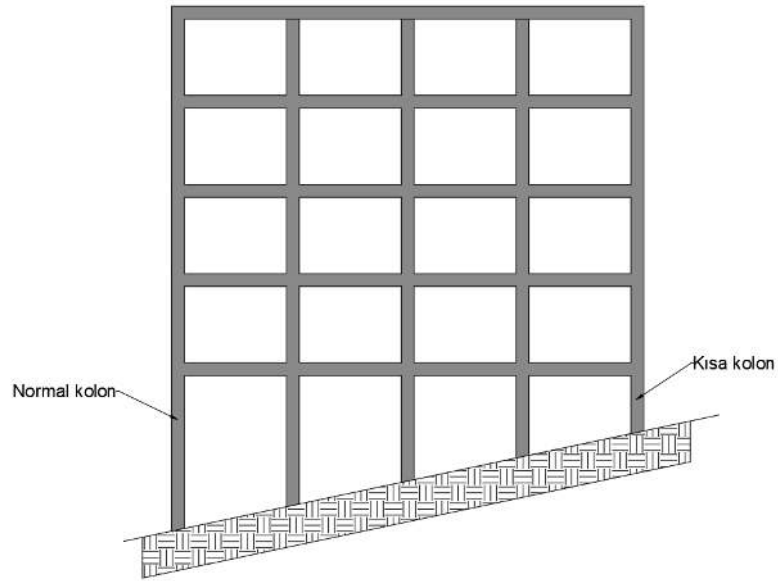


Şekil 1. 5. Endüstriyel sanayi yapısında aydınlatma amacıyla bırakılan pencerelerden nedeniyle kısa kolon oluşum durumu

Betonarme bina yapılarında çoğunlukla işin daha çok ekonomik tarafı göz önünde bulundurulduğundan bina yapılarının zemin katlarında yer alan işyerlerinde Şekil 1.6.'da görüldüğü gibi asma kat imalatları gerçekleştirilmektedir. Daha fazla kullanım alanı elde etmeye yönelik bu tür uygulamalar da yapıda kısa kolon etkisinin oluşmasına neden olurlar. Yine bu tür bir uygulama da kolonların serbest boyunu kısıtlamakta ve rijitliğin artmasından dolayı elemanlarda kısa kolon davranışı hâkim olmaktadır. Topoğrafik koşullar nedeniyle temeli eğimli araziler üzerine oturtulan bina yapılarında; yapının en alt katlarında birbirinden farklı uzunlukta olan kolon tasarımları gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 1.7.). Kolon boyları birbirlerinden farklı uzunlukta olduğu için olası bir deprem esnasında yatay deprem kuvvetleri kolonlara yatay ötelenme rijitlikleriyle orantılı dağıtıldığından; etkili boyu az olan kolonların rijitlikleri artar ve diğer kolonlara göre daha fazla yatay deprem kuvveti karşılamak durumunda kalırlar. Bu durum yapıda kısa kolon davranışının oluşmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 1. 6. Asma kat nedeniyle kısa kolon oluşum durumu



Şekil 1. 7. Eğimli araziden dolayı kot farklılığından oluşan kısa kolon durumu

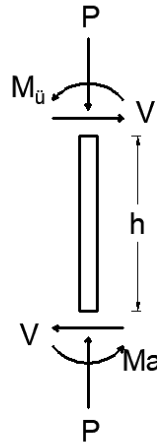
Viyadüklerde arazinin engebeli olması nedeniyle kolon ayaklarının oturtulduğu temel seviyeleri genelde farklı olabilmektedir. Bu şekilde viyadüklerde kolon ayak temellerinin farklı seviyelerde yapılması, kolon boylarının birbirlerinden farklı uzunlukta olmalarına neden olmaktadır. Oluşan kısa kolon etkisi nedeniyle olası bir deprem durumunda; yatay deprem kuvvetleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtıldığından dolayı rijitliği artan kolonlar daha fazla yatay deprem kuvvetine maruz

kalır. Bu nedenle yapının dinamik davranışı değişebilmekte ve yapının taşıyıcı elemanları ağır hasara uğrayabilmekte veya göçme ile sonuçlanabilmektedir.

1.2. Kısa Kolon Davranışı

Bina yapılarında projelendirme aşamasında veya sonradan oluşturulan kısa kolonlar yüksek rijitliğe ve düşük süneklığe sahip olan yapı elemanlarıdır. Yüksek rijitliğe sahip olmalarından dolayı deprem esnasında büyük yatay kuvvetlere karşın küçük deplasmanlara maruz kalırlar. Bu durum kolonların kesme kırılmasıyla güç kaybederek göçmelerine neden olmaktadır. Deprem nedeniyle yapıda oluşan kat kesme kuvvetleri kolonlara yatay ötelenme rijitlikleri ile dağılır. Artan yatay kuvvetle birlikte kolonda kesme kuvveti artarken, kolonun etkili boyunun azalmasıyla beraber eğilme momenti de düşük bir değerde kalır. Kolonun etkili boyu ne kadar kısa ise deprem nedeniyle kolon rijitliği de kolonun etkili boyu ile ters orantılı olarak artar.

Kolon etkili boyunun kısalmasıyla beraber kolonda oluşacak kesme kuvveti de kısa kolonun serbest boyu ile ters orantılı olarak artmaktadır. Başka bir ifadeyle kolon etkili boyu ne kadar azalırsa, kolona etki eden kat kesme kuvveti de buna bağlı olarak artmaktadır. Kısa kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti,

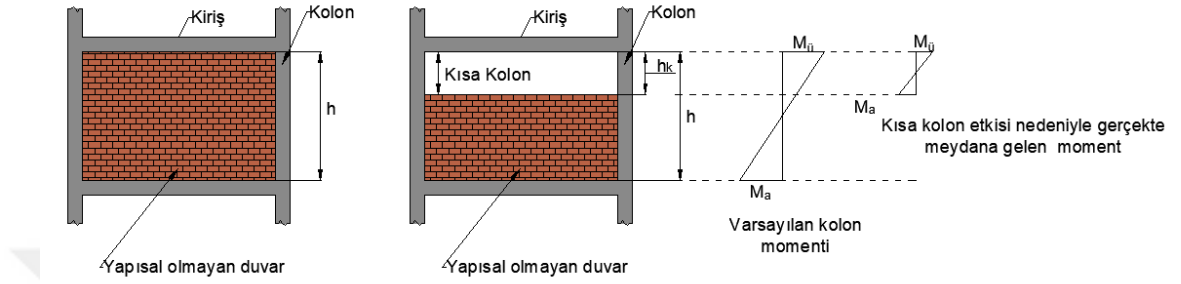


Şekil 1. 8. Kısa kolona etki eden moment ve kesme kuvvetlerinin oluşumu

$$V = \frac{M_a + M_u}{h_k} \quad (1.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada V kısa kolona etki eden yatay kesme kuvvetini ve M_a ve M_u sırasıyla kolonun alt ve üst uçlarına etki eden eğilme momentlerini, P eksenel yükü ve h_k ise kısa kolonun serbest boyunu ifade etmektedir.

Yukarıda yer alan (1.1.) nolu eşitlikten anlaşılacağı üzere kısa kolona etki eden yatay kesme kuvveti kısa kolunun serbest yüksekliği olan h_k ile ters orantılıdır. Buradan anlaşılacağı üzere kısa kolonun serbest yüksekliği ne kadar azalırsa kolona etki eden yatay kesme kuvveti de o derecede artacaktır.



Şekil 1. 9. Betonarme bir çerçeve sisteminde kısmi dolgu duvar nedeniyle kısa kolon etkisinin meydana gelmesi

Betonarme bir çerçeve sisteminde kolona etki eden yatay kesme kuvvetinin V , kolonun alt ve üst uçlarına etki eden eğilme momentlerinin sırasıyla M_a ve M_u , kolon yüksekliğinin h olduğu varsayılırsa Şekil 1.9.'deki gibi görüldüğü üzere betonarme çerçeve sisteminde dolgu duvar olması durumunda kolona etki eden yatay kesme kuvveti,

$$V = \frac{M_u + M_a}{h} = \left(\frac{\sum M_1}{h} \right) \quad (1.2.)$$

eşitliği hesaplanmaktadır.

Betonarme çerçeve sisteminde yapısal olmayan dolgu duvarlar kat yüksekliği boyunca örülmediği halde kolon etkili boyu h yerine h_k olur. Bu durumda ise kolona etki eden yatay kat kesme kuvveti,

$$V' = \frac{M_u + M_a}{h_k} = \left(\frac{\sum M_2}{h_k} \right) \quad (1.3.)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Yukarıda yer alan (1.2.) ve (1.3.) numaralı denklemlerde bulunan $h > h_k$ olduğundan dolayı kolona etki eden kesme kuvvetleri arasındaki ilişki $V' > V$ olarak

bulunur. Bu ifadelerden anlaşılacağı üzere kolona etki eden yatay kat kesme kuvveti kolonun etkili boyu azaldıkça artmaktadır.

Kesme kırılmasıyla beraber gelen güç tükenmesi kolonlarda geniş çatlaklar oluşturarak yapının ağır hasara uğramasına neden olmaktadır. Bu nedenle aniden meydana gelen güç tükenmesinin önüne geçebilmek amacıyla projelendirme veya uygulama esnasında kısa kolon oluşumuna sebebiyet verecek düzenlemelerden uzak durulmalı ve kolonun serbest şekil değiştirmesinin sağlanması gerekmektedir. “Kısa kolon oluşumunun engellenmediği durumda, donatının pekleşmesi göz önünde tutularak artırılan uç kesit eğilme moment kapasiteleri ile hesaplanan kesme kuvveti esas alınarak tasarımın yapılmasıdır. Böylece, sünek olmayan kesme kuvveti güç tükenmesine sünek olan eğilme momenti güç tükenmesinden önce erişilmemesi sağlanmış olur. (Celep 2015).”

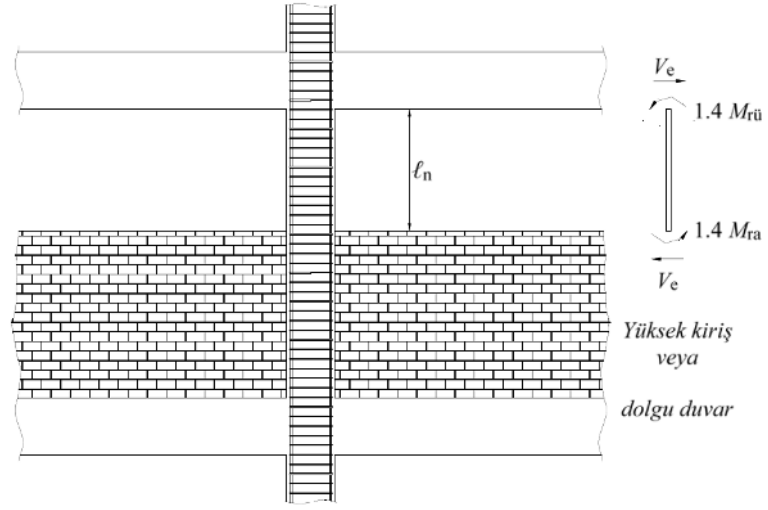
1.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Göre Kısa Kolonlarda Kesme

Deprem yönetmeliğine göre kısa kolon oluşunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti (V_e) için,

$$V_e = \frac{M_a + M_{\bar{u}}}{l_n} \rightarrow V_e = \frac{1.4M_{ra} + 1.4M_{r\bar{u}}}{l_n} \leq \begin{cases} V_r \\ 0,85A_w\sqrt{f_{ck}} \end{cases} \quad (1.4.)$$

bağıntısı ile hesaplanması gerektiği ifade edilmiştir.

Burada M_a ve $M_{\bar{u}}$ kısa kolonun alt ve üst uçlarında kesit taşıma gücü momentlerinin 1,4 ile çarpılması ile elde edilen kapasite momentlerini ($M_a \cong 1,4M_{ra}$ ve $M_{ra} \cong 1,4M_{r\bar{u}}$), l_n kısa kolonun serbest boyunu, V_r kolon kesitinin kesme dayanımını, A_w kolon enkesiti etkin gövde alanını, f_{ck} ise betonun karakteristik dayanımını göstermektedir.



Şekil 1. 10. TBKY'e göre kısa kolonlarda enine donatı düzenlenmesi (AFAD 2018)

Şekil 1.10.'da görüldüğü üzere Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde kısa kolon boyunca kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşullarının uygulanması, dolgu ve dolgu duvarları arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda enine donatıların tüm kat yüksekliğince devam ettirilmesi gerektiği belirtilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüze kadar kolonların kesme davranışı üzerine yapılan çalışmalar yapının diğer bir taşıyıcı sistemi olan kirişlere oranla az sayıdadır. Kolonların kesme ile ilgili literatür incelemesini Bedirhanoğlu (2009)'da yaptığı çalışmada detaylı bir şekilde ele almıştır. Söz konusu çalışmada kesme açısından kritik kolonlar üzerine Wight ve Sözen (1973), Fukuhara ve Kokusho (1982), Umahara ve ark. (1982), Zhou ve ark. (1987), Lynn (1999), Koichi ve An (2000), Hyung ve Elnashai, (2000), Moretti ve Tassios, (2006), Mostafaei ve Kabeyasawa, (2007), Sasani, (2007), Yuichi ve Ko (2007), Moretti ve Tassios (2007), Hanai ve ark. (2008), Triantafillou (1998), Khalifa ve ark. (1998), Yoshimura ve ark. (2000), Ye ve ark. (2002), Machida ve Maruyama (2002), Ye ve ark. (2002), Furuta ve ark. (2003), Teng ve ark. (2004), Nesheli ve ark. (2004), Zhang ve Hsu (2005) araştırma yaptıklarını belirtmiş ve konuyu detaylı bir şekilde incelemiştir.

Bedirhanoğlu (2009), kesme kapasitesi bakımından yetersiz, beton basınç dayanımı düşük ve yetersiz enine donatıya sahip 9 adet kısa kolon deney numunesi üretmiştir. Numunelerin ortalama beton silindirik basınç dayanımı 11 MPa'dır. Yedi adet kısa kolon numunesini doğrudan iki adet kısa kolon numunesini de referans davranışı gözlemlemek amacıyla güçlendirmeden teste tabi tutmuştur. Referans numuneleri teste tabi tuttukten sonra onarıp güçlendirerek yeniden test etmiştir. Çalışmasında numuneleri sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında karbon ya da cam lifli polimer malzemeler ile güçlendirmiştir. Dayanım ve deformasyon bakımından eğilme kapasitesine ulaşamayan yani kesmeden dolayı göçen numunelerin, referans numunelere göre diyagonal çekme ve basınç gerilmelerinin etkisinden dolayı daha iyi bir performans sergilediğini belirtmiştir. Şerit polimer lif ile sargılanarak güçlendirilen kısa kolon elemanları ve güçlendirilmeden test edilen referans numunelerde göçme diyagonal çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını aşması sonucu oluştuğunu belirtmiştir. Tam olarak sargılanıp güçlendirilen numunelerde de göçmenin diyagonal basınç gerilmelerinin beton basınç dayanımını aşması sonucu meydana geldiğini belirtmiştir.

Iacobucci ve ark. (2003), karbon fiber polimer güçlendirme malzemesi ile sismik açıdan yetersiz ve hasarlı kare enkesitli kolon elemanlarının onarılması ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bu amaçla 305x305x1473 mm (en x boy x yükseklik)

boyutlarında sekiz adet numune üretmişler ve göz önüne aldıkları başlıca değişkenler test bölgesinde uygulanan CFRP katman sayısı, kolonlarda bulunan mevcut hasarlar ve eksenel yük oranı faktörleridir. Bütün numuneleri sabit eksenel yük oranları ve deprem kuvvetini temsil eden çevrimsel yatay yükleme altında teste tabi tutmuşlar. Deney sonuçlarından sismik açıdan yetersiz kare kesitli betonarme kolon numunelerinde karbon lifli polimerlerin kullanımı ile süneklik ve enerji yutma kapasitesinde bir artışın sağlandığını belirtmişlerdir. Uyguladıkları güçlendirme tekniğinin kolon performansını gevrek bir yapıdan sünek bir yapıya dönüştürürken aynı zamanda kesme ve moment kapasitelerinde de bir artışın sağlandığını belirtmişler.

Araki ve Tokunaga (2012), beş adet betonarme kolon numunesi üretmişler. Bütün numunelerin boyutları bu tez çalışmasındaki boyutlara yakın 300x300x1260 mm (eni x genişlik x yükseklik), kolonun boyuna donatı oranı 0.0113 ve enine donatı oranı da 0.0024'tür. Kesme açıklığının kolon faydalı yüksekliğine oranı 2.1 ve betonun basınç dayanımı 21 MPa'dır. N-0-0 referans numunesi herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmamış; diğer numuneler ise 20 mm çimento harcı, çelik plaka levhalar ve uzay mekiklerinde kullanılan poliarilat esaslı lifli kompozitler ile güçlendirmişler. Çelik plaka levhalar L şeklinde olup; boyutları 120x320x1.6 mm'dir. Deney numunelerini yatayda uygulanan kuvvet etkisiyle çevrimsel yükleme altında teste tabi tutmuşlar. Referans numunesinin yük-eğilme eğrisinde gevrek göçme ve kolonun her iki ucunda beton yüzeyinde basınç göçmesi gözlenmiştir. Güçlendirme malzemelerinin yüzeyde oluşturduğu sargı etkisi nedeniyle beton dayanımındaki artış kolon kesitinde en dış lifin basınç göçmesine karşı direnç gösterdiğini belirtmişler. Önerilen yöntemle güçlendirilen numunelerin yatay taşıma kapasitesi ve sünekliğinin arttığını belirtmişler.

Bhowmik ve ark. (2008), dokuz adet deney numunesinin sünekliğini ve sismik kapasitesini incelemek için yüksek en kesitli ve düşük dayanımlı betonarme kolon numuneleri üretmişler. Numuneleri CFRP esaslı kompozit güçlendirme malzemesi ile kapsül kesit şeklinde güçlendirmişler. Deney numunelerini üçer adet gruplara ayırarak ilk grupta yer alan numunelere referans davranışı gözlemlemek amacıyla herhangi bir güçlendirme işlemi uygulamamışlar; ikinci grupta yer alan numuneleri ise birer tabaka şeklinde kolon yüksekliği boyunca FRP malzemesi ile sargılamışlardır. Kuramsal çalışma kapsamında dairesel ve dikdörtgen en kesitli kolonlarda beton, eksenel yük ve enine donatının kesme kuvveti kapasitesine katkısını ACI – 318 (2008),

$$V_{\text{shear}} = V_c + V_s + \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) * \left(\frac{\sqrt{f'_{co}}}{6} b_w d\right) + \frac{A_v f_{yv} * d}{s} \quad (1.5.)$$

denklemini hesaplamışlar.

Deneyisel çalışma sonucunda kolon yüksekliği boyunca bir tabaka CFRP kompozit malzeme ile güçlendirilen kolon numunelerin kesme hasarını önlediği ve plastik mafsallarda bir kat daha CFRP sarılmasının önemli derecede sünekliği artırdığını belirtmişler. CFRP ile sargılamanın rijitlik ve dayanımdaki azalmayı önlediği ve güçlendirme için iyi bir yöntem olduğunu vurgulamışlar.

Choi ve ark. (2016), on adet 1/2 ölçeğinde seyrek enine donatıya sahip betonarme kısa kolon deney numunelerini üretmişler. Eksenel ve tekrarlı çevrimsel yükleme altında incelenen başlıca parametreler eksenel yük oranı, etriye kanca açısı, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranıdır. Deney numunelerinin performansları ve özellikleri yük-öteleme oranı ilişkisi, sönmelenen (yutulan) enerji, sönm oranı, gerilme birim şekil değiştirme grafiği, kayma kapasitesi, etkili rijitlik ve süneklik açısından analiz edilmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak kayma kapasitesi dahil eksenel yük oranının sismik performansı etkileyen en önemli parametre olduğunu belirtmişler.

Colomb ve ark. (2008), karbon ve cam lifli kompozit güçlendirme malzemelerinin kısa kolonlar üzerindeki mekanik ve enerji performansını ve çatlak biçimindeki değişiklikleri değerlendirmek amacıyla sekiz adet deney numunesi üretmişlerdir. Tüm numunelerde kullanılan boyuna donatı oranı ($\rho=0.04$) EUROCODE 8'de belirtilen üst sınırdan daha yüksek olmasına rağmen, kesme göçmesinin sağlanabilmesi için enine donatı oranı ($\rho=0.0014$) bakımından yetersiz olarak tasarlanmıştır ve yatay yarı statik çevrimsel yük ile birlikte sabit eksenel yükü altında test etmişlerdir. SC-1 numunesi referans davranışı gözlemlemek amacıyla güçlendirilmemiş ve diğer yedi adet kolon numunesini farklı katlarda ve genişliklerde şerit veya tam sargı şeklinde CFRP veya GFRP kompozit malzeme ile güçlendirmişlerdir. Deney sonuçlarından şerit sargılı kolonda göçme kesme eğilmesinden dolayı meydana gelirken; tam sargılı iki kolon numunesinde gevrek kesme göçme davranışı sünek olan eğilme göçme davranışına dönüşmüştür. FRP ile tamamen sargılı kolonlarda sünekliğin arttığını belirtmişlerdir. Bütün kısa kolon

numuneleri yeterli enine donatı oranına sahip olmamalarına rağmen; kompozit güçlendirme malzemesinin numunelere sünek bir davranış sağladığını belirtmişlerdir.

Demir ve ark. (2013), bodrum katı betonarme perde duvarlarında yüksekliğin 1/4' ü kadar bırakılan bant pencere ve havalandırma boşluklarının oluşturduğu kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutu araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen dört adet numuneden ilki çerçeve olarak, ikincisi bant pencere boşluğu bırakılacak şekilde betonarme perde duvar eklenmiş olarak, diğerleri ise bant pencere boşluğu olacak şekilde üretilip sırasıyla kolonlar arasındaki açıklığın 0.25 ve 0.375 katı kanat dolgu duvar ilave edilerek denenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerden bant pencere yüksekliğinin 0.25H olması durumunda açıklığın 0.25 katı kadar kanat dolgu duvar ilavesiyle yatay yük taşıma kapasitesinin 4.5 kat, açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar ilavesiyle de 5 kat arttığı hususları tespit edilmiştir. Ayrıca açıklığın 0.25 katı kadar kanat dolgu duvar yapılan deney elemanının maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmesinin, L açıklığı boyunca kanat dolgu duvar yapılmayan elemanına göre %34 oranında, açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar olan elemanlarda %54 oranında azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak bant pencere uzunluğunun artmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı ancak yerdeğiştirme kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Galal ve ark. (2005), yüksek ve düşük enine donatı oranına sahip betonarme kısa kolonları fiber takviyeli kompozit malzeme ile güçlendirmişler. Bu amaçla 2/3 ölçeğe sahip yedi adet kısa kolon deney numunesini üretip, sabit eksenel yük ve tekrarlı yatay yük altında test etmişler. Güçlendirme malzemesi olarak karbon ve cam takviyeli kompozit malzemeler kullanmışlar. Deney numunelerinde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 1.5'tir. Numuneleri iki gruba ayırarak birinci grupta yer alan numuneleri yürürlükte olan mevzuata göre ikinci grupta yer alan numuneleri ise 1970 yılından önceki mevzuata göre tasarlamışlar. Tüm kısa kolon deney numunelerinde boyuna donatı oranı %2.6'dır. Birinci grupta yer alan numunelerde kullanılan etriyeler Ø10 mm çapa sahip ve 65 mm aralıklarla; ikinci grupta yer alan numunelerde ise etriyeler Ø10 mm çapa sahip ve 305 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. SC1U numunesi referans davranışı gözlemlmek amacıyla herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmamıştır. FRP sargılamasının ankrajlanmasının kısa kolonlarda kesme kuvveti kapasitesi ve enerji yutma kapasitelerini artırdığını belirtmişler. Kısa kolon deney numunelerinin güçlendirilmesinde uygulanan FRP katman sayısının artırılması hem enine donatı hem

de fiber kompozit malzeme gerilmelerini azalttığını belirtmişler. Betonarme kısa kolonların güçlendirilmesi için ankrajlı cam lifli tabakalar yerine ankrajlı karbon lifli tabakaların kullanılması hem kesme kuvvetini hem de enerji yutma kapasitesini artırdığını belirtmişler.

Ghobarah ve Galal (2004), aynı boyutlara sahip 3 adet deney numunesi üretmişler. Numuneler 914 mm uzunluğunda, 305x305 mm enkesit alanına sahip kısa kolondan oluşmaktadır. Deney numunelerinde 8 adet 20 mm çaplı nervürlü donatı ve 10 mm çaplı enine donatı kullanılmıştır. Kullanılan boyuna donatı oranı %2.6 ve enine donatı oranı da SC1 ve SC2 numunelerinde 0.0024 ve SC3 numunesinde %0.5 oranındadır. Numunelerde kesme açıklığının kolon faydalı yüksekliğine oranı $\left(\frac{M}{Vd}\right)$ 1.5'tir. SC1 numunesi referans davranışı gözlemlemek amacıyla kontrol numunesi olarak test edilirken SC2 ve SC3 numuneleri üç kat karbon lifli polimer (Carbon Fiber Reinforced Polymer) kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilmiştir. SC2 numunesinde, kolon yüzeylerinde oluşacak muhtemel şişkinliği azaltmak ve lifli polimerlerin sargı etkisini artırmak için kolon dört kenarından delinerek 12 mm çaplı çelik yerleştirilmiş ve 75x15x6 mm boyutlarında çelik plakalar yardımıyla sabitlenmiştir. SC3 numunesinde ise beş adet 75 mm derinliğe sahip karbon lifli ankrajlar numunenin her iki yüzeyine uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada üç numune de sabit eksenel yük ve çevrimsel yatay yükler altında test işlemine tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda yatay çevrimsel yüklemeye maruz kalan referans numunede gevrek kesme göçmesi gözlenmiştir. Ankrajlı karbon LP kompozit şeritler kullanarak yüksek enine donatı oranına sahip güçlendirilmiş kısa kolon numunesinde gevrek kesme göçmesi gözlenmemiş, yer değiştirme sünekliği ve enerji yutma kapasitesinde önemli bir artışın meydana geldiğini gözlenmiştir. Düşük enine donatı oranına sahip olan numunede uygulanan CFRP ankraj detayı, numunenin yerdeğiştirme sünekliliğinde ve enerji yutma kapasitesinde önemli bir artışın meydana geldiği belirtilmiştir.

Koo ve Hong (2016), ultra yüksek performanslı betona sahip 1/2 ölçeğinde 4 adet betonarme kolon numunesi üretmişler. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı 4.15 'tir. Numunelerde 8 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Numunelerden biri referans davranışı gözlemlemek amacıyla güçlendirme işlemine tabi tutulmamıştır. R3 numunesi

kolon kalınlığının %10'u kadar, R5 numunesi kolon kalınlığının %16.7 (50 mm) kadar ve R5S numunesi de 50 mm kalınlığında mantolama ve 10 mm çapında ve 150 mm aralıklı bir etriye ile güçlendirilmiştir. Deneysel araştırmalarda ultra yüksek performanslı betonla yapılan mantolamanın dayanım üzerine yüksek bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişler. Kolon kalınlığının %10 'u kadar yapılan mantolamanın kesme dayanımını %70 ve kolon kalınlığının %16.7 kadar yapılan mantolamanın da kesme dayanımını %125 oranında artırdıklarını belirtmişler.

Lee ve ark. (2008), farklı kesme donatısı oranına sahip 10 adet deney numunesi üretmişler. Deney numunelerini kesme donatısı ve yük ilişkisi bakımından dört farklı gruba ayırmışlar. Birinci grubu oluşturan M-00, M-15 ve M-30 numuneleri monotonik yükleme altında; ikinci grubu oluşturan C1, C15 ve C30 numuneleri yarı tekrarlı yatay yükleme altında; üçüncü grubu oluşturan C2-OOS ve C2-15S ile dördüncü grubu oluşturan C2-00L, C2-15L ve C2-30L numuneleri iki yönlü tekrarlı yatay yükleme altında test etmişler. Bütün deney numuneleri 430 mm uzunluğunda, 250x250 mm enkesit alanına sahip kısa kolonlardan oluşmaktadır. Numunelerde boyuna donatı olarak 6 adet Ø16 çaplı donatı, enine donatı olarak ta Ø6 mm çaplı donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3'tür. Eğilme akmasına ulaşan bütün numunelerde çatlaklar ve beton dökülmesinin çoğunlukla plastik mafsallarda bölgesinde gözlemlendiğini belirtmişler. Deney sonuçları; uygulanan eksenel kuvvetin betonarme elemanların birim şekil değiştirebilme özelliğini azalttığını belirtilmiş ve ayrıca eksenel kuvvet arttıkça plastik mafsallarda bölgesinde boyuna çekme gerilmesinin de azaldığını ifade edilmiştir.

Lee ve ark. (2016), kesme açısından kritik 5 adet betonarme kolon deney numunesi üretmişler. Numuneleri karbon, cam ve vinil ester reçine esaslı farklı kombinasyonlardan oluşan püskürtme FRP (fiber reinforced polymer) güçlendirme malzemesi ile güçlendirmişler. Numunelerden birine referans davranışı gözlemlemek amacıyla güçlendirme işlemi uygulanmamıştır. Çevrimsel yükleme altında numunelerin nihai yük taşıma kapasiteleri, deformasyonlar ve yatay yük-öteleme oranı ilişkisini araştırmışlar. Referans numune ile kıyaslandığında FRP ile güçlendirilen kesme açısından kritik betonarme kolonların deformasyon kapasiteleri ve kesme dayanımında belirgin bir artışın meydana geldiğini gözlemlemişler. Püskürtme tekniği ile uygulanan

FRP güçlendirme yönteminin mevcut yapılarda bulunan kolon elemanlarında sismik güçlendirme için etkili ve pratik bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

Li ve ark. (2017), depremde zarar gören betonarme kolon elemanları için etkili ve kolay uygulanabilir bir güçlendirme tekniği geliştirmek amacıyla dört adet deney numunesi üretmişler. Çevrimsel yatay yükleme altında test edilen kolon numuneleri, HPRFC kompozit malzeme ile güçlendirilerek tekrar aynı yükleme protokolü altında numuneleri teste tabi tutmuşlar. Numunelerin her biri 900 mm yüksekliğinde ve 200x200 enkesit alana sahip olup, söz konusu numuneleri sabit eksenel yük ve artan yatay yükleme altında test etmişler. Onarılan numunelerle ilgili incelenen başlıca parametreler yük taşıma kapasitesi, süneklik, rijitlik ve kolonların enerji yutma kapasitesidir. Deneysel çalışma sonucunda onarılan kolonların yük taşıma kapasitesi ve sünekliğinde numunelerin orijinal durumlarına göre sırasıyla %14 ve %29'luk bir artışın meydana geldiği belirtilmiştir. Eksenel yüke sahip ve onarılmış kolonlar; diğer numunelere göre daha iyi bir dayanım performansı göstermişlerdir. Orijinal kolon numunelerinde gözlenen çatlak aralıklarının (20-50 mm) ve genişlikleri (3-10 mm) onarılan numunelere kıyasla daha geniş ve büyük olduğu belirtilmiştir. Orijinal numunelerde çatlaklar diyagonal bir yayılma ve her iki yüzeyde gözlemlenirken, HPRFC ile onarılan numunelerde çatlakların yoğun bir şekilde yatay doğrultudaki çekme yüzeyinde gözlemlendiği belirtilmiştir.

Li ve Hwang (2016), deneysel sonuçlara dayanarak kesme çatlama dayanımı, kesme dayanımı, yatay rijitlik, mukavemet azalması ve çökme davranışını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için betonarme kısa kolonların gerçek davranışlarını yansıtabilen basit bir analitik model önermişlerdir. Kesme dayanımını tahmin etmek için kafes-kiriş modeli kullanarak doğru sonuçların elde edilebileceği kanısına varmışlar. Deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında önerilen eğrilerin kabul edilebilir tahminler verebileceği ve bu nedenle mühendislik uygulamalarında kullanım için uygun olduğunu belirtmişler.

Ma ve Li (2015), yedi adet tam ölçekli kolon numunesi üretmişler. Üretilen kolonlardan bir tanesini orta hasar, dört tanesini ağır hasar seviyesine kadar ön hasara uğratmışlar, geriye kalan iki numuneyi ise referans numunesi olarak test etmişler. Çalışma kapsamında numunelerin ön hasar derecesi, eksenel yük oranı ve güçlendirme

yapılıp yapılmaması ile ilgili değişkenler incelenmiştir. Güçlendirme malzemesi olarak hızlı dayanım kazanan çimento harcı ve BFRP (Bazalt lifli fiber polimer) kullanılmıştır. Ön hasarlı kolonlarda bu yöntemle güçlendirmenin süneklik ve enerji yutma kapasitesini artırdığı görülmüştür. Hasar derecesinin süneklik ve enerji yutma kapasitesini çok az etkilediği hususu tespit edilmiştir. Bununla birlikte güçlendirme ile başlangıç durumundaki rijitliğe ulaşamadığı hususu tespit edilmiştir. Ayrıca orta ön hasarlı kolonda başlangıç eğilme kapasitesine ulaşıldığı, ağır ön hasarlı kolonlarda ise başlangıç eğilme kapasitesine ulaşamadığı hususları tespit edilmiştir. Mevcut eksenel yükün BFRP ile güçlendirmede dikkate alınamayabileceği belirtilmektedir.

Ma ve ark. (2015), dokuz adet çelik profil takviyeli betonarme kısa kolon, bir adette uzun kolon numunesi olmak üzere 10 adet deney numunesi üretmişler. Kısa kolonlar 335 mm uzunluğunda ve $240 \times 180 \text{ mm}^2$ enkesit alanına sahiptir. Deney numunelerinde $\varnothing 14$ mm çaplı boyuna donatı, $\varnothing 8$ mm çaplı enine donatı ve güçlendirme için ise I-14 profil kesiti kullanılmıştır. Numune tasarımında göz önüne aldıkları başlıca parametreler geri dönüştürülmüş iri agrega yüzdesi, eksenel yük oranı, etriye oranı ve kesme açıklığı oranıdır. Çalışma kapsamında çatlak biçimleri, göçme şekilleri, histeresis döngüleri, iskelet eğrisi, enerji yutma kapasiteleri ve süneklikleri incelenmiş ve analiz edilmiştir. Deney sonuçlarından gevrek kesme göçmesinden dolayı kısa kolonların düşük sünekliğe sahip olduğu ve uzun kolonun da eğilme kesme göçmesinden dolayı yüksek sünekliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Kesme açıklığı oranının (a/d) göçme şekilleri üzerinde önemli bir parametre olduğunu ifade edilmiştir. Taşıma kapasitesi ve kolonların sünekliğinin enine donatı oranının artmasıyla birlikte bir artış gösterdiği belirtilmiştir.

Moretti ve Tassios (2007), sekiz adet betonarme kısa kolon numunesi test etmişler. Bütün numunelerin enkesit alanı 250×250 mm boyutlarındadır. Numuneler sabit eksenel yük ve yön değiştiren yatay yükler altında test edilmiştir. İncelenen başlıca parametreler kesme açıklığı oranı $a=M/Vh$ ($a=1.2$ ve 3), boyuna donatı oranı ($\rho=0.02$ ve 0.04), enine donatı oranı ($\rho_w=0.012$ ve 0.019), eksenel yük oranı ($n=0.3$ ve 0.6) ve iki farklı boyuna donatı düzeni etkisi göz önüne alınarak numune tasarımını gerçekleştirmişler. 4 nolu ($3\varnothing 10$) numune hariç bütün numunelerde $\varnothing 8$ çaplı etriyeler kullanılmıştır. Deneysel araştırma sonucunda çelik bileşenlerle birlikte diyagonal beton çubuklarını da hesaba katan kısa kolon elemanları için bir kafes kiriş modeli

geliştirmişler. Analitik ve deneysel veriler arasındaki sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Ouyang ve ark. (2017), altı adet kısa kolon numunesi üretmiştir. Üretilen kolonlardan bir tanesi referans numunesi olarak, beş tanesi ise FRP ile güçlendirme yapılarak test edilmiştir. İki çeşit FRP (Karbon ve Bazalt) kullanılmış ve bunların fiyat – fayda analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde BFRP ile güçlendirmenin CFRP ile güçlendirmeye alternatif olabileceği hususları tespit edilmiştir.

Promis ve Ferrier (2012), FRP ile güçlendirme yapılan üç deneysel çalışmadaki verileri kullanarak FRP ile güçlendirmenin etkisinin değerlendirilmesi için hasar indeksine bağlı performans indeksi elde edilmesi modeli üzerine çalışmışlardır. Çalışmada eksenel basınç, betonarme kısa kolonun şekli, FRP çubukların varlığı ve FRP ile sargılama yapılması etkilerinin performans indeksine etkisi incelenmiştir.

Promis ve ark. (2009), kesme kapasitesi açısından yetersiz 200x200 mm enkesit alan ve 2/3 ölçeğinde sekiz adet betonarme kısa kolon numunesi üretmişler. SC-1 numunesine referans davranışı gözlemlemek amacıyla herhangi bir güçlendirme işlemi uygulamamışlar. Yedi adet numuneyi ise farklı şekil ve kalınlıklarda cam veya karbon lifli polimer malzemeler ile güçlendirmişler. Numunelerde sekiz adet 16 mm çaplı boyuna donatı ve enine donatı olarak ta 200 mm aralıklı üç adet 6 mm çaplı etriye kullanmışlar. Deney sonuçlarından elde ettikleri bulgulara dayanarak FRP ile güçlendirilen numunelerin göçme şekillerinin değiştiğini belirtmişler. Lifli polimer malzeme ile tam sargılama şeklinde güçlendirilen iki adet gevrek kesme göçme kapasitesine sahip numune süneklik kazanarak eğilme kesme göçmesi davranışı sergilemişlerdir. Lifli polimer güçlendirme (FRP) malzemesinin esnekliği, sünekliği, rijitliği ve yutulan enerji kapasitesini etkilediğini belirtilmiştir. FRP kompozit malzeme ile tam sargılama yapılarak güçlendirilen kolonlar rijit ve katı bir davranış gösterirken; şerit sargılama ile güçlendirilen numunelerde çatlakların meydana geldiğini açıklamışlardır. FRP ile güçlendirilen kolon numunelerinin deprem davranışı, FRP malzemesinin uygulama biçimine (Young modülü, kalınlık, genişlik ve şerit aralığı) bağlı olduğunu ifade etmişler.

Rautenberg ve ark. (2013), moment-eğrilik ilişkisine dayanan betonarme yapı elemanlarının öteleme kapasitelerini tahmin etmeye yönelik bir model önermişler.

Yüksek mukavemetli çelikte güçlendirilmiş kolonların öteleme kapasitelerini tahmin etmek için sekiz adet numune üretmişler. Bütün numuneler için kesme açıklığının kolon faydalı yüksekliğine oranı (a/d) 3'tür. Kiriş numuneleri boyuna doğrultuda her birinde ya dört adet ya da altı adet, çapları ise 16 mm'den 22 mm'ye kadar değişen nervürlü çelik donatılarla güçlendirilmiştir. Donatı oranları %1.1 ile %3.3 arasında değişkenlik göstermektedir. Tüm numunelerde enine donatı olarak ta 10 mm çaplı donatı kullanmışlar. Bütün kolonların bütünlüklerini, eksenel kuvvet direncine karşı kapasitelerini ve yatay yüklere karşı en az %4 öteleme oranında kapasitelerini koruduklarını ifade etmişler.

Rodsin (2015), gevrek kesme göçme davranışına sahip ve sünek olmayan kolonların sismik davranışını incelemek amacıyla iki adet numune üretmiş ve numunelerden birini GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer) esaslı kompozit malzeme ile güçlendirmiştir. Numuneleri tekrarlı yatay yük altında teste tabi tutmuştur. Referans numunede kullanılan boyuna donatı oranı 0.028 ve kesme içinde minimum enine donatı oranını kullanmıştır. Güçlendirme işlemi uygulanan ikinci numuneyi, kolonun alt yüzeyinden yukarı doğru 500 mm mesafe boyunca üç kat cam lifli polimer kompozit malzeme ile güçlendirmiştir. Referans numunene yatay yük altında %3.5 öteleme oranında kesme göçmesine maruz kalmıştır. GFRP kompozit malzeme ile güçlendirilen ikinci numunenin kesme kuvveti dayanım kapasitesinde önemli bir artışın sağlandığı belirtilerek, kolonda %12 gibi bir öteleme oranında boyuna donatının akma dayanımına ulaştığı belirtilmiş ve kolonun eğilmeden göçtüğünü belirtilmiştir. Cam LP kompozit malzemesinin plastik mafsallarda kolon sünekliğini ve kesme dayanımını artırarak, sünek olmayan ve kesme açısından elverişsiz kolonların güçlendirilmesi için önemli bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Wang ve ark. (2017), altı adet 150*300*1200 (en*boy*yükseklik) ebatlarında ve ortalama 42 MPa basınç dayanımlı betona sahip kısa kolon numunesi üzerinde yaptığı çalışmada ön bombeli hale getirilmiş ince plakları kolon kuvvet doğrultusuna paralel yüzeylere 200 mm aralıklarla sıkıştırılarak, birleştirilen numunelerin eksenel kuvvet etkisi altında plaka kalınlığı, göçme modu, süneklik, dayanım azalması ve enerji yutma kapasiteleri açısından değerlendirmiştir. Çalışmada büyük eksenel kuvvet etkisinde güçlendirilen numunelerin kesme dayanımında ve sünekliğinde artış olduğu hususu tespit edilmiştir. Ayrıca plak kalınlığının artırılması ile enerji yutma kapasitesinde artış

olduğu, büyük eksenel kuvvet oranlarında eğilme davranışının gözlemlendiği, kesme kuvveti artışında da %33-49 değerleri arasında bir artışın meydana geldiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca güçlendirilen numunedeki eğilme kapasitesindeki artışı tahmin eden bir modelleme yapılmıştır.

Tavallali ve ark. (2014), akma dayanımları 100 ksi (690 MPa)'a yaklaşan çelik donatılar ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin çevrimsel yükleme altındaki davranışlarını incelemek için karşılaştırma verileri sağlayarak Amerika Yapı Yönetmeliği tarafından yapılarda maksimum akma dayanımı sınırı 550 MPa ile sınırlandırılan çelik donatı kullanımı ile ilgili belirlenen sınır değeri yeniden değerlendirmeyi amaçlamışlar. Bu amaçla üç adet deney numunesini akma dayanımı 415 MPa olan çelik donatı ile dört adet deney numunesini de akma dayanımı 670 MPa olan yüksek mukavemetli boyuna çelik donatılar ile güçlendirmişler. Tüm enine donatıların akma sınır dayanımı 415 MPa'dır. Numuneler tasarımında araştırmacıların belirledikleri başlıca parametreler çelik kancalı hacimsel lif oranı ($V_f = 0$ veya 1.5), enine donatı aralığı ($s = d/4$ veya $d/2$), basınç donatısının çekme donatısına oranı ($\frac{\rho'}{\rho} = 0.5$ veya 1) ve kesme açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranı ($a/d=3$)'dır. Numunelerde kullanılan betonun basınç dayanımı 41 MPa'dır. UC4-F, UC2-F, CC2-F ve CC4-F\$ numunelerinde yüksek performanslı lifle güçlendirilmiş beton (HPFRC) kullanılmıştır. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı 3 olan ve normal beton karışımının kullanıldığı numunelerde boyuna donatıların, kritik kesit mesafesi d 'den daha uzak bir mesafede %3'ü aşan öteleme oranında ve HPFRC beton karışımı ile güçlendirilen numunelerde de $0.5d - 1d$ mesafeleri arasında akmaya ulaştığını belirtmişler. Akma dayanımı 670 MPa olan boyuna donatı ve HPFRC ile güçlendirilen numunelerde en büyük çatlak genişlikleri, akma dayanımı 415 MPa olan donatı ile güçlendirilen numunelere göre daha küçük olduğunu ve çatlak genişliklerinin boyuna donatı akma dayanımı için belirleyici bir etken olduğunu belirtmişler. Elde ettikleri bulguların akma dayanımı 550 MPa'ı aşan yüksek mukavemetli donatının depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında uygun bir seçenek olduğu sonucuna varmışlar.

Troung ve ark. (2017), yaptıkları deneysel çalışmada 11 adet 1/2 ölçek boyutlarında betonarme kolon numunesi üretmişler ve yatay yükleme altında test etmişlerdir. Referans davranışı gözlemlemek amacıyla numunelerden iki tanesine

güçlendirme işlemi uygulanmamış; kalan dokuz adet numune 3 mm kalınlığında çelik plaka levhalar, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), büzülmeyen sıva harcı veya metal lifli amorf (camsı) malzemesi ile güçlendirmişlerdir. Güçlendirilen numunelerden bazıları kolonların deformasyon yapabilmesi amacıyla plastik mafsallık bölgesinden kısmi olarak; diğerlerini de kesme dayanımı ve deformasyon yapabilmesini sağlamak amacıyla kolon açıklığı boyunca güçlendirmişlerdir. Numuneleri yük- öteleme oranı ilişkisi, yutulan enerji miktarı, sönüm oranı, etkili rijitlik ve süneklik parametreleri bakımından analiz etmişlerdir. Güçlendirilen kolon numunelerinde betonda meydana gelen ezilme miktarı ve çatlakların genişliklerinde gözle görülür bir artışın sağlandığını ve boyuna donatıların aktığını belirtmişlerdir. Güçlendirilmiş FS serisi (eğilme – kesme) kolon numunelerinde deformasyon kapasitesinde %74.5, S serisi (kesme) numunelerinde de kesme ve deformasyon kapasitesinde sırasıyla %150 ve %397.4 gibi bir artışın sağlandığını belirtmişlerdir. Yine referans numuneler ile karşılaştırıldığında başlangıç elastik rijitliği FS serisi kolon numunelerinde yaklaşık %109.5 ve S serisi numunelerinde de %72.1 oranında bir artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Xu ve ark. (2017), yüksek performanslı çelik lifli betonarme kolonların sismik davranışını incelemek amacıyla 14 adet deney numunesi üretmişler. Numuneleri sabit eksenel yük bileşenleri ve yatay çevrimsel yükleme altında teste tabi tutmuşlar ve UHPSFRC kolonların çatlak yerleri, göçme şekilleri, histeterezis döngüleri, dayanım ve rijitlik azalması, enerji yutma kapasitesi ve süneklik bakımından araştırmışlar ve analiz etmişlerdir. 12 adet deney numunesinde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3.3 ve iki adet numunede ise 5.3 oranına sahiptir. Güçlendirilmiş numunelerde kesme, eğilme-kesme ve eğilme kırılma davranışlarını gözlemlemişlerdir. Kesme açıklığı (a/d) oranının azalmasıyla davranış biçiminin eğilme kesme davranışından eğilme davranışına doğru bir yönelim gösterdiğini belirtmişlerdir. Tüm numunelerin yüzeyindeki beton tabakasında şişme meydana geldiğini ve çelik liflerin varlığından dolayı bir parçalanmanın olmadığını gözlemlemişler ve çelik liflerin etkisi ile boyuna donatıdaki burkulmayı geciktirdiğini belirtmişlerdir.

Bedirhanoğlu (2015), kolon, kiriş, perde ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi amacıyla HSPRCC panellerle yeni bir güçlendirme tekniği geliştirmiştir. Düşük dayanımlı betona sahip olan numuneler HSPRCC panellerle güçlendirilmeden önce ve sonra diyagonal çekme altında test etmiştir. Yapılan yeni

güçlendirme tekniğinin mevcut güçlendirme tekniklerinden daha kolay, uygulanabilir ve ekonomik olduğunu belirtmiştir.

Görüldüğü gibi kesme kiritik kolonların davranışı üzerine az sayıda çalışma olmasına rağmen farklı malzeme ve tekniklerle güçlendirme üzerine birçok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmada kesme kiritik kolonların hem kesme davranışları incelenmiş hem de yeni bir güçlendirme tekniğinin performansı ilk defa test edilmiştir.





3. MATERYAL VE METOT

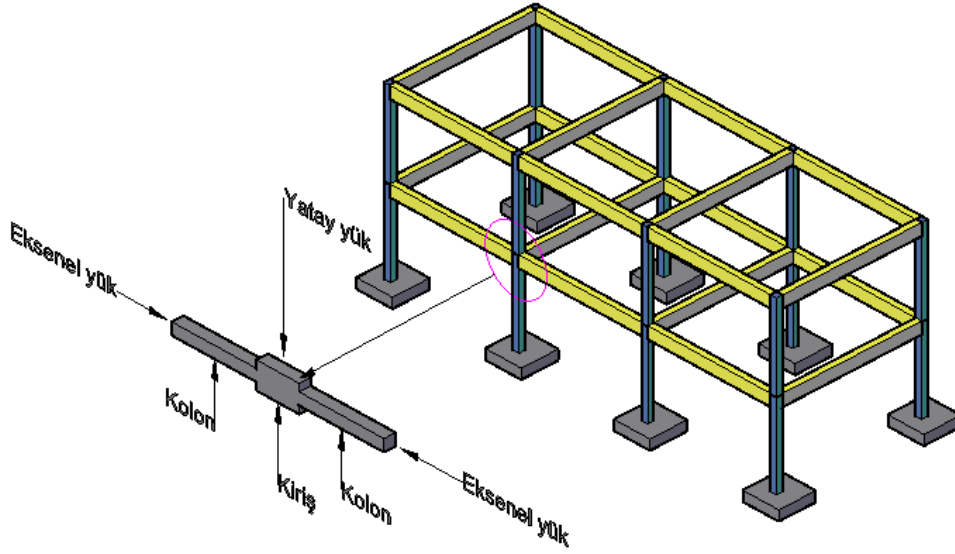
Deneyisel çalışma kapsamında numunelere ait detaylar, agrega gradasyon eğrileri, beton silindir basınç deneyleri, standart küp basınç deneyleri, disk yarma deneyi ve çelik levha, enine ve boyuna donatı çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. Giriş

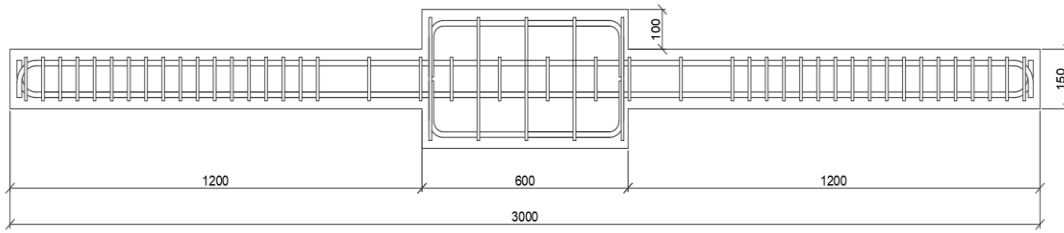
Bu tez çalışması kapsamında, mevcut yapılarda sıklıkla karşılaşılan düşük dayanımlı beton ve yetersiz enine donatıya sahip kısa kolonların kesme kapasitelerinin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla dört adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk önce enine donatısı yönetmeliğe göre yeterli olan ve enine donatısı yönetmeliğe göre yetersiz olan iki adet numune test edilerek mevcut davranış incelenmiştir. Daha sonra geri kalan iki numune Bedirhanoğlu (2015) tarafından geliştirilen yöntem ile güçlendirilerek betonarme kısa kolonların davranışları incelenmiştir. Bütün numuneler düşeyde sabit eksenel yük ve yatayda da monotonik artan yükler altında test edilmiştir. Deneyler, Dicle Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği ile Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2. Numune Üretimi

Bu çalışma kapsamında dört adet kısa kolon deney numunesi üretilmiştir. Her bir numune; alt kat ve üst kat olmak üzere konsol şeklinde iki adet kısa kolon ile bu kısa kolonları birbirlerine tek doğrultuda birleştiren iki adet kiriş parçasından oluşmaktadır. Bütün kolon numunelerinde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 2.6'dır. Kısa kolon numunelerin her birinin 300 mm uzunluğa ve 150x150 mm enkesit alanına sahiptirler. Numunelerin genel görünümü ve boyutlarına ait ölçü uzunlukları Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

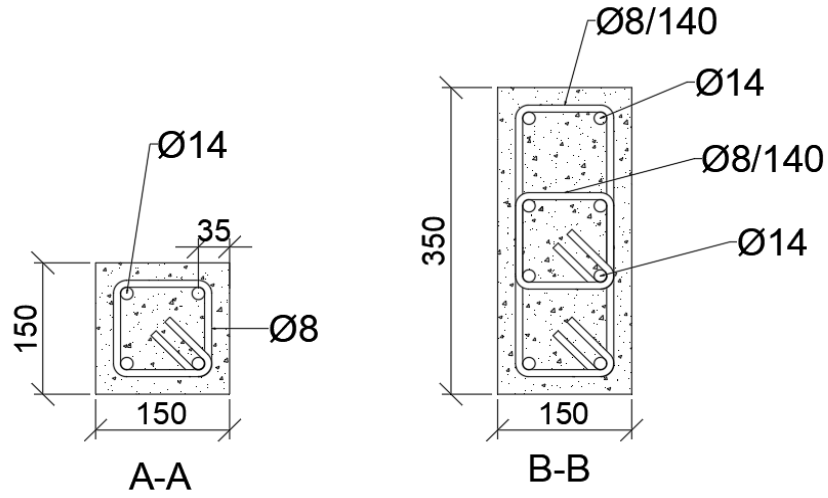
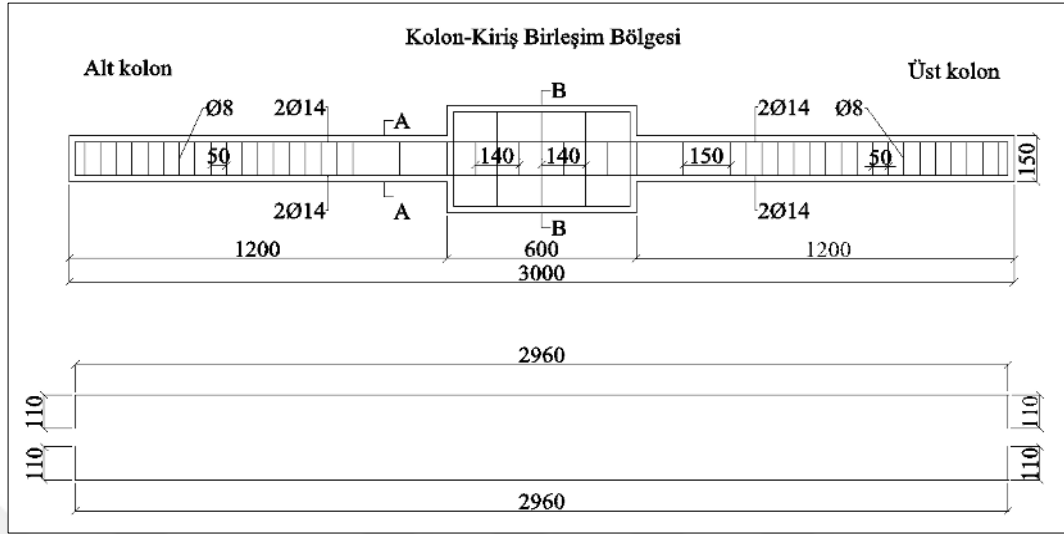


Şekil 3. 1. Numune genel görünümü

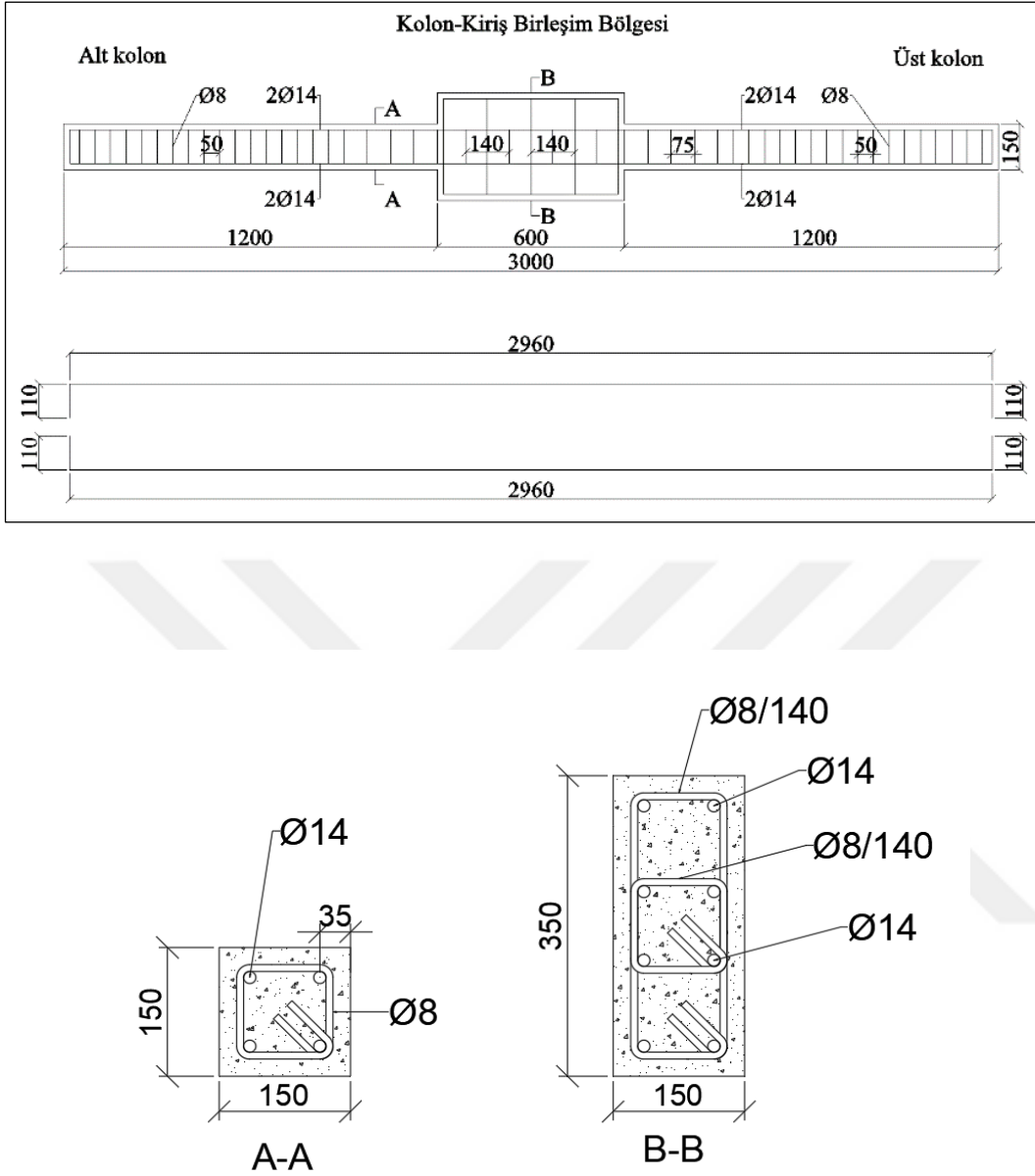


Şekil 3. 2. Donatı iskeleti (Bütün ölçüler mm cinsindendir.)

Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'te numunelerde donatı çeliği detay çizimleri gösterilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak bütün numunelerde 4 Φ 14 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Test bölgesinde enine donatı olarak Φ 8 çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Donatı olarak hem boyuna hem de etriye için TS 708'e göre S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Donatı detay çizimlerinden görüldüğü gibi test bölgesinde (kayma açıklığı bölgesi) DS-O ve DS-R numunelerinde etriye aralığı 150 mm, CCRS-O ve CCRS-R numunelerinde ise etriye aralığı 75 mm olacak şekilde seçilmiştir. DS-O ve DS-R numunelerinde etriye aralığı yönetmeliğe göre yetersiz ve CCRS-O ve CCRS-R numunelerinde ise etriye aralığı yönetmeliğe uygun, yeterli düzeyde olacak şekilde hesaplanarak söz konusu etriye aralıkları seçilmiştir.



Şekil 3. 3. DS-O ve DS-R numunelerinin boyuna ve enine donatı detayları (Bütün ölçüler mm cinsinden yazılmıştır.)



Şekil 3. 4. CCRS-O ve CCRS-R numunelerinin boyuna ve enine donatı detayları (Bütün ölçüler mm cinsindendir.)

Kolonlarda meydana gelecek hasarın kesme açıklığında (a mesafesinde) oluşması istenildiğinden kolon-kiriş birleşim bölgesinde ve mesnetlerde kullanılan enine donatı (etriye) yerleşimi sıklaştırılmıştır.

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine donatılar birleşim kesitinden paspayı mesafesi olan 20 mm mesafe kadar içten başlanarak 140 mm arayla yerleştirilmiştir. Mesnet bölgelerinde ise enine donatılar sıklaştırılarak 50 mm ara ile yerleştirilmiştir.

Enine donatılarda uzunlukları 90 mm olan kancalar betonla daha iyi bir aderans sağlayabilmeleri açısından 135 derece içe doğru bükülmüştür. Paspayı (beton örtüsü) enine donatının en dış yüzünden 20 mm olacak şekilde seçilmiştir. Numunelerin boyuna donatı oranları(ρ) denklem (3.1) ve hacimsel enine donatı oranları (ρ) da denklem 3.2 bağıntılarıyla hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{A_s + A'}{b * h} \quad (3.1)$$

$$\rho_{sh} = \frac{\frac{\pi * \phi_e^2}{4} * 2(b_c + h_c)}{b * h * s} \quad (3.2)$$

Burada A_s çekme donatısı kesit alanını, A' basınç donatısı kesit alanını, b kolon kesit genişliğini, h kolon kesit yüksekliğini, b_c enine donatı genişliğini, h_c enine donatı yüksekliğini, s enine donatı aralığını ve ϕ_e enine donatı çapını göstermektedir.

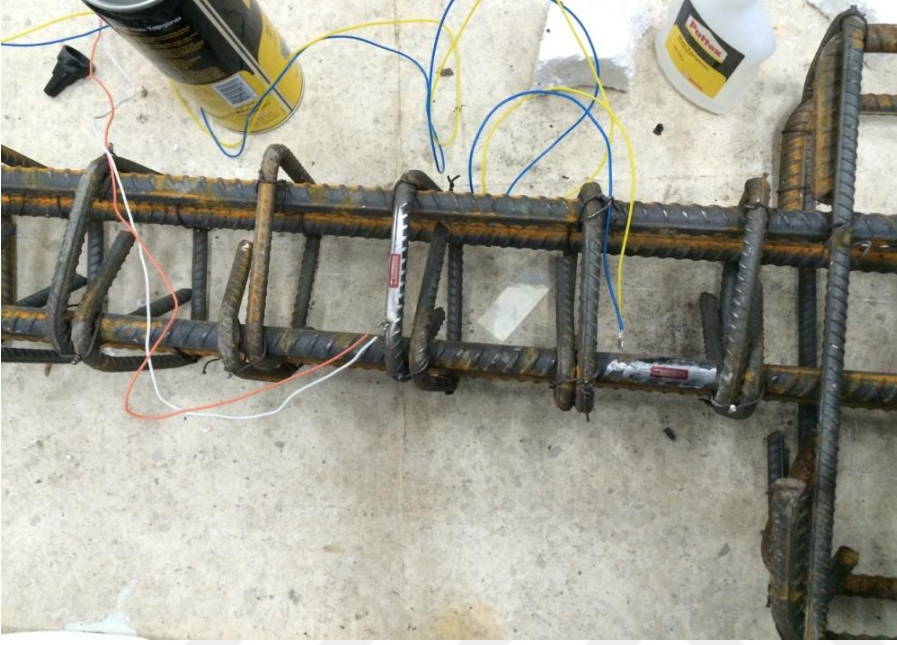
Bütün deney numunelerinde yukarıdaki bağıntılar yardımıyla boyuna donatı oranları 2.7 olarak hesaplanmıştır. Hacimsel enine donatı oranları ise DS-O ve DS-R numuneleri için 0.098 CCRS-O ve CCRS-R numuneleri için 0.197 olarak hesaplanmıştır.

3.3. Şekildeğiştirmeölçerlerin Donatı Yüzeyine Yapıştırılması

Daha önceden yapılan hesaplamalara uygun olarak her bir numune örneği için gerekli olan boyuna ve enine donatı detay çizimleri yapılmıştır. Şekildeğiştirmeölçerler en fazla hasarın meydana gelmesi beklenen test bölgesinde (kayma açıklığı bölgesinde) enine ve boyuna donatı yüzeylerine yapıştırılmıştır. Şekildeğiştirmeölçerler (strain gauge) her bir numune örneği için bir adet montaj donatısına bir adet te etriye donatısına yerleştirilmiştir. Deney düzeneği sisteminde 3 mm ölçüm hassasiyetine sahip FLA-3 tipi gerilme ölçerler (strain gauges) kullanılmıştır. Şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmadan önce donatı yüzeyine yapıştırılacakları noktalar spiral yardımıyla düzleştirilmiştir. Daha sonra yüzey zımpara ve tel fırça yardımıyla pas ve tozdan arındırılıp, pamuk ve aseton yardımıyla iyice temizlenmiştir. Şekildeğiştirmeölçerler japon yapıştırıcı(cyanacrylate) ile donatı yüzeyinde belirlenen noktalara yapıştırılmıştır. Beton döküm esnasında su, nem vb. dış etkilere korumak için şekildeğiştirmeölçerlerin yüzeyleri iki kat yalıtım malzemesi (N-1) ile kaplanmıştır. Yalıtım malzemesinin kuruması için iki gün beklendikten sonra kuruyan kısım üzerine bir kat bitüm esaslı bant (VM Tape) ile

3. MATERYAL VE METOT

sargılama yapılmıştır. Gerilme ölçerlere bağlı kablolar en kısa mesafeden beton yüzeyine çıkacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 3. 5. Şekildeğiştirmeölçer donatı yüzeyine yapıştırılması



Şekil 3. 6. Şekildeğiştirmeölçerin bantlanarak dış etkenlerden korunması



Şekil 3. 7. Şekildeğiştirmeölçerlerin isimlendirilmesi

3.4. Malzeme Özellikleri ve Malzeme Deneyleri

3.4.1. Agreg a Malzemesi

Bu çalışma kapsamında düşük dayanımlı beton karışımı hazırlamak amacıyla agreg a malzemesi olarak dere kumu, kırma kum (taş tozu) ve 7-15 mm dane çapına sahip çakıl kullanılmıştır. Agreg a malzemesi temin edildikten sonra içerisinde bulunan kil vb. maddeleri ayrıştırmak için temiz su ile yıkanıp Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi hava kurusu haline getirebilmek için hava ortamında kurutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 3. 8. Agrega malzemesinin yıkanması ve hava ortamında kurutulmaya bırakılması

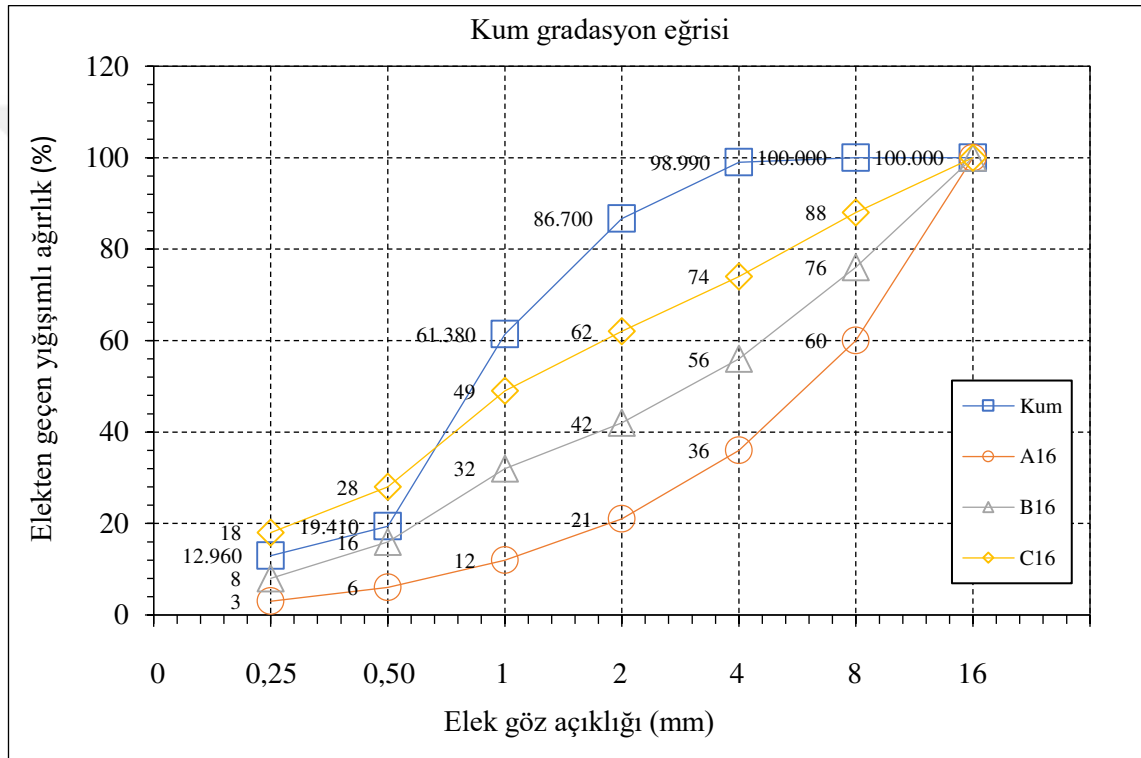
3.4.2. Çimento

Beton karışımı hazırlamak amacıyla bağlayıcı malzeme olarak CEM II/B-M (P-L) 32,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun 28 günlük basınç mukavemeti 32,5 N/mm²'dir.

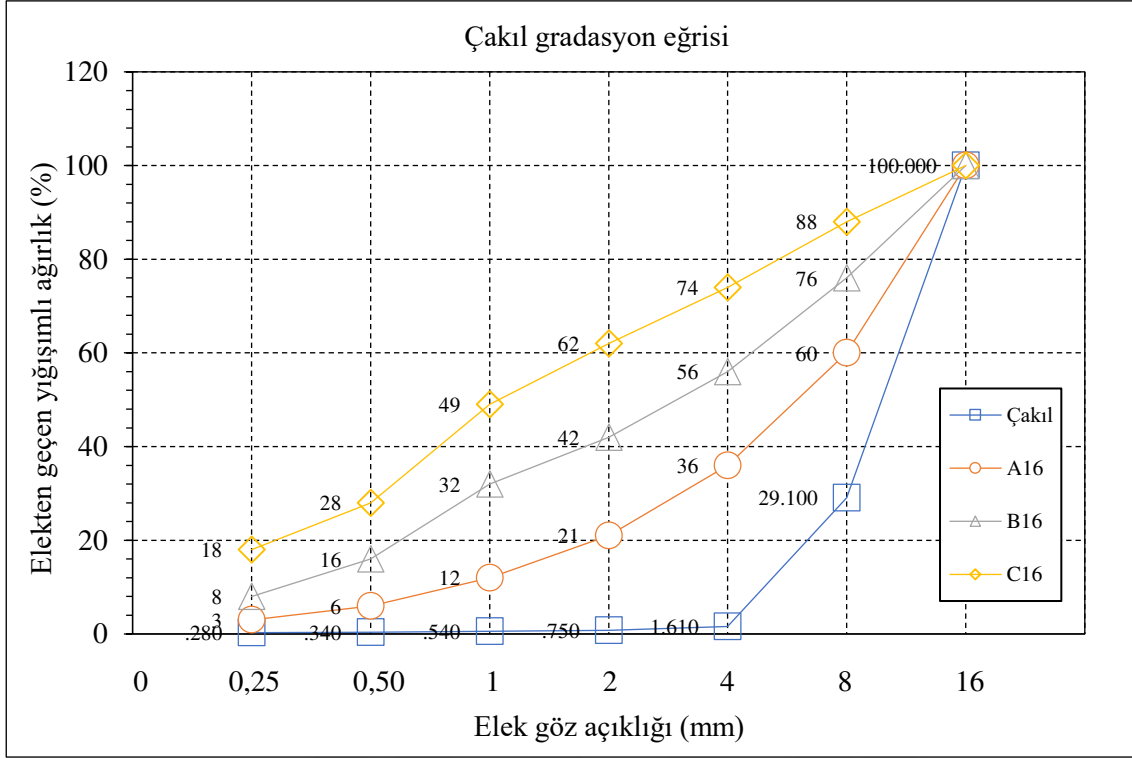
3.4.3. Elek Analizi ve Granülometri

Agrega numunelerindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımının belirlenmesi amacıyla her bir agrega malzemesi için elek analizi deneyleri yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında en büyük tane büyüklüğü 16 mm olan agrega malzemesi kullanılmıştır. Eleme işlemi sırasında her bir elek üzerinde kalan agrega malzemeleri tartılarak sırasıyla eleklerin üzerinde ağırlık cinsinden kalan agrega malzeme miktarları belirlenmiştir. Elde edilen verilerden her bir elek üstünde kalan yığışımlı ağırlık, elek üstünde kalan yığışımlı ağırlık (%)'si ve elekten geçen yığışımlı ağırlık (%) oranları hesaplanmıştır. Ardından her bir agrega malzemesinin granülometri değerleri hesaplanarak kum, kırma kum, çakıl ve agrega karışımına ait gradasyon eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 3.9., Şekil 3.10., Şekil 3.11., ve Şekil 3.12'te her bir agrega türü ve karışım oranına ait gradasyon eğrileri verilmiştir. Ek 2.'de yer alan Çizelge 2.1., Çizelge 2.2., Çizelge 2.3.'te her bir agrega türüne ait elek analizi değerleri ve Çizelge

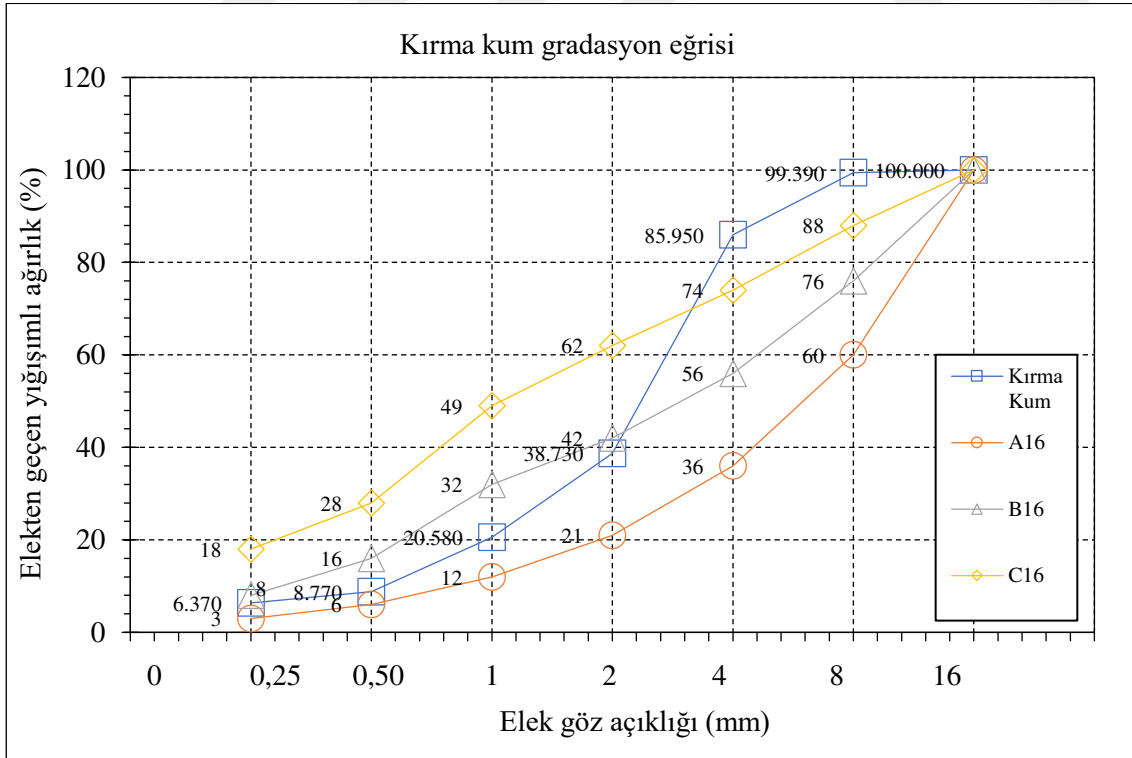
2.4.'te de karışım oranlarına ait elek analiz değerleri gösterilmiştir. Elek analizi sonucu elde edilen agrega granülometreleri deneme-yanılma yöntemiyle önceden belirlenmiş olan oranlar kullanılarak karışım granülometresi elde edilmiştir. Çizelge 3.1.'te görüldüğü gibi uygun bir gradasyon elde etmek için kum, kırma kum ve çakıl malzemelerinden her biri için sırasıyla %25, %35 ve %40 oranları alınmıştır. Yine elde edilen gradasyonun uygun olup olmadığı referans eğrilerle karşılaştırılmış olup, karışım oranlarının uygun aralıkta olmasına özen gösterilmiştir.



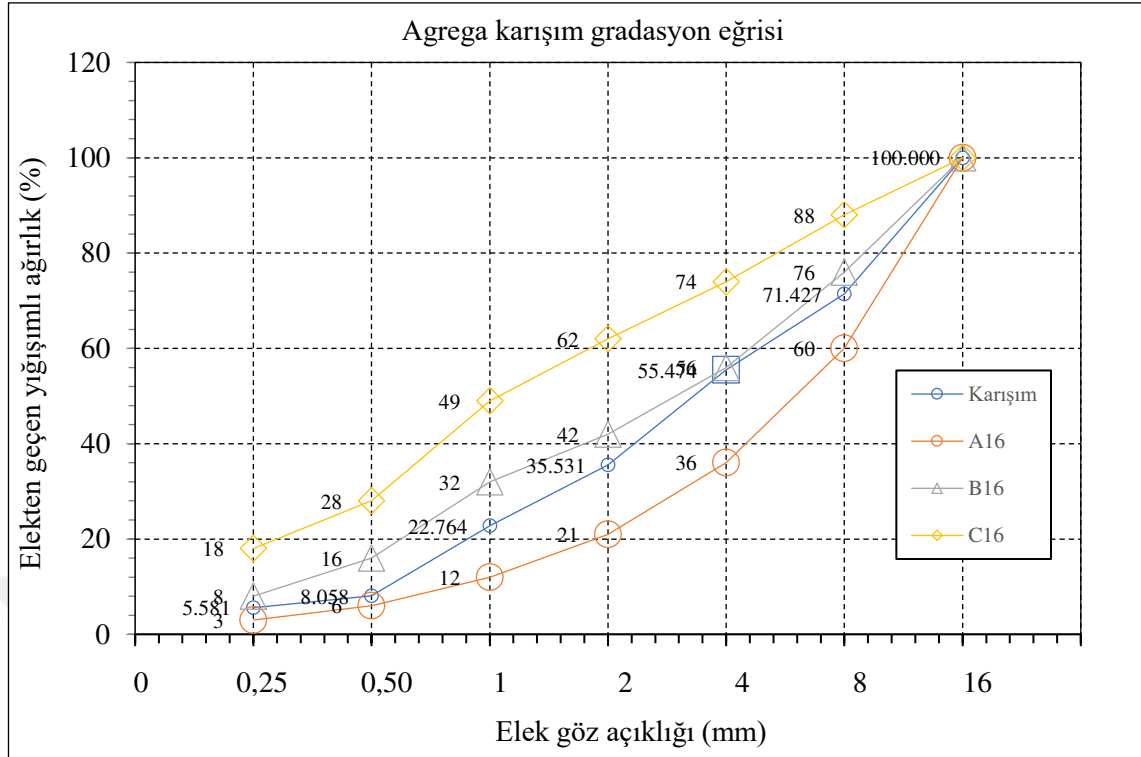
Şekil 3. 9. Beton karışımında kullanılan kum malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 3. 10. Beton karışımında kullanılan çakıl malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 3. 11. Beton karışımında kullanılan kırma kum malzemesine ait gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 3. 12. Beton karışımında kullanılan agrega karışım malzemesinin gradasyon eğrisinin referans değerlerle karşılaştırılması

3.4.4. Beton Üretimi

Deney elemanları için üretilen beton karışımı, mevcut yapıların düşük dayanımlı beton karakteristiklerini yansıtması bakımından her birinin amaç beton dayanımı 10 MPa olacak şekilde belirlenmiştir. Düşük dayanımlı beton tasarımı yapılırken daha önce Bedirhanoğlu (2009) tarafından yapılan çalışmalar esas alınmıştır. Düşük dayanımlı beton sınıfı üretimi için uygun miktarlarda kırma taş, kırma ve normal kum, çimento ve su karışımı betoniyerde karıştırılarak beton üretilmiştir. Düşük dayanımlı beton elde etmek için karışımının Su/Çimento oranı 0.9 olarak ele alınmıştır. Taze beton harcının kalıba dökümü sırasında betonun homojen olarak dağılması ve segregasyon oluşumunu engellemek amacıyla vibratörle sıkıştırma yapılmıştır. Çizelge 3.1.'de bu çalışmada kullanılan beton karışım oranları 1 m³ beton için kg cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3. 1. 1 m³ Beton karışım oranları

Malzemeler	Çimento	Su	7-15 mm Çakıl	Doğal Kum	Kırma Kum
Miktar (kg/m ³)	246	222	451	619	721

Üretilen deney elemanlarına ait betonun gerilme-birim deformasyon ilişkisinin elde edilebilmesi ve betonun farklı zamanlardaki basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla silindir numune ve küp numune dökümü gerçekleştirilmiştir. Üretilen kolon, silindir ve küp numunelere aynı kür koşulları uygulanmıştır. İlk üç gün ıslak çuval ve sulama uygulaması yapıldıktan sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Numunelerin kürü ıslak çuval uygulaması şeklinde toplam 7 gün devam etmiştir. Daha sonra bütün numuneler deney gününe kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

3.4.5. Standart Silindir Basınç Deneyleri

Numunelerin üretiminin 41. gününde malzeme testleri yapılmıştır. Standart silindir numuneler Şekil 3.13.'te görülen 300 ton kapasiteli Amsler yükleme cihazı kullanılarak eksenel basınç altında teste edilmiştir. Betonun birim deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla numune yüzeyine iki adet SLSP25 cinsi potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. Basınç deneyleri için Şekil 3.14'te görüldüğü gibi bir yükleme ve ölçüm sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.13.'ten görüldüğü üzere yerdeğiştirme ölçümleri hem numune üzerine hem de numune dışına yerleştirilen potansiyometrik cetveller ile yapılmıştır. Şekil 3.13.'te gösterilen ölçüm düzeneği ile yük ve karşı gelen yer değiştirmeler bulunarak gerilme ve şekildeğiştirme değerleri kullanılarak her bir silindir numunesi için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi elde edilmiştir.



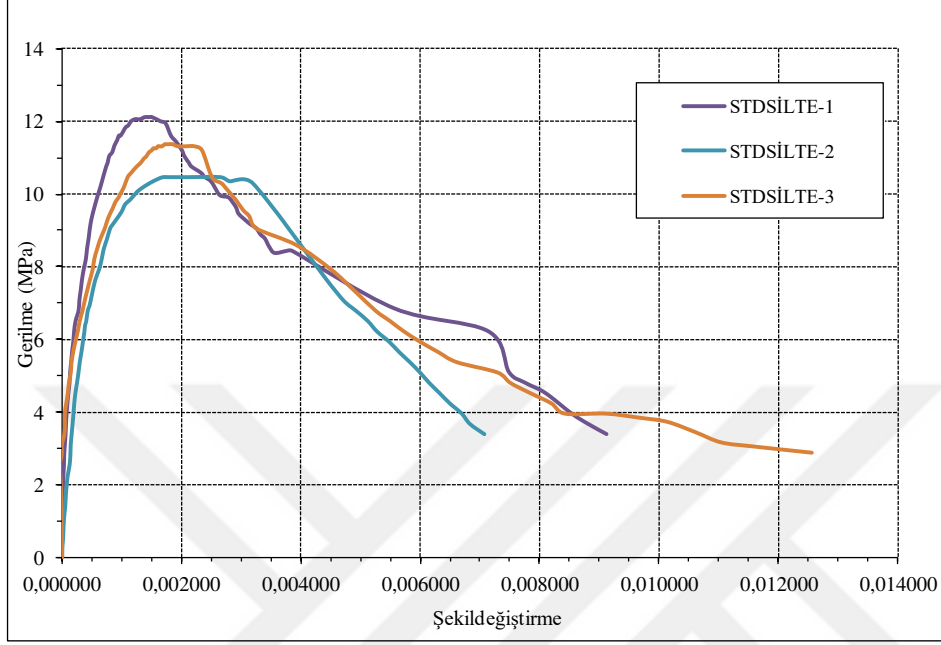
Şekil 3. 13. Standart silindir basınç deneyine ait düzenek



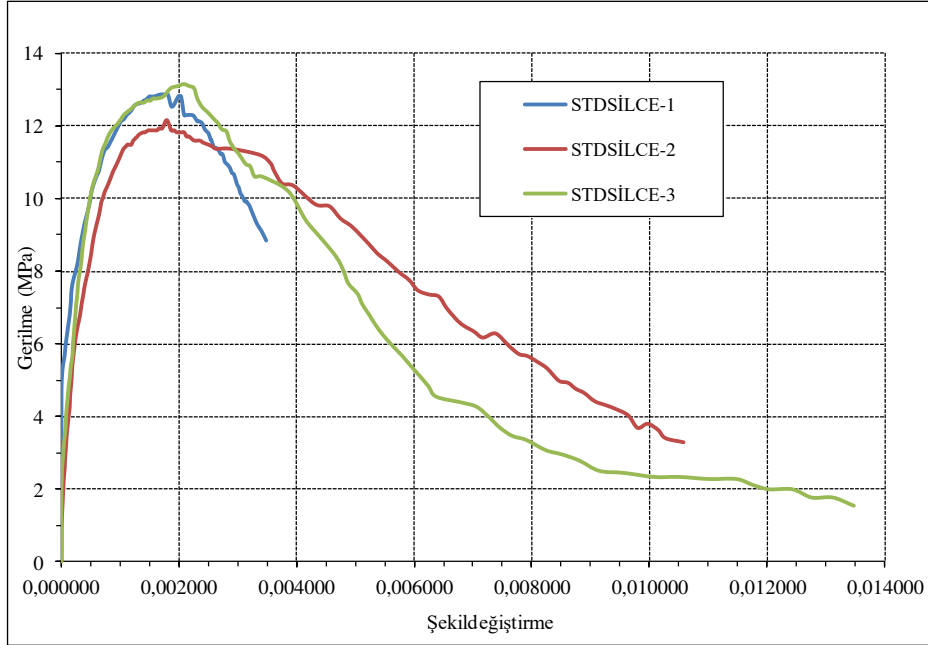
Şekil 3. 14. Standart silindir basınç deneyine ait düzenek

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme verileri “Data Logger” adı verilen veri toplama cihazı ile elde edilmiştir. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla kaydedilen veriler, bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen veriler uygulanan yük değerleri ile birlikte değerlendirilerek betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Şekil 3.15. ve 3.16.’da sırası ile tek etriyeli (DS-O ve DS-R) ve sık etriyeli (CCRS-O ve CCRS-R)

numuneleri için alınan silindir numunelere ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Çizelge 3.2.'de silindir numunelere ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinden elde edilen basınç mukavemeti değerleri verilmiştir.



Şekil 3. 15. Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (DS-O ve DS-R numuneleri)



Şekil 3. 16. Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (CCRS-O ve CCRS-R numuneleri)

Çizelge 3. 2. Standart silindir basınç deneyi sonuçları

Standart Silindir Numune No	Silindir numunelerin beton basınç dayanımları (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
1	11.89	11.8
2	10.28	
3	11.16	
4	12.61	
5	11.94	
6	12.89	

3.4.6. Standart Küp Numune Basınç Deneyleri

Malzeme deneyleri kapsamında beton karışımından her bir ebatı 15'er cm olan küp numuneler de üretilmiştir. Bu küp numunelere ait 41 günlük deney sonuçları Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Standart küp basınç deneyi sonuçları

Standart Küp Numune No	Küp numunelerin beton basınç dayanımları (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
1	13.47	13.12
2	11.55	
3	12.49	
4	14.08	
5	13.09	
6	14.04	

3.4.7. Disk Yarma Deneyi

Betonun çekme dayanımını belirlemek amacıyla kalınlığı ortalama 60 mm ve çapı da 150 mm olan diskler kullanılarak disk yarma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan betondan disk numune üretilerek test edilmiştir. Deneyler Şekil 3.17.'de gösterilen yükleme sistemi altında yapılmıştır. Testler sonucunda elde edilen P kırılma yükünden betonun yarma çekme dayanımı Denklem

3.3. kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 3.4.'te disk yarma deney sonuçları sunulmuştur.



Şekil 3. 17. Disk yarma deneyi için düzenek

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi h d} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde;

f_{ct} = betonun yarma çekme dayanımı,

P = deneyde ölçülen en büyük yükü

d = numunesinin disk çapı (Standart yarma disk çapında değer 150 mm'dir.)

h = Disk boyu (standart yarma diskleri için disk boyu 60 mm)

Yukarıda verilen bağıntıyla elde edilen disk yarma deneyi sonuçları Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3. 4. Standart disk yarma deneyi sonuçları

Standart Disk Numune No	Numune Kalınlığı (mm)	Çekme dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç dayanımı (MPa)
1	60.0	1.07	1.53
2	59.9	1.25	
3	60.1	1.63	
4	54.0	1.49	
5	57.9	1.58	
6	57.6	1.62	
7	60.1	1.70	
8	61.0	1.71	
9	56.5	1.71	

3.4.8. Çekme Deneyleri

Kısa kolon numunelerinde kullanılan enine ve boyuna donatılar ile güçlendirme uygulamasında kullanılan çelik plaka ve bu plakaların ankrajlanmasında kullanılan tiplere ait çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Enine ve boyuna donatıya ait akma ve çekme gerilmeleri değerleri sırasıyla Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.'te, bu numunelerin gerilme birim deformasyon grafikleri de Şekil 3.18. ve Şekil 3.19.'da verilmiştir. Güçlendirme uygulanmasında kullanılan çelik levhalarının ve tiplere ait akma ve çekme gerilmeleri değerleri sırasıyla Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7.'de, yine numunelerin gerime-deformasyon grafikleri de sırasıyla Şekil 3.20. ve Şekil 3.21.'de verilmiştir.



Şekil 3. 18. Çelik levha çekme deneyi



Şekil 3. 19. Çelik levha ankrajlanmasında kullanılan tij çekme deneyi



Şekil 3. 20. Enine donatı çekme deneyi



Şekil 3. 21. Boyuna donatı çekme deneyi

Elde edilen deneysel verilerden boyuna donatının ortalama akma gerilmesi 472.3 MPa, ortalama çekme dayanımı 586.67 MPa olarak bulunmuştur. Enine donatının ortalama akma gerilmesi 517.67 MPa, ortalama çekme dayanımı da 620.33 MPa olarak bulunmuştur. Çelik levhaların ortalama akma gerilmesi 173.27 MPa, ortalama çekme dayanımı 239.87 MPa olarak bulunmuştur. Yine ankrajlama tijlerin ortalama akma gerilmesi 540 MPa, ortalama çekme dayanımı da 601 MPa olarak elde edilmiştir. Güçlendirme kullanılan çelik levhaların betonun çekme dayanımına katkısını veren teorik hesaplar Ek 1.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 5. Boyuna donatılara ait gerilme şekil değiştirme değerleri

Numune No	Donatı Çapı	Akma MPa	Çekme MPa	Çekme/Akma	React/Renom	Kopma/Uzama %
1	14	462	579	1.25	1.10	16.6
2	14	480	591	1.23	1.14	15.9
3	14	475	590	1.24	1.13	16.2
Ortalama (MPa)		472.3	586.67			

Çizelge 3. 6. Enine donatının akma ve çekme dayanımları

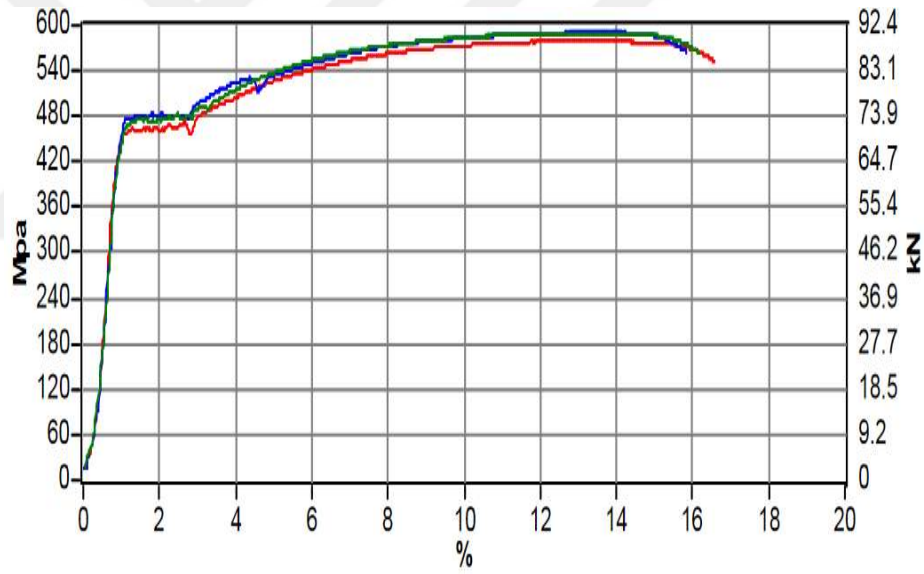
Numune No	Donatı Çapı	Akma MPa	Çekme MPa	Çekme/Akma	React/Renom	Kopma/Uzama %
1	8	516	618	1.20	1.23	13.4
2	8	527	637	1.21	1.25	13.8
3	8	510	606	1.19	1.22	9.6
Ortlama (MPa)		517.67	620.33			

Çizelge 3. 7. Çelik plakaların akma ve çekme dayanımları

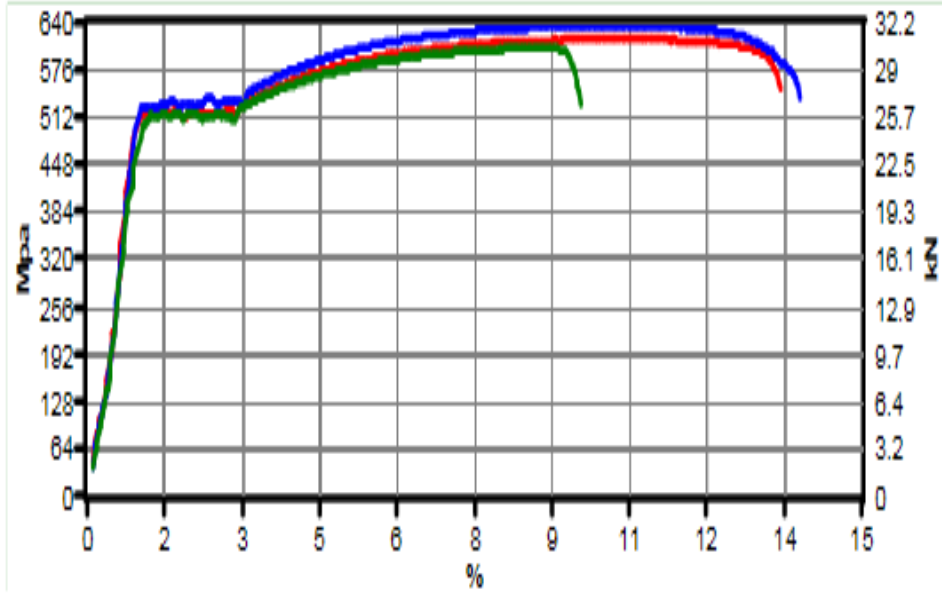
Numune No	Akma MPa	Çekme MPa	Çekme Yüğü (N)	Akma Yüğü (N)	Kopma/Uzama %
1	175.3	240.2	12073	8809	15
2	173.3	240.9	12107	8733	16.4
3	171.2	238.5	11988	8605	15.5
Ortalama(MPa)		173.27	239.87		

Çizelge 3. 8. Tijlere ait akma ve çekme dayanımları

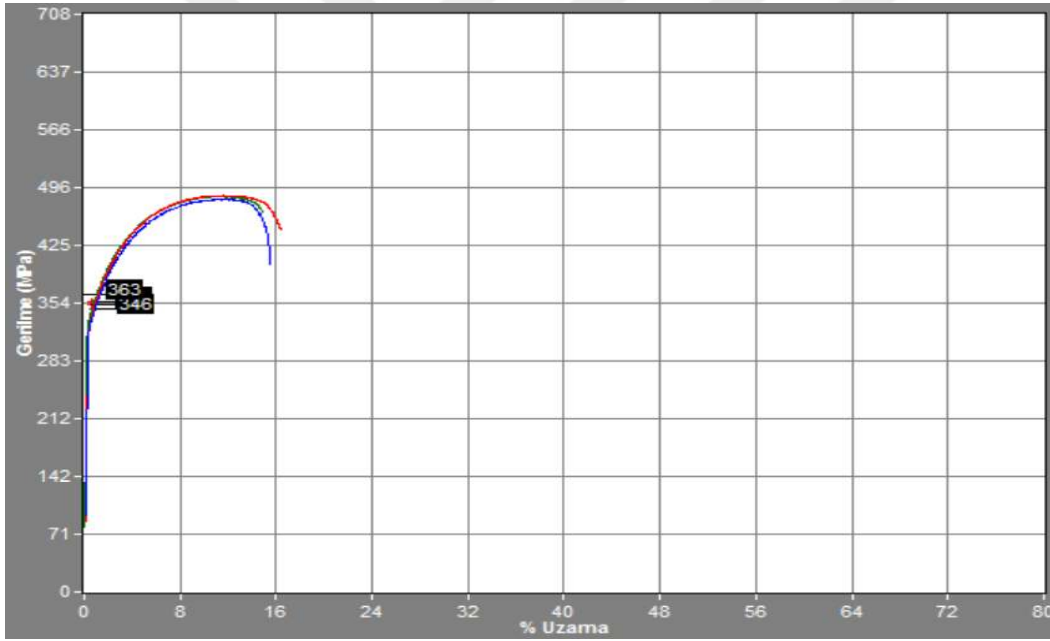
Numune No	Tij Çapı	Akma MPa	Çekme MPa	Çekme/Akma	React/Renom	Kopma/Uzama %
1	6.8	544	587	1.07	1.30	2.3
2	6.8	557	617	1.11	1.33	4.6
3	6.8	519	599	1.15	1.24	2.1
Ortalama (MPa)		540	601			



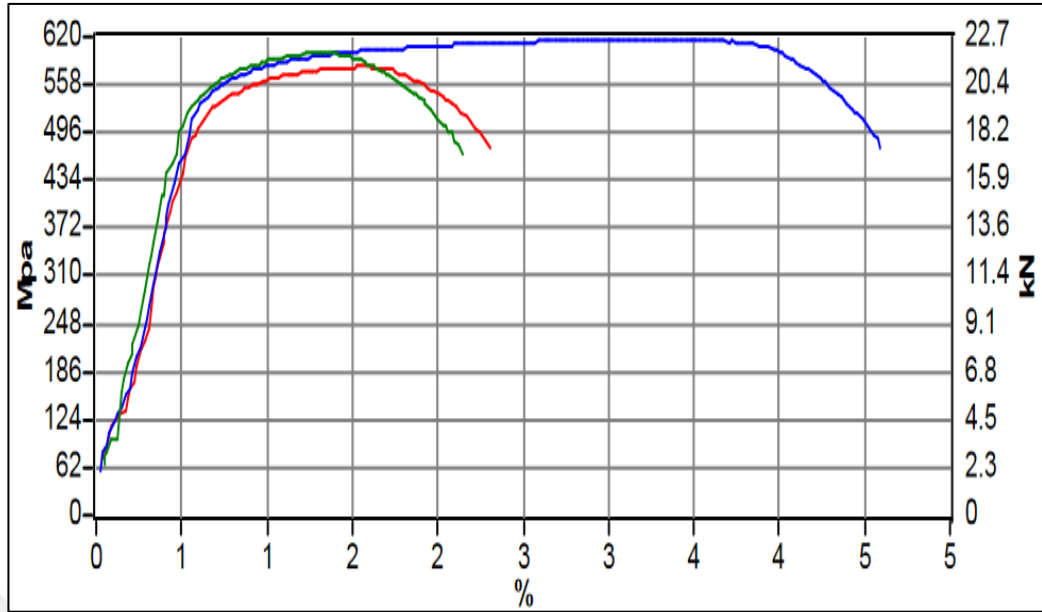
Şekil 3. 22. Boyuna donatı çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi



Şekil 3. 23. Enine donatı çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi



Şekil 3. 24. Çelik levha çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi



Şekil 3. 25. Tij çekme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi

3.4.9. Tamir Harcı

Bu tez çalışması kapsamında üretilen numunelerden DS-O ve CCRS-O numuneleri orijinal olarak DS-R ve CCRS-R numuneleri ise güçlendirilerek teste tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma kapsamında DS-R ve CCRS-R numunelerinin test bölgeleri BASF firmasının üretimi olan MasterEmaco® S488 yapısal tamir harcı ile güçlendirilmiştir. MasterEmaco S488, çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve fiber takviyeli, tiksotropik özelliğe sahip yapısal tamir harcıdır. Uygulaması oldukça pratik olan bu tamir harcı, yalnızca su ile karıştırılarak kolay bir şekilde hazırlanır. Basınç dayanımının yüksek, beton ve donatıyla yüksek derecede aderans sağlama, su geçirimsizlik, donma-çözülme döngüsüne dayanıklı, klor ve sülfata dayanıklılık açısından avantajları bulunur. Yapısal tamir harcının üretici firma tarafından belirtilen teknik özellikleri Çizelge 3.11.'de verilmiştir. Tamir harcı Çizelge 3.10.'da belirtilen karışım oranlarına göre hazırlanarak kullanılmıştır.

Çizelge 3. 9. Tamir harcı küp numune basınç deneyi değerleri

Numune No	Kırım Yüğü (kN)	Gerilme(Stress) (MPa)
1	347.5	34.75
2	287.5	28.75
3	274.1	27.41
4	322.5	32.25

Çizelge 3. 10. MasterEmaco S 488 Karışım Oranları

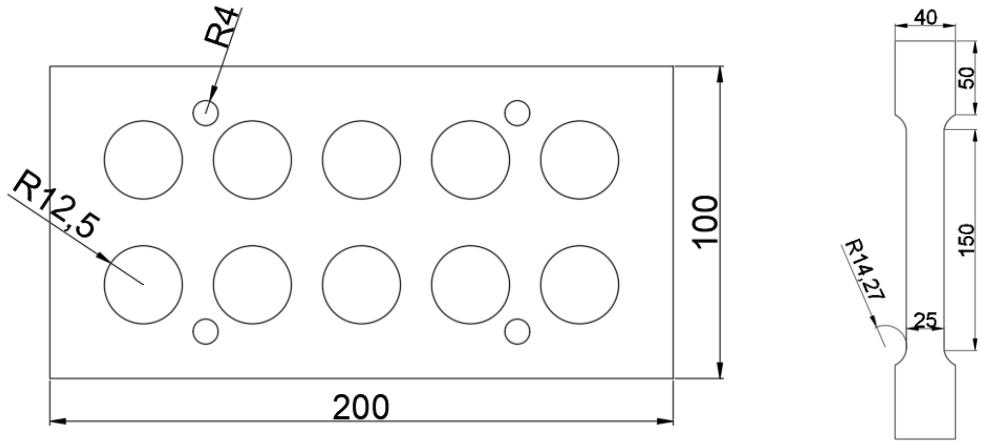
MasterEmaco® S 488	1 kg toz için	25 kg torba için
Karışım suyu miktarı	<0,16 litre	<4,00 litre
Karışım yoğunluğu	2,25 kg/litre	

Çizelge 3. 11. MasterEmaco S 488 Yapısal Tamir Harcı Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	
Basınç Dayanımı (TS EN 12190) 1 gün 7 gün 28 gün	>25 N/mm ² >50 N/mm ² >70 N/mm ²
Eğilme Dayanımı (28 günlük) (TS EN 196)	>8,0 N/mm ²
Yapışma (Çekme) Dayanımı (TS EN1542) (Beton) (28 gün)	>2 N/mm ²
Elastisite Modülü (28 gün)	>20 N/mm ²
Kapiler su absorpsiyonu (TS EN 13057)	<0,5 kg
Uygulama kalınlığı	Min. 10 mm Mak. 50 mm
Uygulanacak zemin sıcaklığı	+5 C +30 C
Servis sıcaklığı	-20 C +400 C
Kullanma süresi (+20 C)	30 dk
Tam kürlenme süresi (+20 C)	28 gün

3.4.9. Çelik Plaka

Geometrik boyutları Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi DS-R ve CCRS-R numunelerinin her ikisi de kayma açıklığı bölgesinde çelik plaka ve yapısal tamir harcı ile güçlendirilerek test edilmiştir. Çelik plakalar 1 mm kalınlığa sahiptirler. Güçlendirme uygulaması için kullanılan tamir harcıyla daha iyi bir aderans sağlaması için ortasında gözenek şeklinde delikler bulunmaktadır.



Şekil 3. 26. Güçlendirme uygulamasında kullanılan çelik plaka boyutları ve çekme numune örneği

3.5. Numune Özellikleri

Bu tez çalışması kapsamında dört adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerden DS-O ve CCRS-O numuneleri referans davranışı gözlemlmek amacıyla güçlendirilmeden, geriye kalan DS-R ve CCRS-R numuneleri ise güçlendirilerek teste tabi tutulmuştur. Bütün numunelerin özellikleri Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir. Betonarme taşıyıcı elemanlarında beton kalitesinin düşük dayanımlı olması ve enine donatı bakımından yönetmeliklerde belirtilen standartlara göre sargılanmaması bu tür elemanların davranışını değiştirmektedir (Bedirhanoğlu 20119). Ülkemizde geçmişte yapılan mevcut yapıların birçoğunun düşük dayanımlı beton ve yetersiz enine donatı sargılamasına sahip olması nedeniyle olası bir deprem durumunda yapının taşıyıcı elemanı olan kolonlar; kesme kırılmasıyla ağır hasara maruz kalmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada söz konusu davranışı inceleyebilmek amacıyla kullanılan deney elemanlarının enine ve boyuna donatı özellikleri, kesme açıklığı oranı

(a/d) ve kesit boyutları seçilirken; kısa kolonların kesme bakımından yetersiz olması amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bütün numunelerin eğilme kapasitesine ulaşmadan, kesme göçmesinden taşıma kapasitelerini yitirdikleri görülmüştür. Bu durum tüm numunelere ait deney verilerinin değerlendirilmesi sonucunda numunelerin beklenen doğrultuda bir davranış sergiledikleri anlaşılmıştır. Numunelerin kesme açısından kritik bir davranış sergileyebilmelerini sağlamak amacıyla numune üretiminden önce eğilme ve kesme kapasitelerine ait teorik hesaplamalar yapılmıştır. Böylece kesme açısından yeterli ve yetersiz enine donatıya sahip olan numunelerin gösterecekleri dayanım değerinin sistemin yükleme kapasitesini aşmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yine bütün numunelere düşey olarak uygulanmış olan eksenel yük oranı her bir numunenin yükleme kapasitesinin yaklaşık %30'u kadar uygulanmıştır.

Numuneler isimlendirilirken her biri deneysel özelliklerini yansıtacak şekilde belirtilmiştir. Orijinal olarak test edilen numuneler DS-O (Deficient Stirrup-Orijinal) ve CCRS-O (Compile Code Requirement Specimen-Orijinal), güçlendirilmiş olarak test edilen numuneler DS-R (Deficient Stirrup-Reinforced) ve CCRS-R (Compile Code Requirement Specimen-Reinforced) olarak adlandırılmıştır. Burada DS-O ve CCRS-O numunelerinde “O” orijinal numuneyi, DS-R ve CCRS-R numunelerinde “R” güçlendirilmiş numuneyi ifade etmektedir. Yine DS-O ve DS-R olarak isimlendirilen numunelerde “DS” yetersiz enine sargılamayı, CCRS-O ve CCRS-R olarak ta isimlendirilen numunelerde “CCR” yönetmeliklere göre yeterli enine donatı sargılamasına sahip olduğunu belirtmektedir. Deney elemanlarının numune tipi, kesme açısından özelliği, enine donatı sargılama biçimi, eksenel yük ve kesme açıklığı değerlerine ait genel özellikler Çizelge 3.12.’de sunulmuştur.

Çizelge 3. 12. Numunelerin genel özellikleri

Numune adı	Numune tipi	Özelliği	Enine donatı	Eksenel yük oranı $\left(\frac{N}{bh}\right)$	Kesme açıklığı $\left(\frac{a}{d}\right)$
DS-O	Referans	Kesme açısından yetersiz kayma donatılı numune	Tek etriye	0.3	2.61
DS-R	Güçlendirilmiş	Kesme açısından yetersiz kayma donatılı numune	Tek etriye	0.3	2.61
CCRS-O	Referans	Kesme açısından yeterli kayma donatılı numune	Sık etriye	0.3	2.61
CCRS-R	Güçlendirilmiş	Kesme açısından yeterli kayma donatılı numune	Sık etriye	0.3	2.61

3.5.1. DS-R ve CCRS-R Numunelerinin Güçlendirilmesi

Çalışma kapsamında referans numunelerle karşılaştırma yapmak amacıyla iki adet numunenin kesme açıklığı bölgesi çelik plaka ve yapısal tamir harcı ile güçlendirilerek teste tabi tutulmuştur. Kolon kesme açıklığı bölgesine çelik plakaların sabitlenmesi amacıyla Şekil 3.27.'de görüldüğü gibi matkap ile ankraj delikleri açılmış ve ankraj deliklerinin içerisinde yer alan toz kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Ardından Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi iki bileşenli tiksotropik ADESILEX PG1 epoksi yapıştırıcı karışımı hazırlanmış ve yine Şekil 3.29.'de görüldüğü üzere 8 mm'lik tijlerin ankraj deliklerine epoksi yardımıyla sabitlenmeleri sağlanmıştır. Çelik plakaların tamir harcına iyice kenetlenebilmelerini sağlamak amacıyla her birinde 25 mm çapa sahip 12 adet delik bulunmaktadır. Çelik plakaların tijlere sabitlenmesi için her birinde 4 adet 8 mm'lik tijlere uygun ankraj deliği açılmış ve ardından söz konusu güçlendirme plakaları civata ve rondelalarla Şekil 3.30.'te görüldüğü gibi sıkıştırılarak tijlere kenetlenmeleri sağlanmıştır.



Şekil 3. 27. Ankraj deliklerinin açılması



Şekil 3. 28. Epoksi karışımının hazırlanması



Şekil 3. 29. Ankraj deliklerine 8 mm'lik tijlerin epoksi ile sabitlenmesi



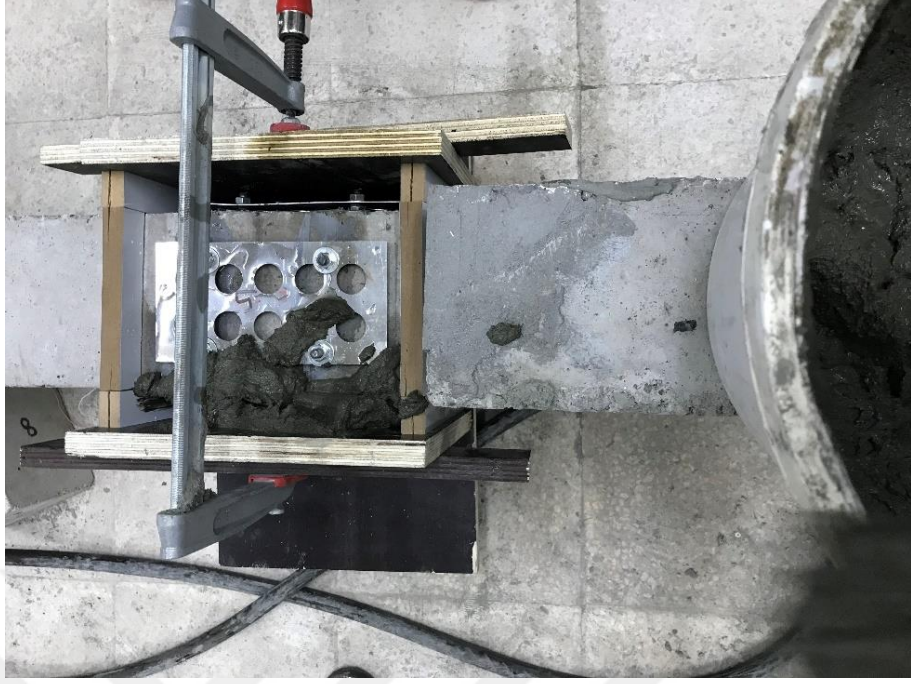
Şekil 3. 30. Güçlendirme çelik plakaların tijlere sabitlenmesi

Kesme açıklığı bölgesini güçlendirmek amacıyla BASF firmasının ürettiği MasterEmaco S488 yapısal tamir harcı kullanılmıştır. Bu işlem için ilk önce Şekil 3.31.'te görüldüğü gibi playwood ve mdf malzemelerinden kalıp sistemi hazırlanmış ve

kalıplar işkence denilen aletlerle sıkıştırılarak sabitlenmeleri sağlanmıştır. Daha sonra yapısal tamir harcı, kullanım talimatında belirtilen oranda su ile karıştırılarak bir kova içerisinde hazırlanmıştır. Şekil 3.32.'de görüldüğü gibi tamir harcı sıva malası yardımıyla kalıplara doldurularak sıkıştırılmıştır. Tamir harcının, kalıp içerisinde homojen bir dağılım kazanması ve içerisindeki boşlukların giderilebilmesi amacıyla vibratörle sıkıştırılmıştır. Tamir harcıyla kolon test bölgesinde mantolama şeklinde yapılan güçlendirme 30 mm kalınlığa sahiptir. Deney sırasında kolon elemanlarına uygulanan yatay yükten dolayı kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşabilecek eğilme etkisi nedeniyle güçlendirme uygulaması; kiriş yüzeyinden 25 mm kadar bir mesafeden başlanarak uygulanmıştır. Böylece olası bir eğilme etkisinden dolayı kolon-kiriş bölgesinin çelik plaka ve yapısal tamir harcıyla yapılan güçlendirme uygulamasının hasar görmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. 31. Kesme açıklığı bölgesinde güçlendirme uygulamasını gerçekleştirmek amacıyla yapısal tamir harcı için kalıp hazırlanması



Şekil 3. 32. Yapısal tamir harcının kalıplara dökülmesi



Şekil 3. 33. Standart küp deney numuneleri için yapısal tamir harcından küp numune alınması

3.6. Deney Düzenegi

3.6.1. Yükleme Sistemi

Deney düzenegi rijit ve kapalı bir çerçeve sisteminden oluşan bir düzenekte gerçekleştirilmiştir. Çerçeve sistemi yüksek mukavemetli bulonlar yardımıyla birbirine sabitlenmiş çelik profiller ve levhalardan oluşturulmuştur. Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de bu çalışmadaki deney düzeneginin perspektif görünümü ve yükleme sisteminin genel görünümü gösterilmiştir. Şekilde 3.39.’da görüldüğü üzere numune gerçekte olduğu gibi düşey değil yatay bir şekilde yatırılarak test edilmiştir. Bu durumda kolon düşey yükü yatay olarak etki ettirilmektedir. Hem eksenel yük hem de yatay yükü yüklemek için kapalı bir çerçeve kullanılmıştır. Numune Şekil 3.39.’da görüldüğü gibi sabit eksenel yük ve monotonik artan yatay yüke maruz bırakılmıştır. Numune toplamda 3 metre uzunluğunda olmasına rağmen kısa kolon davranışını temsil etmek üzere mesnetler kirişe 30 cm mesafede yerleştirilmiştir.

Eksenel yük için 200 kN kapasiteli hidrolik krika kullanılmıştır. Eksenel yük miktarının kolon eksenel yük kapasitesinin yaklaşık %30’una karşılık gelen 74 kN (0.3bhfc) civarında sabit olması sağlanmıştır. Bu yükün deney boyunca aynı değerde kalmasını sağlamak için, deney sırasındaki yük azalması veya artışı 74 kN’a göre sürekli takip edilerek gerekli müdahaleler yapılmıştır. İlk olarak eksenel yükleme tamamlandıktan sonra numunenin yatay yüklemesine başlanmıştır ve her 2 kN yükleme artışında deneye çok kısa bir ara verilip bütün ölçümler alınmakta ve hasar fotoğrafları çekilmektedir. Yüklemeye bu şekilde monotonik olarak devam edilmiştir. Numunenin yatay yük kapasitesine yaklaşıldığında deneye ara verilmeden numune sürekli bir şekilde itilerek yük kapasitenin çok küçük değerlere düşmesine kadar deney devam ettirilmiştir. Bu sırada deformasyon ve yük ölçümlerinin 125 milisaniyede bir olmak üzere otomatik olarak alınması sağlanmıştır. Dolayısı ile ani göçme sonucu yükün aniden düşmesi ve deformasyonların hızlı gelişmesi gibi durumlardaki ölçümler de alınabilmektedir. Bütün numunelere uygulanan eksenel yük oranı (0.3bhfc) aynı değerdedir.

Eksenel yük oranı,

$$n = \frac{N}{f'_c b h} \quad (3.4)$$

denklemini ile hesaplanmıştır. Denkleminde;

n = eksenel yük oranını,

N = Eksenel yük değerini,

f'_c = Beton basınç dayanımını,

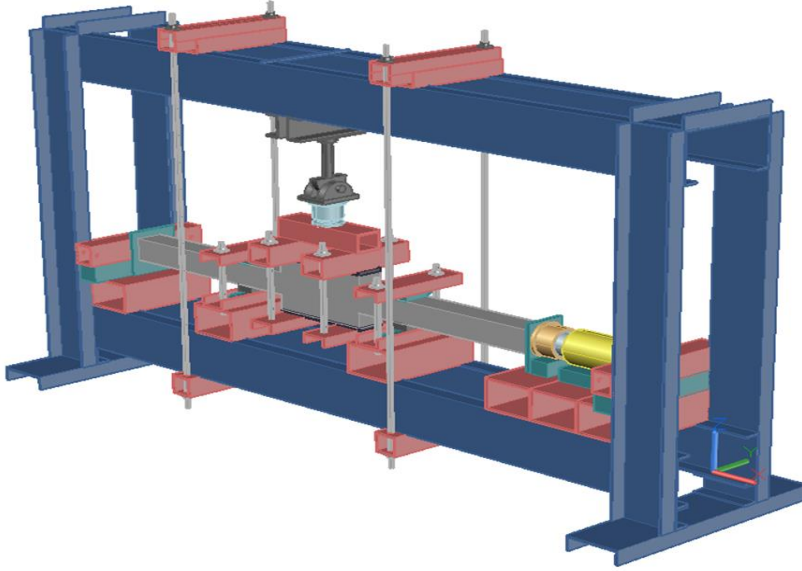
b = kolon enkesit genişliğini,

h = kolon yüksekliği olduğunu belirtmektedir.

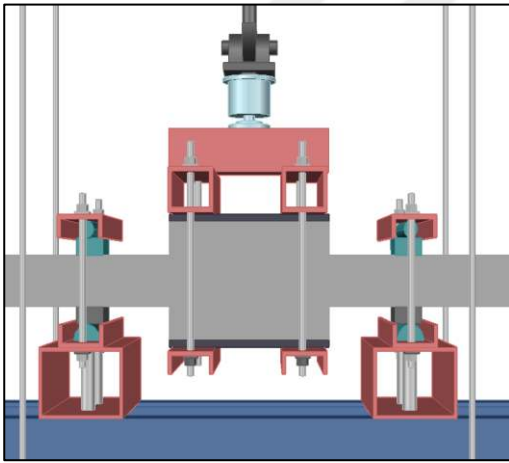
Yapının taşıyıcı elemanları olan kolonlar deprem sırasında hareketli yön değiştiren eğilme, kesme ve eksenel kuvvetlerin etkisinde bulunurlar. Yapı elemanlarının bu davranışından dolayı laboratuvar ortamında modellenmeleri kolay olmadığından bu elemanlara uygulanan yükler statik olarak etki ettirilmiştir. Yükün statik olarak etki ettirilmesiyle numunelerde oluşan hasar durumu daha belirgin bir şekilde gözlenebilmektedir (Bedirhanoglu 2009).

Numunelere yatay olarak uygulanan yük, eğilme ve kesme kuvveti oluşturmak amacıyla etki ettirilmiştir. Yatay yük 200 kN kapasiteli manuel kontrollü hidrolik yük verenle 2 kN yükleme ile adım adım etki ettirilmiştir. Deprem kuvvetini temsil eden yatay yük Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi numunelerin kolon-kiriş birleşim bölgesinde yer alan 150x600 enkesitli kiriş parçasının tam ortasına uygulanmıştır. Kiriş numunesi üzerine 300 kN kapasiteli loadcell (yük ölçer) yerleştirilerek data logger adı verilen veri toplama cihazına bağlanarak deney elemanlarına uygulanan yatay yük değerleri ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirme verileri elde edilerek otomasyon sistemiyle bilgisayara aktarılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesi üzerine çelik plakalar yerleştirilerek yatay yükün üniform olarak dağılması amaçlanmıştır. Yine kolon-kiriş birleşim bölgesinin alt ve üst kısımları; yatay yükün uygulanması esnasında yükleme noktalarının deformasyonlarının sağlıklı ölçülebilmesini sağlamak amacıyla U şeklindeki çelik profillerle yükün uygulama noktası doğrultusunda sıkı bir şekilde mesnetlenmiştir. Deney elemanlarının her iki ucu ile deney düzeneğini oluşturan

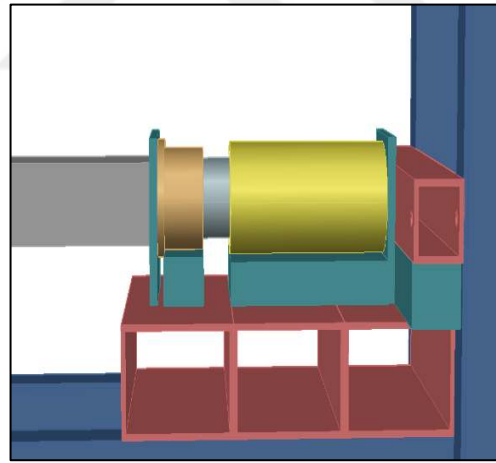
çerçeve sistemi arasına çelik profiller ve levhalar yerleştirilerek eksenel yükün uygulanması esnasında numunelerin hareket etmeleri engellenmiştir.



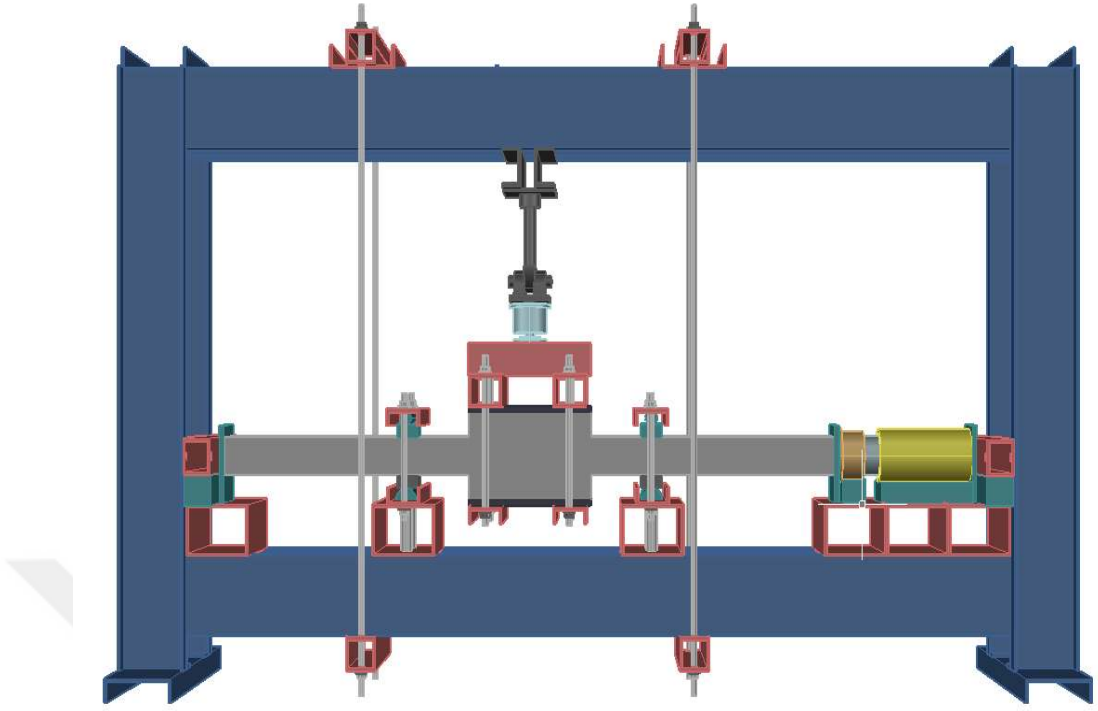
Şekil 3. 34. Deney düzeneğinin perspektif görünümü



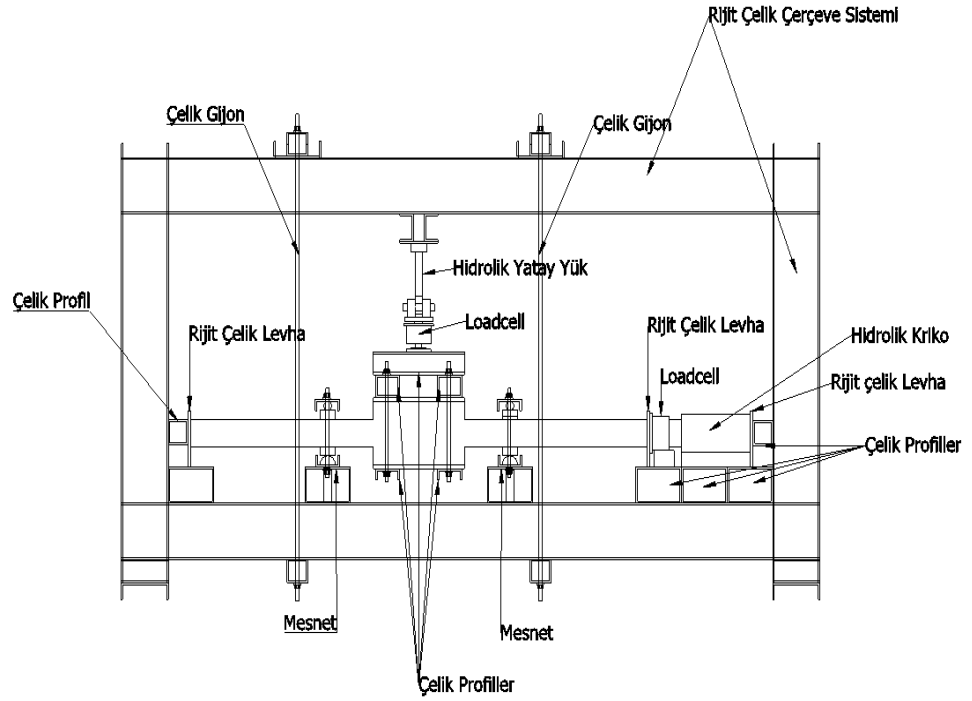
Şekil 3. 35. Deney düzeneğinin mesnet bölgesi



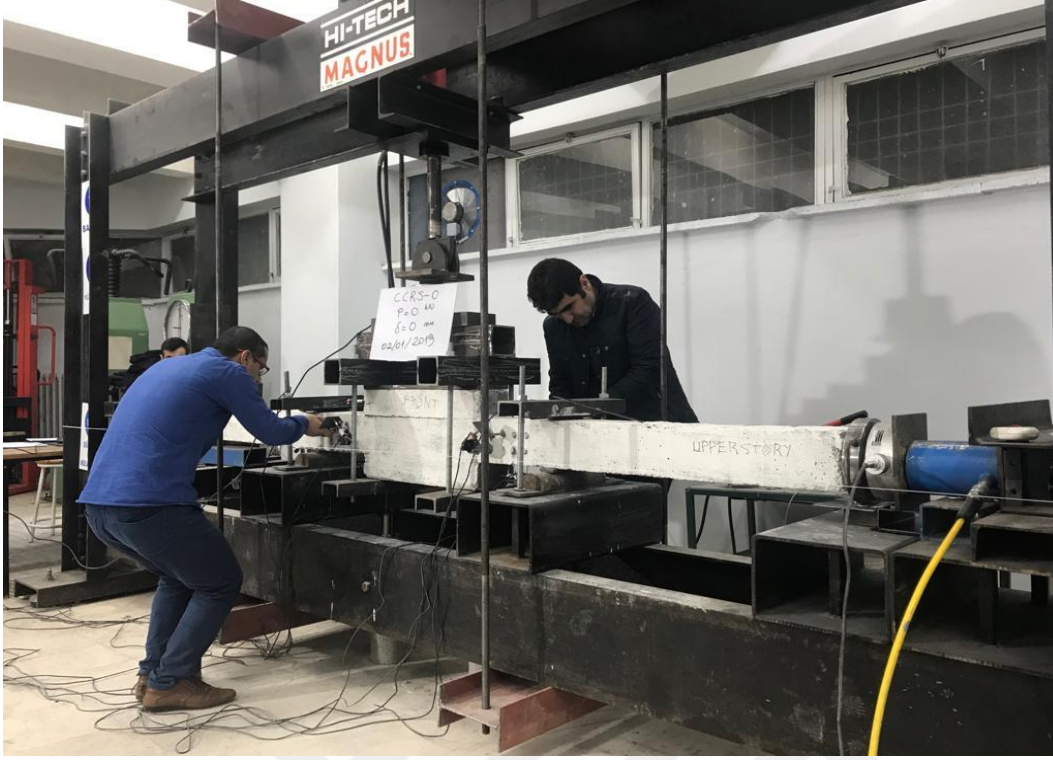
Şekil 3. 36. Eksenel yük sistemi



Şekil 3. 37. Deney düzeneği sisteminin önden görünümü



Şekil 3. 38. Deney düzeneği sistemine ait elamanlar



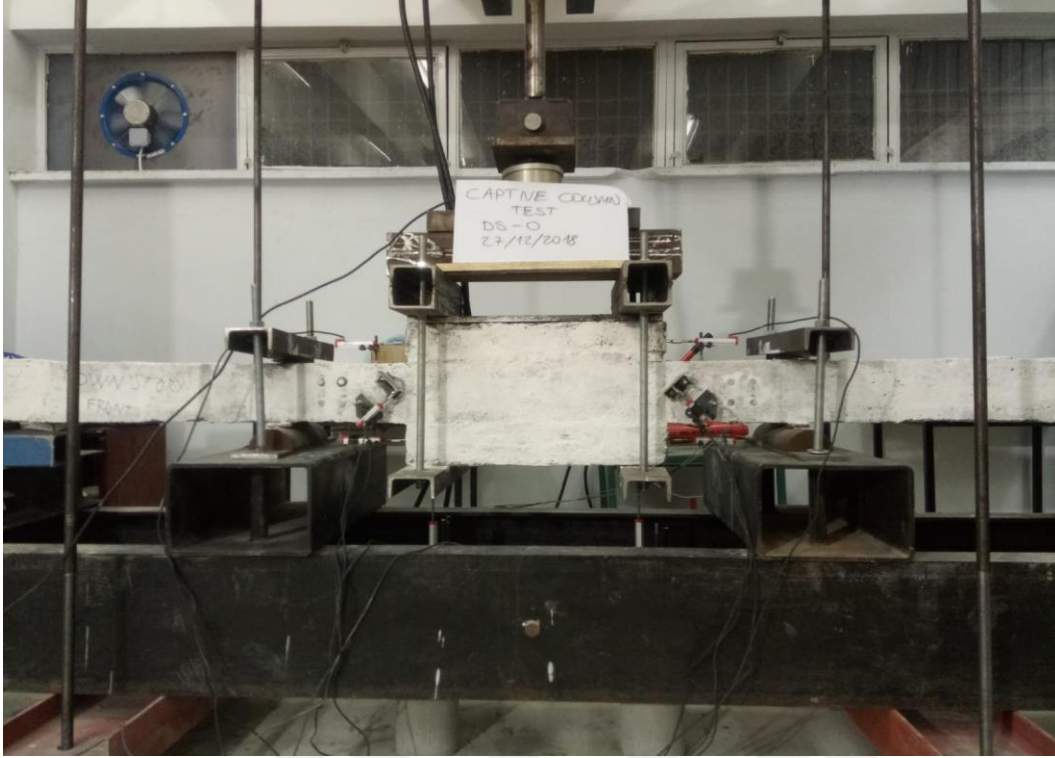
Şekil 3. 39. Numune genel görünümü

3.6.2. Ölçüm Sistemi

Şekil 3.40.'ta numunelerin ölçüm sistemi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ölçümler hem potansiyometrik cetvel kullanılarak hem de referans noktaları kullanılarak yapılmıştır. Potansiyometrik cetvel okumaları data logger cihazı ile bilgisayara otomatik olarak aktarılmaktadır. Point ölçümleri ise bu iş için geliştirilen ve çoğunlukla whitmoregage olarak adlandırılan hassas bir dijital cetvel ile alınmıştır. Şekil 3.40.'ta görüldüğü gibi her bir kolonun moment-eğrilik ilişkisini elde etmek için 2 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Orijinal DS-O ve CCRS-O numunelerinde kolonların test bölgelerine ait ön ve arka yüzeylerine hem potansiyometrik cetveller hem de referans noktaları için pointler yerleştirilmiştir. Güçlendirilmiş olan DS-R ve CCRS-R numunelerinde ise kolonların test bölgelerine ait ön yüzlerine sadece potansiyometrik cetveller, arka yüzlerine de referans noktaları için sadece pointler yerleştirilmiştir. Pointler numune yüzeylerinde belirlenen noktalara epoksi veya çelik macunu ile yapıştırılmıştır. Potansiyometrik cetvellerle numune yüzeylerinde belirlenen noktalardan ölçüm alınabilmesini sağlamak amacıyla matkapla ankraj delikleri açılmıştır. Açılan ankraj deliklerine 8 mm'lik tijler yerleştirilerek epoksi ile deney

elemanlarına sabitlenmeleri sağlanmıştır. Numunelerin yükleme noktasındaki deformasyonunu ölçmek için 100 mm kapasiteli 2 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Kısa kolonların kayma deformasyonlarını ölçmek için DS-O ve CCRS-O numunelerinde ön ve arka yüzeylerde 4 adet 25 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel ve 16 adet point kullanılmıştır. DS-R ve CCRS-R numunelerinde ise ön yüzeylerde 2 adet 25 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel ve arka yüzeylerde de 8 adet point kullanılmıştır. Donatılardaki şekildeğiştirmeleri ölçmek için her bir numuneye 4 adet şekildeğiştirme ölçer hem boyuna hem de enine donatıya yerleştirilmiştir. Şekil 3.41.'de görüldüğü gibi şekildeğiştirme ölçerlerin yapıştırıldığı yüzeyler zımpara ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Şekil 3.42.'de da görüldüğü gibi şekil değıştirme ölçerlerin beton dökümü sırasında sudan zarar görmemeleri için izole bant ile sarılmışlardır. Ayrıca kablonun gerinim pulundan kopmaması için kablo donatıya ince kablolar ile sabitlenmiştir.

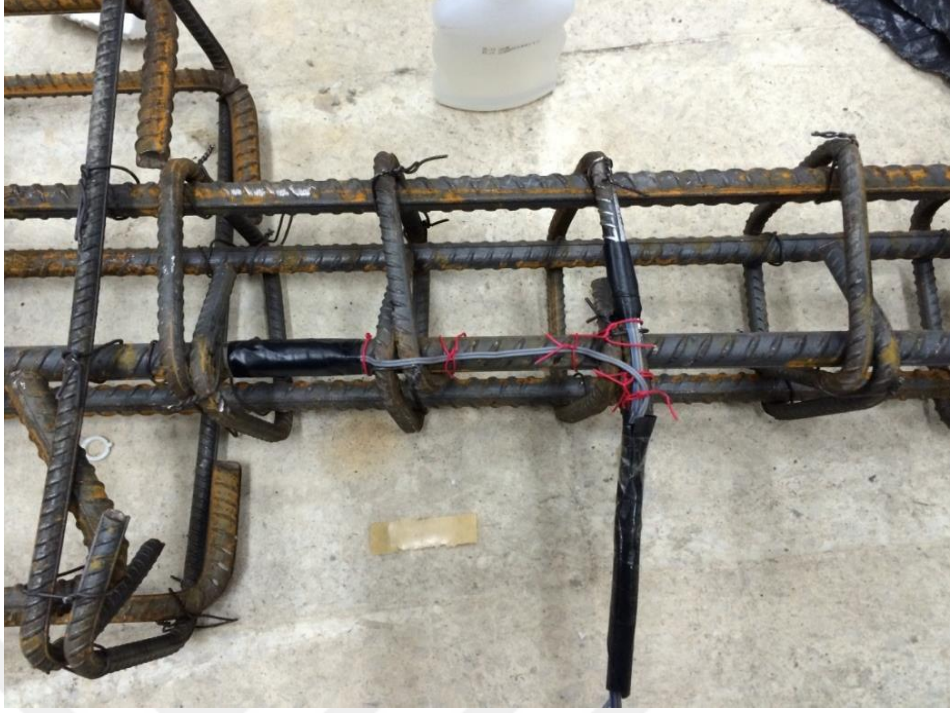
Donatı iskeletinin hazırlanmasından sonra şekildeğiştirmeye maruz kalacak olan boyuna donatıya strain gauge'ler (gerinim pulu) yapıştırılmıştır. Strain gauge'ler her bir numuneye ait donatı iskeleti için bir adet boyuna donatıya bir adette etriye donatısına Şekil 3.41.'de gibi yapıştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında test edilen numunelerde 3 mm ölçüm boyuna sahip FLA-3 tipli gerilme ölçerler kullanılmıştır. Donatı yüzeyinde önceden belirlenen noktalar spiral ile düzleştirilmiştir. Daha sonra şekildeğiştirme ölçerlerin yapıştırıldığı yüzeyler zımpara ile pürüzsüz hale getirilmiş ve aseton ile yüzeydeki tozlardan arındırılmıştır. Ardından temizlenen yüzeylere gerilme ölçerler japon yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Bütün şekildeğiştirme ölçerlere ait kabloların uçlarına Şekil 3.43.'te görüldüğü gibi konumlarına ait bilgiler yazılarak etiketlenmiştir.



Şekil 3. 40. Ölçüm sistemi



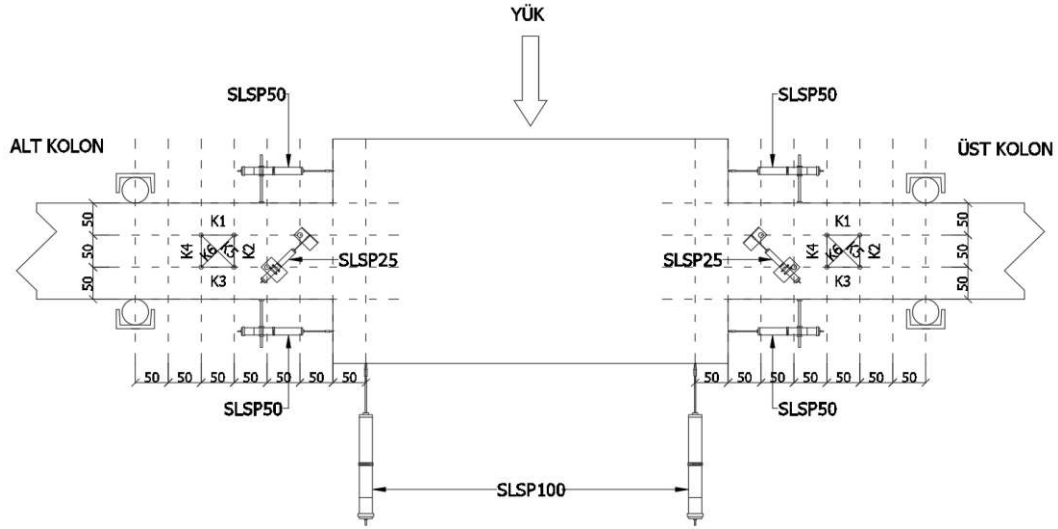
Şekil 3. 41. Donatı yüzeyine şekil değiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi



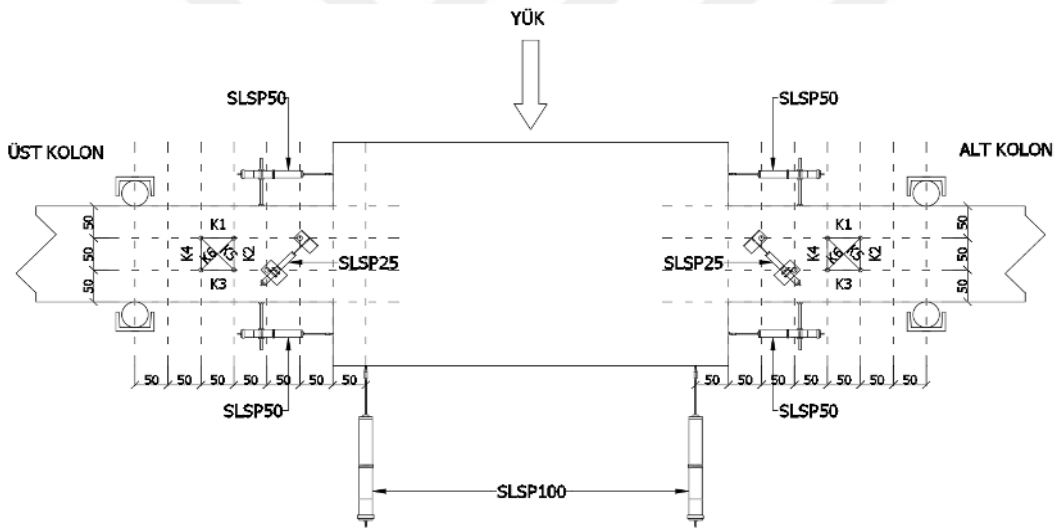
Şekil 3. 42. Donatı yüzeyinde şekil değiştirme ölçerlerin koruyucu bant ile sargılanması



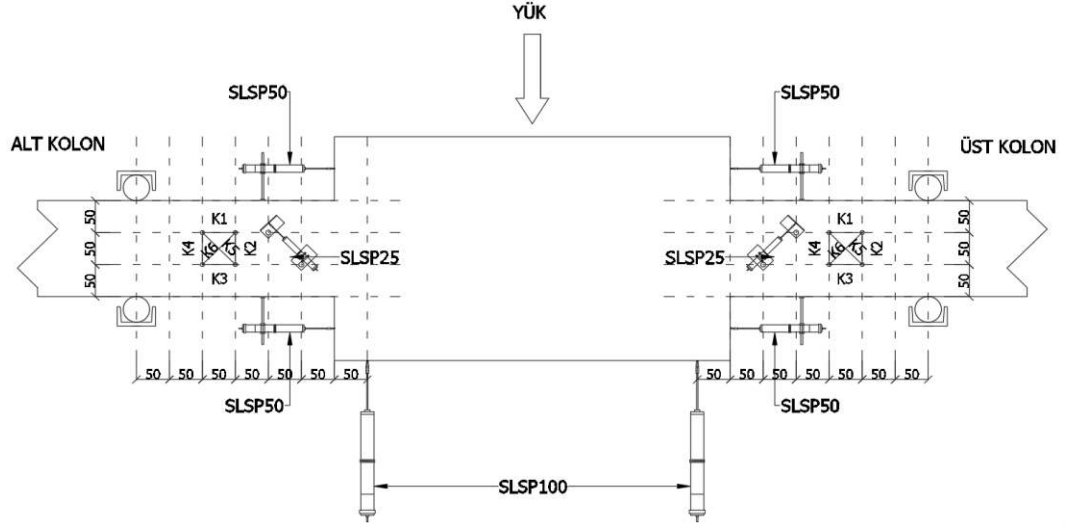
Şekil 3. 43. Donatı yüzeyine şekil değiştirme ölçerlerin isimlendirilmesi



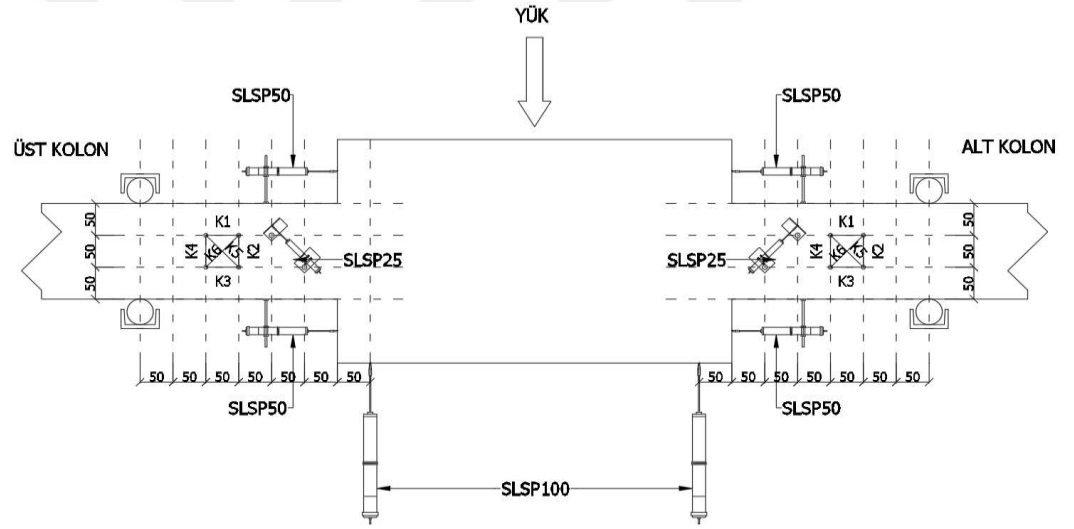
Şekil 3. 44. DS-O numunesi ön yüz ölçüm sistemi



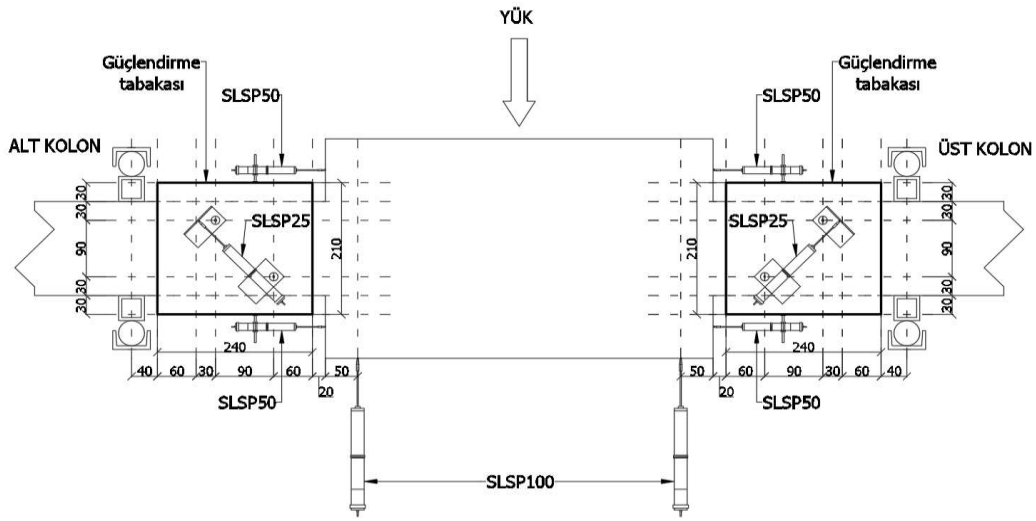
Şekil 3. 45. DS-O numunesi arka yüz ölçüm sistemi



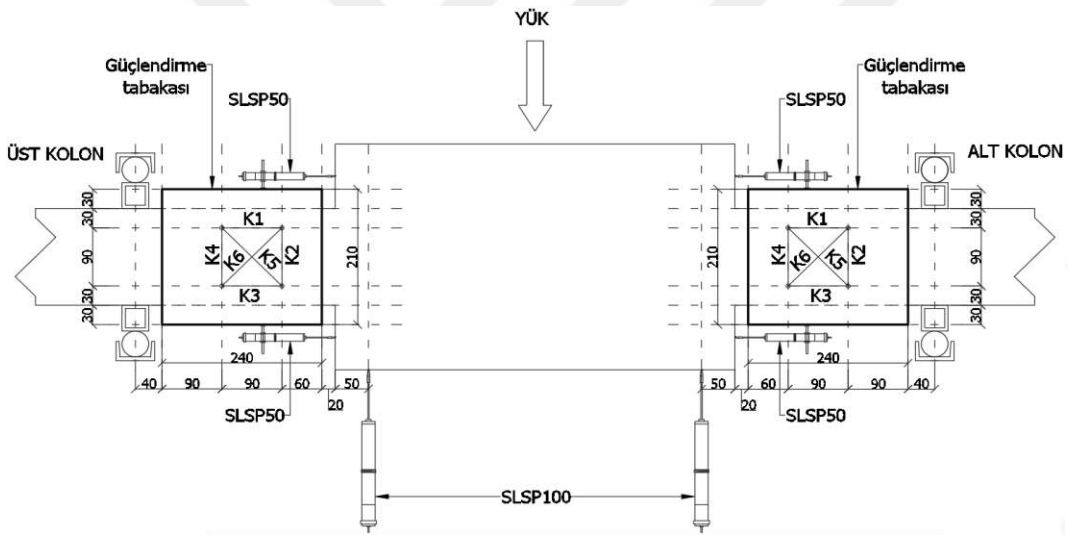
Şekil 3. 46. CCRS-O numunesi ön yüz ölçüm sistemi



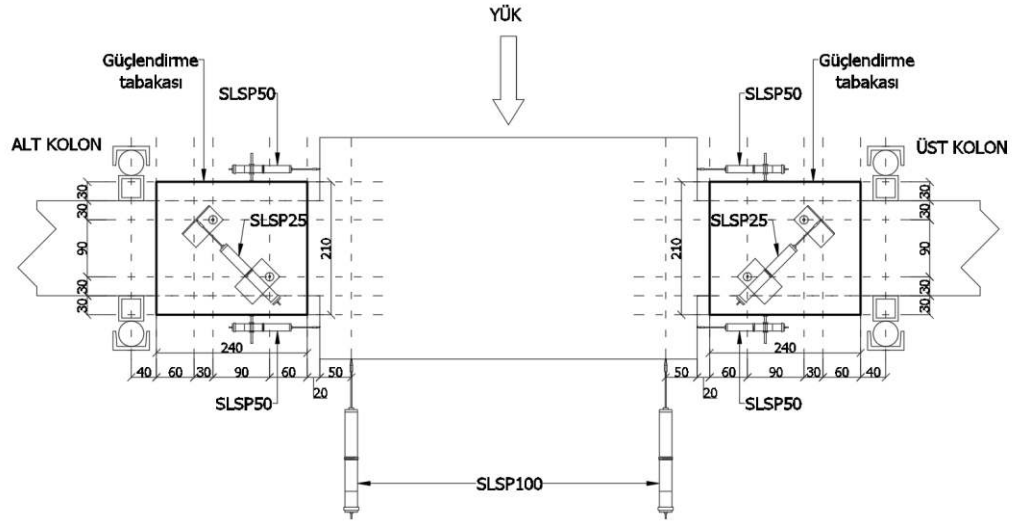
Şekil 3. 47. CCRS-O numunesi arka yüz ölçüm sistemi



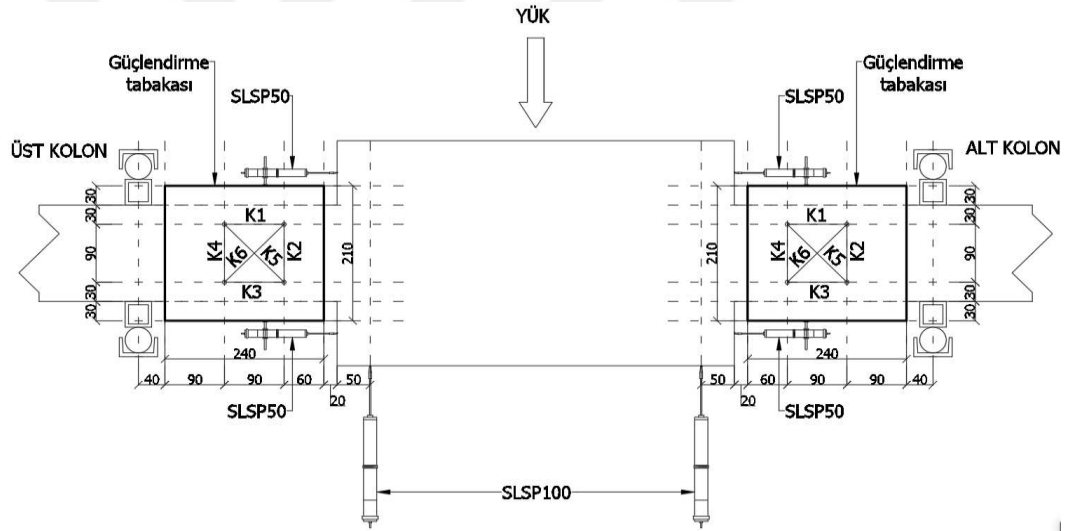
Şekil 3. 48. DS-R numunesi ön yüz ölçüm sistemi



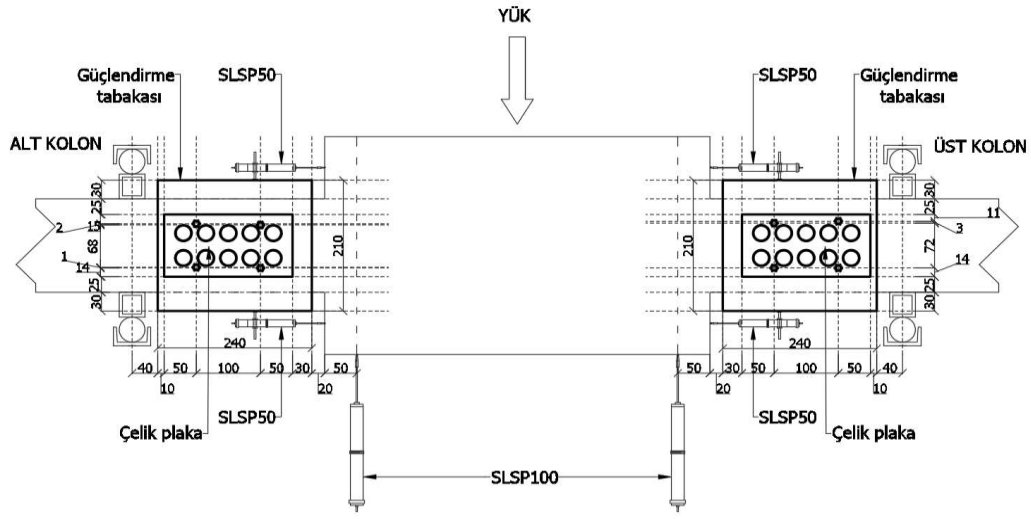
Şekil 3. 49. DS-R numunesi arka yüz ölçüm sistemi



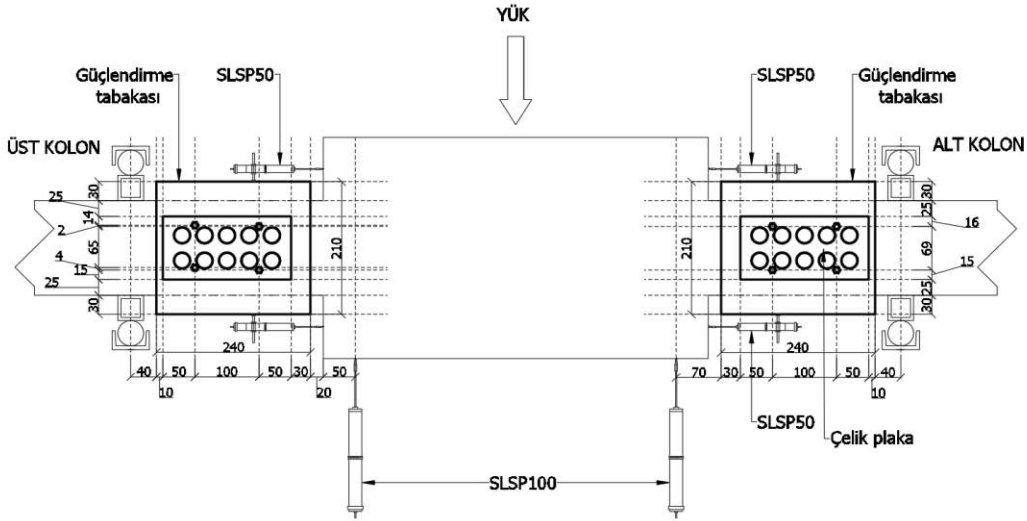
Şekil 3. 50. CCRS-R numunesi ön yüz ölçüm sistemi



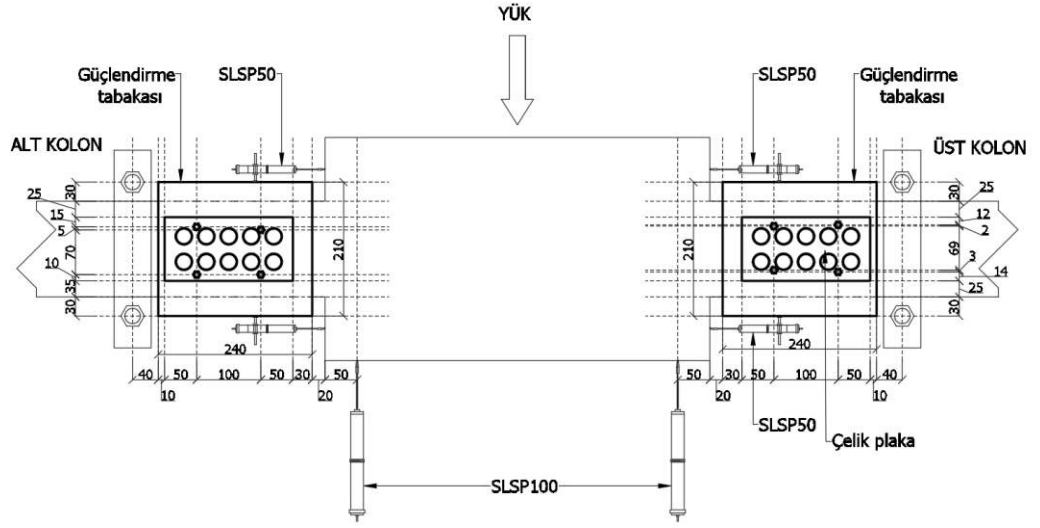
Şekil 3. 51. CCRS-R numunesi arka yüz ölçüm sistemi



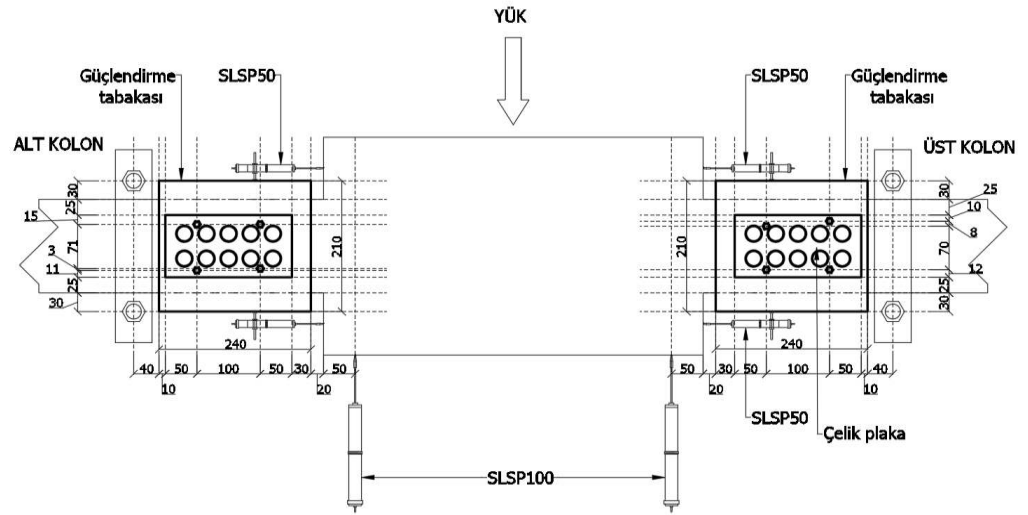
Şekil 3. 52. DS-R ön yüz çelik plaka güçlendirme detayı



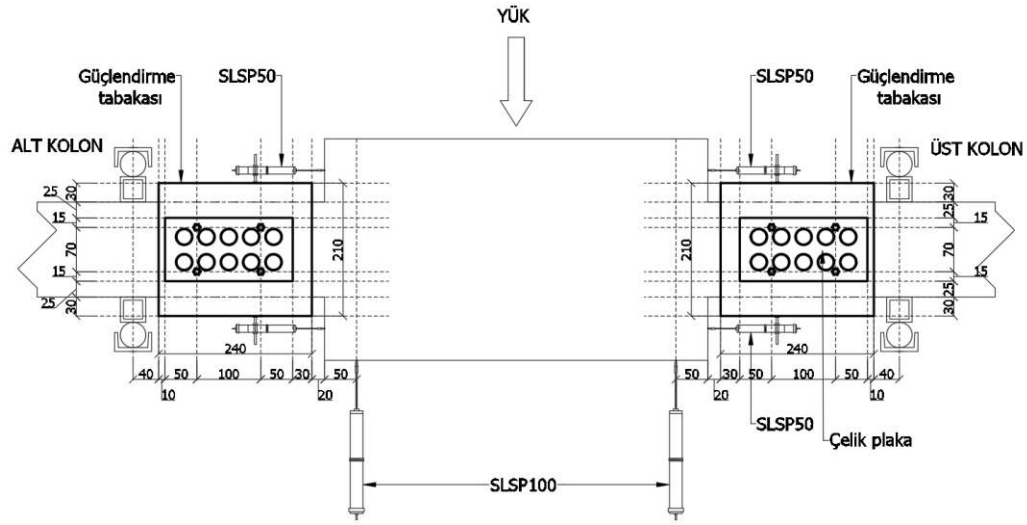
Şekil 3. 53. DS-R arka yüz çelik plaka güçlendirme detayı



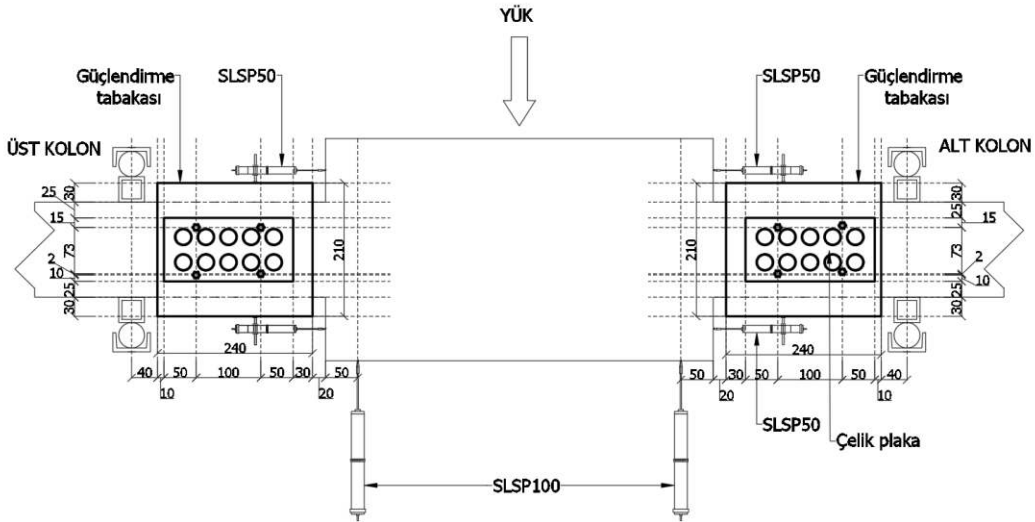
Şekil 3. 54. DS-R üst yüz çelik plaka güçlendirme detayı



Şekil 3. 55. DS-R alt yüz çelik plaka güçlendirme detayı



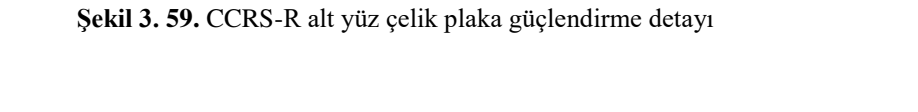
Şekil 3. 56. CCRS-R ön yüz çelik plaka güçlendirme detayı



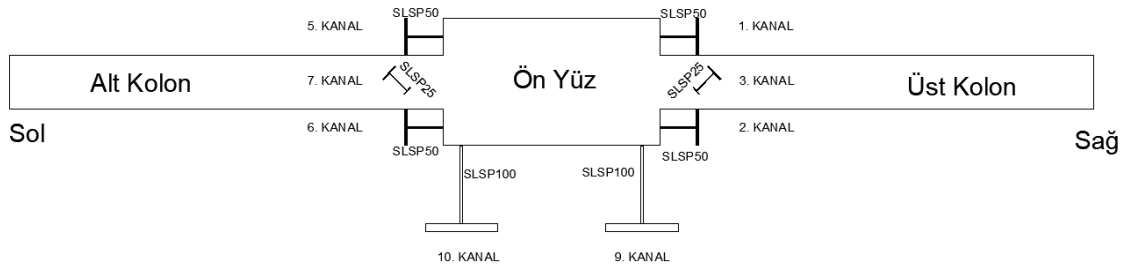
Şekil 3. 57. CCRS-R arka yüz çelik plaka güçlendirme detayı



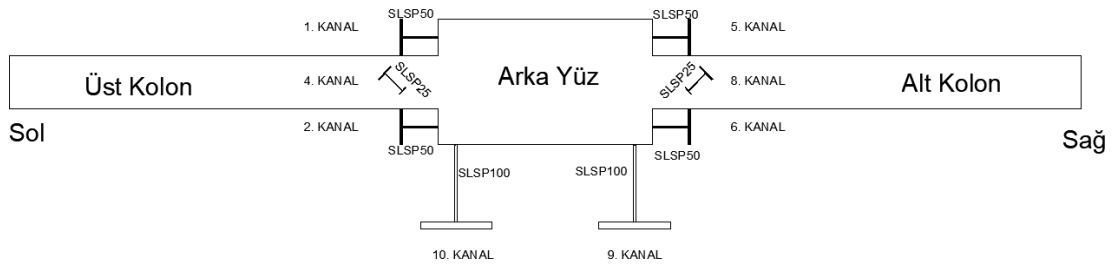
Şekil 6.35: CCRS K'ası yazılım paketi çalıştırılma detayı



Şekil 3. 59. CCRS-R alt yüz çelik plaka güçlendirme detayı



Şekil 3. 60. Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi (Ön yüzden görünüm)



Şekil 3. 61. Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi (Arka yüzden görünüm)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kapsamında düşeyde sabit eksenel yük ve yatayda artan monotonik yükleme altında gerçekleştirilen yaklaşık tam ölçekli kolon numunelerinin deney sonuçları bu bölümde sunulmuştur. DS-O, DS-R, CCRS-O ve CCRS-R numunelerine ait elde edilen temel sonuçlar aşağıda ayrı başlık halinde sunulmuştur.

4.1. DS-O numunesine ait temel sonuçlar

Numuneye yaklaşık 74 kN (7.4 ton) eksenel yüklemekten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 19 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğik kesme çatlakları oluşmuştur. Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere daha sonra ilerleyen yükleme adımlarında eğilme çatlağı oluşmakla beraber genişliğinde önemli bir ilerleme olmamıştır. Kesme çatlaklarının sayısı ilerleyen yükleme adımlarında biraz artmasına karşılık daha çok mevcut eğik çatlaklarının genişlikleri önemli derecede artarak numunenin kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmesine neden olmuştur. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi kesme çatlağının yatay ile yaptığı açı eksenel yükün etkisi ile beklendiği gibi 45 dereceden daha azdır.



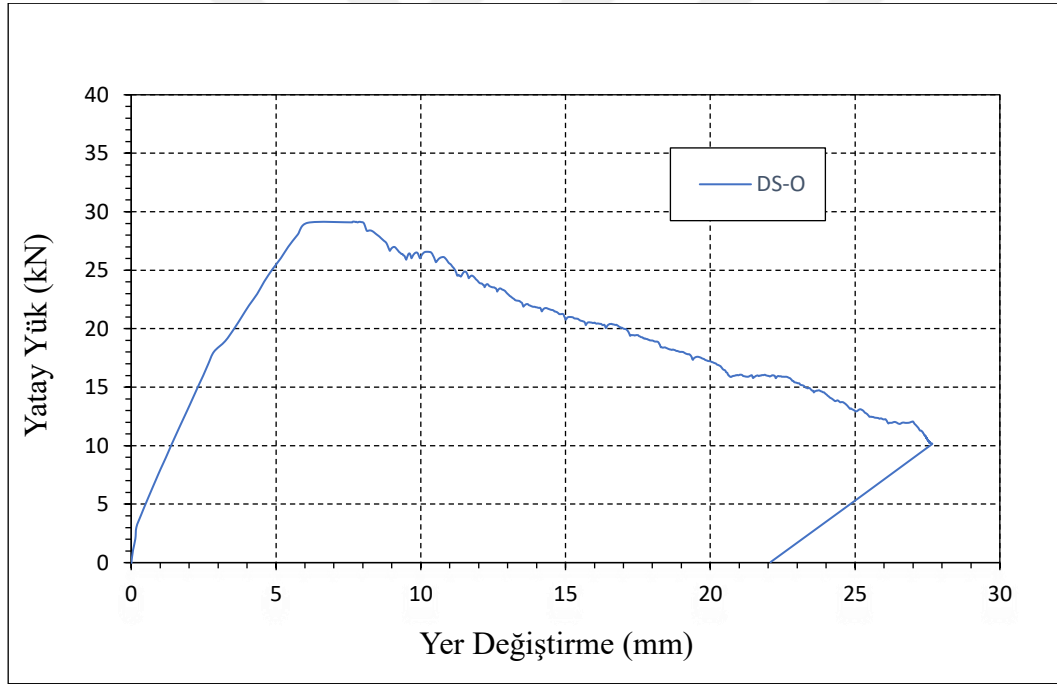
Şekil 4. 1. DS-O numunesinde oluşan ilk eğik çatlak

DS-O numunesi en çok 29.14 kN yük taşıyarak kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmiştir. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi genişlikleri büyük kesme çatlaklarına paralel aynı zamanda betonda da basınç ezilmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 2. DS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

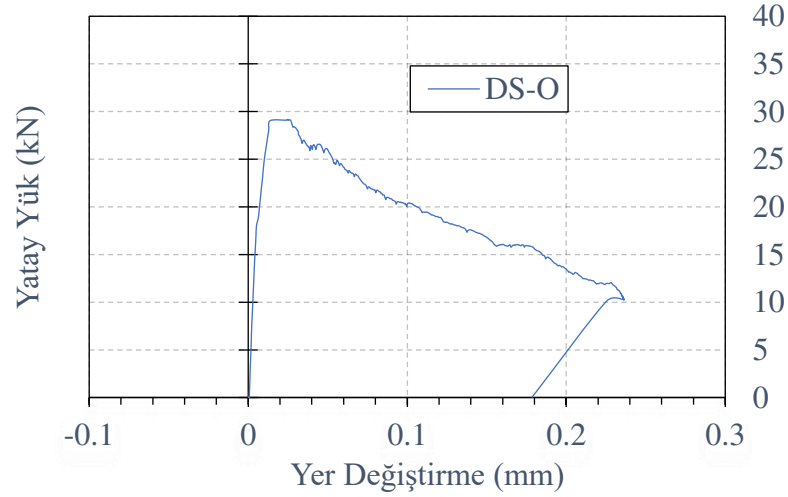
Şekil 4.3.'te DS-O numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu durum tipik bir kesme göçmesinin göstergesidir.



Şekil 4. 3. DS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

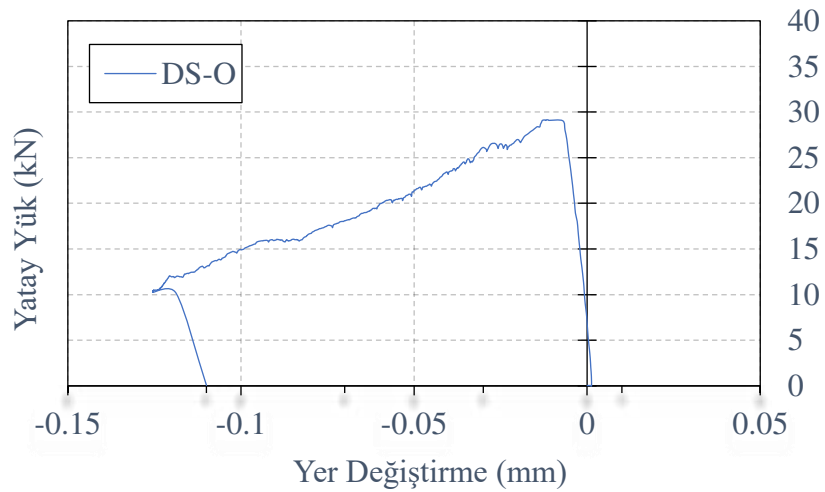
Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi yük-yerdeğiştirme eğrisinin düşen kolu için diğer bölüme göre çok daha fazla sayıda veri alınmıştır. Bu durumun sebebi numunenin kesme hasarından kaynaklı ani göçme durumunda da verileri alabilmek için veri kayıt aralıkları 125 milisaniye olarak ayarlanarak deneye devam edilmiştir. Göçme çok hızlı

ilerlediği için nokta verileri için okumalar alınmamış ve gözlem olarak fotoğraflar yerine video çekimi yapılmıştır.



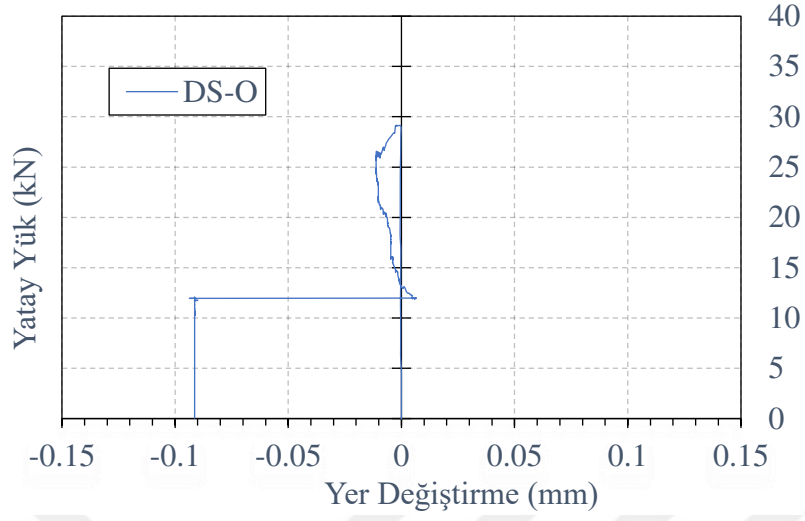
Şekil 4. 4. Yatay yük- yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon
1. kanal eğrilik)

DS-O numunesi potansiyometrik cetvellerle yapılan ölçüm sonucu elde edilen diğer kanal verilerinden numunenin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri, eğrilik, kayma deformasyonları ve yatay yüke bağlı olarak donatı şekil değiştirme ölçerlerine ait grafikler elde edilmiştir.

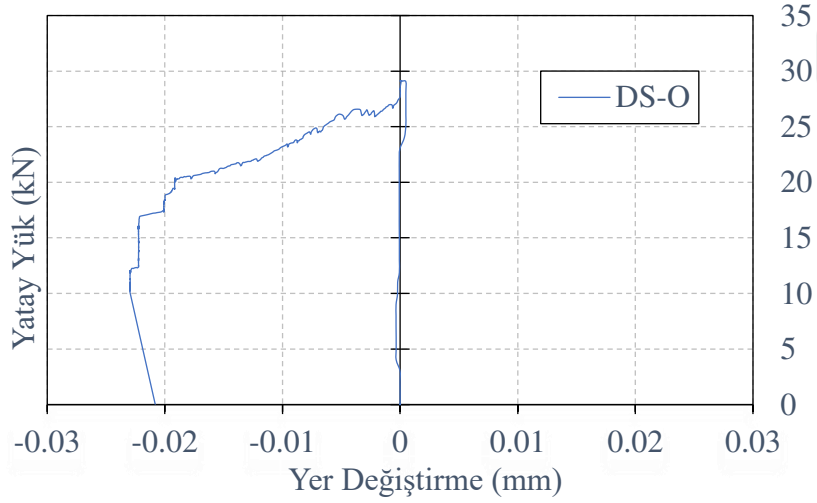


Şekil 4. 5. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon)

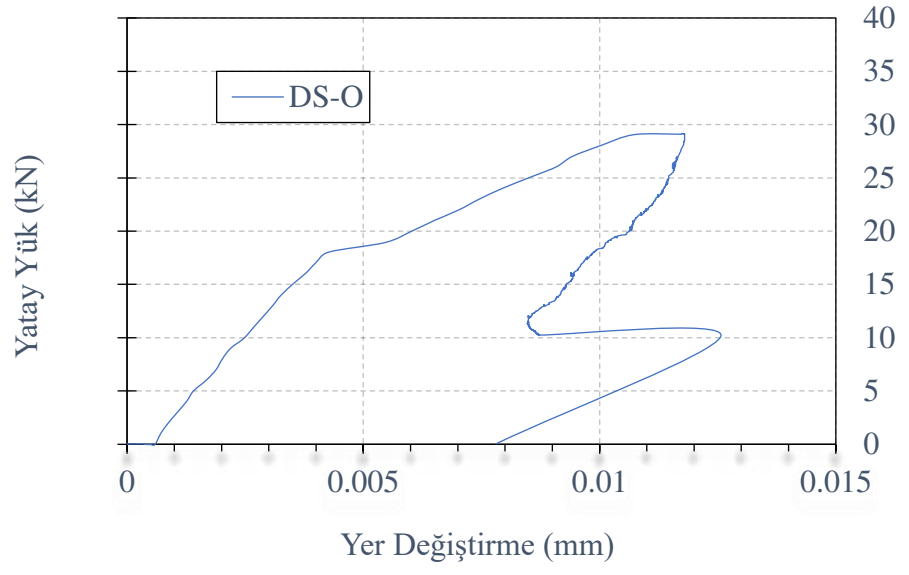
2. kanal eğrilik)



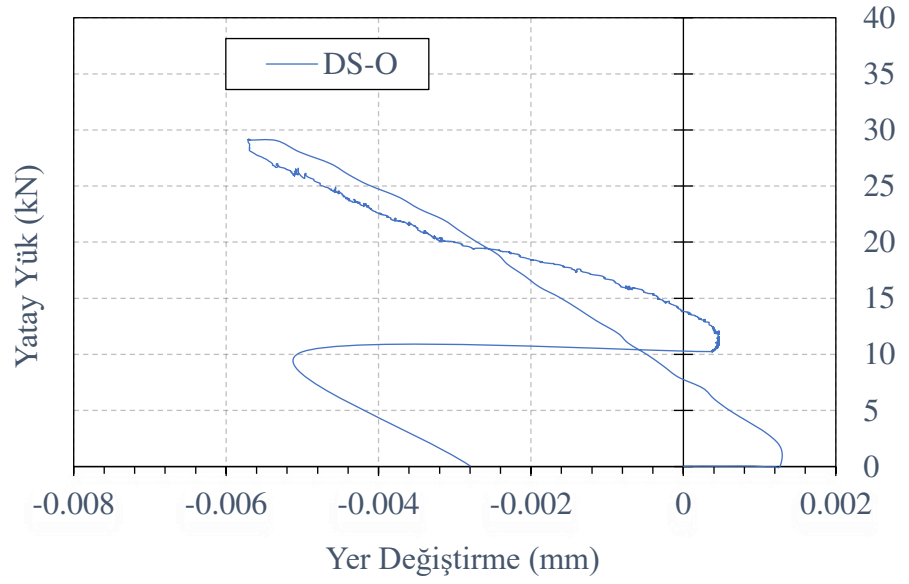
Şekil 4. 6. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon 3. kanal kayma deformasyonu)



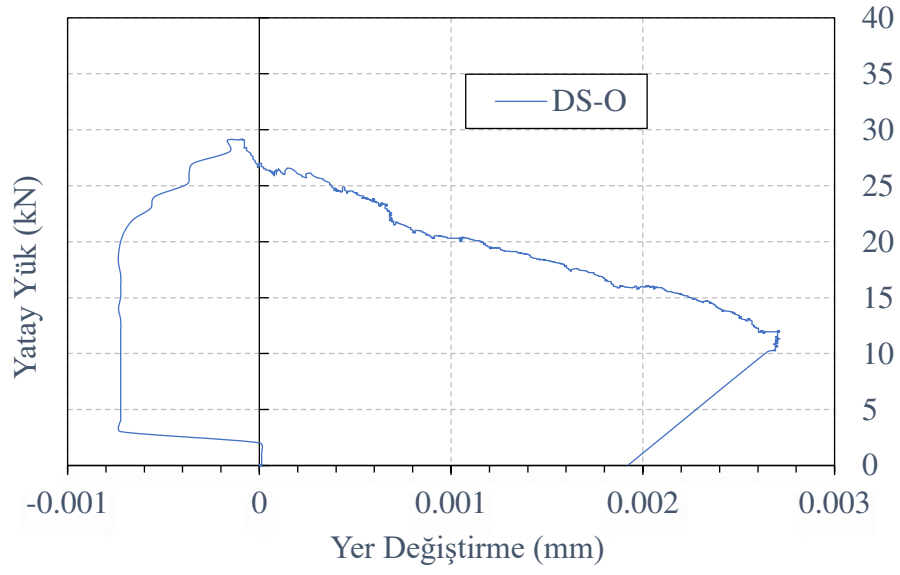
Şekil 4. 7. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi üst kolon 4. kanal kayma deformasyonu)



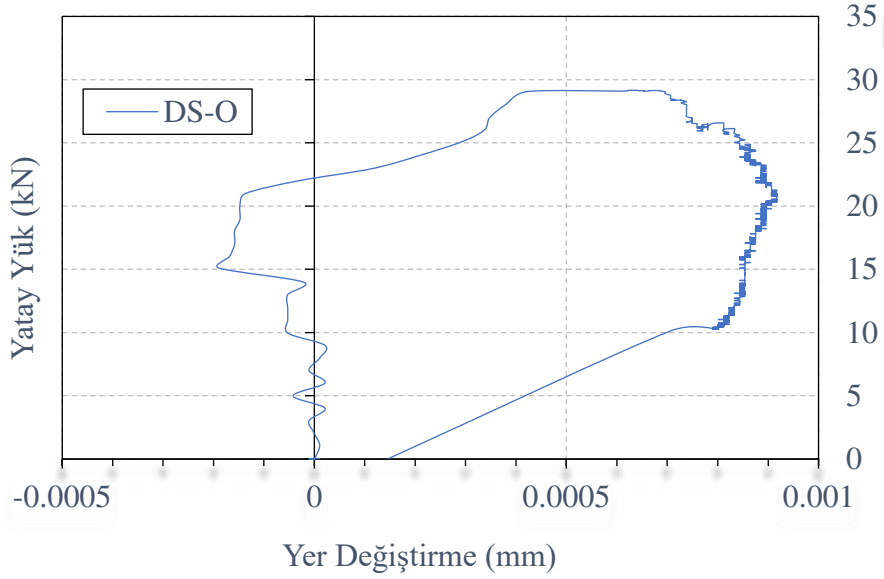
Şekil 4. 8. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 5. kanal eğrilik)



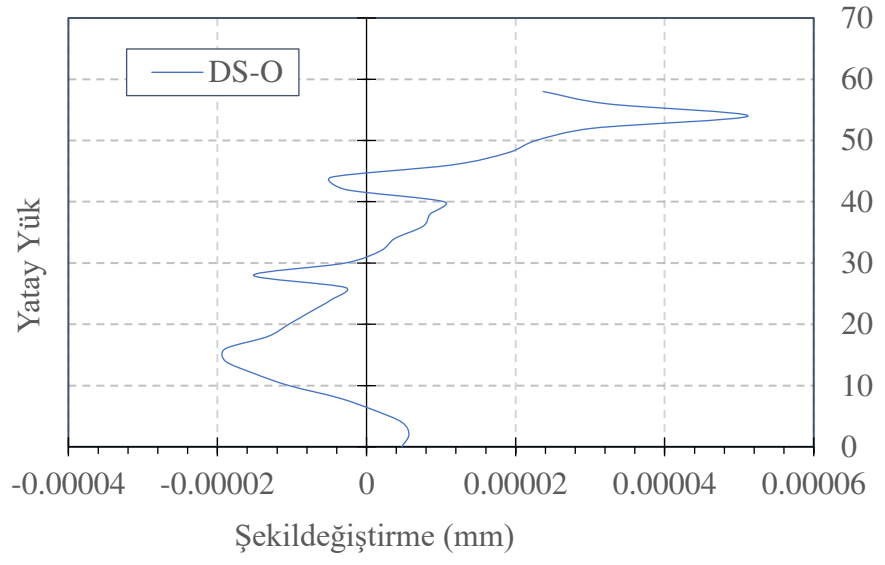
Şekil 4. 9. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 6. kanal eğrilik)



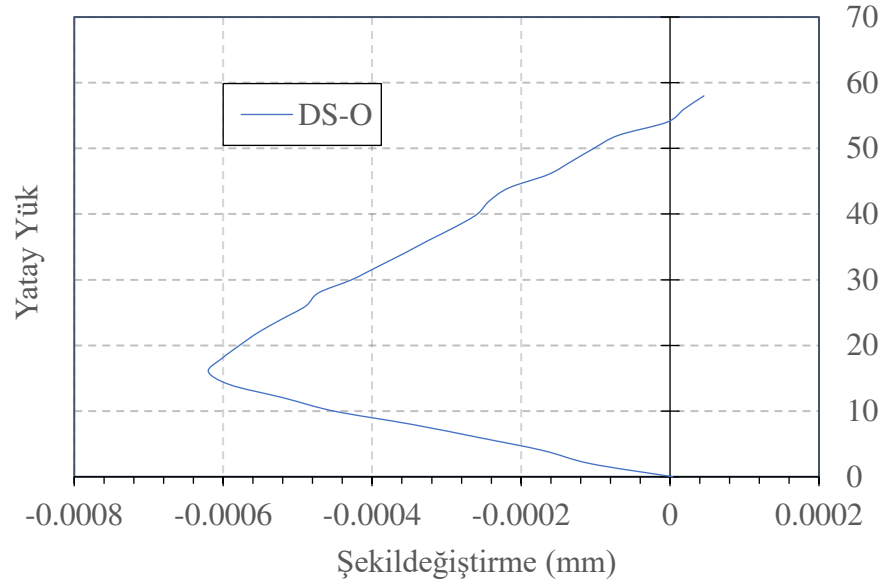
Şekil 4. 10. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 7. kanal kayma deformasyonu)



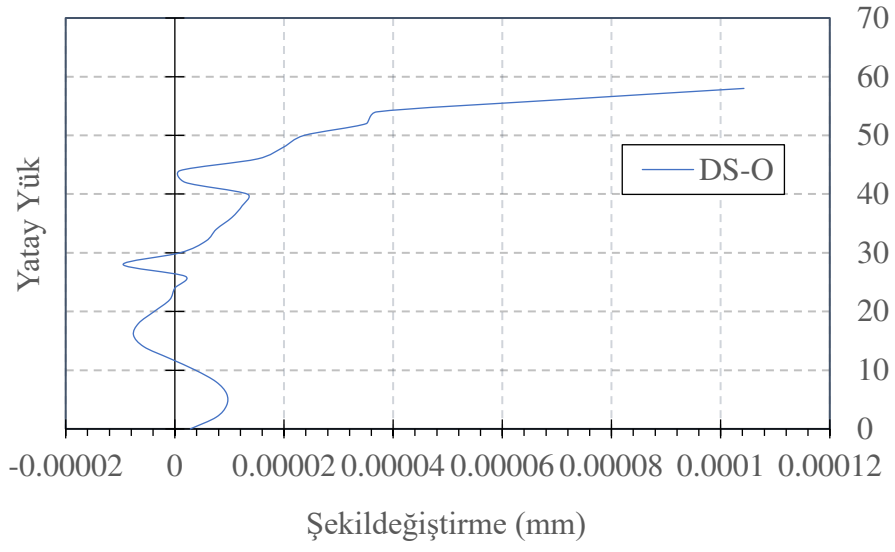
Şekil 4. 11. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi alt kolon 8. kanal kayma deformasyonu)



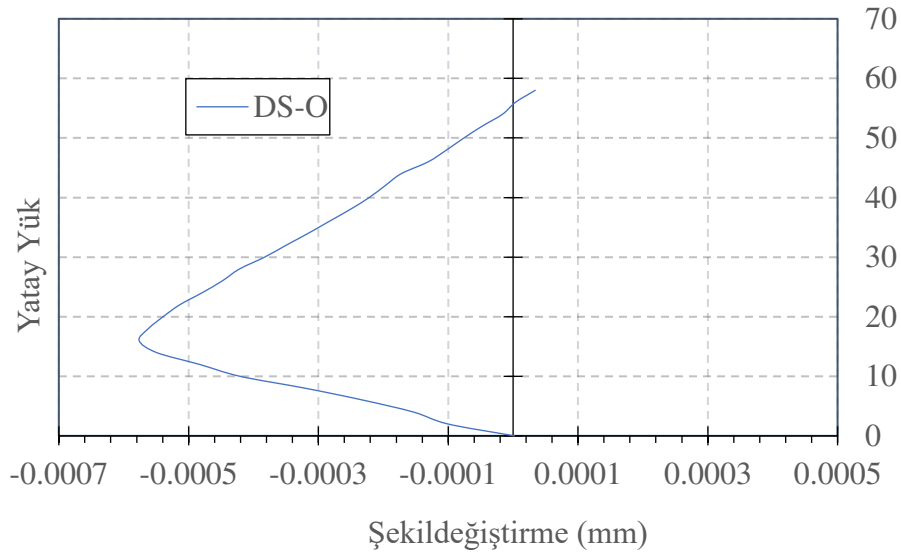
Şekil 4. 12. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)



Şekil 4. 13. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)



Şekil 4. 14. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)



Şekil 4. 15. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-O numunesi)

4.2. CCRS-O numunesine ait temel sonuçlar

Numuneye 74 kN eksenel yüklemekten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 10 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğilme çatlağı oluşmuştur. Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi daha sonra ilerleyen yükleme adımlarında eğilme çatlağı biraz daha ilerlemiştir ve 20 kN'da ilk eğik kesme çatlağı Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi oluşmuş ve ilerlemiştir. Kesme çatlağı oluşuktan sonra eğilme çatlağındaki ilerleme hemen hemen durmuş ve kesme çatlakları artıp genişleyerek Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi numune dayanımını yitirmiştir.



Şekil 4. 16. CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğilme çatlağı

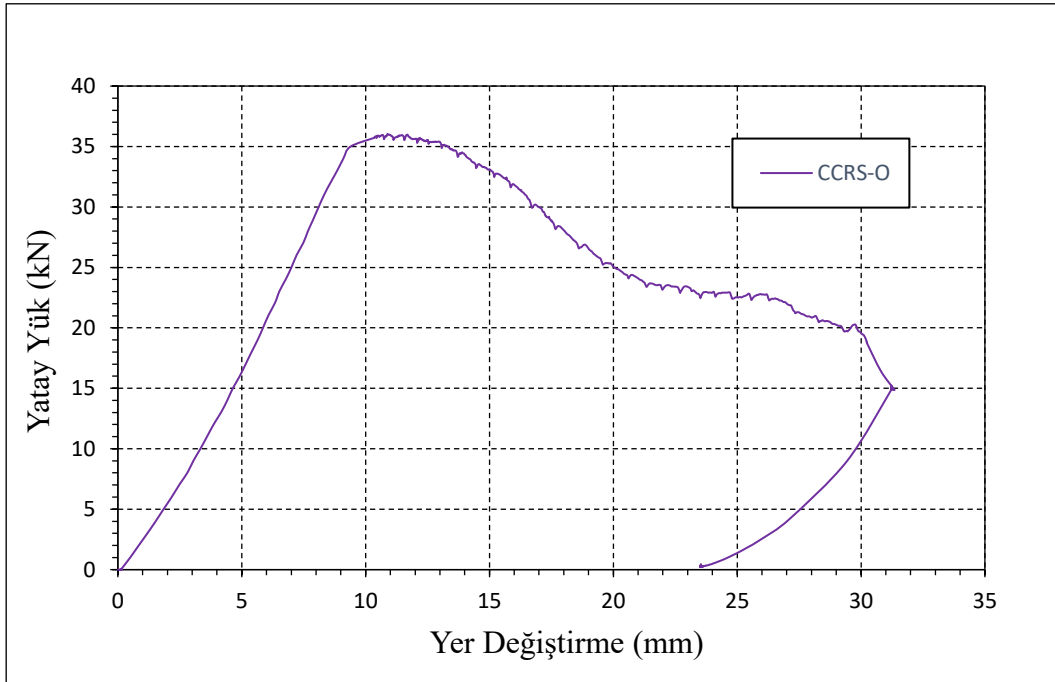


Şekil 4. 17. CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğik kesme çatlağı



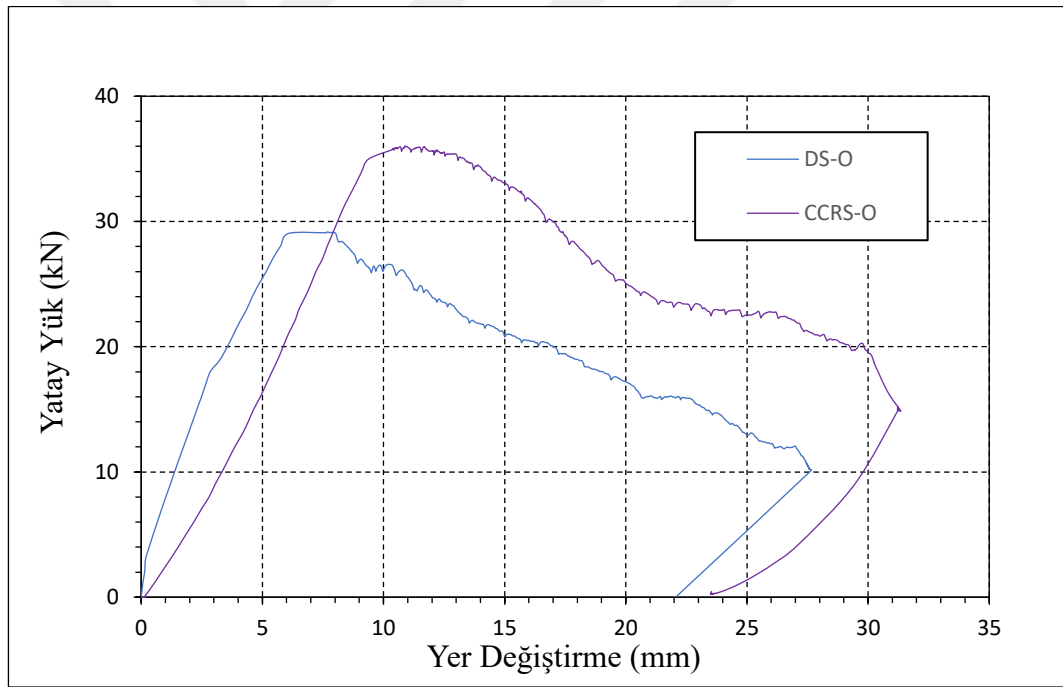
Şekil 4. 18. CCRS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

Şekil 4.19.'da CCRS-O numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi bu numunede de göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu ani göçme şekli de tipik bir kesme göçmesini işaret etmektedir.



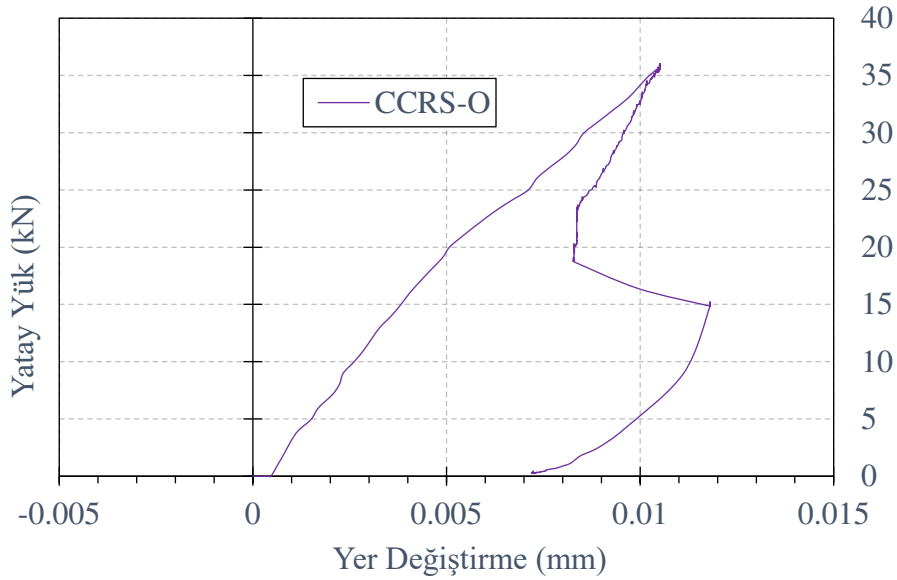
Şekil 4. 19. CCRS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 4.20.'deki grafikten görülebileceği gibi bu numune en çok 35.5 kN yatay yük taşımıştır. CCRS-O numunesi DS-O numunesine göre $35.5 - 29 = 6.5$ kN daha fazla yatay yük taşımıştır. Bu yük artışı CCRS-O numunesindeki etriye miktarının DS-O numunesine göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan grafikten de görülebileceği gibi bu numune de eğilme kapasitesine ulaşamamıştır. Etriye aralığının 75 mm olmasına karşılık numunenin eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme etkilerinden dolayı göçmesi beton dayanımı düşük ve boyuna donatı oranı nispeten yüksek olan kolonlarda çatlak oluşumundan sonra betonun basınç etkilerinden dolayı ezilmesi de göçme yükü üzerinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu durumun farklı etkenler de göz önüne alınarak yapılacak çok sayıda deney ile daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

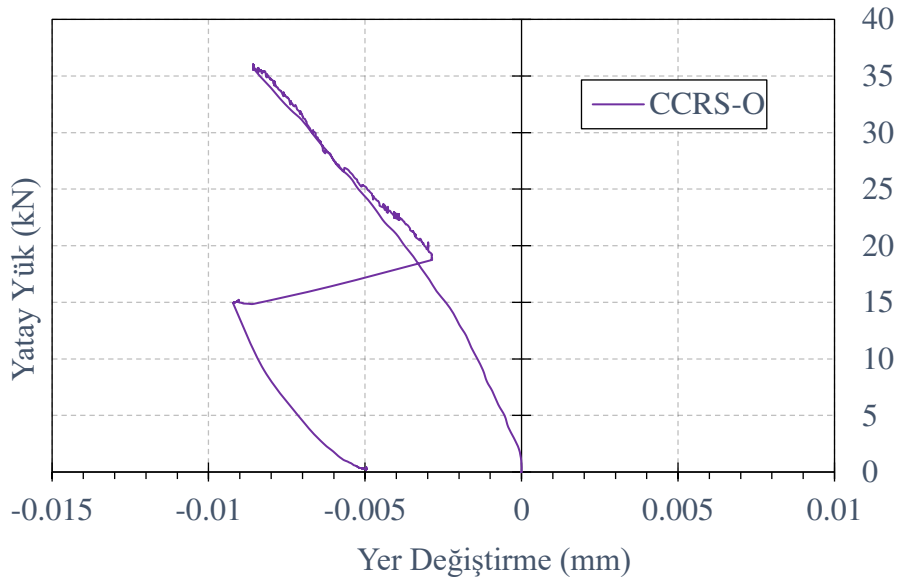


Şekil 4. 20. DS-O ve CCRS-O numunelerinin yatay-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

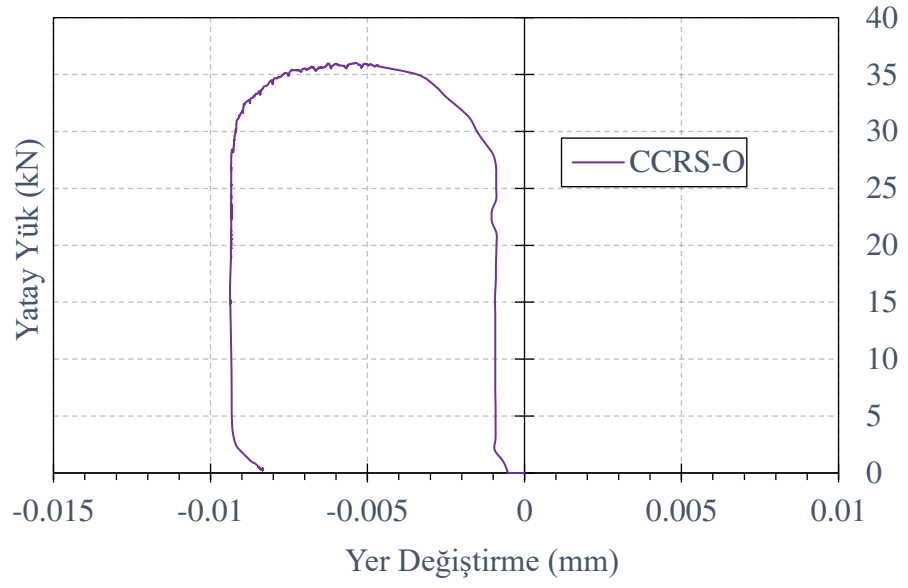
CCRS-O numunesi potansiyometrik cetvellerle yapılan ölçüm sonucu elde edilen diğer kanal verilerinden numunenin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri, eğrilik, kayma deformasyonları ve yatay yüke bağlı olarak donatı şekil değiştirme ölçerlerine ait grafikler elde edilmiştir.



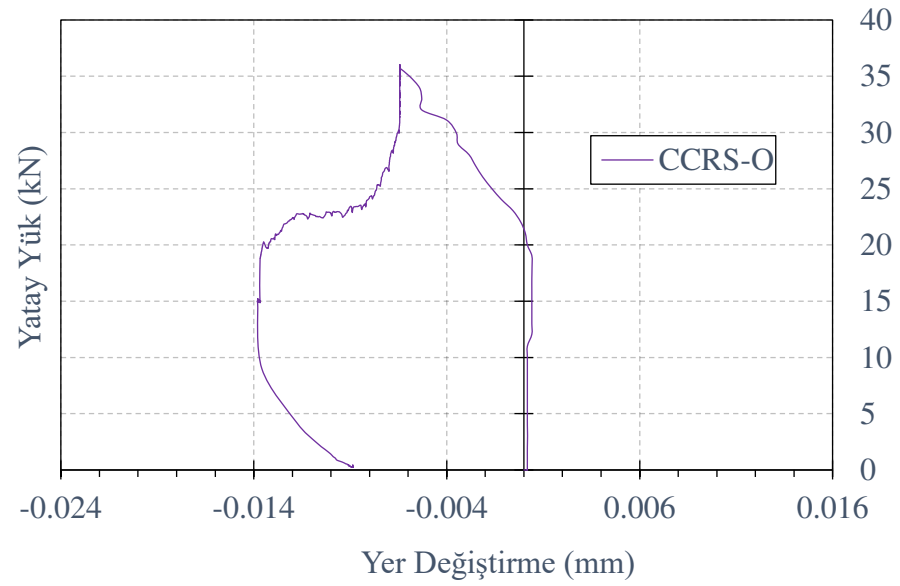
Şekil 4. 21. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 1. kanal eğrilik)



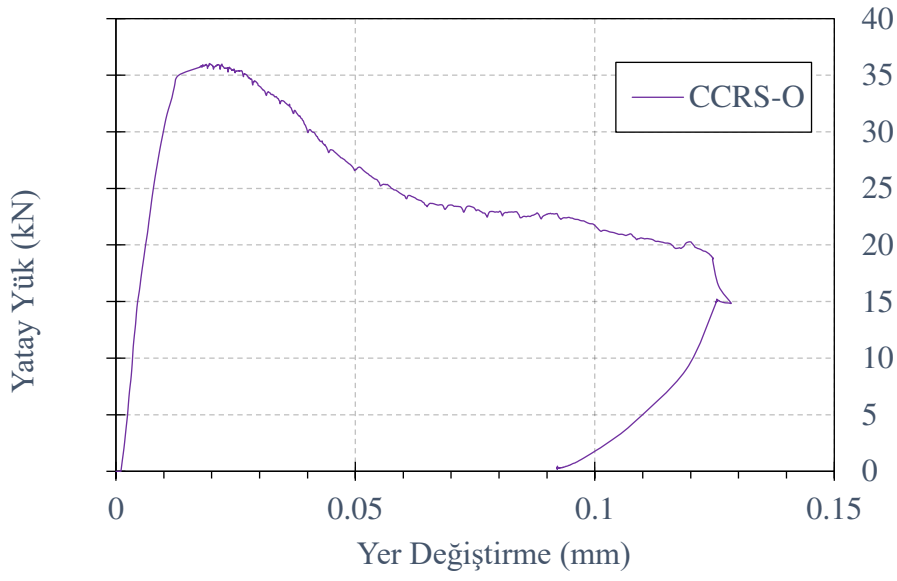
Şekil 4. 22. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 2. kanal eğrilik)



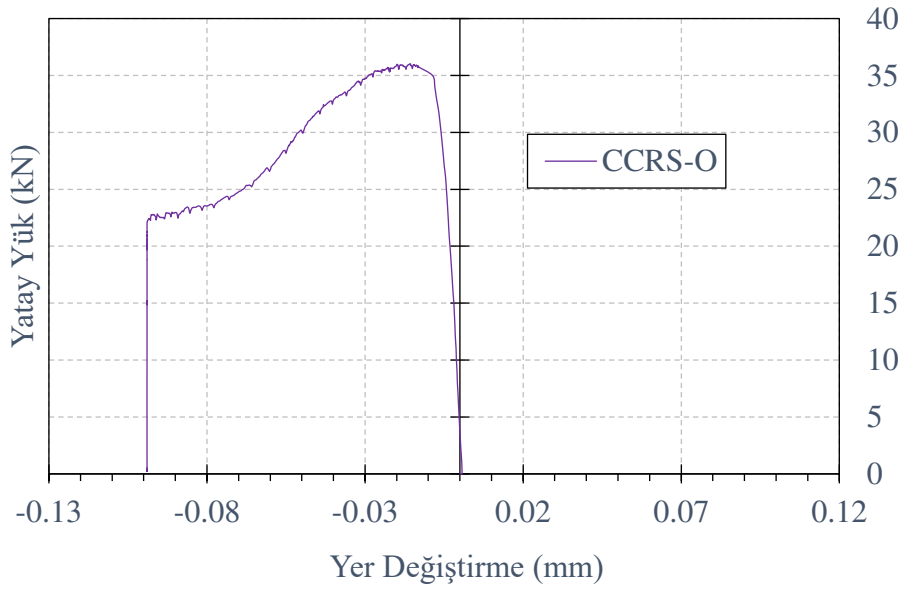
Şekil 4. 23. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 3. kanal kayma deformasyonu)



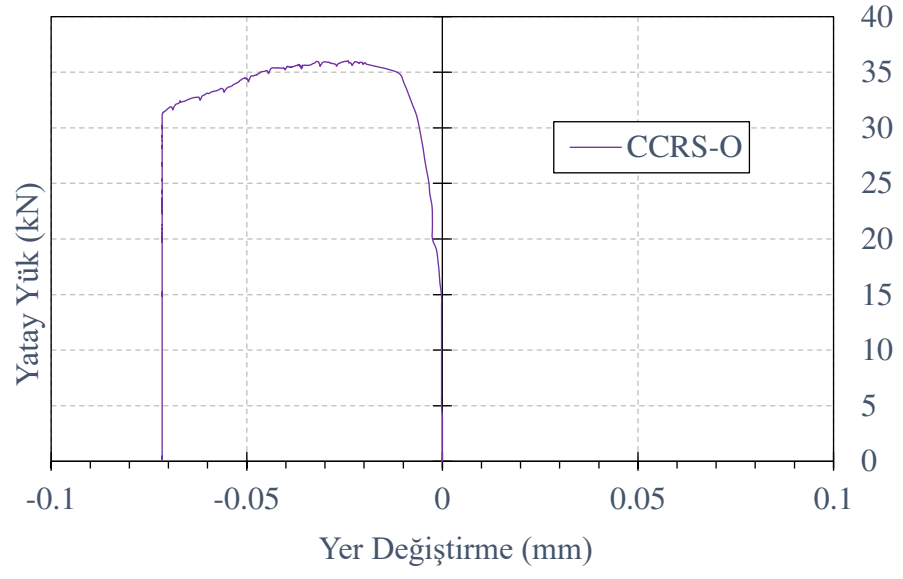
Şekil 4. 24. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 4. kanal kayma deformasyonu)



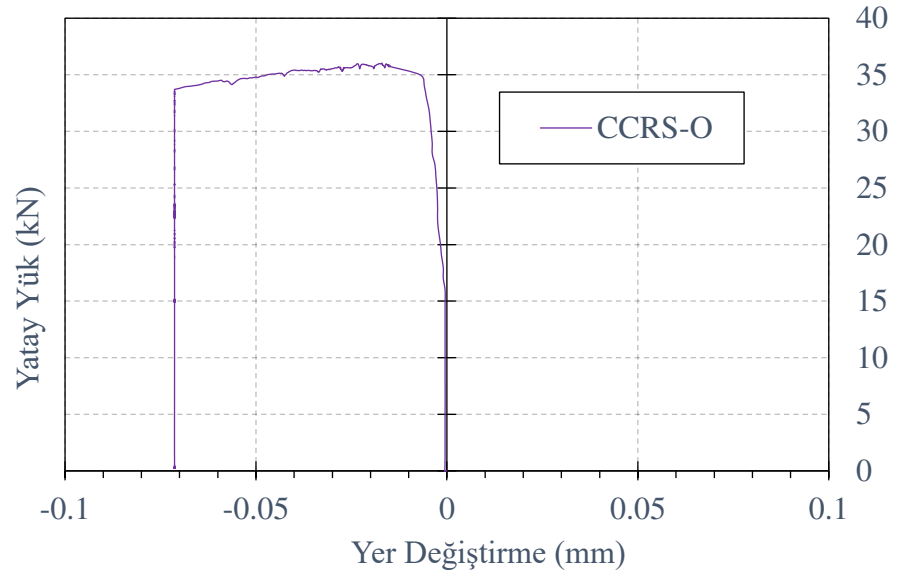
Şekil 4. 25. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 5. kanal eğrilik)



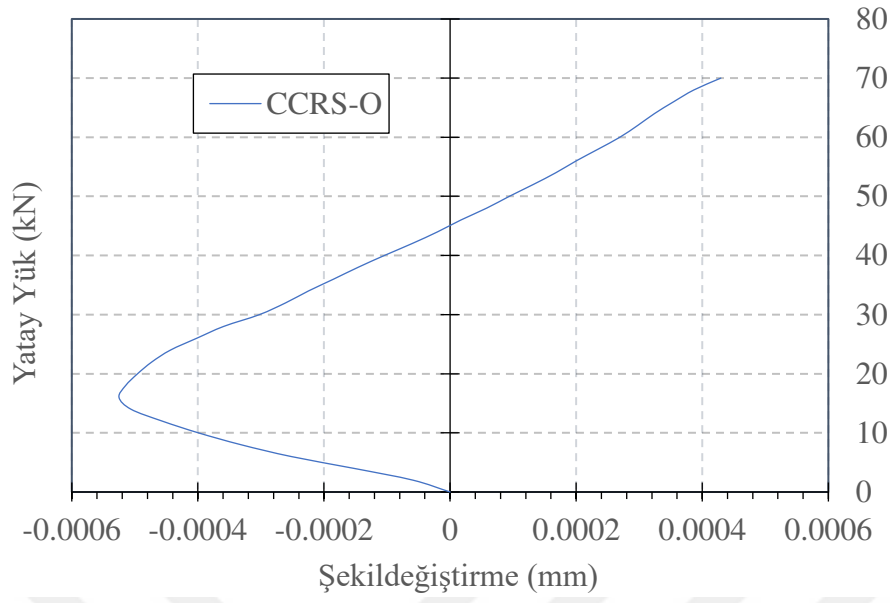
Şekil 4. 26. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi üst kolon 6. kanal eğrilik)



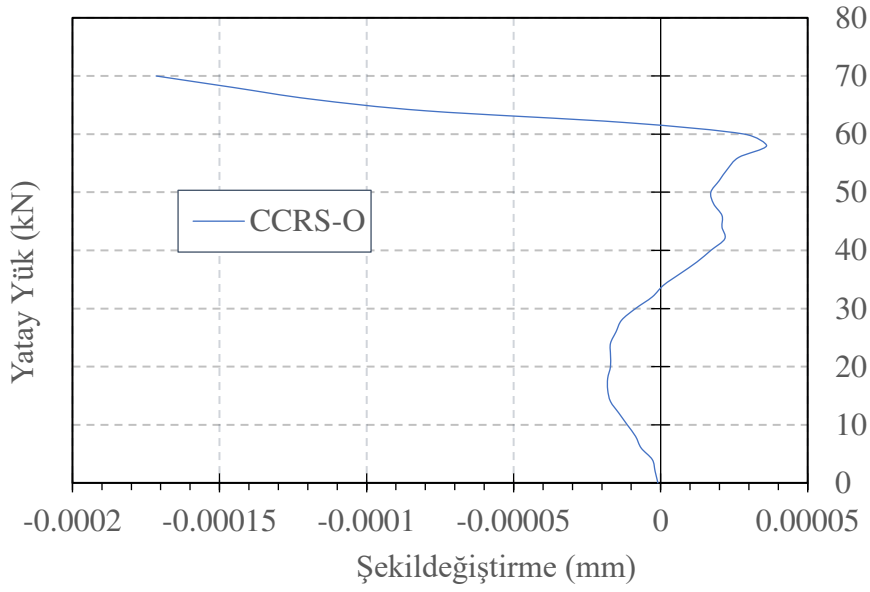
Şekil 4. 27. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 7. kanal kayma deformasyonu)



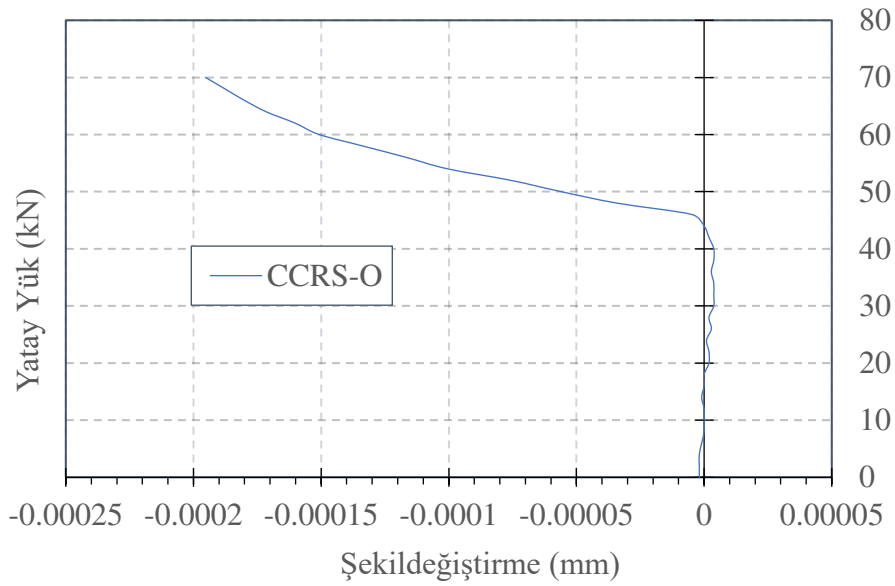
Şekil 4. 28. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi alt kolon 8. kayma deformasyonu)



Şekil 4. 29. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)



Şekil 4. 30. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)



Şekil 4. 31. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-O numunesi)

4.3. DS-R numunesine ait temel sonuçlar

Numuneye yaklaşık 74 kN (7.4 ton) aksenal yüklemekten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 10 kN yatay yükte numunede ön ve arka yüzde kalınlığı 0.1 mm'den küçük eğilme çatlakları oluşmuştur. Eğilme çatlakları ilerleyen aşamalarda artarak 40 kN'da kalınlıkları 0.6 mm'ye kadar ulaşmıştır. 39 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğik kesme çatlakları oluşmuştur. Kesme çatlaklarının sayısı ilerleyen yükleme adımlarında biraz artmasına karşılık daha çok mevcut eğik çatlaklarının genişlikleri önemli derecede artarak numunenin kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmesine neden olmuştur. Şekil 4.32.'de görüldüğü gibi kesme çatlağının yatay ile yaptığı açı aksenal yükün etkisi ile beklendiği gibi 45 dereceden daha azdır.



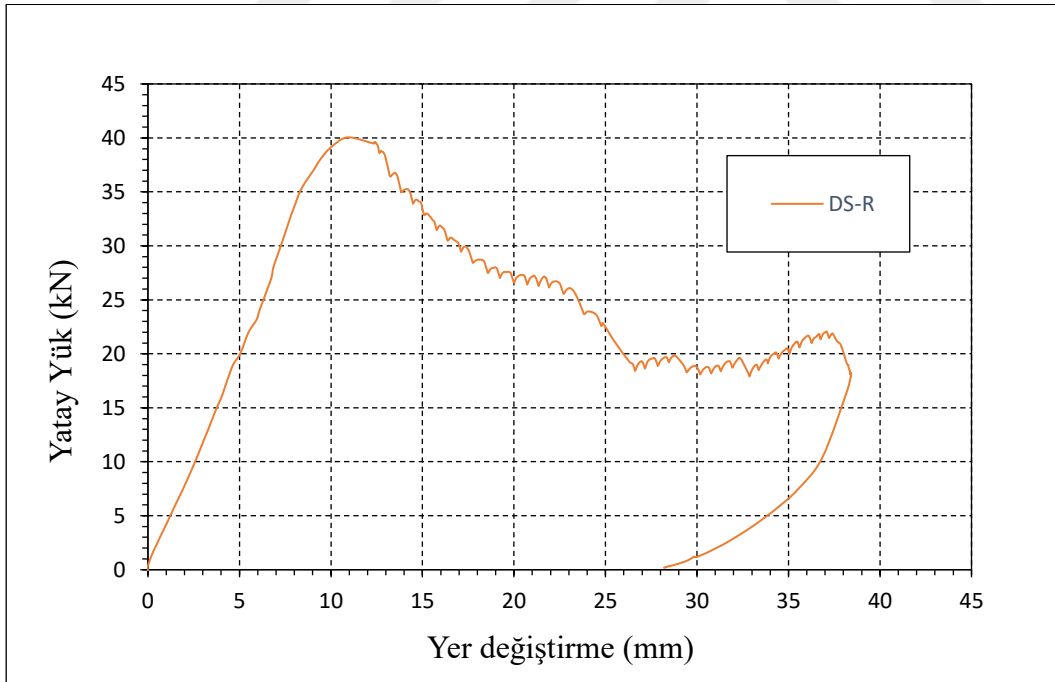
Şekil 4. 32. DS-R numunesinde oluşan ilk eğik çatlakları

DS-R numunesi en çok 40 kN yük taşıyarak kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmiştir. Şekil 4.33.'te görüldüğü gibi genişlikleri büyük kesme çatlaklarına paralel aynı zamanda betonda da basınç ezilmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 33. DS-R numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

Şekil 4.34.'te DS-R numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu durum tipik bir kesme göçmesinin göstergesidir.

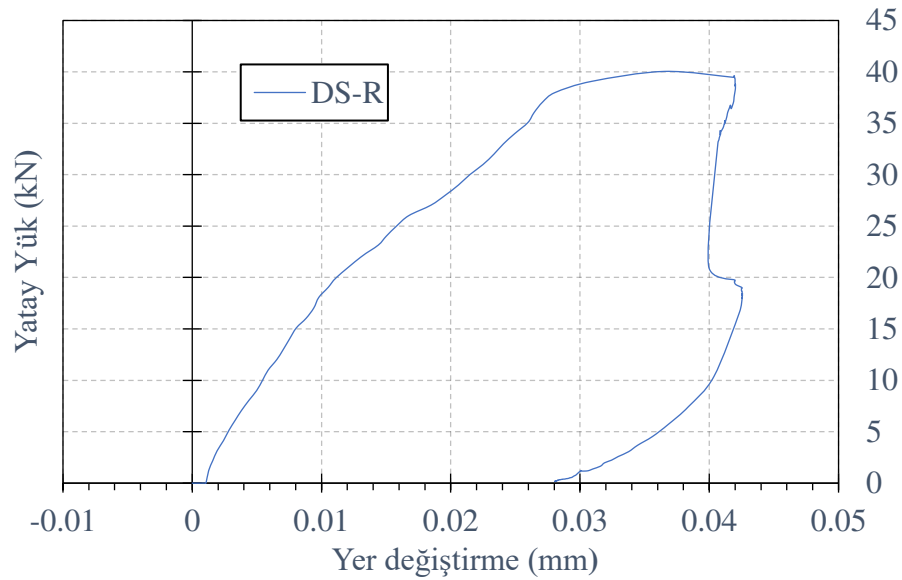


Şekil 4. 34. DR-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

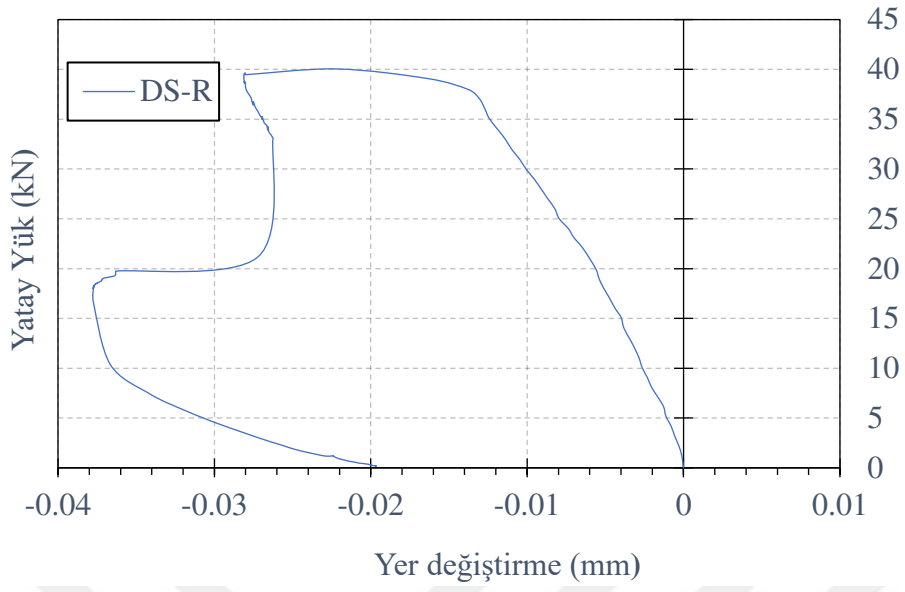
Şekil 4.34'te görüldüğü gibi yük-yerdeğiştirme eğrisinin düşen kolu için diğer bölüme göre çok daha fazla sayıda veri alınmıştır. Bu durumun sebebi numunenin

kesme hasarından kaynaklı ani göçme durumunda da verileri alabilmek için veri kayıt aralıkları 125 milisaniye olarak ayarlanarak deneye devam edilmiştir. Göçme çok hızlı ilerlediği için nokta verileri için okumalar alınmamış ve gözlem olarak fotoğraflar yerine video çekimi yapılmıştır.

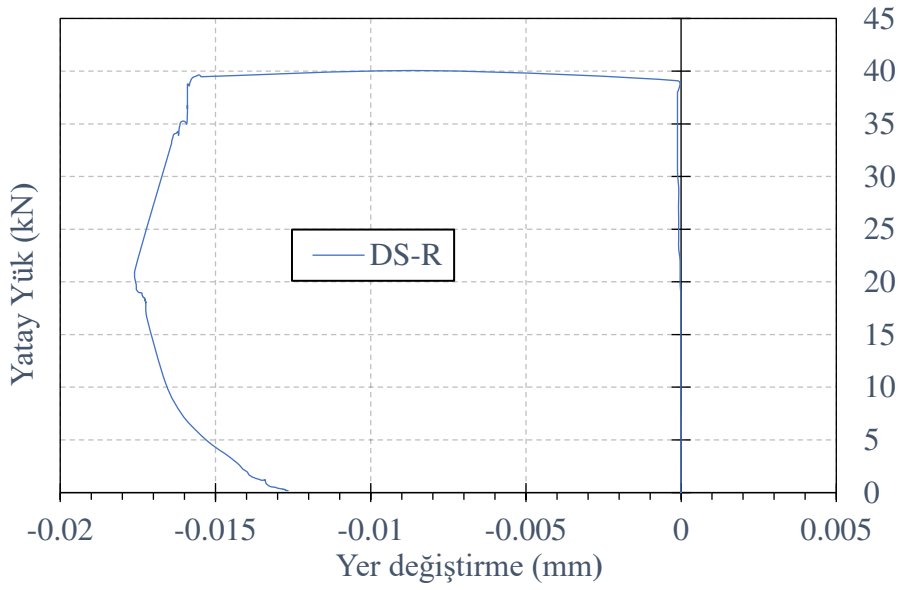
DS-R numunesi potansiyometrik cetvellerle yapılan ölçüm sonucu elde edilen diğer kanal verilerinden numunenin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri, eğrilik, kayma deformasyonları ve yatay yüke bağlı olarak donatı şekil değiştirme ölçerlerine ait grafikler elde edilmiştir.



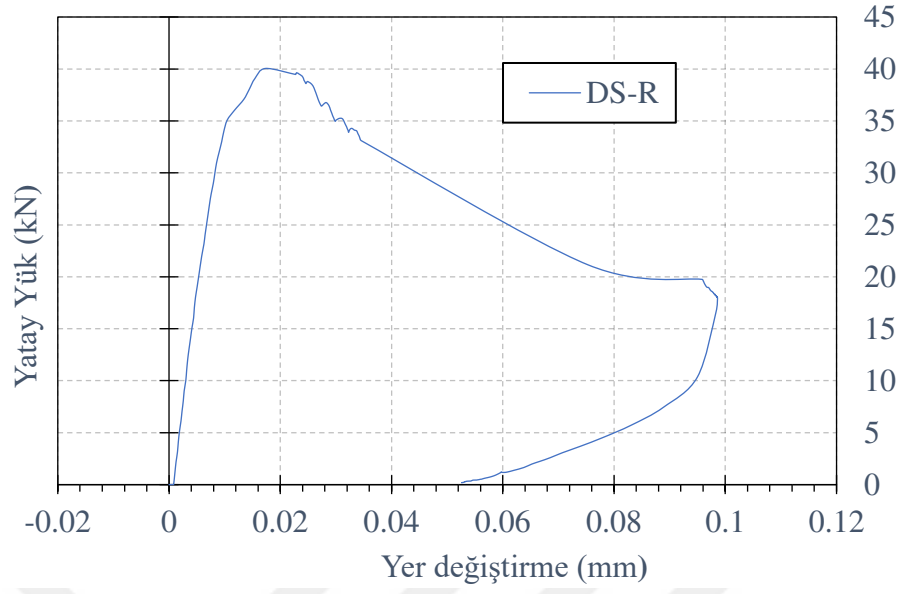
Şekil 4. 35. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 1. kanal eğrilik)



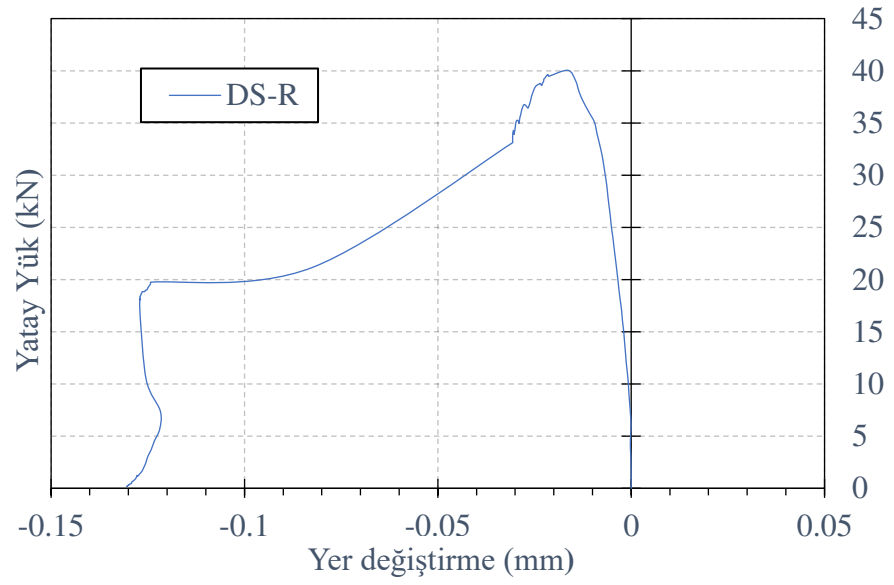
Şekil 4. 36. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 2. kanal eğrilik)



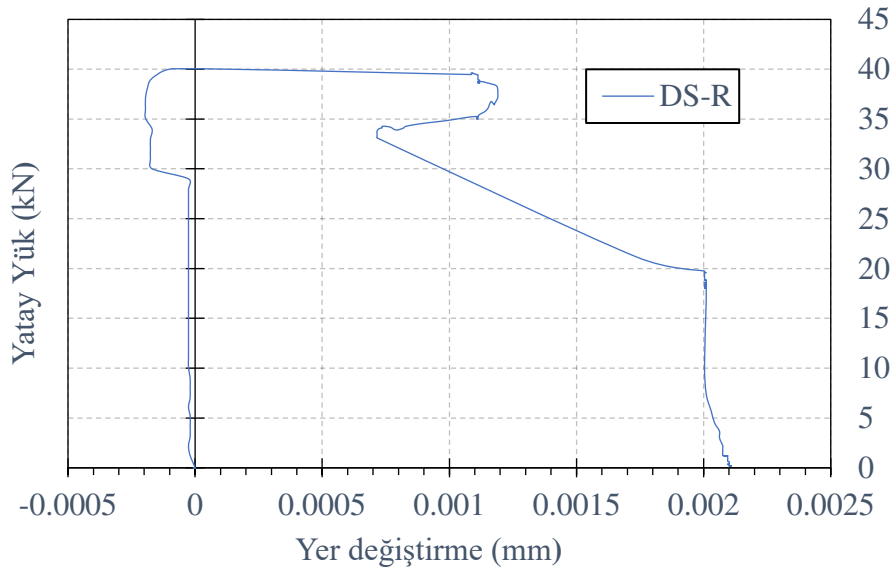
Şekil 4. 37. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi alt kolon 3. kanal kayma deformasyonu)



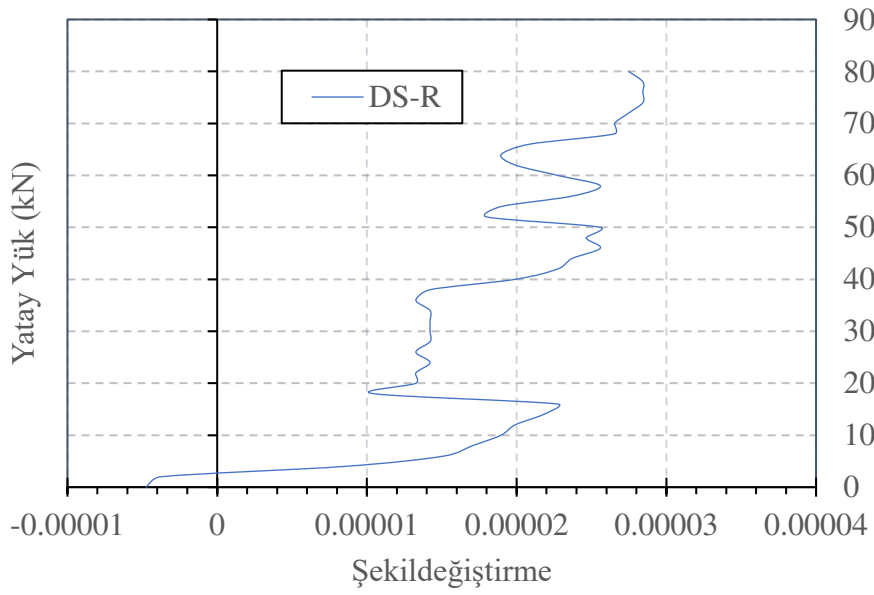
Şekil 4. 38. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi üst kolon 5. kanal eğrilik)



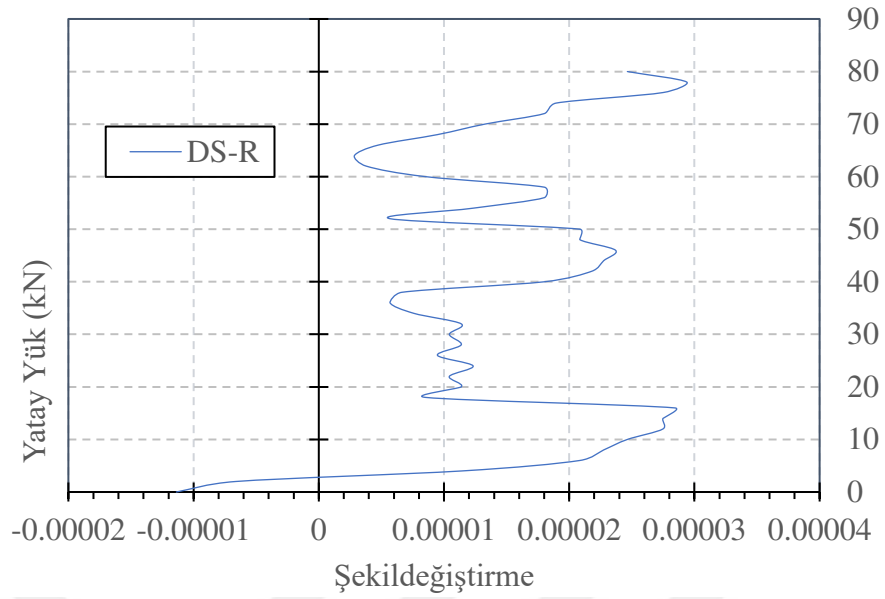
Şekil 4. 39. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R) numunesi üst kolon 6. kanal eğrilik)



Şekil 4. 40. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi alt kolon 7. kanal kayma deformasyonu)



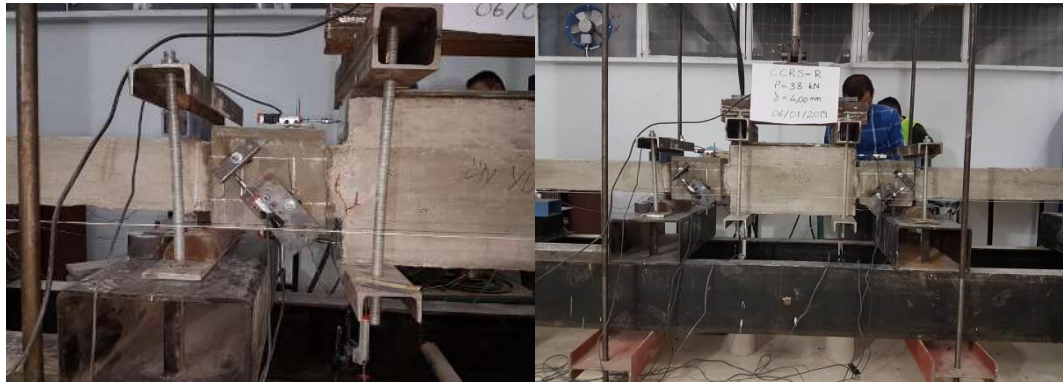
Şekil 4. 41. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi)



Şekil 4. 42. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (DS-R numunesi)

4.4. CCRS-R numunesine ait temel sonuçlar

Numuneye 74 kN aksenal yüklemekten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 19 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğilme çatlakları oluşmuştur. Şekil 4.43.'te görüldüğü gibi daha sonra ilerleyen yükleme adımlarında eğilme çatlakları ilerlemiş ve 41 kN'da ilk eğik kesme çatlakları Şekil 4.44'te görüldüğü gibi oluşmuş ve ilerlemiştir. Kesme çatlakları oluşuktan sonra eğilme çatlaklarındaki ilerleme hemen hemen durmuş ve kesme çatlakları artıp genişleyerek Şekil 4.45.'te görüldüğü gibi numune dayanımını yitirmiştir.



Şekil 4. 43. CCRS-R numunesinde oluşan ilk eğilme çatlakları

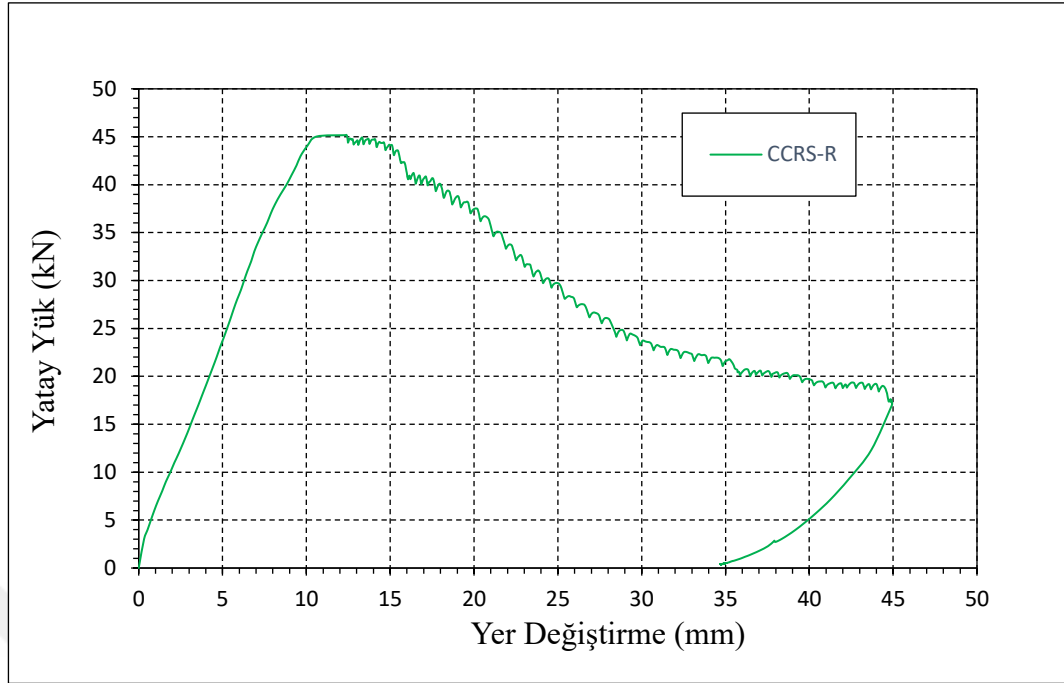


Şekil 4. 44. CCRS-R numunesinde oluşan ilk eğik kesme çatlağı

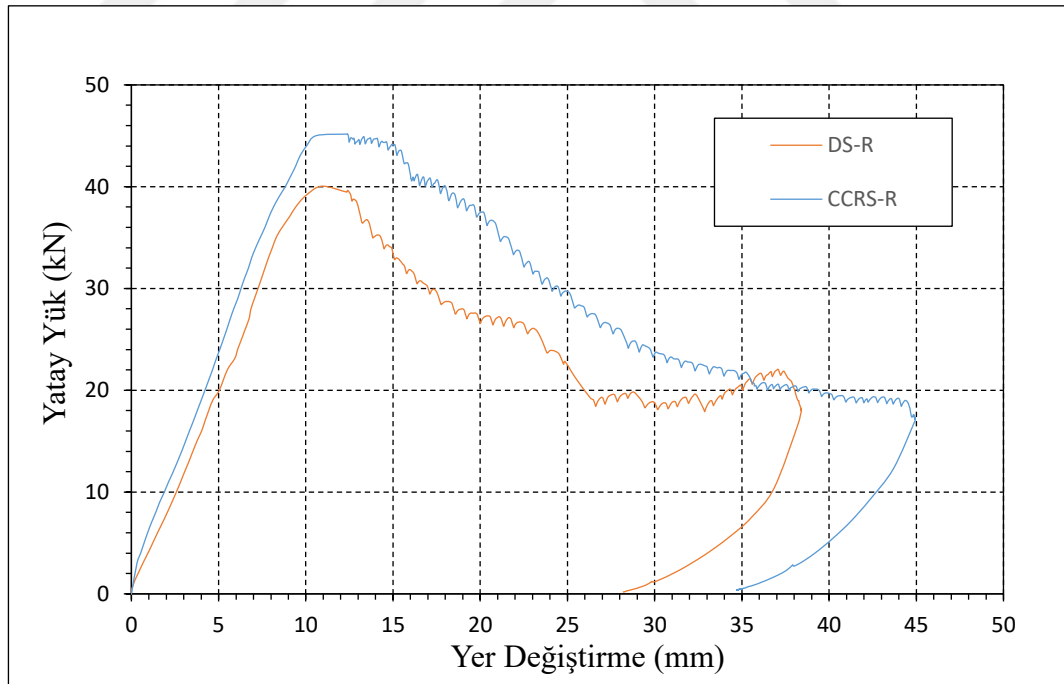


Şekil 4. 45. CCRS-R numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

Şekil 4.46.'da CCRS-R numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi bu numunede de göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu ani göçme şekli de tipik bir kesme göçmesini işaret etmektedir.



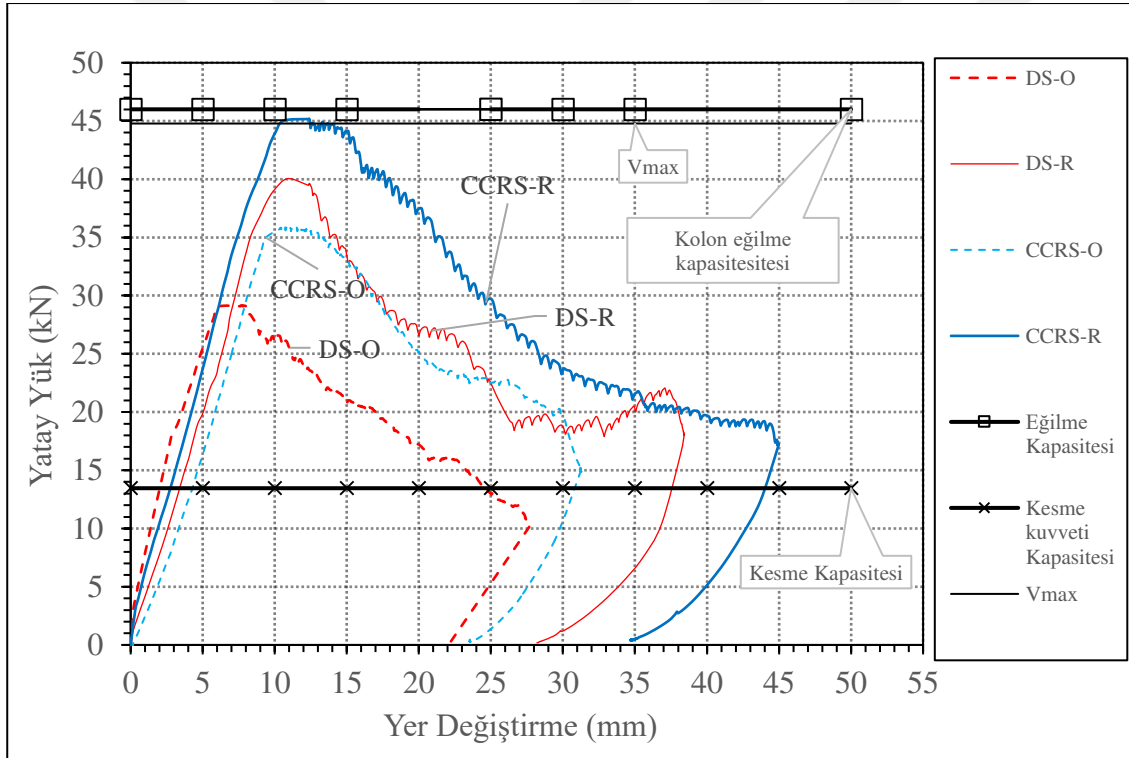
Şekil 4. 46. CCRS-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi



Şekil 4. 47. DS-R ve CCRS-R numunelerinin yatay-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

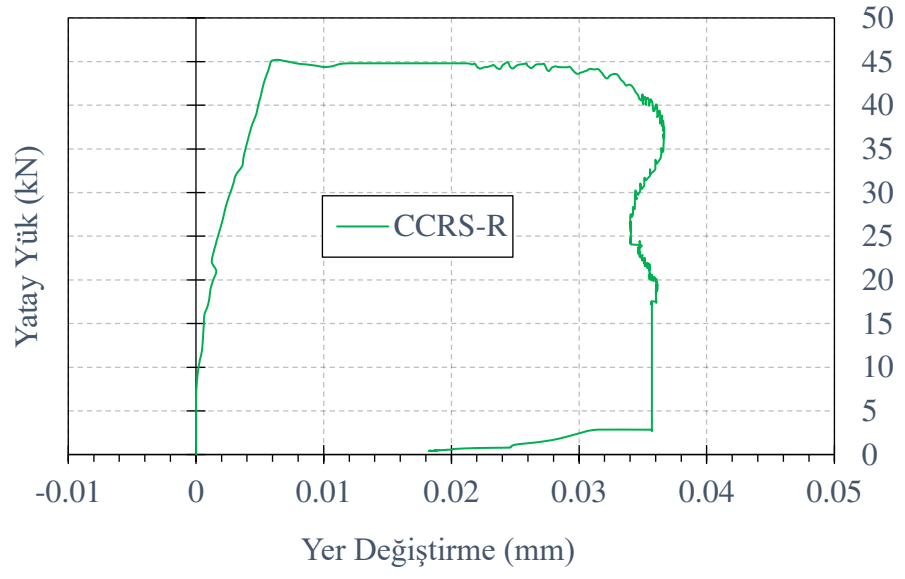
Şekil 4.46.'daki grafikten görülebileceği gibi bu numune en çok 45.5 kN yatay yük taşımıştır. CCRS-R numunesi DS-R numunesine göre $45.5 - 40 = 5.5$ kN daha fazla

yatay yük taşımıştır. Bu yük artışı CCRS-R numunesindeki etriye miktarının DS-R numunesine göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan grafikten de görülebileceği gibi bu numune de eğilme kapasitesine ulaşamamıştır. Etriye aralığının 75 mm olmasına karşılık numunenin eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme etkilerinden dolayı göçmesi beton dayanımı düşük ve boyuna donatı oranı nispeten yüksek olan kolonlarda çatlak oluşumundan sonra betonun basınç etkilerinden dolayı ezilmesi de göçme yükü üzerinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu durumun farklı etkenler de göz önüne alınarak yapılacak çok sayıda deney ile daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

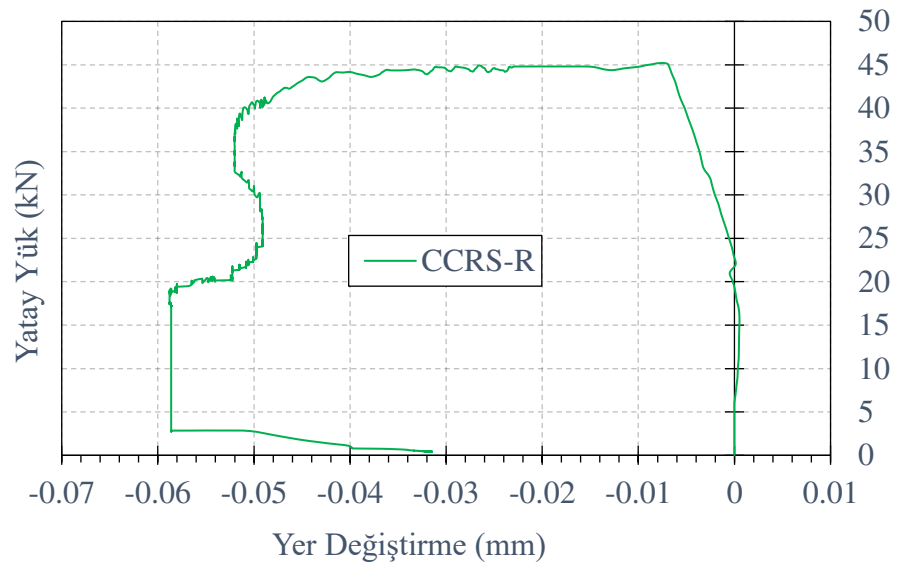


Şekil 4. 48. Deney numunelerinin yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

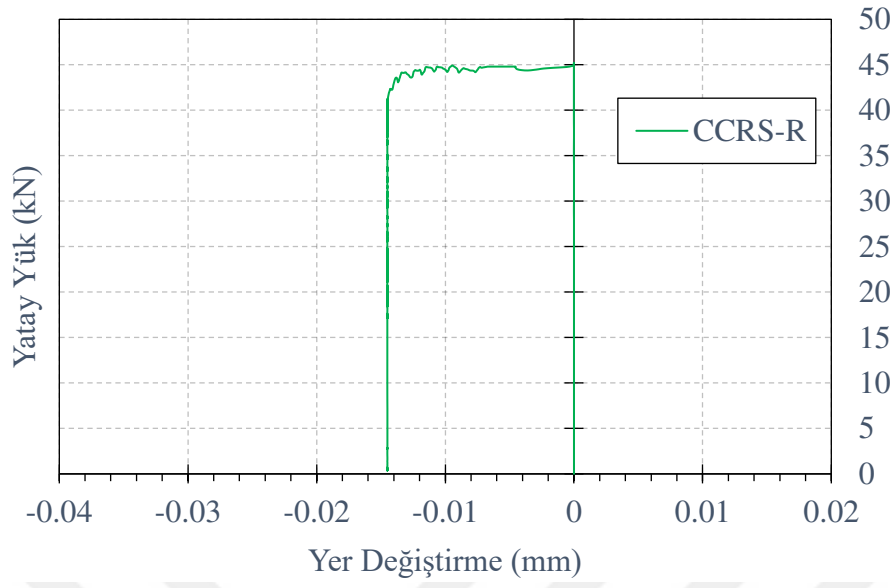
CCRS-R numunesi potansiyometrik cetvellerle yapılan ölçüm sonucu elde edilen diğer kanal verilerinden numunenin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri, eğrilik, kayma deformasyonları ve yatay yüke bağlı olarak donatı şekil değiştirme ölçerlerine ait grafikler elde edilmiştir.



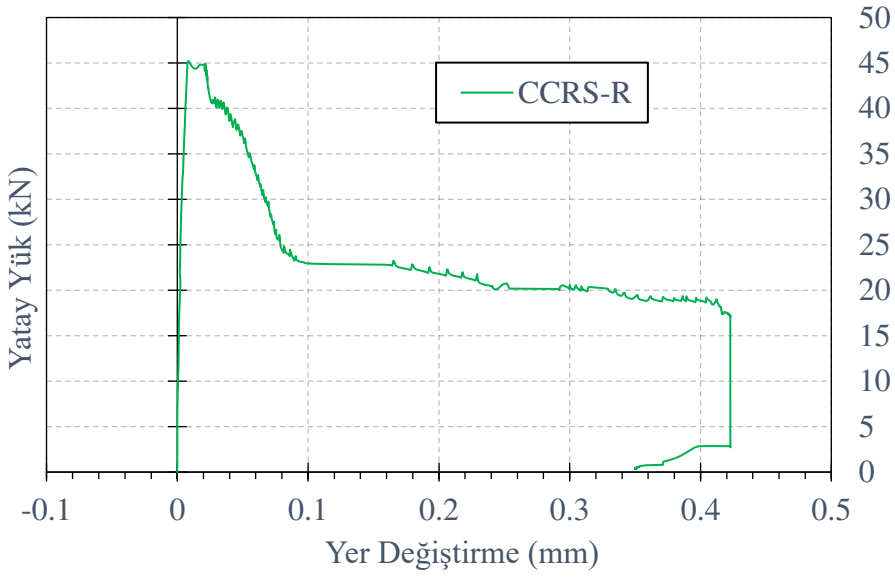
Şekil 4. 49. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 1. kanal eğrilik)



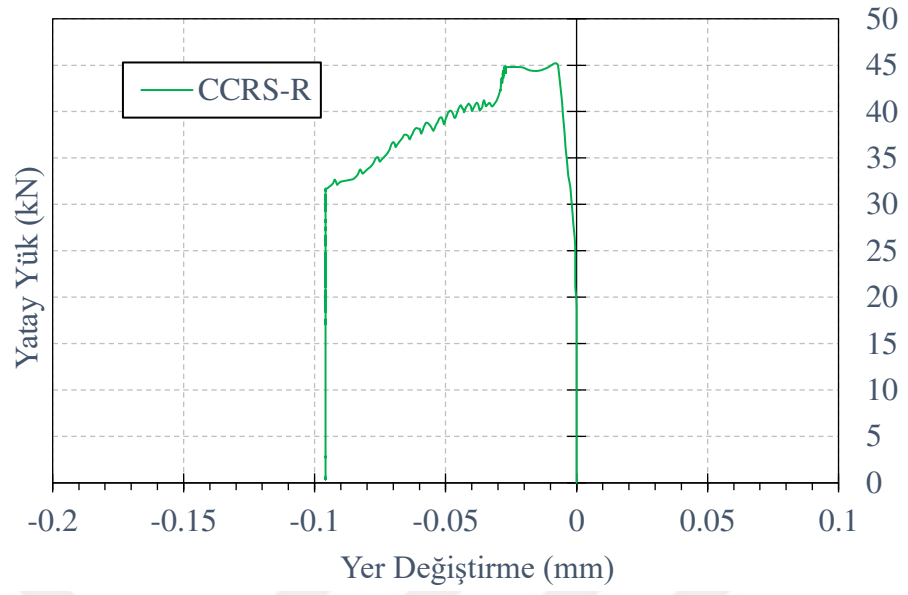
Şekil 4. 50. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 2. kanal eğrilik)



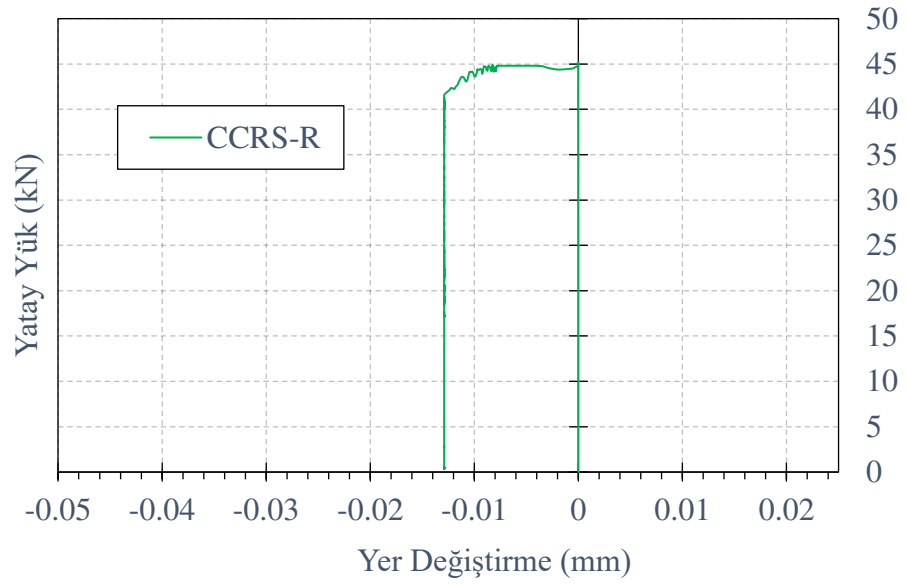
Şekil 4. 51. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi alt kolon 3. kanal kayma deformasyonu)



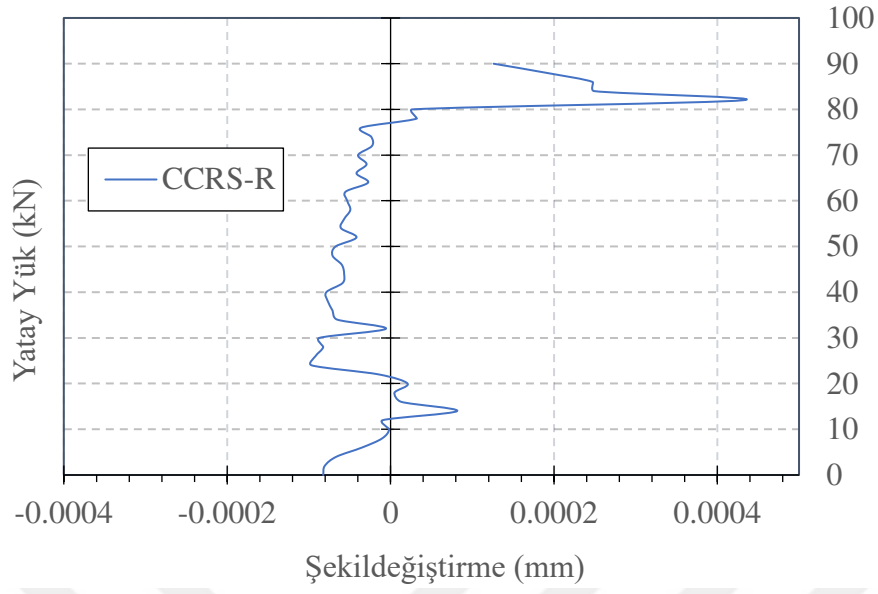
Şekil 4. 52. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 5. kanal eğrilik)



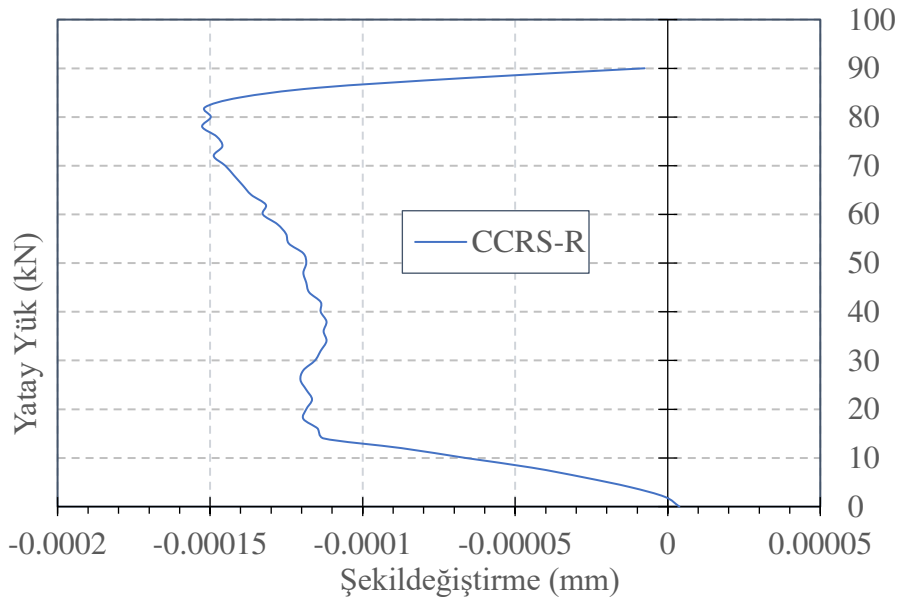
Şekil 4. 53. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi üst kolon 6. kanal eğrilik)



Şekil 4. 54. Yatay yük- Yerdeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi alt kolon 7. kanal kayma deformasyonu)



Şekil 4. 55. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi)



Şekil 4. 56. Yatay yük-donatı şekildeğiştirme ilişkisi (CCRS-R numunesi)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada düşük dayanımlı betona sahip kısa kolonların yetersiz ve yeterli etriye miktarlarına sahip olmaları durumu incelenmiştir. Ayrıca kesme etkilerine maruz kalan kesme sahanlığı bölgesi daha önce Bedirhanoglu (2015) tarafından geliştirilen güçlendirme yöntemi ile güçlendirilmiştir. Bu yöntem çelik plakalar ve tamir harcı kullanılarak uygulanmaktadır. Sonuç olarak bütün numunelerin göçme şekli eğilme kapasitelerine ulaşmadan kesme göçmesi olarak gerçekleşmiştir. Etriye aralığının sıklaştırılarak enine donatı miktarının artırılması numunenin yatay taşıma kapasitesini artırmıştır buna karşılık gevrek kesme göçmesinin önüne geçilememiştir. Bu durum özellikle düşük dayanımlı betona sahip ve boyuna donatı oranları yüksek olan kolonlarda kesme etkilerinin karşılanması için etriyenin tek başına yeterli olmadığını açık olarak göstermektedir. Bunun temel sebebi ise göçmenin sonuç olarak betonun basınç ezilmesi ile gerçekleşmesidir. Kesme kuvveti sonucunda oluşan asal çekme gerilmeleri etriye ile bir miktar karşılanmasına karşılık beton dayanımının düşüklüğünden kaynaklı asal basınç gerilmeleri karşılanmamakta ve asal basınç gerilmeleri beton basınç dayanımını aşarak kesme basınç ezilmesi ile numune dayanımını gevrek bir şekilde yitirmektedir. Yine aynı şekilde güçlendirilen numunelerde de kesme etkilerine maruz bölgelerin çelik plaka ve tamir harcı ile güçlendirilmesi numunelerin yatay taşıma kapasitelerinde etriyeden daha fazla ve önemli bir artış meydana getirmiştir. Bu durum bu güçlendirme yönteminin numunenin kesme basınç dayanımını da artırdığını göstermektedir. Bunun temel sebebi güçlendirme yönteminde çimento esaslı basınç dayanımı yüksek ve belli bir kalınlığa sahip beton plakaların kullanılmış olmasıdır. Buna karşılık numuneler yine de eğilme kapasitelerine ulaşmadan kesme göçmesinden dolayı dayanımlarını yitirmişlerdir. Bunun sebebi olarak güçlendirmenin bütün kesme basınç etkilerini taşıyabilecek miktarda yapılmamasıdır. Bunun temel sebebi güçlendirme plakalarının betonu saracak şekilde değil sadece yüzeydeki çekme ve basınç kesme etkilerini karşılayacak şekilde yapılmış olmasıdır. Bundan dolayı mevcut kolunun betonu basınç etkileri altında zorlandığında beton genişerek güçlendirme plakalarının kolon yüzeyinden bir tabaka beton koparak ayrılmasına neden olmuştur. Bu da güçlendirme plakalarının basınç kapasitelerinin tamamı ile kullanamamalarına neden olmuş ve kolonlar gevrek kesme basınç göçmesi ile dayanımlarını yitirmişlerdir. İleride yapılacak çalışmalarda bu durum

göz önünde bulundurularak Bedirhanoglu (2015) tarafından önerilen güçlendirme yönteminin kolonun dört yüzünde devamlılığı sargı etkisi yaratacak şekilde sağlanarak güçlendirmenin yapılması önerilmektedir. Ayrıca güçlendirmede kullanılan çelik plaka ve tamir harcı kalınlığı artırılarak da kesme kapasitelerinin artırılması hedeflenebilir. İleriki çalışma olarak bu tür detaylara sahip kolonlar üretilerek bu çalışmada önerilen güçlendirme yönteminde iyileştirmeler ve farklı detaylar kullanılarak kapasitesinin artışı sağlamaya yönelik deneylerin yapılması önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

Autodesk. (2018). AutoCAD 2018 Öğrenci Sürümü.

Bedirhanoglu, İ., İlki, A., Pujol, S., & Kumbasar, N. (2010). Behavior of deficient joints with plain bars and low-strength concrete. *ACI Structural Journal*, 107(3), 300-310 .

Bedirhanoglu, İ. (2008). Ötelenme Oranına Dayalı Deprem Tasarımı. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi*, 1, 28-33.

Bedirhanoglu, İ. (2009). Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kolon ve birleşimlerin deprem yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve iyileştirilmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bedirhanoglu, İ. (2015). Prefabricated-HSPRCC panels for retrofitting of existing RC members-a pioneering study. *Structural Engineering and Mechanics*, 56(1), 1-25.

Bedirhanoglu, İ., & İlki, A. (2004). Theoretical Moment-Curvature Relationships for Reinforced Concrete Members and Comparison with Experimental Data. Sixth International Congress on Advances in Civil Engineering. Bogazici University, İstanbul, 6-8 October, 2004.

Bedirhanoglu, İ., İlki, A., & Kumbasar, N. (2011). Innovative Techniques for Seismic Retrofitting of RC Joints., (s. 243-251).

Celep, Z. (2013). Betonarme Yapılar (7 b.). Beta Dağıtım.

Celep, Z. (2015). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.

Ersoy, U., & Özcebe, G. (2007). Betonarme (II b.). İstanbul: Evrim Yayınevi.

İlki, A., Bedirhanoglu, İ., & Kumbasar, N. (2010). Behavior of FRP-retrofitted joints built with plain bars and low-strength concrete. *ASCE, Journal of Composites for Construction*, 15(3), 312-326.

İlki, A., Bedirhanoglu, İ., Başegmez, İ., Demir, C., & Kumbasar, N. (2006). Shear retrofit of low strength reinforced concrete short columns with GFRP composites. Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006). December 13-15, 2006, Miami.

İlki, A., Demir, C., Bedirhanoglu, İ., & Kumbasar, N. (2009). Seismic retrofit of brittle and low strength RC columns using fiber reinforced polymer and cementitious composites. *Advances in Structural Engineering*, 12(3), 325-347.

Lee, K., Lee, B., & Seo, S. (2016). A Seismic Strengthening Technique for Reinforced Concrete Columns Using Sprayed FRP. *Polymers*, 8, 107.

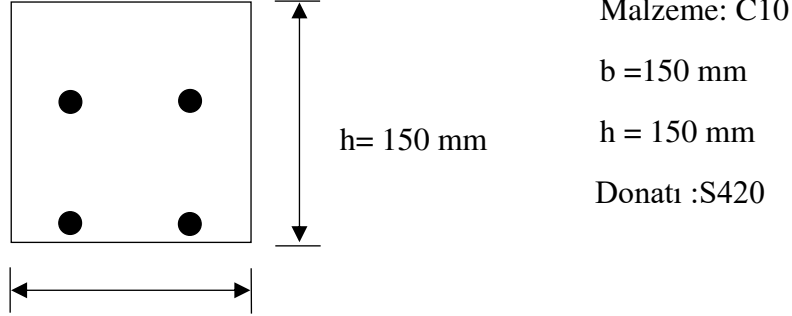
Li, X., Wang, J., Bao, Y., & Chen, G. (2017). Cyclic behavior of damaged reinforced concrete columns repaired with high-performance fiber-reinforced cementitious composite. *Engineering Structures*, 136, 26-35.

Li, Y.-A., & Hwang, S.-J. (2016). Prediction of Lateral Load Displacement Curves for Reinforced Concrete Short Columns Failed in Shear. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 143(2), 04016164.

Ma, G., & Li, H. (2015). Experimental Study of the Seismic Behavior of Predamaged Reinforced-Concrete Columns Retrofitted with Basalt Fiber-Reinforced Polymer. *Journal of Composites for Construction, ASCE*, 19(6), 04015016.

Ma, H., Xue, J., & Zhang, X. (2015). Cyclic loading tests and shear strength of steel reinforced recycled concrete short columns. *Engineering Structures*, 92, 55-68.

- Moretti, M., & Tassios, T. (2007). Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: Experimental results. *Engineering Structures*, 29(8), 2018-2029.
- Ouyang, L.-J., Gao, W.-Y., Zhen, B., & Lu, Z.-D. (2017). Seismic retrofit of square reinforced concrete columns using basalt and carbon fiber-reinforced polymer sheets: A comparative study. *Composite Structures*, 162, 294-307.
- Promis, G., & Ferrier, E. (2012). Performance indices to assess the efficiency of external FRP retrofitting of reinforced concrete short columns for seismic strengthening. *Construction and Building Materials*, 26, 32-40.
- Promis, G., Ferrier, E., & Hamelin, H. (2009). Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening. *Composite Structures*, 88, 367-379.
- Rautenberg, R., Pujol, S., Tavallali, H., & Lepage, A. (2013). Drift Capacity of Concrete Columns Reinforced with High-Strength Steel. *ACI Structural Journal*, 110(2), 307-317.
- Rodsina, K. (2015). Brittle shear failure prevention of a non-ductile RC column using glass fiber reinforced polymer (GFRP). *Procedia Engineering*, 125, 911-917.
- Şeker, M., & Bedirhanoglu, İ. (2019). Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kısa kolonların kesme etkileri altında davranışlarının incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 385-395.
- Tavallali, H., Lepage, A., Rautenberg, J., & Pujol, S. (2014). Concrete Beams Reinforced with High-Strength Steel Subjected to Displacement Reversals. *ACI Structural Journal*, 111(5), 1037-1047.
- TS 500. (2000). Betonarme Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. AFAD, 2018.
- Wang, L., Su, R., Cheng, B., Li, L., Wan, L., & Shan, Z. (2017). Seismic behavior of preloaded rectangular RC columns strengthened with precambered steel plates under high axial load ratios. *Engineering Structures*, 152.

EKLER**EK 1. Deney Numunelerinin Kesme Kapasitelerinin Hesaplanması**

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$d' = 20 + 8 + 7 = 36 \text{ mm (paspayı} + \frac{\varnothing 14}{2} + \text{ettriye çapı)}$$

$$d = 150 - 35 = 115 \text{ mm (faydalı yükseklik)}$$

$$d'' = 115 - 35 = 80 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 11.8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.35 * \sqrt{f_{c'}} = 0.35 * \sqrt{11.8} = 1.20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.5 * \sqrt{f_{c'}} = 0.5 * \sqrt{11.8} = 1.71 \text{ MPa}$$

Disk yarma deneylerinde ortalama çekme dayanımı 1.53 MPa'dır.

Kolonlara etki ettirilecek sabit eksenel yük değeri kolon kapasitesinin yaklaşık %30'u kadar bir değere sahiptir.

$$N = 0.3 * f_{ck} * A_c = 0.3 * 11.8 * 150 * 150 * 10^{-3}$$

$$N = 79.65 \text{ kN}$$

Numunelerin kesme kapasitelerinin hesaplanması:

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctk} * b_w * d * (1 + 0.007 \frac{N_d}{A_c})$$

$$V_{cr} = 0.65 * 1.20 * 150 * 115 * \left(1 + 0.007 * \frac{79.65}{150 * 150}\right) * 10^{-3}$$

$$V_{cr} = 13.46 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 13.46 = 10.76 \text{ kN}$$

Tasarım yapılmadığı hesaplamalarda için $V_c = 13.46 \text{ kN}$ alınmıştır.

$$V_{max} = 0.22 * f_{ck} * b_w * d = 0.22 * 11.8 * 150 * 115 * 10^{-3}$$

$$V_{max} = 44.78 \text{ kN}$$

Enine donatının kesme kapasitesine katkısı,

Tek etriyeli numune:

$$\Phi 8/150: V_w = \frac{A_{sw}}{s} * f_{yw} * d = \frac{100.5}{150} * 420 * 115 = 32.36 \text{ kN}$$

Sık etriyeli numune:

$$\Phi 8/75: V_w = \frac{A_{sw}}{s} * f_{yw} * d = \frac{100.5}{75} * 420 * 115 = 64.72 \text{ kN}$$

olarak bulunur.

Beton ve enine donatının kesme kuvvetine toplam katkısı,

$$V = V_c + V_w = 13.46 + 32.36 = 45.82 \text{ kN} \quad (\text{Tek etriyeli numune için})$$

$$V = V_c + V_w = 13.46 + 64.72 = 78.18 \text{ kN} \quad (\text{Sık etriyeli numune için})$$

Kesme kuvvetinin oluşturacağı moment,

$$M_v = V * h = 45.82 * 0.300 \rightarrow M_v = 13.75 \text{ kNm} \quad (\text{Tek etriyeli numune için})$$

$$M_v = V * h = 78.18 * 0.300 \rightarrow M_v = 23.45 \text{ kNm} \quad (\text{Sık etriyeli numune için})$$

Eğilme kapasitesinin hesabı:

Çekme ve basınç donatılarının akma gerilmesine eriştiği kabul edilerek çözüm yapılırsa,

$$\sigma'_s = f_{yd} \text{ alınır.}$$

$$F_s = A_s * \sigma'_s = \frac{2 * \pi * 14^2}{4} * 420 = 129.31 \text{ kN}$$

$$F'_s = A_{s'} * \sigma'_s = \frac{2 * \pi * 14^2}{4} * 420 = 129.31 \text{ kN}$$

$$F_c = 0.85 * f_{ck} * b * a = 0.85 * 11.8 * 150 * a = 1504.5 * a$$

$$\Sigma F = F_c + F'_s - F_s = N$$

$$1504.5 * a = 74000 \Rightarrow \text{Burada } a = 49.19 \text{ bulunur. } (a = k_1 * c)$$

$$49.19 = 0.85 * c \Rightarrow c = 57.9 \text{ mm bulunur.}$$

Yukarıda bulunan tarafsız eksen değerine karşılık basınç ve çekme donatısının akıp akmadığının kontrolü gerçekleştirilirse;

$$\varepsilon_s = \frac{0.003 * (d - 57.9)}{57.9} = \frac{0.003 * (115 - 57.9)}{57.9} = 0.003 > 0.002$$

$$\varepsilon'_s = \frac{0.003*(c-d')}{c} = \frac{0.003*(57.9-35)}{35} = 0.002 \geq 0.002$$

Buradan çekme ve basınç donatılarının aktığı anlaşılmaktadır. Bu durumda beton basınç bloğu derinliği $a = 49.19$ mm'dir.

$$F_c = 0.85 * f_{ck} * b * a = 0.85 * 11.8 * 150 * 49.19 = 74.006 \text{ kN}$$

Kesit ağırlık merkezine göre moment alınırsa;

$$M_r = F_c * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + (F'_s + F_s) * \left(\frac{h}{2} - d'\right)$$

$$M_r = 74.006 * \left(\frac{150}{2} - \frac{49.19}{2}\right) * 10^{-3} + (129.31 + 129.31) * \left(\frac{150}{2} - 35\right) * 10^{-3}$$

$$M_r = 14.075 \text{ kNm}$$

Eğilme kapasitesine denk gelen bir kolona etki eden kesme kuvveti:

$$\frac{P_r}{2} = \frac{M_r}{a} \text{ ise } P_r = \frac{14.075*2}{0.3} = 93.83 \text{ kN}$$

Çelik levhaların çekmede kesme dayanımına katkısı:

Çekmede:

Tamir harcı ortalama basınç dayanımı= 30.8 MPa

$$\text{Çelik plaka boşluk oranı} = \frac{\frac{10*\pi*25^2}{4}}{200*100} = 0.25$$

Güçlendirme çelik levhaların kesme dayanımına katkısı

$$V_{gs} = t_s * d * \sqrt{2} * f_y * \text{boşluk oranı} =$$

$$V_{gs} = 1 * 115 * \sqrt{2} * 173.3 * 0.25$$

$$V_{gs} = 7.04 \text{ kN}$$

Güçlendirme betonun çekme dayanımına katkısı

$$V_{gc} = t_c * d * \sqrt{2} * \sqrt{f_{cc}} * 0.35$$

$$V_{gc} = 30 * 115 * \sqrt{2} * \sqrt{30.79} * 0.35$$

$$V_{gc} = 9.48 \text{ kN}$$

$$V_{gtoplam} = 9.48 \text{ kN} + 7.04 = 16.5 \text{ kN}$$

Basınçta:

$$V_{gsc} = 0$$

$$V_{gco} = t * d * \sqrt{2} * f_{cc}$$

$$V_{gco} = 30 * 115 * \sqrt{2} * 30.79$$

$$V_{gco} = 150.23 \text{ kN}$$



EK 2. Elek Analizleri Tabloları

EK 2. 1. Agrega karışım oranlarının referans değerlerle karşılaştırılması

Agrega karışım oranları						Referans değerler			
Elek göz açıklığı (mm)	X eksen	Kum	Kırma kum	Çakıl	Karışım (%)	A16	(A16+B16)/2	B16	C16
7	2	100	100	100	100.00	100	100.0	100	100
6	3	100	99.39	29.1	71.43	60	68.0	76	88
5	4	98.99	85.95	1.61	55.47	36	46.0	56	74
4	5	86.7	38.73	0.75	35.53	21	31.5	42	62
3	6	61.38	20.58	0.54	22.76	12	22.0	32	49
2	7	19.41	8.77	0.34	8.06	6	11.0	16	28
1	8	12.96	6.37	0.28	5.58	3	5.5	8	18
Özgül Ağırlık		2.6	2.65	2.72					
Karışım Oranları%		25	35	40					
İncelik Modülü		2.21	3.40	5.67	4.01				

EK 2. 2. Kum karışımı elek analizi tablosu

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (%)	Elekten geçen yığışimli ağırlık (%)
7	0.00	0	0.00	100.00
6	0.00	0.00	0.00	100.00
5	6.25	6.25	1.01	98.99
4	76.08	82.33	13.30	86.70
3	156.73	239.06	38.62	61.38
2	259.79	498.85	80.59	19.41
1	39.93	538.78	87.04	12.96
elek altı	80.22	619.00	100.00	0.00

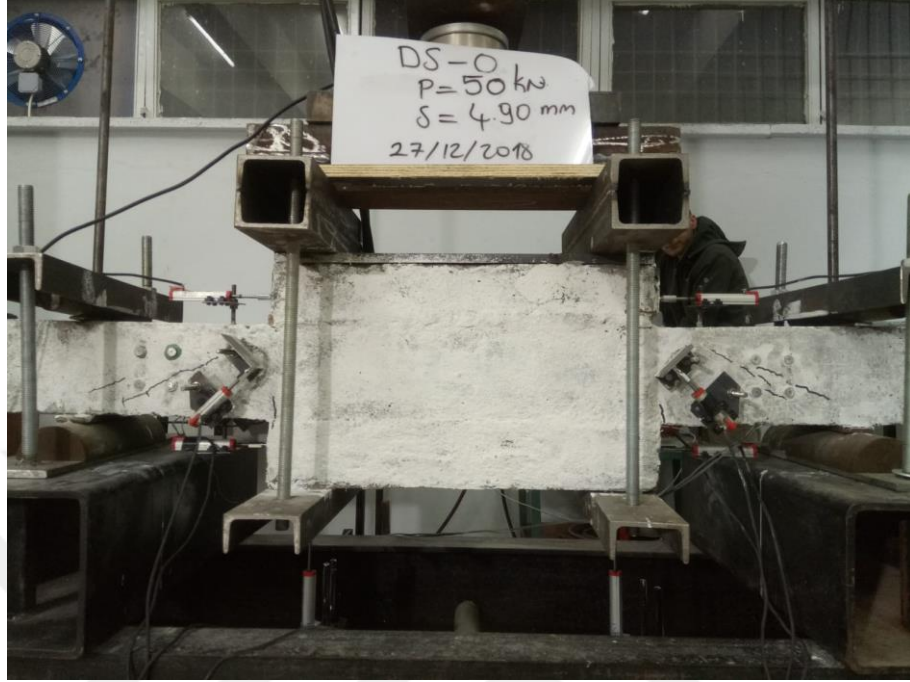
EK 2. 3. Kırma kum karışımı elek analizi tablosu

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık (%)	Elekten geçen yığışımli ağırlık (%)
7	0.00	0.00	0.00	100.00
6	4.40	4.40	0.61	99.39
5	96.90	101.30	14.05	85.95
4	340.46	441.76	61.27	38.73
3	130.86	572.62	79.42	20.58
2	85.15	657.77	91.23	8.77
1	17.30	675.07	93.63	6.37
Elek altı	45.93	721.00	100.00	0.00

EK 2. 4. Çakıl karışımı elek analizi tablosu

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık (%)	Elekten geçen yığışımli ağırlık (%)
7	0.00	0.00	0.00	100.00
6	319.49	319.49	70.90	29.10
5	123.88	443.37	98.39	1.61
4	3.88	447.24	99.25	0.75
3	0.95	448.19	99.46	0.54
2	0.90	449.09	99.66	0.34
1	0.27	449.36	99.72	0.28
Elek altı	1.26	450.62	100.00	0.00

EK 3. Numunelerde oluşan kesme çatlakları ve göçme şekilleri



EK 3. 1. DS-O numunesi ön yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları



EK 3. 2. DS-O numunesi alt kolon arka yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları



EK 3. 3. DS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli
(Üst kolon arka yüzden görünüm)



EK 3. 4. DS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli
(Üst kolon ön yüzden görünüm)



EK 3. 5.CCRS-O numunesi ön yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları



EK 3. 6. CCRS-O numunesi arka yüzde oluşan eğilme ve kesme çatlakları



EK 3. 7. CCRS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli (Ön yüzden görünüm)



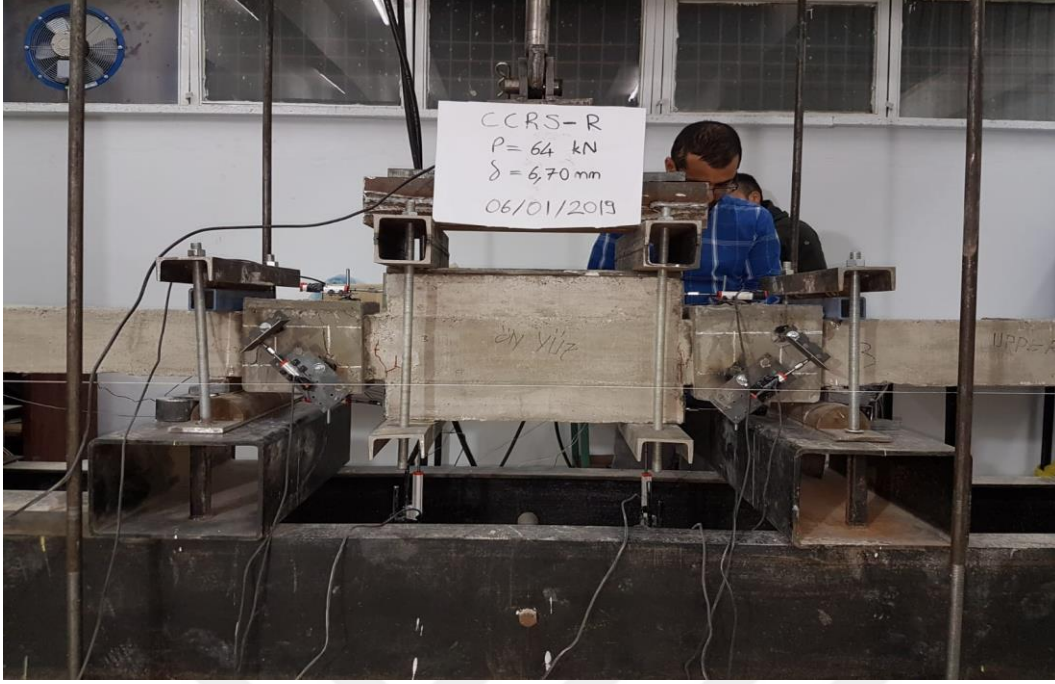
EK 3. 8. CCRS-O numunesinde kesme etkilerinden dolayı meydana gelen göçme şekli (Arka yüzden görünüm)



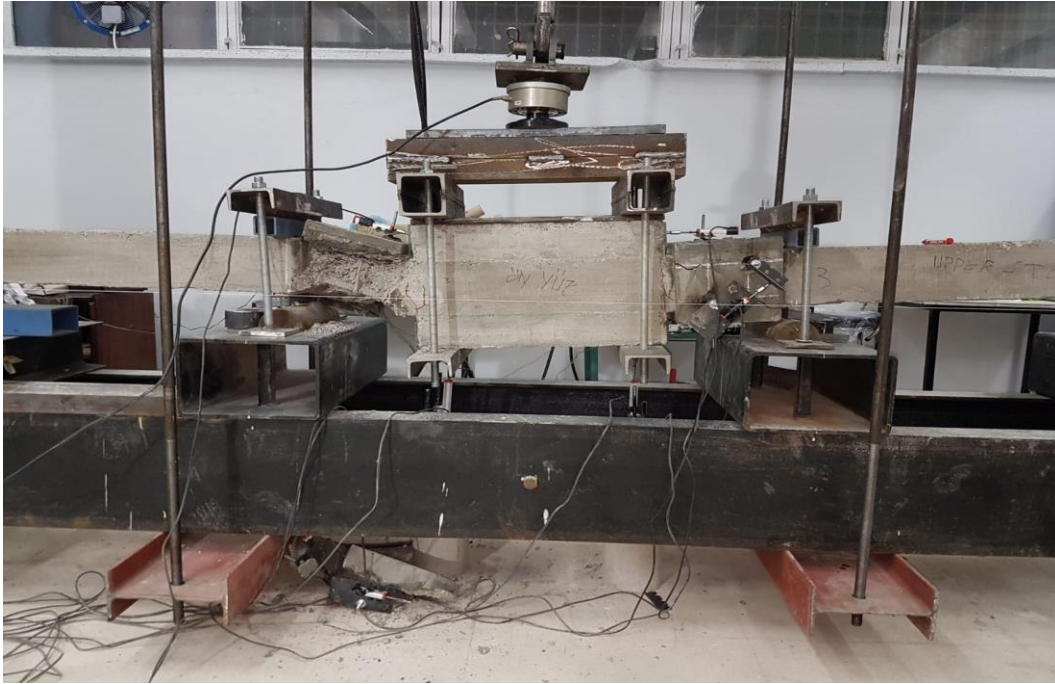
EK 3. 9. DS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Ön yüzden görünüm)



EK 3. 10. DS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Arka yüzden görünüm)



EK 3. 11. CCRS-R numunesi ön yüzde oluşan eğilme çatlakları



EK 3. 12. CCRS-R numunesi meydana gelen göçme şekli (Ön yüz)

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim ve lise eğitimini Diyarbakır’da tamamladı. Çukurova Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2016 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı Yapı Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. DÜMF Mühendislik Fakültesi Dergisinde “Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kısa kolonların kesme etkileri altında davranışlarının incelenmesi” konulu bir adet makalesi yayımlanmıştır. Halihazırda mesleki hayatını kamuda sürdürmektedir.





**DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU**

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Mehmet ŞEKER
ÖĞRENCİ NO	16806010
EĞİTİM - ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kısa Kolonların Kesme Basınç Göçmesinin İncelenmesi

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	141
BENZERLİK ORANI	%11
RAPORLAMA TARİHİ	07/08/2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 141 sayfalık kısmına ilişkin, 07/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

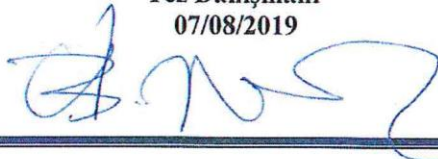
- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☐ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

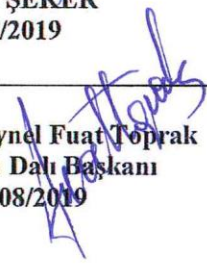
Gereğini saygılarımla arz ederim.


Mehmet ŞEKER
07/08/2019

Doç. Dr. İdris BEDİR HANOĞLU
Tez Danışmanı
07/08/2019



Prof. Dr. Zeynel Fuat Toprak
Anabilim Dalı Başkanı
07/08/2019



Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.