

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK EKSENEL YÜK VE KESME ORANLARINA MARUZ STANDART
ALTI KOLONLARIN HİBRİT İNCE MANTOLAMA YÖNTEMİ İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan NARLİTEPE

Afet Yönetimi Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK EKSENEL YÜK VE KESME ORANLARINA MARUZ STANDART
ALTI KOLONLARIN HİBRİT İNCE MANTOLAMA YÖNTEMİ İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Furkan NARLİTEPE
(802181213)**

Afet Yönetimi Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

HAZİRAN 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 802181213 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan NARLITEPE, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜKSEK EKSENEL YÜK VE KESME ORANLARINA MARUZ STANDART ALTI KOLONLARIN HİBRİT İNCE MANTOLAMA YÖNTEMİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kutay ORAKÇAL**
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Haziran 2021
Savunma Tarihi : 16 Haziran 2021





Eşime ve tüm sevdiklerime,



ÖNSÖZ

TUBİTAK ve Research Council UK arasından gerçekleşen ikili iş birliği kapsamında desteklenen ‘Rapid Earthquake Risk Assessment and Post-Earthquake Disaster Management Framework for Substandard Buildings in Turkey’ isimli projenin deneysel bölümünün bir parçası olan bu çalışmaya verilen destekler için her iki kuruma da teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen testler süresince, tüm imkanlarını bizler için seferber edip, misafirperverlikleriyle bizleri motive eden FibroBeton ailesine ve Muhammed Maraşlı’ya teşekkür ederim.

Beraber çalıştığımız Nima KİAN, M. Nur DEMİR, Alihan BALTACI, Muhsin Can LÜLECİ, Bilal SARI, Safiye GÜNDOĞAN, Erkan TÖRE ve bizi hiç yalnız bırakmayıp bu yoğun çalışma temposuna bizimle birlikte sabır gösteren Dr. Uğur DEMİR’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her fırsatta öğrencisi olmakla gurur duyduğum, akademik bilinç, bilgi ve görgümün artmasına vesile olan kıymetli hocam Prof. Dr. Alper İLKİ’ye kendisiyle çalışma imkanını bana sunduğu için çok teşekkür ederim.

Varlık sebebim, velinimetim anne ve babama, pek kıymetli kardeşime tüm hayatım boyunca sağladıkları maddi ve manevi destek için minnettarım.

Bu yoğun çalışma sürecinde dualarıyla bana eşlik eden, sabır gösteren, sevgili eşim Esmanur NARLITEPE’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2021

Furkan NARLITEPE
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	3
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	7
2.1 Numunelerin Tasarımı.....	7
2.2 Numunelerin Özellikleri.....	9
2.3 Malzeme Özellikleri ve Uygulama Adımları	10
2.3.1 Beton	10
2.3.2 Çelik donatı	12
2.4 Güçlendirme Aşamaları.....	14
2.5 Test Sistemi, Ölçüm Aletleri ve Yükleme Protokolü.....	18
3. TEST SONUÇLARI	21
3.1 Göçme Modları ve Hasar Gözlemleri	21
3.1.1 Grup 1 numuneleri	21
3.1.2 Grup 2 numuneleri	33
3.2 Süneklik ve Rijitlik Değişimi	45
3.3 Kümülatif Enerji Yutma Kapasitesi	47
3.4 Moment Eğrilik	49
4. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	53
4.1 Malzeme Modelleri	53
4.1.1 Sargılı ve sargısız beton modeli	53
4.1.2 Donatı çeliği modeli	55
4.1.3 FRP sargılı beton.....	57
4.2 Moment Eğrilikler	58
4.2.1 RSP1 numunesi	58
4.2.2 RSP1-J ve RSP1-J-R numuneleri.....	60
4.2.3 RSP2 numunesi	62
4.2.4 RSP2-J ve RSP2-J-R numuneleri.....	64
4.3 Kesit Analizi ile Tepe Deplasman Hesabı.....	68
4.3.1 RSP1 numunesi için analitik hesaplar	70
4.3.2 RSP1-J numunesi için analitik hesaplar	70
4.3.3 RSP1-J-R numunesi için analitik hesaplar	71
4.3.4 RSP2 numunesi için analitik hesaplar	72

4.3.5 RSP2-J numunesi için analitik hesaplar	72
4.3.6 RSP2-J-R numunesi için analitik hesaplar	73
5. PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ	75
5.1 TBDY (2018).....	75
5.1.1 Grup 1 numuneleri	76
5.1.2 Grup 2 numuneleri	78
6. SONUÇLAR	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ	93



KISALTMALAR

AFRP	: Aramit elyaf takviyeli polimer
CFRP	: Karbon elyaf takviyeli polimer
FRP	: Lif takviyeli polimer
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimer
POT	: Potansiyometre
SCC	: Kendiliğinden yerleşen beton
TBDY	: Türk bina deprem yönetmeliği
UHPFRCC	: Yüksek performanslı elyaf takviyeli çimento esaslı kompozitler



SEMBOLLER

A_c	: Gövde kesiti beton alanı
$A_{eff,beton}$	: Efektif beton alanı
$A_{eff,harç}$	: Efektif harç alanı
A_{sh}	: Dikkate alınan doğrultuda enine donatı alanı
A_{st}	: Toplam yatay donatı kesit alanı
A_{sw}	: Kesme donatısı toplam kesit alanı
b	: Kesit genişliği
b_k	: Etriye kolunun merkezleri arasındaki dikey mesafe
b_w	: Kolon gövde genişliği
d	: Kesitin faydalı yüksekliği
E_{frp}	: Lifli polimerin elastisite modülü
F	: Uygulanan yatay yük
f_c	: Sargısız beton silindir basınç dayanımı
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
f_{ctm}	: Beton ortalama eksenel çekme dayanımı
f_l	: Lifli polimerin sağladığı yanal basınç
f_y	: Enine donatının akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
l_p	: Plastik mafsal yüksekliği
l_s	: Kolon yüksekliği
M	: Mesnet kesitinde oluşan moment
N_d	: Kolon eksenel yükü
s	: Enine donatı aralığı
V	: Taban kesme kuvveti
V_c	: Kesme dayanımına beton katkısı
V_e	: Moment kapasitesine karşılık gelen kesme kuvveti
V_{max}	: Maksimum dayanıma karşılık gelen yatay yük
V_r	: Kesme dayanımı
V_w	: Kesme dayanımına kesme donatısı katkısı

V_y	: Akmaya karşı gelen yatay yük
Δ_p	: Doğrusal olmayan tepe yerdeğiştirmesi
δ_u	: %20 dayanım kaybına karşılık gelen yerdeğiştirme
δ_y	: Akma dayanımına karşılık gelen yerdeğiştirme
Δ_y	: Doğrusal tepe yerdeğiştirmesi
ϵ_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımına karşı gelen birim kısalma
ϵ_{co}	: Sargısız beton basınç dayanımına karşı gelen birim kısalma
ϵ_{coc}	: Sargılı betonda maks. dayanıma karşılık gelen birim kısalma
ϵ_{fu}	: Lifli polimerin kopma birim uzaması
$\epsilon_{h,rup}$	: Lifli polimerin etkin birim uzama sınırı
ϵ_s	: Donatı çeliği şekil değiştirme oranı
$\epsilon_{s,Du}$	: Donatı çeliğinin basınç altındaki nihai kısalma oranı
ϵ_y	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
$\theta_p^{(GÖ)}$	: Göçme öncesi hasar için plastik dönme talebi
$\theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü hasar için plastik dönme talebi
$\theta_p^{(SH)}$	: Sınırlı hasar için plastik dönme talebi
κ_a	: Kesit şekil etkinlik katsayısı
ρ_f	: Lifli polimerin hacimsel oranı
ρ_s	: Enine donatının hacimsel oranı
ρ_t	: Kolonlarda toplam boyuna donatı oranı
Φ_m	: Toplam eğrilik
Φ_y	: Akma eğriliği
μ	: Yerdeğiştirme sünekliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : TBDY (2018)'e göre numunelerin kesme oranları.	9
Çizelge 2.2 : Numunelerin karakteristik özellikleri.....	9
Çizelge 2.3 : Beton karışımının malzeme özellikleri.....	10
Çizelge 2.4 : Grup 1 numunelerinde kullanılan tamir harcının mekanik özellikleri.	15
Çizelge 2.5 : Grup 2 numunelerinde kullanılan tamir harcının mekanik özellikleri.	15
Çizelge 2.6 : CFRP kumaşın mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 3.1 : Numunelerin ait hasar mekanizmaları.....	43
Çizelge 3.2 : Numunelere ait süneklik ve rijitlik değişimi.	47



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Beton dökümü ve dikey kalıplama.	11
Şekil 2.2 : Numune üst yüzeyinin perdahlanması.	11
Şekil 2.3 : Silindir numunelerin dökümü.	12
Şekil 2.4 : Numunelerin basınç testi.	12
Şekil 2.5 : Boyuna donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.	13
Şekil 2.6 : Enine donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.	13
Şekil 2.7 : Kolon-temel donatı detaylandırması.	14
Şekil 2.8 : Methodun uygulanma adımları, a) güçlendirme öncesi, b) paspayının temizlenmesi, c) ilave boyuna donatıların ankrajı, d) tamir harcı uygulanması, e) CFRP sargılama.	17
Şekil 2.9 : Güçlendirme uygulaması sonrasındaki en kesit değişimi.	17
Şekil 2.10 : Yükleme protokolü.	18
Şekil 2.11 : Ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi.	19
Şekil 2.12 : Test sistemini içeren üç boyutlu görüntü.	20
Şekil 2.13 : Test sistemine ait genel görüntü.	20
Şekil 3.1 : RSP1 numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.	21
Şekil 3.2 : -0.0125 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.	22
Şekil 3.3 : +0.025 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlağın genişlemesi.	22
Şekil 3.4 : -0.05 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	23
Şekil 3.5 : +0.075 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	23
Şekil 3.6 : +0.01 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	23
Şekil 3.7 : +0.015 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	24
Şekil 3.8 : RSP1-J numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.	25
Şekil 3.9 : RSP1-J numunesine ait LP şekil değıştirme diyagramı.	26
Şekil 3.10 : +0.075 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.	26
Şekil 3.11 : +0.01 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlağın genişlemesi.	26
Şekil 3.12 : +0.015 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki gözlenen gerginleşmeler.	27
Şekil 3.13 : +0.02 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar.	27
Şekil 3.14 : -0.02 görelî ötelemede tamir harcında gelişen çatlaklar.	27
Şekil 3.15 : RSP1-J-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.	28
Şekil 3.16 : RSP1-J-R numunesine ait LP şekil değıştirme diyagramı.	29
Şekil 3.17 : +0.075 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.	30
Şekil 3.18 : +0.01 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.	30
Şekil 3.19 : +0.015 görelî ötelemede kolon-temel birleşiminde, (a) tamir harcı yüzeyinde kısmî ezilmeler, (b) ayrılmaların genişlemesi.	31
Şekil 3.20 : -0.02 görelî ötelemede LP kumaş üzerinde gözlenen gerginleşmeler.	31

Şekil 3.21 : +0.03 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar.	32
Şekil 3.22 : +0.03 görelî ötelemede tamir harcı yüzeyindeki çatlaklar.	32
Şekil 3.23 : RSP2 numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.	33
Şekil 3.24 : +0.025 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	34
Şekil 3.25 : +0.05 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	34
Şekil 3.26 : -0.075 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.	35
Şekil 3.27 : Test sonrasında boyuna donatılarda görülen burkulmalar.....	35
Şekil 3.28 : RSP2-J numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.....	36
Şekil 3.29 : +0.025 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.	37
Şekil 3.30 : -0.05 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki (a), (b) kısmi yırtılmalar.	37
Şekil 3.31 : +0.075 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar ve tamir harcı parçalanması.	38
Şekil 3.32 : Tamir harcının kademeli uygulaması sonucu oluşan tabakalaşma.....	38
Şekil 3.33 : RSP2-J-R numunesine ait yatay yük-yer değiştirme diyagramı.....	39
Şekil 3.34 : -0.025 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.....	39
Şekil 3.35 : +0.05 görelî ötelemede (a) LP kumaş üzerindeki gerilme, (b) tamir harcı üzerinde kısmi ezilme.....	40
Şekil 3.36 : +0.075 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar ve tamir harcı parçalanması.	41
Şekil 3.37 : Tamir harcının kademeli uygulaması sonucu oluşan tabakalaşma.....	41
Şekil 3.38 : RSP2-J-R numunesine ait LP şekil değiştirme diyagramı.	44
Şekil 3.39 : RSP1-J numunesine ait LP şekil değiştirme diyagramı.	44
Şekil 3.40 : Grup 1 kolonlarına ait iskelet eğrileri.....	45
Şekil 3.41 : Grup 2 kolonlarına ait iskelet eğrileri.....	45
Şekil 3.42 : Yer değiştirme sünekliliğine ait parametreler.	46
Şekil 3.43 : Grup 1 kolonlarına ait kümülatif enerji yutma kapasiteleri.....	48
Şekil 3.44 : Grup 2 kolonlarına ait kümülatif enerji yutma kapasiteleri.....	48
Şekil 3.45 : 0-30mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	50
Şekil 3.46 : 30-150mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	50
Şekil 3.47 : 150-300 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	50
Şekil 3.48 : 0-30 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	51
Şekil 3.49 : 30-150mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	51
Şekil 3.50 : 150-300 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.	51
Şekil 4.1 : Geliştirilmiş Kent ve Park modeline ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.	54
Şekil 4.2 : TBDY (2018) tarafından önerilen donatı çeliği modeli.	56
Şekil 4.3 : Sargılı ve sargısız beton modeli.	59
Şekil 4.4 : Burkulmalı donatı çeliği modeli.	59
Şekil 4.5 : RSP1 kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	60
Şekil 4.6 : Lifli polimer kumaş sargılı kesitin etkili sargı alanı (Grup 1).	61
Şekil 4.7 : CFRP sargılı kesite ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Grup 1).	61
Şekil 4.8 : RSP1-J kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	62
Şekil 4.9 : RSP1-J-R kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	62
Şekil 4.10 : RSP2 kolonuna ait kesit görüntüsü.....	63
Şekil 4.11 : RSP2 kolonu için sargılı ve sargısız beton modeli.	63
Şekil 4.12 : RSP2 kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	64
Şekil 4.13 : Lifli polimer kumaş sargılı kesitin etkili sargı alanı (Grup 2).	65
Şekil 4.14 : CFRP sargılı kesite ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Grup 2).	65
Şekil 4.15 : RSP2-J kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	66

Şekil 4.16 : RSP2-J-R kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.	66
Şekil 4.17 : Grup 1 kolonları için moment-eğrilik diyagramlarının karşılaştırılması.	67
Şekil 4.18 : Grup 2 kolonları için moment-eğrilik diyagramlarının karşılaştırılması.	68
Şekil 4.19 : Konsol elemanın davranışı.	69
Şekil 4.20 : RSP1 kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	70
Şekil 4.21 : RSP1-J kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	71
Şekil 4.22 : RSP1-J-R kolonu için için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	71
Şekil 4.23 : RSP2 kolonu için için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	72
Şekil 4.24 : RSP2-J kolonu için için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 4.25 : RSP2-J-R için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 5.1 : Kesit hasar bölgeleri (TBDY,2018).	76
Şekil 5.2 : RSP1 kolonuna ait performans sınırları.	77
Şekil 5.3 : RSP1-J kolonuna ait performans sınırları.	77
Şekil 5.4 : RSP1-J-R kolonuna ait performans sınırları.	78
Şekil 5.5 : RSP2 kolonuna ait performans sınırları.	79
Şekil 5.6 : RSP2-J kolonuna ait performans sınırları.	79
Şekil 5.7 : RSP2-J-R kolonuna ait performans sınırları.	80
Şekil A.1 : Grup 1 numunelerinin donatı ve boyut detayları (Birim cinsi mm'dir.).	86
Şekil A.2 : Grup 1 numunelerinin temel boyutları ve PVC detayları (Birim cinsi mm'dir.).	87
Şekil A.3 : Grup 1 kolon-temel donatı açılımları.	88
Şekil A.4 : Grup 2 numunelerinin donatı ve boyut detayları (Birim cinsi mm'dir.).	89
Şekil A.5 : Grup 2 numunelerinin temel boyutları ve PVC detayları (Birim cinsi mm'dir.).	90
Şekil A.6 : Grup 2 kolon-temel donatı açılımları.	91



YÜKSEK EKSENEL YÜK VE KESME ORANLARINA MARUZ STANDART ALTI KOLONLARIN HİBRİT İNCE MANTOLAMA YÖNTEMİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Türkiye başta olmak üzere, deprem kuşağı içerisinde yer alan bir çok ülkenin yapı stoğunda standart altı özelliklerle nitelenen binalar mevcuttur. Bu binalar en genel tanımıyla başarılı bir mühendislik hizmeti görmeden tasarlanıp imal edilmiş ve dolayısıyla inşa edildiği dönemin yönetmelik şartlarını sağlamayan yapıları temsil etmektedir. Olası bir depremde, standart altı bu yapılar mal ve can güvenliği açısından tehlike arz etmektedir. Ülkemizde ki bu standart altı yapılar incelendiğinde, düşük beton basınç dayanımı, enine donatı için adet, kanca boyu ve kanca açılarının yetersizliği, düz donatı kullanımı bu yapılarda gözlenen en temel kusurlardır. Standart altı bu binaların yapı stoğundaki hacmi göz önüne alındığında, mevcut tehlikeyi önleme adına, bu yapıların tamamen yıkılıp yeniden inşa edilmesinin hem zaman hem de maliyet açısından etkili bir çözüm olmadığı açıktır. Bu tür yetersiz yapıların veya yapı elemanlarının tamir edilmesi ve/veya güçlendirilmesi, uzun yıllardır yapı mühendisliği alanı içerisindeki yaygın mühendislik uygulamalardandır. Güçlendirme uygulamalarında tercih edilen geleneksel yöntemlerin başında ise betonarme mantolama ve çelik mantolama gelmektedir. Son yıllarda, farklı malzemelerle beraber, araştırmacılar tarafından yenilikçi güçlendirme yöntemleri geliştirilmekte ve ilgili yöntemlerin etkinliği incelenmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, geleneksel güçlendirme yöntemlerinin aksine, standart altı yapıların deprem performanslarının iyileştirilmesi adına, yeni bir ince hibrit mantolama yöntemi önerilmiştir. İnce hibrit mantolama yöntemi, çelik donatı, karbon lifli polimer kumaş (LP) ve yapısal tamir harcının bir arada kullanımını esas almaktadır. Önerilen yöntem, i) mevcut kabuk betonunun temizlenerek ilave boyuna donatıların ankrajı, ii) yapısal tamir harcı yardımıyla kabuk betonunun yeniden sıvanması, iii) elemanın CFRP kumaşla enine sargılanması aşamalarında oluşan üç temel uygulama safhasını içerisinde barındırmaktadır. Geleneksel betonarme mantolama ile kıyaslandığında, uygulama sürecinde herhangi bir kalıp gerektirmemesi ve korunan kesit boyutlarına bağlı olarak elemanın/yapının dinamik karakteristiğinde bir değişime sebebiyet vermemesi, ince hibrit mantolama yönteminin güçlü yanlarını oluşturmaktadır.

İlgili yöntemin etkinliğinin incelenmesi adına bahsedilen standart altı detaylara sahip 6 adet tam ölçekli konsol kolon numunesi üretilmiştir. Literatürde ki tam ölçekli kolon testleri incelendiğinde, yüksek eksenel yük oranı ve yüksek kesme oranının kolonların deprem performansı üzerindeki etkisinin yeterince incelenmediği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında eksenel yük ve kesme oranları sırasıyla %75 ve %80 olarak belirlenmiştir. Tüm numuneler sabit eksenel yük ve yer değiştirme kontrollü yatay çevrimsel yükleme altından test edilmiştir. İlgili numuneler, en-boy oranı dikkate alınarak iki gruba ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki grup için dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi açısından ayrı ayrı sunulmuştur. Bunun yanında, literatürde

ki mevcut malzeme modelleri dikkate alınarak deneysel davranışın elde edilmesi adına teorik bir çalışmada yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Elde edilen test sonuçları ışığında, en-boy oranı 1 olan (Grup 1) kolonları dikkate alındığında, önerilen hibrit mantolama yöntemiyle güçlendirilen numunelerde, referans numuneye kıyasla yatay yük taşıma kapasitesinde %66 artış ve yer değiştirme sünekliğinde ise yaklaşık %100 bir iyileşme gözlenmiştir.

Önerilen yöntem aynı uygulama adımları dikkate alınmasına rağmen, en-boy oranı 2 olan Grup 2 kolonları içerisinde yer alan güçlendirilmiş numunelerde, referans numuneye kıyasla ne yatay yük taşıma kapasitesi ne de yer değiştirme sünekliğinde herhangi bir iyileşme ortaya koymamıştır. Bu durum, Grup 2 içerisinde güçlendirilen kolonlarda farklı özellikte yapısal tamir harcı malzemesi kullanımına ve buna bağlı olarak ortaya çıkan uygulama aşamasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, uygulanacak yüzeyin kalınlığı dikkate alınarak uygun özellikte yapısal tamir harcı kullanıldığında, önerilen hibrit ince mantolama yönteminin yüksek eksenel yük oranı ve yüksek kesme oranına rağmen standart altı kolonların deprem performansları üzerinde etkin bir iyileşme ortaya koyduğu gözlenmiştir. İlgili yöntemin, nispeten daha düşük eksenel yük ve kesme oranlarında daha da etkili çalışacağı öngörülmektedir.

SEISMIC STRENGTHENING WITH NOVEL HYBRID THIN JACKETING METHODS OF SUB-STANDARD RC COLUMNS EXPOSED TO HIGH AXIAL LOAD AND SHEAR RATIOS

SUMMARY

There are buildings characterized with sub-standard features in the building stock of many countries, especially in Turkey, located in the earthquake zones. In the most general definition, these buildings represent structures that were designed and manufactured without a successful engineering service and therefore did not meet the regulations and/or seismic codes of the period in which they were built. In a possible earthquake, such substandard structures pose a danger in terms of property and life safety. The most basic defects observed in these structures are low concrete compressive strength, large stirrup spacing, insufficient hook length and hook angles for transverse reinforcement, and use of smooth reinforcement. Considering the number of these sub-standard buildings in the building stock, it is clear that completely demolishing and rebuilding process these structures in order to prevent the existing risk is not an effective solution in terms of both time and cost parameters. Repairing and/or strengthening such insufficient buildings or elements has been common structural engineering activities for many years. Reinforced concrete (RC) jacketing and steel jacketing are the most common conventional jacketing methods preferred from strengthening applications. In recent years, together with different materials, researchers have developed innovative strengthening material or methods and the effectiveness of them are examined.

In this study, as an alternative to conventional RC jacketing method, a novel hybrid thin jacketing method has been proposed in order to improve the seismic performance of sub-standard building. The proposed jacketing method is based on the combined use of steel reinforcement, carbon fiber polymer fabric (CFRP) and structural repair mortar. Besides, the method includes main four basic application phases: i) removal of the cover concrete, ii) anchorage of the additional longitudinal reinforcements, iii) re-plastering the cover concrete with the structural repair mortar, iv) transverse wrapping with CFRP fabrics. The strengths of the proposed jacketing method are that it does not require any formwork during the application process and does not cause a change in the dynamic characteristics of the element or structure depending on the preserved cross-section dimensions, compared to the conventional RC jacketing.

In order to examine the effectiveness of the specified method, six full-scale cantilever column specimens with sub-standard details were fabricated. In each group, one column was kept as a reference whereas the others were strengthened. Considering the full-scale column tests carried out under the cyclic loading in the literature, it is seen that the effect of high axial load ratio and high shear rate on earthquake performance of columns has not been adequately studied.

Within the scope of this study, axial load and shear rates were determined as 75% and 80%, respectively. All samples were tested under constant axial load and displacement controlled horizontal cyclic loading. All samples were divided into two groups considering the aspect ratio and the results obtained were presented separately in terms of strength, ductility, energy dissipation capacity and residual displacement for both groups. In addition, a theoretical study was carried out in order to obtain experimental behavior by considering the existing material models in the literature and the results were presented comparatively.

In the light of the test results obtained, considering the Group 1 columns with one aspect ratio, the specimens strengthened with the proposed hybrid thin jacketing method showed a 66% increase in the lateral load carrying capacity and a 100% improvement in the displacement ductility compared to the reference specimen.

Although the proposed method were applied with the same implementation steps, it did not show any improvement in the lateral load carrying capacity and displacement ductility, compared to the reference specimen, on the strengthened specimens which is in the Group 2 columns with two aspect ratio. This is due to the use of different structural repair mortar material in the strengthened columns within the Group 2 and the resulting difference in the application phase.

Therefore, taking into account the thickness of the surface to be applied, when appropriate structural repair mortar is used, it has been observed that the proposed hybrid thin jacketing method provides an effective improvement on the seismic performances of sub-standard RC columns despite the high axial load and high shear ratios. It is predicted that the specified method may work even more effectively at relatively low axial load and shear ratios.

1. GİRİŞ

Türkiye ve sismik riskin yüksek olduğu bir çok ülkede, çok sayıda standart altı betonarme yapılar bulunmaktadır. Genel itibariyle bu yapılar herhangi bir mühendislik hizmeti almadan inşa edilmişlerdir. Standart altı bu yapılar incelendiğinde inşa edildikleri dönemde düz (nervüzsüz) donatının kullanılmasının yasaklanmayışı dolayısıyla, düz donatı, düşük beton basınç dayanımı, sünek olmayan donatı detaylandırması, gözlenen temel kusurlardır. Belirtilen zayıflıklarla inşa edilmiş bu yapıların kolonları, olası bir depremde oluşan sismik kuvvetleri etkili bir şekilde dağıtamadığı için gevrek göçme mekanizması oluşumunu tetikleyerek, çok sayıda can ve mal kaybını beraberinde getirmiştir (Tapan ve diğ., 2013). Bahsedilen ülkelerde yapı stoğunun çoğunluğunu oluşturan bu standart altı yapıların barındırdığı potansiyel tehlikeye rağmen, tamamen yıkılıp yeniden inşa edilmesi hem zaman hem de maliyet açısından etkili bir çözüm olarak görülmemektedir. Yapı mühendisleri tarafından, kolonların geleneksel veya yenilikçi yöntemlerde güçlendirilerek deprem performanslarının iyileştirilmesi daha etkili ve tutarlı bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel güçlendirme yöntemleri arasında, betonarme mantolama yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. İlgili yöntem zayıf elemanların rijitliğini, yanal ve aksel yük taşıma kapasitelerini arttırsada, kesitteki büyümeden kaynaklanan kütle ve rijitlik değişimi, yapının daha yüksek sismik taleplere maruz kalmasına sebebiyet verebilmektedir. Bunun yanı sıra, hem ilgili güçlendirme yönteminin gerektirdiği yoğun ve uzun uygulama süreci, hem de yapı sakinleri için oluşturduğu rahatsızlık, betonarme mantolama için göze çapran dezavantajlardır. Karbon, basalt, cam vb. malzemelerin liflerinin, epoksi yapıştırıcılar ile doyurulması ile oluşan lif takviyeli polimerler (FRP) ise son 20 yılda araştırmacılar tarafından dikkatle incelenmekte ve güçlendirme uygulamalarında geleneksel yöntemlere karşı umut vaat edilen bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Korozyon vb. gibi çevresel etkilere karşı direnç, kolay ve hızlı uygulanabilirlik, yüksek dayanım/ağırlık oranı FRP malzemenin temel avantajları arasından yer almaktadır. Literatürde, araştırmacılar tarafından kolon ve kiriş gibi temel yapı elemanlarının FRP sargılama

yöntemiyle ile süneklilik ve deformasyon kapasitelerinin arttırılabileceği birçok deneysel ve teorik çalışmayla ispatlanmıştır ((Farrokh Ghatte ve diğ., 2019; Ilki ve diğ., 2009; Seible ve diğ., 1997; Ye ve diğ., 2003). Bunun yanında, FRP sargılamanın elemanların yatay yük veyahut moment taşıma kapasitesinde ciddi ölçüde bir katkı ortaya koymadığı da bilinmektedir. Son yıllarda, farklı güçlendirme yöntemlerinin veyahut malzemelerin bir arada kullanılmasını esas alan, hibrit mantolama yöntemleri üzerinde çeşitli araştırmalar yürütülmüş olup, bu tip hibrit güçlendirmelerin etkili sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir (Fakharifar ve diğ., 2015; Li ve diğ., 2009; Raza ve diğ., 2019; Zeng ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, yapısal tamir harcı, çelik donatı ve karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kumaşların bir arada kullanılmasını esas alan, yeni bir hibrit mantolama yöntemi önerilmiştir. Hibrit ince mantolama yönteminin uygulama aşamasında herhangi bir kalıp kullanımı, enine ve boyuna demirlerden oluşan yoğun bir donatı ilavesi gerektirmeyişi, buna bağlı olarak geleneksel betonarme mantolama karşı daha az zaman isteyen pratik uygulanışı, ilgili yöntemin güçlü yanlarını oluşturmaktadır. Öte yandan, elemanın kesitinde herhangi bir değişimin oluşmaması, tasarım aşamasında dikkate alınan deprem talebine bağlı olarak ilgili elemanın öngörülen dinamik karakteristiğinde de bir değişime sebebiyet vermemektedir.

Çalışma kapsamında, hem bahsedilen standart altı yapıların eksikliklerini barındıran hem de ilave olarak yüksek eksenel yük ve kesme oranlarına maruz kolonların deprem performansını, tam ölçekli numuneler üzerinde inceleyen deneysel çalışmaların yetersiz oluşu göz önüne alınarak; tam ölçekli 6 adet standart altı kolon numunesi üretilmiştir. İlgili numuneler en-boy oranları dikkate alınarak iki gruba ayrılmıştır. Her grupta, bir adet kolon numunesi referans olarak ayrılmış, geri kalan numuneler ise önerilen hibrit mantolama yöntemi ile güçlendirilmiştir. Tüm numuneler eşzamanlı olarak hem sabit eksenel yük hem de deprem davranışını temsil eden yatay çevrimsel yüke maruz bırakılarak test edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarının ışığında, numunelerin, dayanım, süneklik, enerji dağılımı, moment-eğrilik değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, güçlendirilen numunelerin genel davranışını tahmin etmek adına, teorik bir çalışmada sunulmuştur.

1.1 Literatür Araştırması

Araştırmacılar tarafından betonarme kolonların deprem performansı birçok çalışmada hem deneysel hem teorik olarak incelenmiştir. Bu kolonlar içerisinde düşük beton basınç dayanımı vb. standart altı niteliklere sahip kolonlar yer alsada düşük beton basınç dayanımının bir sonucu olarak, tasarım da öngörülenden daha yüksek eksenel yük oranlarının ilgili kolonlar üzerine etkisini inceleyen tam ölçekli kolon çalışmaları oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalara ait birkaç örnek aşağıda sunulmuştur.

Lam ve diğ., (2003) tarafından yapılan çalışmada 1:3 ölçeğinde imal edilen 9 adet betonarme kare kolonlar sabit eksenel yük ve yatay çevrimsel yükleme altında test edilmiştir. İlgili çalışmada yüksek eksenel yük oranına (%40-60) maruz kolonlar düşük ve orta seviye kesme açıklığına bağlı olarak gruplandırılmıştır. Çalışmada dikkate alınan bir diğer parametre ise etriye kanca açısıdır (90° ve 135°). Çalışma sonucunda düşük seviye kesme açıklığına sahip numuneler gevrek davranış sergileyerek göçerken, kesme açıklığı orta seviyede olan ve sargılama oranı daha yüksek olan numunelerde eğilme kritik davranış gözlenerek ilgili numunelerin daha ileri öteleme oranlarına gittiği gözlemlenmiştir.

Zhang ve diğ., (2009) tarafından yapılan çalışmada yüksek dayanımlı beton kullanılarak farklı enine donatı oranlarına sahip 3 adet kısa kolon üretilerek, eksenel basınç testine maruz bırakılmıştır. İlgili çalışmada eksenel yük oranı %80 olarak seçilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, yüksek eksenel yük oranına rağmen, etriyenin oranı arttıkça numunelerin süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde artış gözlemlenmiştir.

Geleneksel malzemeler/yöntemlerle, yenilikçi malzeme veya yöntemlerin bir arada kullanımını temel alan hibrit güçlendirme uygulamaları son yıllarda araştırmacılar tarafından titizlikle incelenmektedir. Literatürde ki mevcut çalışmalara bakıldığında bahsedilen hibrit uygulamaların etkinliğini inceleyen örnek deneysel çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Wu ve diğ., (2008) tarafından yapılan çalışmada, yüzeye yakın gömülü cam lifli polimer (GFRP) donatıların CFRP kumaşlarla bir arada kullanımını esas alan hibrit güçlendirme metodu numunelerin plastik mafsallık bölgesine uygulanmıştır. İlgili çalışmanın çıktılarında, uygulanan güçlendirme yönteminin göçme mekanizmasını

geciktirdiği ve buna bağlı olarak boyuna donatılarda burkulmayı önlediği bildirilmiştir. Aynı zamanda güçlendirilen numunelerin enerji yutma ve süneklik kapasitelerinde artış gözlenmiştir.

Seyhan ve diğ., (2015) tarafından yapılan çalışmada, zayıf betonarme kolonlar aramit lifli polimer (AFRP) donatılar ve CFRP kumaşlar yardımıyla güçlendirilmiştir. Sabit eksenel yük ve yatay yer değiştirme çevrimleri altında test edilen numunelerin eğilme kapasitesinde ve sünekliliğinde artış gözlendiği bildirilmiştir.

Seifi ve diğ., (2018) tarafından önerilen hibrit güçlendirme methodu ise yüzeye yakın gömülü GFRP ve geleneksel çelik donatıların CFRP kumaşlar yardımıyla sargılanmasını esas almaktadır. Her iki şekilde de, güçlendirilen betonarme kolonların eğilme dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve histeratik sönüm oranlarında iyileşme olduğu belirtilmişse de belirtilen artışların yüzeye gömülü geleneksel çelik donatının kullanıldığı numunelerde daha belirgin olduğu bildirilmiştir.

Lu ve diğ., (2019) tarafından gerçekteştirilen çalışmada ise korozyon hasarına maruz betonarme kolonların deprem performanslarının iyileştirilmesi amasıyla kendinden yerleşen beton (SCC), çelik tüp ve CFRP kumaşların bir arada kullanımını esas alan bir hibrit yöntem kullanılmıştır. Test sonuçları ışığında güçlendirilen numunelerin nihai yük taşıma kapasitesinde 7~9 kat arası artış gözlenirken, süneklik kapasiteleri referans numuneye kıyasla %40~120 oranında artmıştır.

Cho ve diğ., (2018) tarafından uygulanan hibrit güçlendirme yönteminde yüksek performanslı elyaf takviyeli çimento esaslı kompozitler (UHPFRC) ve geleneksel çelik donatılar bir arada kullanılmıştır. Yöntem kapsamında numune etrafında açılan deliklere boyuna ve enine donatılar yerleştirilmiş, sonrasında ise UHPFRCC malzeme yüzeye püskürtölerek sıkılmıştır. Sabit eksenel yük ve çevrimsel yatay yük altında test edilen güçlendirilmiş numunelerin hem yük taşıma hem de deformasyon kapasiteleri arttırılmıştır.

Li ve diğ., (2009) tarafından CFRP sargılama ve çelik mantonun kombinasyonundan oluşan bir hibrit mantolama yönteminin denenmiştir. İlgili yöntemin etkinliği, korozyon hasarına maruz bırakılan betonarme kolonların üzerinde incelenmiştir. Belirtilen güçlendirme yönteminin, nispeten düşük eksenel yük oranına maruz kolonlar üzerinde süneklilikte gözle görölür bir artış ortaya koyduğu bildirilmiş. Aynı

zamanda korozyona dayalı hasarın seviyesinde artışa paralel olarak yöntemin ortaya performans iyileşmesinin daha belirgin olduğu belirtilmiştir.

Realfonzo ve Napoli, (2009) çelik korniyer ve CFRP şeritlerin bir arada kullanımıyla güçlendirilen kolonlar üzerinden testler gerçekleştirmiştir. Sadece CFRP kumaşlar yardımıyla sargılanarak gerçekleştirilen güçlendirmeye kıyasla, ilgili numunenin köşeleri üzerinden temele yerleştirilen çelik korniyerlerin numunenin eğilme kapasitesini arttırdığı bildirilmiştir.

Belirtilen çalışmalar dikkate alındığında hibrit mantolama yöntemlerinin kolonların deprem performanslarının iyileştirilmesi üzerinde etkili çözümlerden biri olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da yenilikçi bir hibrit ince mantolama yöntemi önerilmiştir. İlgili yöntem standart altı özelliklerle imal edilmiş betonarme kolonlar üzerinde denenmiş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır.



2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Numunelerin Tasarımı

Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki standart altı yapı stoğunun eksikliklerini yansıtacak 6 adet numune tasarlanmıştır. Tasarlanan numuneler en-boy oranlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Standart altı yapılarda gözlenen en temel kusurlardan birinin, imalat kalitesindeki yetersizliğe bağlı olarak ortaya çıkan düşük beton basınç dayanımı olmasına bağlı olarak, numunelerde beton basınç dayanımı 10 MPa olarak hedeflenmiştir. Dikkate alınan diğer yetersizlik ise düz donatı kullanımı ve enine donatılar arasındaki mesafenin genişliğidir. Bu kapsamda kolon numunelerinde boyuna ve enine donatılar için sırasıyla 16 mm ve 10 mm çapında düz donatılar kullanılmıştır. Etriye aralığı 250 mm olarak belirlenmiştir. Numunelerin paspayı, etriye kolunun merkezinden, beton kesitin en dıştaki mesafesi dikkate alınarak, Grup 1 ve 2 kolonları için sırasıyla 25 ve 45 mm olarak belirlenmiştir.

Tasarım aşamasında, mevcut standart altı yapıların yüksek eksenel yük ve kesme oranları altındaki performansının incelenmesi adına özel bir tasarım felsefesi uygulanmıştır. Bu tasarım kapsamında kesitin tasarım kesme kapasitesinin (V_d), ilgili kesitin kesme kapasitesinin (V_r) üzerinde olması hedeflenmiştir. Her iki grup için kesitlerin kesme kapasitesi (V_r), TS 500'de belirtildiği gibi Denklem 2.1 yardımıyla hesaplanmıştır. İlgili hesapta betondan (V_c) ve etriyeden (V_w) gelen katkı ayrı ayrı dikkate alınıp toplanmıştır.

$$V_r = V_c + V_w \quad 2.1$$

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_wd \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) \quad 2.2$$

$$V_c = 0.8V_{cr} \quad 2.3$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad 2.4$$

Denklem 2.2’de kullanılan f_{ctd} , b_w , d , N_d ve A_c ifadeleri sırasıyla beton eksenel çekme dayanımı, kesit genişliği, faydalı yüksekliği, eksenel yük ve gövde kesiti beton alanını simgelemektedir. TS 500 tarafından önerildiği gibi, ilgili hesapta eksenel basınç durumu için γ değeri 0.07 olarak alınmıştır.

Denklem 2.4’de kullanılan A_{sw} , s , f_{ywd} ifadeleri sırasıyla kesme donatısı toplam kesit alanı, etriye aralığı ve enine donatı akma dayanımını simgelenmektedir.

Tasarım kesme kuvvetinin, kesitin kesme kapasitenin ötesine geçmesini sağlamak adına kesit içerisine 10 adet 16 boyuna donatı yerleştirilerek ilgili kesitin moment kapasitesi arttırılmıştır. Boyuna donatı oranları TS 500’de önerildiği gibi, Denklem 2.5 yardımıyla Grup 1 ve Grup 2 kolonları için sırasıyla 0.022 ve 0.011 olarak belirlenmiştir. İlgili denklemde A_{st} , kolon boyuna donatısı toplam kesit alanını ifade etmektedir. Bu oranlar mevcut standart altı yapıların kolonlarında gözlenmesede, kesitin tasarım kesme kuvvetinin arttırılması ve buna bağlı olarak yüksek kesme oranlarının (V_d/V_r) elde edilebilmesi adına tercih edilmiştir.

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad 2.5$$

Aynı zamanda, numunelerin enine donatı oranları Denklem 2.6 yardımıyla TBDY (2018) için %0.2 olarak hesaplanmıştır. İlgili denklemde yer alan A_{sh} dikkate alınan doğrultuda toplam enine donatı alanını, b_k ise etriye kolonun merkezleri arasındaki dikey mesafeyi ifade etmektedir. İlgili numunelerin yüksek kesme oranının yanında yüksek eksenel yük oranına da maruz kalması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda eksenel yük oranı, donatıların katkısı ihmal edilerek %75 olarak belirlenmiştir. Uygulanacak eksenel yük, Denklem 2.7’de belirtilen formül yardımıyla 708.8 kN ve 1417.5 kN olarak hesaplanmıştır.

$$\rho_{st} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad 2.6$$

$$v = \frac{N_d}{f_{ctk} A_c} \quad 2.7$$

Çizelge 2.1 : TBDY (2018)’e göre numunelerin kesme oranları.

TBDY-2018					
Numune adı	A_{sh} (mm ²)	$A_{sh,min}$ (mm ²)	$\frac{A_{sh}}{A_{sh,min}}$	$\frac{V_e}{V_r}$	$\frac{V_e}{bdf_{ctm}}$
RSP1	157	203	0.77	0.80	1.12
RSP1-J-R	157	203	0.77	0.72	1.67
RSP1-J	157	203	0.77	0.57	0.86
RSP2	236	130	1.81	0.89	1.23
RSP2-J-R	236	130	1.81	0.69	1.28
RSP2-J	236	130	1.81	0.69	1.25

2.2 Numunelerin Özellikleri

Mevcut çalışmada, toplam 6 adet tam ölçekli konsol kolon numunesi hazırlanmış ve test edilmiştir. Mevcut yapı stoğunun belirtilen eksiklikleri dikkate alınarak tasarlanan numuneler en-boy oranlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Grup 1 numuneleri, 300×300 mm en kesit ölçüsü ve 1000 mm yüksekliğe sahipken; Grup 2 numuneleri, 300×600 mm en kesit ölçüsü ve 1200 mm yüksekliğe sahip olarak üretilmiştir. Belirtilen yükseklik ifadesi kolon-temel birleşiminden, yatay yükün uygulandığı noktaya olan mesafe dikkate alınarak bildirilmiştir. İlgili numunelerin temelleri, test esnasında herhangi bir hasar oluşumunu engellemek adına nispeten büyük tasarlanmıştır. Beton dökümü temel ve kolon için olmak üzere iki aşamada gerçekleşmiştir. Numunelerin kesme ve enine donatı oranları Çizelge 2.1’de özetlenmiştir. İlgili çizelge içerisindeki notasyona göre, ilk ifade içerisinde belirtilen sayı numunenin en-boy oranını simgelerken; ikinci indis (J-R yada J) önerilen hibrit ince mantolama yöntemi ve ilgili yöntemin ilave donatı kullanılmadan güçlendirilmiş halini nitelemektedir. Numunelerin kolon-temel boyut ölçüleri, donatı detaylandırması ve açılımları EK A’da paylaşılmıştır. Numunelere ait özellikler Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 : Numunelerin karakteristik özellikleri.

Numune adı	En kesit boyutları (mm ²)	Pas payı (mm)	f_c (MPa)	s (mm)	v	Açıklama
RSP1	300 x 300	20	10.5	250	0.75	Standart altı referans
RSP2	300 x 600	40	10.5	250	0.75	Standart altı referans
RSP1-J	300 x 300	20	10.5	250	0.75	Tamir harcı-CFRP
RSP2-J	300 x 600	40	10.5	250	0.75	Tamir harcı-CFRP
RSP1-J-R	300 x 300	20	10.5	250	0.75	Donatı-Tamir harcı-CFRP
RSP2-J-R	300 x 600	40	10.5	250	0.75	Donatı-Tamir harcı-CFRP

2.3 Malzeme Özellikleri ve Uygulama Adımları

2.3.1 Beton

Bu çalışma kapsamında, 1970’li yıllarda inşa edilmiş standart altı binaların genel karakterlerini yansıtmaya adına seçilen ilk temel zayıflık, düşük beton basınç dayanımıdır. Belirtilen amaç doğrultusunda kolonlarda kullanılmak için hedef basınç dayanımı 10 MPa olan özel bir beton karışımı hazırlanmıştır. İlgili karışımın listesi Çizelge 2.3’de sunulmuştur. Numunelerin beton dökümü, temel ve kolon kısımları ayrı ayrı olmak üzere dikey doğrultuda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Döküm sırasında vibratör kullanımıyla, betonun kalıp içine sağlıklı bir şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Eksenel yükleme düzeniğinin yerleştirileceği üst yüzeyi perdahlanmıştır (Şekil 2.2). Numunelerin ortalama beton basınç dayanımları, üç adet standart silindir numune örneği (150×300 mm) üzerinde gerçekleştirilen basınç testi sonuçları dikkate alınarak elde edilmiştir (Şekil 2.3). Belirtilen basınç testleri için, 2500 kN yükleme kapasitesine sahip UTEST markalı, yük kontrol tabanlı test sistemi kullanılmıştır. (Şekil 2.4).

Çizelge 2.3 : Beton karışımının malzeme özellikleri.

Malzeme	Birim Hacim Ağırlık (kg/m³)
1 No’lu Agrega	769
Kum	1153
Çimento	180
Su	198



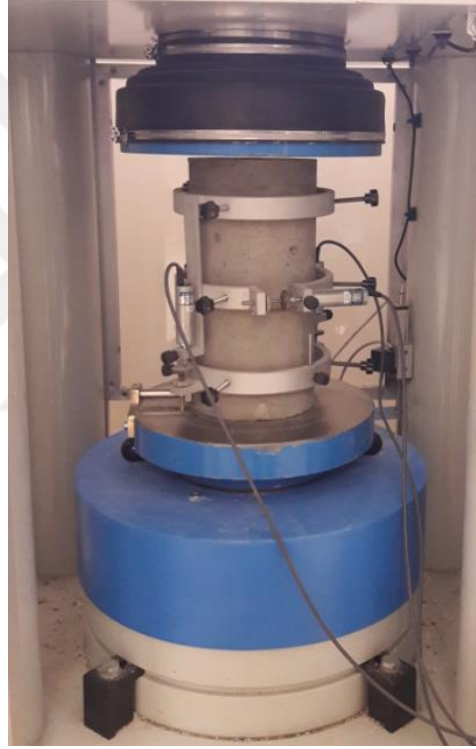
Şekil 2.1 : Beton dökümü ve dikey kalıplama.



Şekil 2.2 : Numune üst yüzeyinin perdahlanması.



Şekil 2.3 : Silindir numunelerin dökümü.

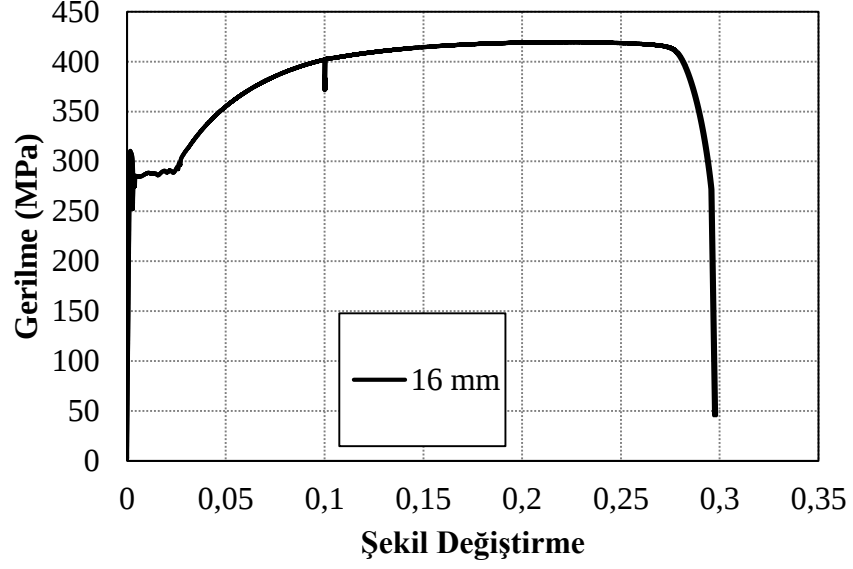


Şekil 2.4 : Numunelerin basınç testi.

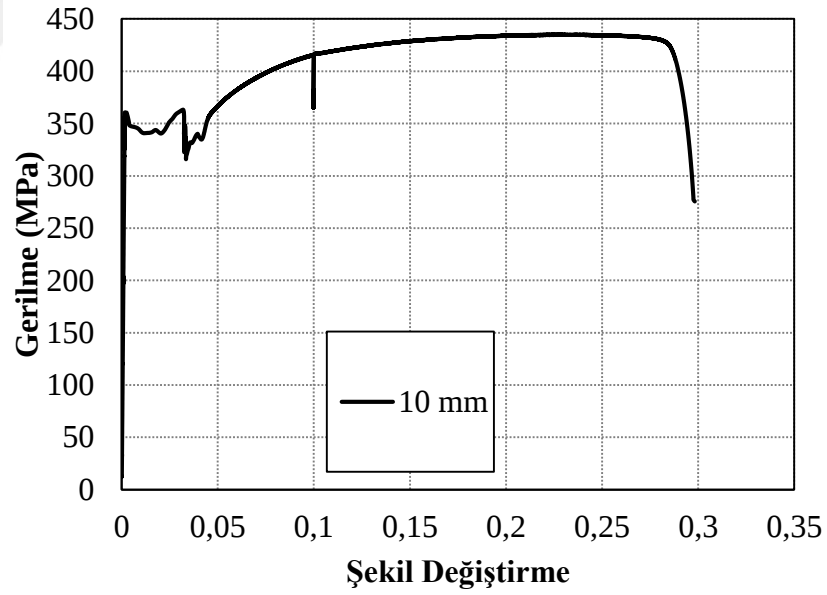
2.3.2 Çelik donatı

Standart altı yapı stoğunun eksikliklerini yansıtmaya adına seçilen ikinci zayıflık ise numunelerin düz donatı kullanarak imal edilmiş olmasıdır. Boyuna donatı olarak, ortalama akma dayanımı (f_y) ve çekme dayanımı (f_t) sırasıyla 284 MPa ve 420 MPa olan, 16 mm çapında düz donatı kullanılmıştır. İlgili donatılara ait çekme testinden elde edilen gerilme ve şekildeğiştirme diyagramları sırasıyla Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’de sunulmuştur. Enine donatı için 10 mm çapında, f_y ve f_t değerleri sırasıyla 350 MPa ve

433 MPa olan, düz donatılar kullanılmıştır. Numunelerde ki enine ve boyuna donatı detaylandırmasına ait imalat aşamasından fotoğraflar Şekil 2.7’de sunulmuştur.



Şekil 2.5 : Boyuna donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 2.6 : Enine donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 2.7 : Kolon-temel donatı detaylandırması.

2.4 Güçlendirme Aşamaları

Bu çalışma kapsamın önerilen hibrit mantolama yöntemi temel olarak CFRP ve ilave çelik donatının yapısal tamir harcı ile beraber kullanılmasını esas almaktadır.

Yöntemin uygulama aşamasına ait dört temel adım sırasıyla şöyledir:

1. Kabuk betonunun alınması
2. İlave boyuna çelik donatının ankrajı
3. Yapısal tamir harcı yardımıyla kabul betonunun yenilenmesi
4. Elemanın CFRP kumaşlar yardımıyla sargılanması

Uygulama adımları içerisinde 1,2 ve 3 numaralı adımlar, ilgili numunenin test edileceği günden 15 gün önce (beton dökümünden yaklaşık olarak 45 gün sonra) uygulanmıştır. Tamir harcının priz alması için iki gün beklenilmesinin ardından CFRP kumaşlarla ilgili numuneler sargılanmıştır. Uygulama detaylarına gelindiğinde, öncelikle elemanın kabul betonu tüm yükseklik boyunca delici matkap yardımıyla, çekirdek betonunda bir hasar oluşmaması adına dikkatli bir şekilde temizlenmiştir (Şekil 2.8a ve Şekil 2.8b). Sonrasında numunenin köşe noktaları dikkate alınarak, temel üzerinde dört adet 300 mm derinliğinde düşey doğrultuda delikler açılmıştır.

Açılan boşluklar vakumlu hava kompresörü yardımıyla temizlenmiş ve ardından 10 mm çapında ilave çelik donatılar ilgili deliklere, çift bileşenli epoksi kimyasal ankrajlar yardımıyla ekilmiştir (Şekil 2.8c). Kullanılan donatının akma dayanımı(f_y) ve çekme dayanımı(f_t) sırasıyla 420 MPa ve 520 MPa olarak ölçülmüştür. Yöntem kapsamındaki ilave boyuna donatının performans üzerindeki etkinliğinin incelenmesi adına RSP1-J ve RSP2-J kolonlarında önerilen yöntem ilave boyuna donatı kullanılmaksızın uygulanmıştır. Ankraj işleminin ardından, en-boy oranı 1 olan kolon numunelerinin (Grup 1) kabuk beton kesiti BASF markalı MasterEmaco S488 isimli çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve fiber takviyeli, tiksotropik yapısal tamir harcı yardımıyla sıvanıp yenilenirken, en-boy oranı 2 olan kolon numunelerinin (Grup 2) harç malzemesi olarak Sika- MonoTop®- 620 kullanılmıştır (Şekil 2.8d). Güçlendirme adımlarını her iki grup içinde aynı adımları içermesi dolayısıyla, ilgili fotoğrafların tek bir grup için sunulmasının yeterli olduğu düşünülmüştür. İlgili harçların üretici tarafından verilen mekanik özellikleri Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5’te sunulmuştur.

Çizelge 2.4 : Grup 1 numunelerinde kullanılan tamir harcının mekanik özellikleri.

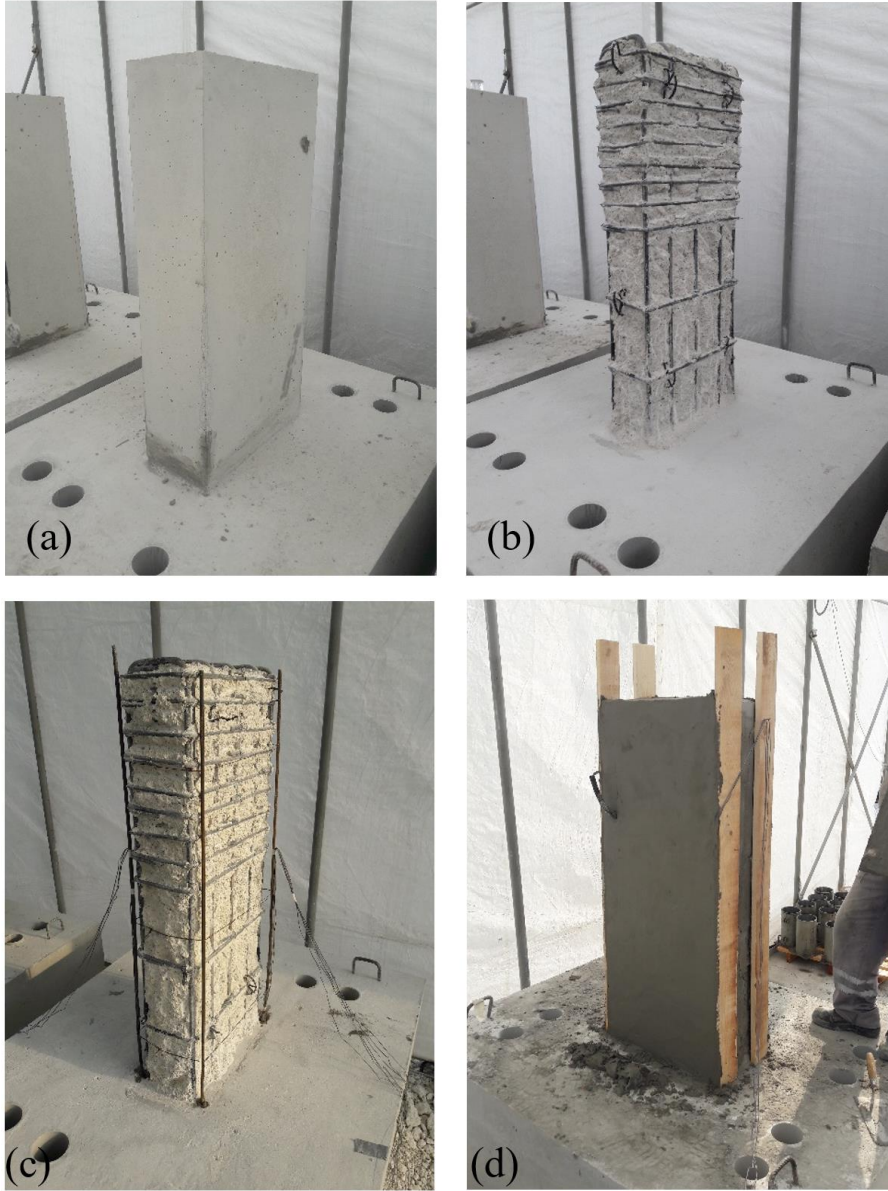
Teknik parametreler	Değerler
Basınç dayanımı (MPa)	> 25 (1 day) > 50 (7 days) > 70 (28 days)
Eğilme dayanımı (MPa)	> 2 (28 days)
Elastisite modülü (MPa)	> 20000
Uygulama kalınlığı (mm)	Min. 10 Max. 50

Çizelge 2.5 : Grup 2 numunelerinde kullanılan tamir harcının mekanik özellikleri.

Teknik parametreler	Değerler
Basınç dayanımı (MPa)	> 25-50 (28 days)
Eğilme dayanımı (MPa)	≥ 5-10 (28 days)
Yapışma dayanımı (MPa)	> 1.5 (28 days)
Uygulama kalınlığı (mm)*	Min. 1.5 Max. 5

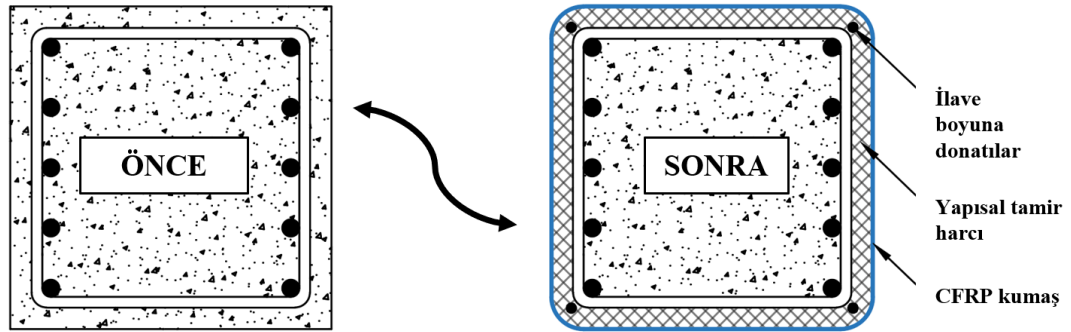
* Daha kalın uygulamalar katlar halinde yapılmalıdır.

Son olarak, CFRP kumaşlarla sargılama aşamasından hemen önce ilgili numunelerin köşeleri, oluşabilecek gerilme yığılmasını önlemek adına 30 mm yarıçapında yuvarlatılmıştır. Sonrasında numune tüm yükseklik boyunca, tek kat CFRP kumaş malzeme ile enine doğrultuda sargılanmıştır (Şekil 2.8e). Sargılama aşamasında enine doğrultuda 200 mm bindirme uygulanmıştır. Çift bileşenli epoksi reçine ve karışım içerisindeki yaklaşık 1g/mL yoğunluğa sahip olan sertleştirici (CarbonBond) malzemeden oluşan kompozit matrisin kuruması adına, testen önce dört gün beklenilmiştir. Fiber yoğunluğu 300 g/m² olan CFRP kumaşların, üretici tarafından sunulan teknik özellikleri Çizelge 2.6’te sunulmuştur. Güçlendirme sonrasında kesitte meydana gelen değişim Şekil 2.9’de resmedilmiştir.





Şekil 2.8 : Methodun uygulanma adımları, a) güçlendirme öncesi, b) paspayının temizlenmesi, c) ilave boyuna donatıların ankrajı, d) tamir harcı uygulanması, e) CFRP sargılama.



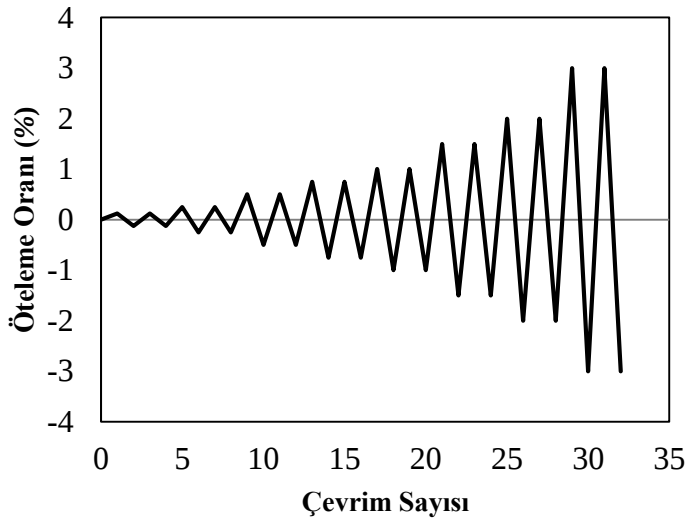
Şekil 2.9 : Güçlendirme uygulaması sonrasındaki en kesit değişimi.

Çizelge 2.6 : CFRP kumaşın mekanik özellikleri.

Teknik parametreler	Değerler
Elastisite modülü (MPa)	240000
Maksimum uzama (%)	1.8
Karateristik çekme dayanımı (MPa)	4200
Birim ağırlık (kg/m ³)	1.82
Kumaş kalınlığı (mm)	0.166

2.5 Test Sistemi, Ölçüm Aletleri ve Yükleme Protokolü

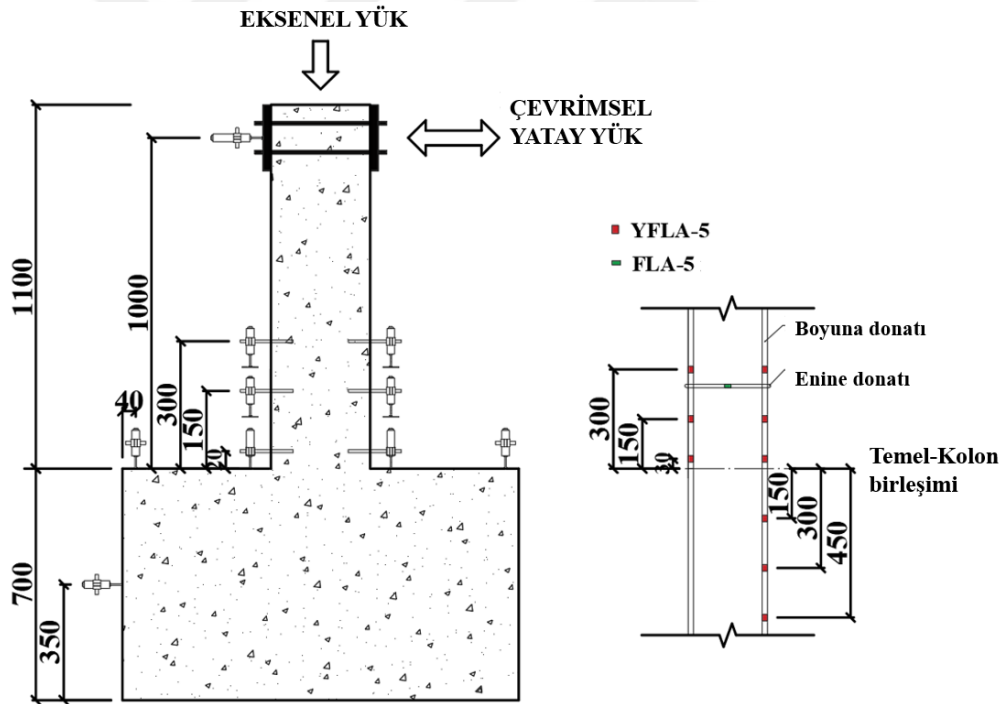
Deneyssel çalışma kapsamında, numuneler eş zamanlı olarak sabit eksenel yük ve deprem etkisini simule eden yatay yük tekrarları altında, yarı statik şekilde test edilmiştir. Numunenin üst yüzeyi ile dört adet çelik çubuk yardımıyla zemine sabitlenmiş bulunan yükleme kirişinin arasına yerleştirilen 2200 kN kapasiteye sahip hidrolik kriko vasıtasıyla eksenel yük uygulanmıştır. Eksenel yük, hedeflenen yükün $\pm 5\%$ 'i civarında, sabit tutulmaya çalışılmış ve bu amaç doğrultusunda 2000 kN kapasiteye sahip yük hücresi yardımıyla test boyunca eksenel yük değerleri izlenmiştir. Yatay yükü uygulayabilmek için ± 250 kN yük, ± 300 mm hareket kapasitesine sahip bilgisayar kontrollü hidrolik aktüatör kullanılmıştır. Yatay yer değiştirme çevrimleri, ilgili numunelerin ± 0.00125 , ± 0.0025 , ± 0.005 , ± 0.0075 , ± 0.01 , ± 0.02 , ± 0.03 öteleme oranlarına karşılık gelen deplasmanlar hedef alınarak uygulanmıştır. Belirtilen öteleme oranları, yatay öteleme miktarının temel üstü ile yatay yükün uygulandığı nokta arasındaki kalan yüksekliğin birbirine bölümünü temsil etmektedir. Her bir çevrim için tüm hedef yer değiştirmeler, ACI 374.2R-13' de önerildiği gibi iki tekrar ile uygulanmıştır. Yükleme protokolü Şekil 2.10'da tarif edilmiştir.



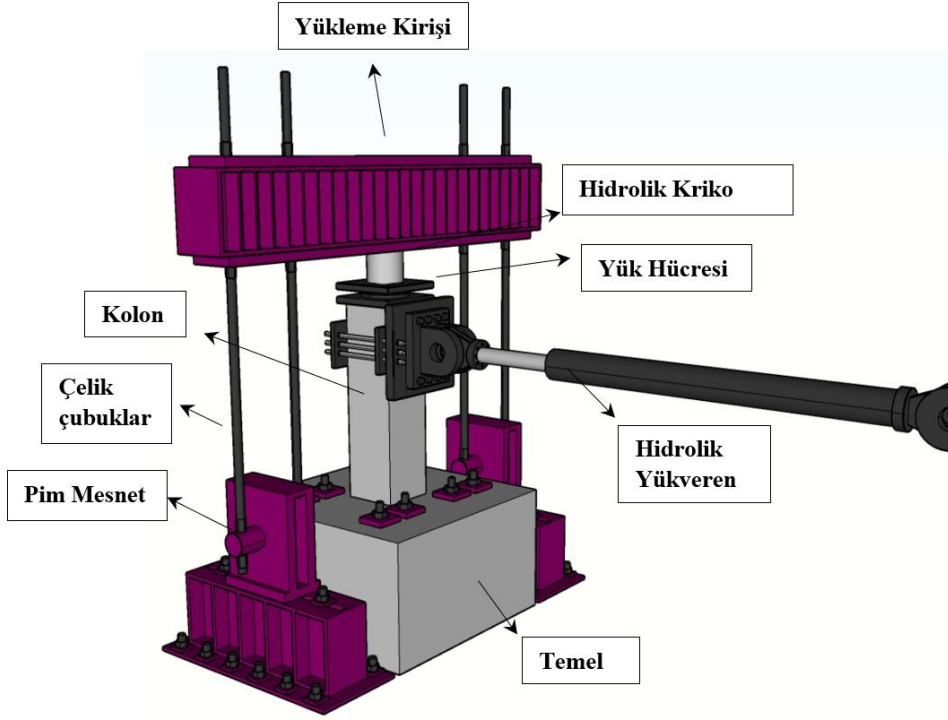
Şekil 2.10 : Yükleme protokolü.

Test esnasında , numunelerin tepkileri gerinim ölçerler ve potansiyometreler (POT) yardımıyla dikkatli bir şekilde izlendi. Dönme ve eğriliklerin hesaplanması amacıyla 50 mm hareket kapasitesine sahip 6 adet POT, numunenin yükleme doğrultusundaki her iki yüzüne 3'er adet olmak koşuluyla, ekilen demir çubuklar yardımıyla sabitlendi.

Temel için ölçülen dönme ve öteleme değerlerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında, hem tepe yer hem de düzlem dışı yer değiştirmeleri ölçmek amacıyla ilgili bölgelere de POT'lar yerleştirildi. Tüm POT'lar toplam hareket kabiliyetinin yarısı dikkate alınarak (25mm) ayarlanmıştır. Boyuna ve enine donatıların üzerlerinde birçok farklı noktada, oluşacak gerinimleri elde etmek amacıyla gerinim ölçerler yapıştırılmıştır. Boyuna donatılar için TML markalı YFLA-5 isimli gerinim ölçerler kullanılırken, enine donatılar için belirtilen markanın FLA-5 isimli gerinim ölçerlerinden yararlanılmıştır. Testler, her bir numune için göçme noktasına ulaşılmaya kadar devam ettirilmiştir. (eksenel ya da düşey yük taşıma kapasitelerinde %25 kayıp gözlemlendiği nokta). Ölçüm aletleri yardımıyla gerçekleşen tüm okumalar, 40 kanallı veri toplayıcı yardımıyla dijital olarak kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve ölçüm sistemin numune üzerindeki şematik gösterimi Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de sırasıyla sunulmuştur. Test sistemine ait genel bir görüntü Şekil 2.12'de paylaşılmıştır.



Şekil 2.11 : Ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi.



Şekil 2.12 : Test sistemini içeren üç boyutlu görüntü.



Şekil 2.13 : Test sistemine ait genel görüntü.

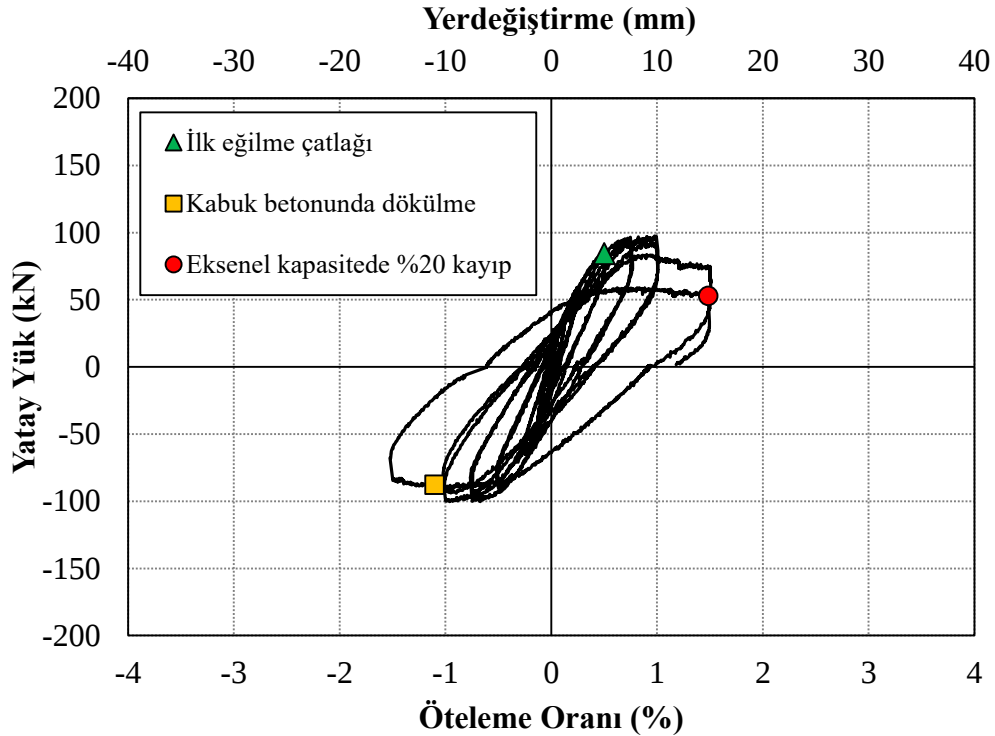
3. TEST SONUÇLARI

Bu bölümde tüm numunelerin yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri, iskelet eğrileri, öteleme oranına dayalı oluşan hasar gözlemleri, enerji yutma kapasiteleri, rijitlik değişimleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

3.1 Göçme Modları ve Hasar Gözlemleri

3.1.1 Grup 1 numuneleri

En-boy oranı 1 olan Grup 1 kolonlarına ait yük-yerdeğiştirme diyagramları referans ve güçlendirilmiş kolon numuneleri için bu bölümde verilmiştir. RSP1 numunesine için yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı Şekil 3.1’de sunulmuştur. İlgili şekil incelendiğinde, referans numunenin önceki bölümlerde belirtilen standart altı niteliklere bağlı olarak gevrek davranış sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1 : RSP1 numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.

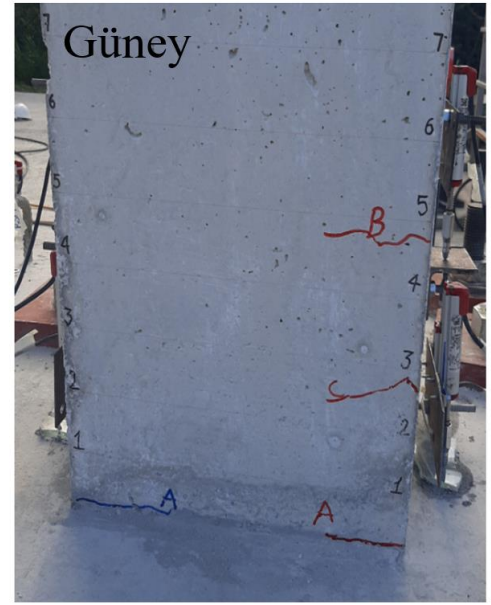
Referans numune, %1 öteleme oranında yatay yük taşıma kapasite ulaşmıştır. Öteleme oranı %1.5'a ulaştığında ise pas payı betonunun dökülmesine bağlı olarak boyuna donatılarda burkulma gerçekleşmiştir. Hemen sonrasında yatay yük taşıma kapasitesinde gözle görülür bir düşüş yaşanmış ve ilgili numune göçme durumuna ulaşmıştır. RSP1 numunesinin hem enine donatıları arasında ki mesafenin fazla olması hem de maruz kalınan yüksek eksenel yük oranından kaynaklı olarak boyuna donatılarda burkulma erken meydana gelmiştir. Bu durum ilgili numunenin daha ileri öteleme oranlarına ulaşmasını engellemiştir. RSP1 numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de sunulmuştur. İlgili hasar fotoğrafları incelenirken yükleme doğrultusunun batıdan doğuya olduğu unutulmamalıdır.



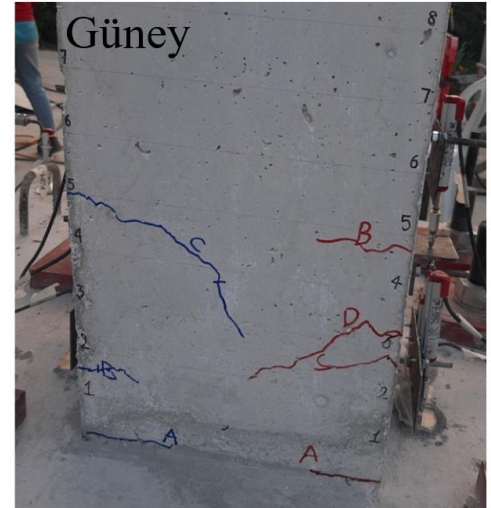
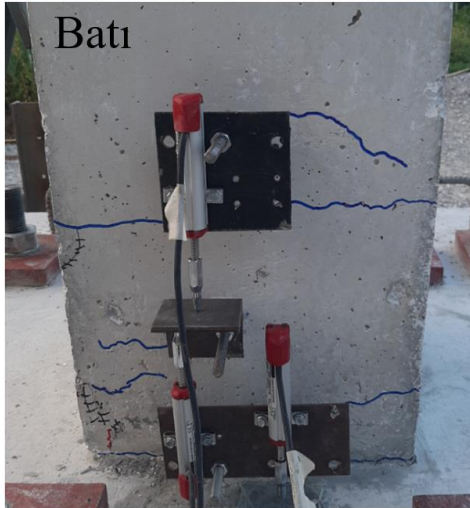
Şekil 3.2 : -0.0125 görel ötelemede kolon-temel birleşiminde mikro çatlak oluşumu.



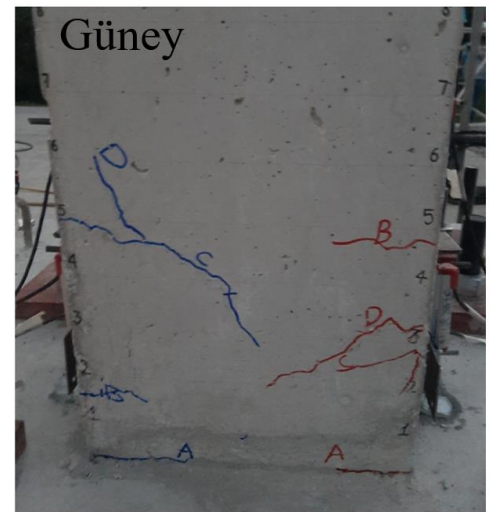
Şekil 3.3 : +0.025 görel ötelemede kolon-temel birleşiminde mikro çatlağın genişlemesi.



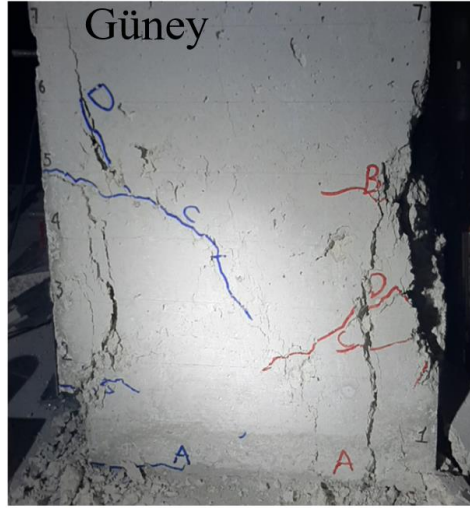
Şekil 3.4 : -0.05 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.



Şekil 3.5 : +0.075 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.



Şekil 3.6 : +0.01 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.



Şekil 3.7 : +0.015 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.

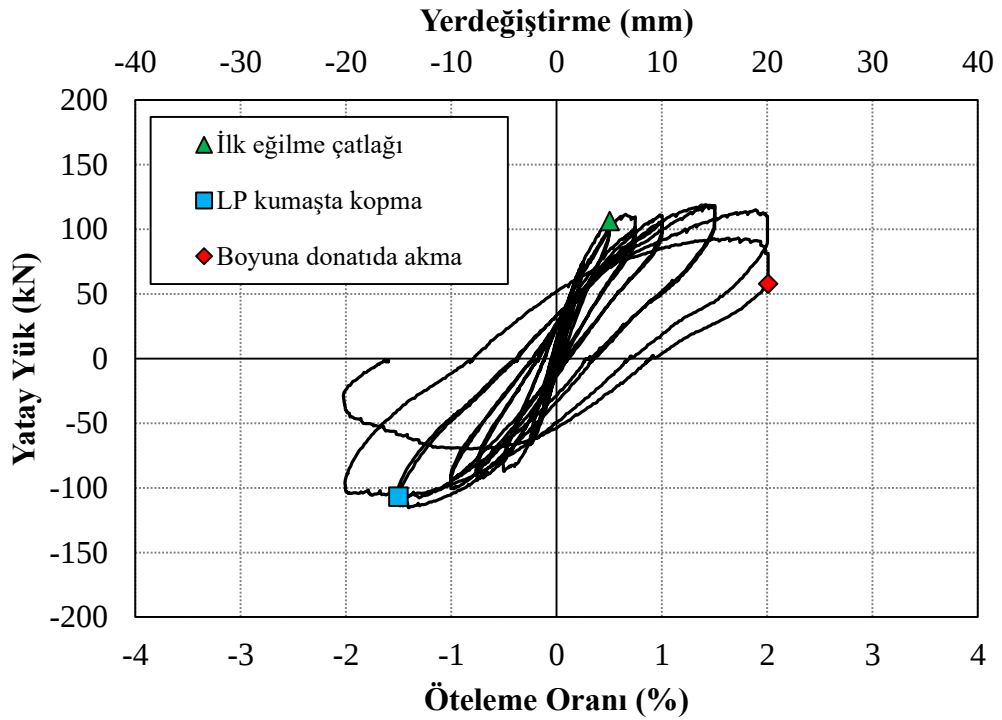
Bunun yanında, yüksek kesme oranına da sahip numunenin kuzey ve güney yüzünde plastik mafsallık bölgesinde gözle görülür seviyede kesme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Numunenin sergilediği gevrek göçme mekanizmasının bir sonucu olarak, gerinim ölçerler incelendiğinde, boyuna ve enine donatılarda akma gerilmelerine ulaşılmadığı görülmüştür.

Güçlendirilen numuneler ise referans numune ile benzer zayıflıklarla imal edilerek, aynı eksenel yük oranına maruz bırakılmasına rağmen, performanslarında belirgin bir iyileşme kaydedilmiştir. Dolayısıyla, her iki güçlendirilen numune de gevrek davranışın yerini, istenen sünek davranışa bıraktığı görülmüştür.

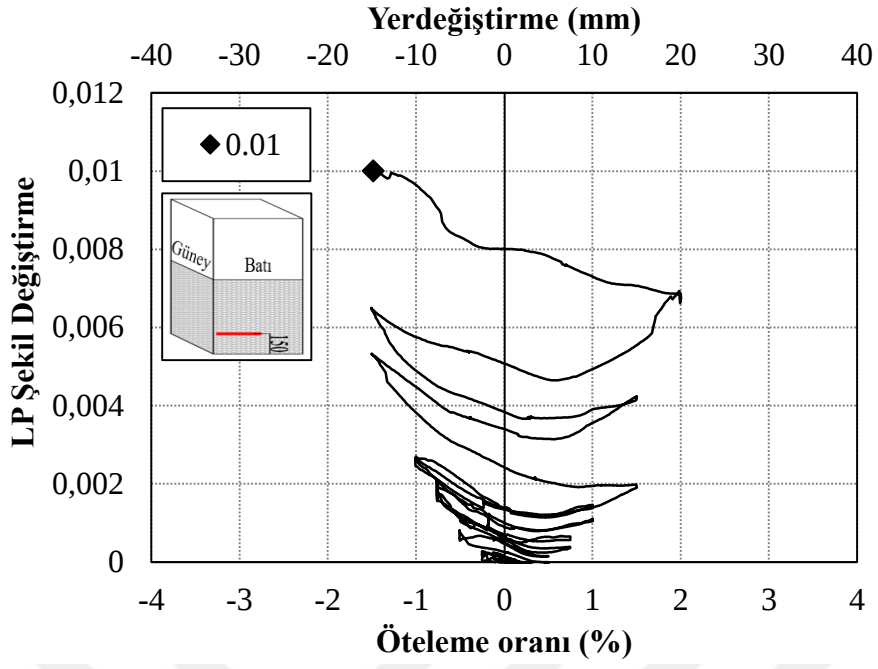
Önerilen hibrit ince mantolama yönteminde kullanılan ilave donatının performans üzerindeki etkinliğinin incelenmesi adına, herhangi bir boyuna donatı ilave edilmeden hibrit ince mantolama ile güçlendirilen RSP1-J numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı Şekil 3.8’de sunulmuştur. İlgili numune yaklaşık olarak %1.5 öteleme oranında yatay yük taşıma kapasitesi ulaşmıştır. İtme yönünde %2 öteleme oranının ilk çevrimine ulaşıldığında, karbon lifli polimer kumaş üzerinde kısmi kopmalar gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak yatay yük taşıma kapasitesinde kayıplar oluşmaya başlamıştır. Aynı öteleme adımının çekme çevrimi esnasında, numunenin yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık %50’si kaybedilmiştir. Gözlenen bu kayıp, lifli polimer kumaşlar yardımıyla sağlanan yanal sargılamanın, ilgili kumaşlarda gözlenen yırtılmalarla kaybedilmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Yanal sargılamanın kaybedilmesi sonucunda pas payı betonunda dökülmeler hızlanmış olup, çekirdek betonunda meydana gelen çatlaklar numuneyi göçmeye ulaştırmıştır. Test

sonrasında yapılan inceleme neticesinde, hem itme hem de çekme yüzünde yer alan tüm boyuna donatılarda burkulmalar görülmüştür. Aynı zamanda hasarın numunenin tüm boyu doğrultusunda yayılmayıp, sadece plastik mafsal bölgesinde yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Göçme anına kadar devam ettirilen test sürecinde karbon lifli polimer kumaşlardan okunan gerinimler izlenmiştir. Gerinim değerleri incelendiğinde RSP1-J numunesi için maksimum okuma, +15 mm kotuna yapıştırılan gerinim ölçer üzerinde 0.01 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.9). RSP1-J numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de sunulmuştur. İlgili hasar fotoğrafları incelenirken yükleme doğrultusunun batıdan doğuya olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 3.8 : RSP1-J numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.



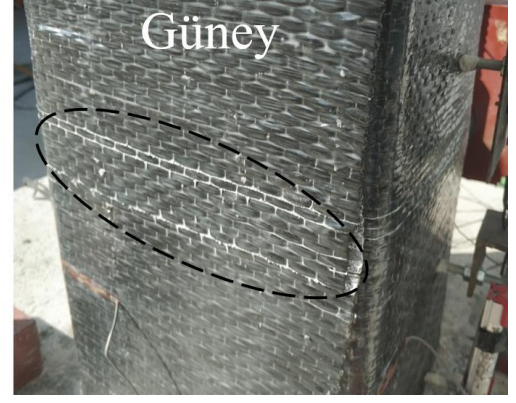
Şekil 3.9 : RSP1-J numunesine ait LP şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 3.10 : +0.075 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.



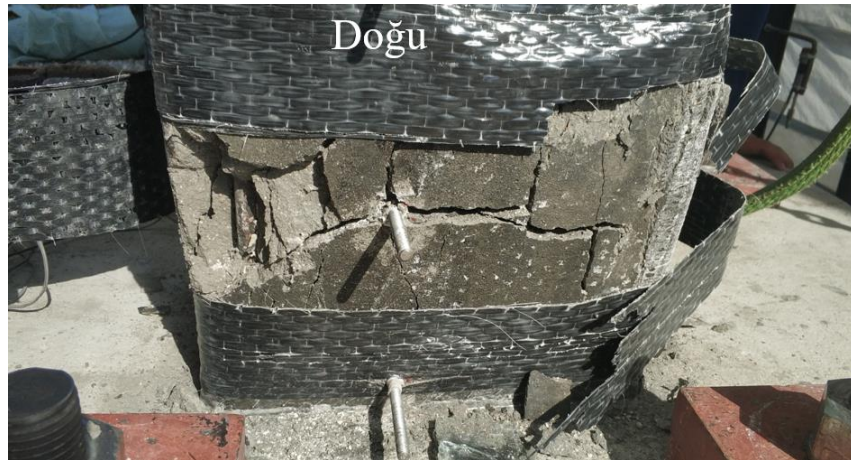
Şekil 3.11 : +0.01 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlağın genişlemesi.



Şekil 3.12 : +0.015 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki gözlenen gerginleşmeler.

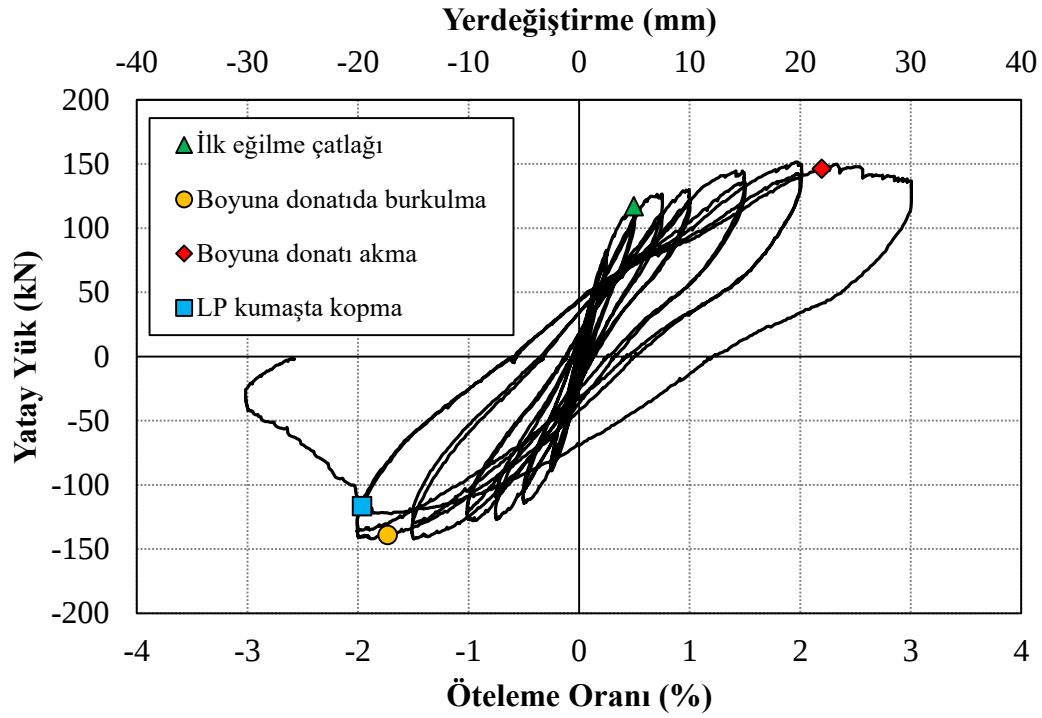


Şekil 3.13 : +0.02 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar.

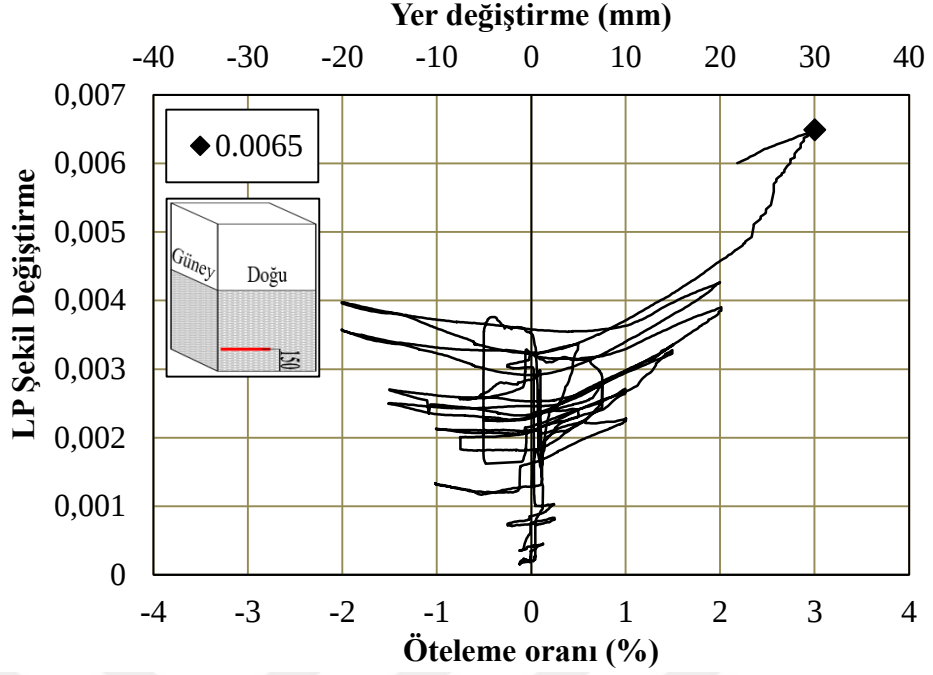


Şekil 3.14 : -0.02 görelî ötelemede tamir harcında gelişen çatlaklar.

Önerilen hibrit ince mantolama yöntemi ile güçlendirilen RSP1-J-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı Şekil 3.15'te sunulmuştur. İlgili numune referans numune ile kıyaslandığında, diğer güçlendirilmiş numuneye nazaran çok daha sünek davranış sergilemiştir. Bunun yanında, ilgili numunenin %2 öteleme adımında yatay yük kapasitesini kaybettiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.15'te verilen yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı incelendiğinde, çekme yönünde %3 hedef öteleme adımına gidildiğinde, temel-kolon birleşiminden +15 mm yükseklikte CFRP kumaşın kopmasına ve buna bağlı olarak da mevcut ve ilave donatıların burkulmasına dayanan yatay yük taşıma kapasitesinde ani bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 3.15 : RSP1-J-R numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.



Şekil 3.16 : RSP1-J-R numunesine ait LP şekil değiştirme diyagramı.

Bu göçme mekanizması, RSP1-J numunesine benzer bir göçme mekanizması olmakla beraber, numunenin %3 hedef öteleme adımına ulaşmasına engellemiştir. Göçme anına kadar devam ettirilen test sürecinde karbon lifli polimer kumaşlardan okunan gerinimler izlenmiştir. Gerinim değerleri incelendiğinde RSP1-J numunesi için maksimum okuma, +15 mm kotuna yapıştırılan gerinim ölçer üzerinde 0.0065 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.16). RSP1-J-R numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de sunulmuştur. İlgili hasar fotoğrafları incelenirken yükleme doğrultusunun batıdan doğuya olduğu unutulmamalıdır.

Test sonrasında yapılan inceleme neticesinde, çekirdek betonunda meydana gelen ezilmeler hem mevcut hem de yöntem kapsamında ilave edilen boyuna donatılarda meydana gelen burkulmalar açıkça görülmüştür. Aynı zamanda, ilave edilen boyuna donatılarda herhangi bir kayma oluşmaması, uygulanan ankraj derinliğinin temel betonu ve boyuna donatı arasında etkili bir yapışma mekanizmasının oluşabilmesi adına yeterli olduğunun kanıtlamıştır.

Bunun yanı sıra test süresince mevcut boyuna donatılarda da herhangi bir kayma gözlenmemiştir. RSP1-J-R numunesinin yatay yük-yer değiştirme diyagramı incelendiğinde, referans kolona kıyasla gözlenen yaklaşık %50’lik yatay yük taşıma kapasitesinde ki artış, ilave edilen dört adet boyuna donatının eğilme davranışa

katkısından ve kabuk betonundan yaklaşık 4 kat daha büyük basınç dayanımına sahip yapısal tamir harcı kullanımından kaynaklanmaktadır. Nihai öteleme oranındaki ilerleme bağlı olarak gözlenen süneklik artışı ise karbon lifli polimer kumaşlar yardımıyla sağlanan etkin yanal sargı basıncından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.17 : +0.075 görelî ötelemede kolon-temel birleşiminde mikro çatlak oluşumu.



Şekil 3.18 : +0.01 görelî ötelemede kolon-temel birleşiminde mikro çatlak oluşumu.

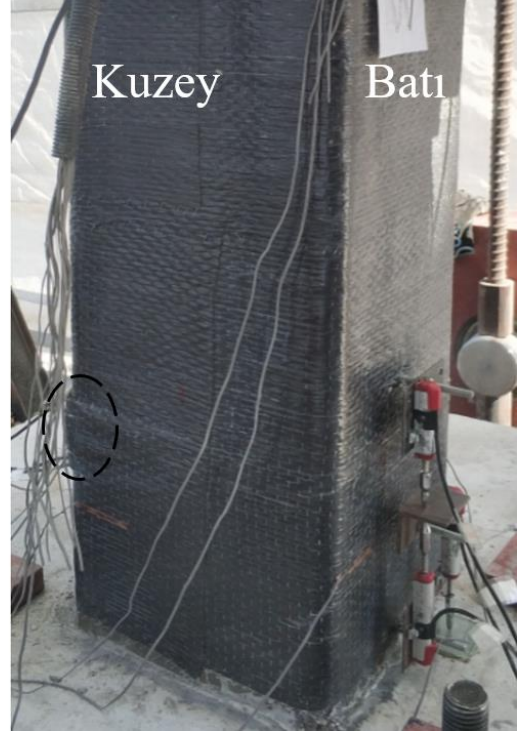


(a)



(b)

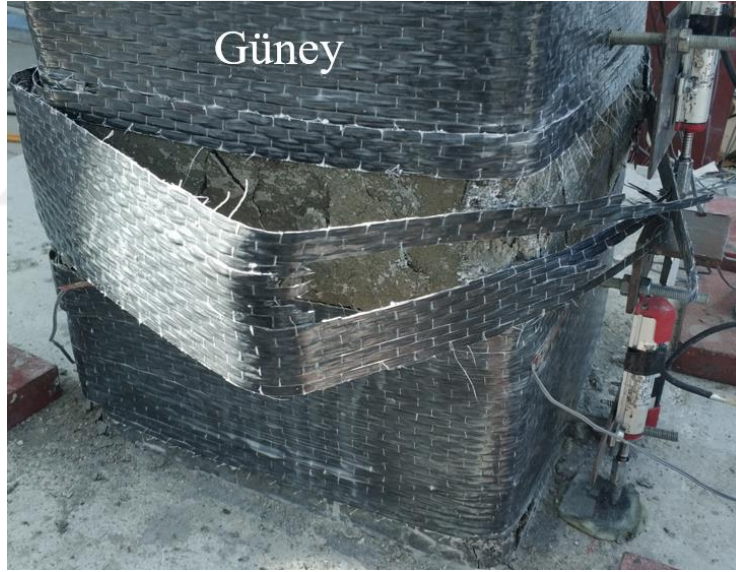
Şekil 3.19 : +0.015 görelî ötelemede kolon-temel birleşiminde, (a) tamir harcı yüzeyinde kısmî ezilmeler, (b) ayrılımların genişlemesi.



Şekil 3.20 : -0.02 görelî ötelemede LP kumaş üzerinde gözlenen gerginleşmeler.



Şekil 3.21 : +0.03 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar.



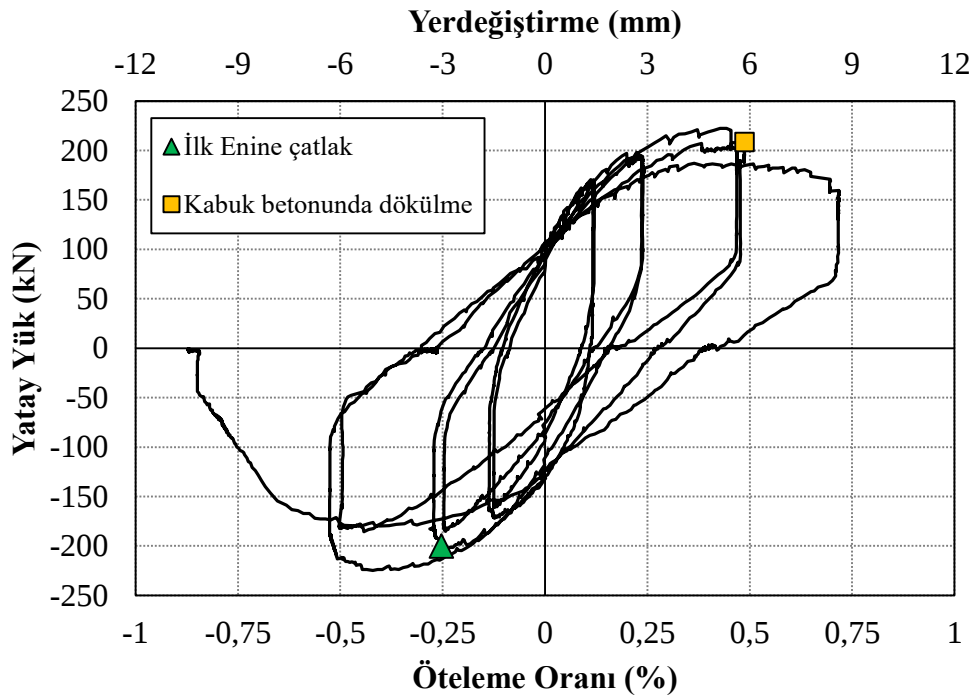
Şekil 3.22 : +0.03 görelî ötelemede tamir harcı yüzeyindeki çatlaklar.

Geniş etriye aralığı ve düşük beton basınç dayanımına sahip olmasının yanısıra hem yüksek eksenel yük oranı hem de yüksek kesme oranına maruz kolonların yatay yük taşıma kapasitesi ve süneklik değerlerinde elde edilen artışın, olası bir depremde standart altı yapı stoğunda meydana gelecek zararı minimize etme adına değerli olduğu düşünülmektedir. Her iki güçlendirilmiş numune içinde ilgili çevrimlerin itme ve çekme yönlerine ait yatay yük taşıma kapasitelerinde görülen ufak farklar, herhangi

bir kalıp kurma işlemi gerçekleşmemesinden dolayı, tamir harcı ile yenilenen paspayı kesitinin boyutlarında oluşan kaçınılmaz asimetriden kaynaklanmaktadır.

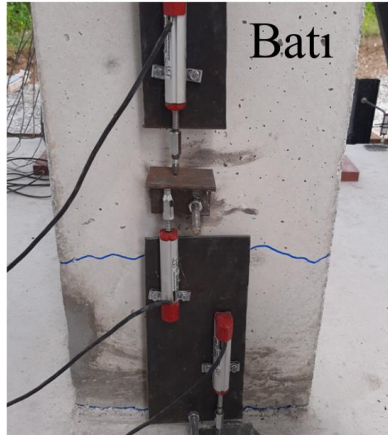
3.1.2 Grup 2 numuneleri

RSP2 numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramının sunulduğu Şekil 3.23’de görüldüğü gibi, ilgili numune mevcut yapı stoğunda yer alan standart altı kolonların eksikliklerini yansıtmaması adına, sahip olduğu yetersizliklere bağlı olarak beklendiği gibi gevrek davranış sergilemiş ve ileri öteleme adımlarına ulaşmadan göçme mekanizmasına oluşmuştur. İlgili numunenin yatay yük taşıma kapasitesine eriştiği %0.5 öteleme adımının ikinci çevrimine kadar numunenin yüzeyinde, yükleme yönüne paralel olarak gelişen birkaç mikro çatlak dışında herhangi bir deformasyon oluşmamıştır. Öteleme adımı %0.75’e ulaştığında ise RSP2 numunesi yatay yük taşıma kapasitesini %30 mertebesinde kaybetmiştir. İlgili çevrimde numunenin basınca maruz kalan yüzünde, kolon-temel birleşim bölgesinden 35 cm yükseklik içerisinde ki bölümde pas payı betonunda dökülme gözlenmiştir. %0.75 öteleme adımının ikinci çevriminde, ilgili numunenin yatay yük taşıma kapasitesi tamamen kaybedilmiştir. Bu kayıp 35 cm’de oluşan kısmi dökülmenin 65 cm yüksekliğe kadar genişlemesiyle tetiklenmiş olup neredeyse paspayı betonunun tamamı ilgili bölgede kaybedilmiştir.

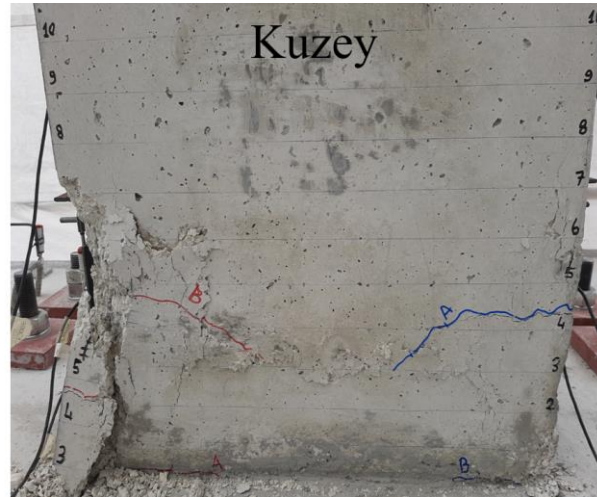
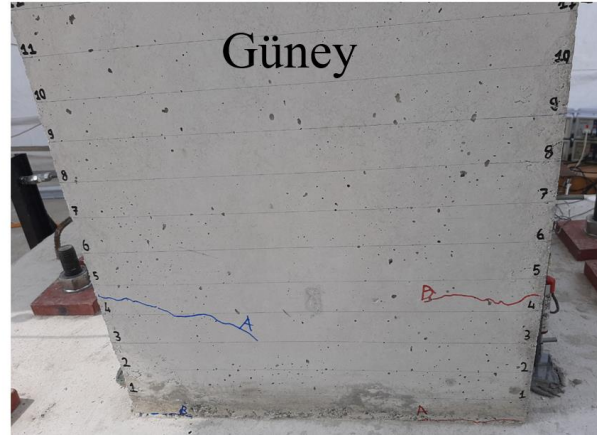


Şekil 3.23 : RSP2 numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.

Gerçekleşen dökülme sonucunda boyuna donatılar ve etriyeler açık bir şekilde görülmüştür. Yüksek aksenal yük oranına bağlı olarak hemen hemen tüm boyuna donatılarda burkulmalar gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra plastik mafsallık bölgesi içerisinde yoğunlaşan ve çekirdek betonu içerisinde rahatlıkla farkedilebilir seviyede çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. İlgili numunenin yüksek kesme oranı gözönüne bulundurulduğunda hem test esnasında hem de test sonrası detaylı inceleme sonucunda, numunenin yükleme doğrultusuna dik yüzeylerinden tek bir ciddi kesme çatlağına rastlanılmıştır. RSP1-J-R numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de sunulmuştur. İlgili hasar fotoğrafları incelenirken yükleme doğrultusunun batıdan doğuya olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 3.24 : +0.025 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.



Şekil 3.25 : +0.05 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.



Şekil 3.26 : -0.075 görelî ötelemede kolon yüzeylerinde gelişen çatlaklar.

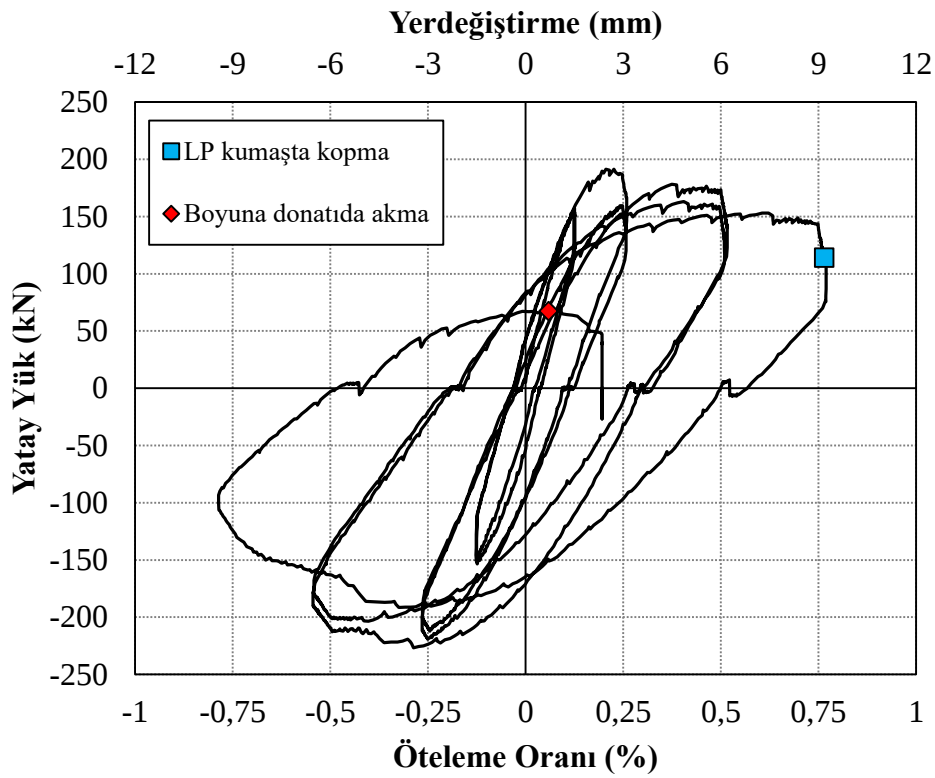


Şekil 3.27 : Test sonrasında boyuna donatılarda görülen burkulmalar.

Plastik mafsal bölgesi içerisinde yoğun bir kesme hasarının oluşmaması kullanılan çirozlar aracılığıyla sağlanan sargı alanının ve etkinliğinin bir sonucudur. Genellikle, standart altı yapılarda çiroz kullanımı yaygın olmayan bir uygulama olsada, en-boy oranı iki olan numuneler, yüksek kesme oranının genel deprem davranışına etkisinin incelenebilmesi adına ilgili numunenin tasarım kesme kuvvetini arttırmak amacıyla özel olarak ilave edilmiştir. Nihayetinde, oluşan hasar ve deformasyonlar kesme kuvvetinin aksine, büyük ölçüde yüksek eksenel yüklemekten kaynaklanmıştır.

Grup 2 için güçlendirilen kolonlara gelindiğinde (RSP2-J, RSP2-J-R) ne yatay yük taşıma kapasitesinde ne de öteleme oranında herhangi bir iyileşme gözlenmemiş olup, güçlendirilen her iki numune, referans numune ile benzer davranış sergilemiştir. Bu

sebeple ilgili numunelerin yatay yük-yerdeğiştirme diyagramları sırasıyla Şekil 3.28 ve Şekil 3.33’de sunulmuş, göçme mekanizmaları ve hasar oluşumları ayrı ayrı detaylandırılmamış olup, daha ziyade önerilen hibrit ince mantolama yönteminin en-boy oranı 2 olana Grup 2 numunelerinde herhangi bir iyileşme ortaya koymamasının temel nedenleri belirtilmiştir. RSP2-J numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de sunulmuştur. RSP2-J-R numunesine ait hasar gelişim fotoğrafları Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37’de paylaşılmıştır. İlgili hasar fotoğrafları incelenirken yükleme doğrultusunun batıdan doğuya olduğu unutulmamalıdır.



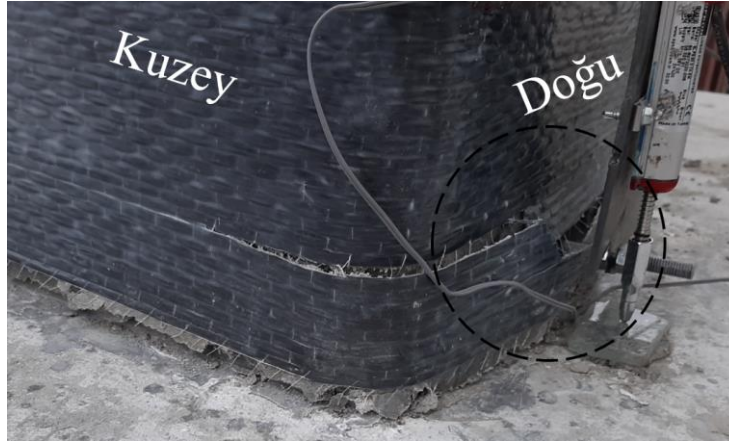
Şekil 3.28 : RSP2-J numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı.



Şekil 3.29 : +0.025 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.



(a)



(b)

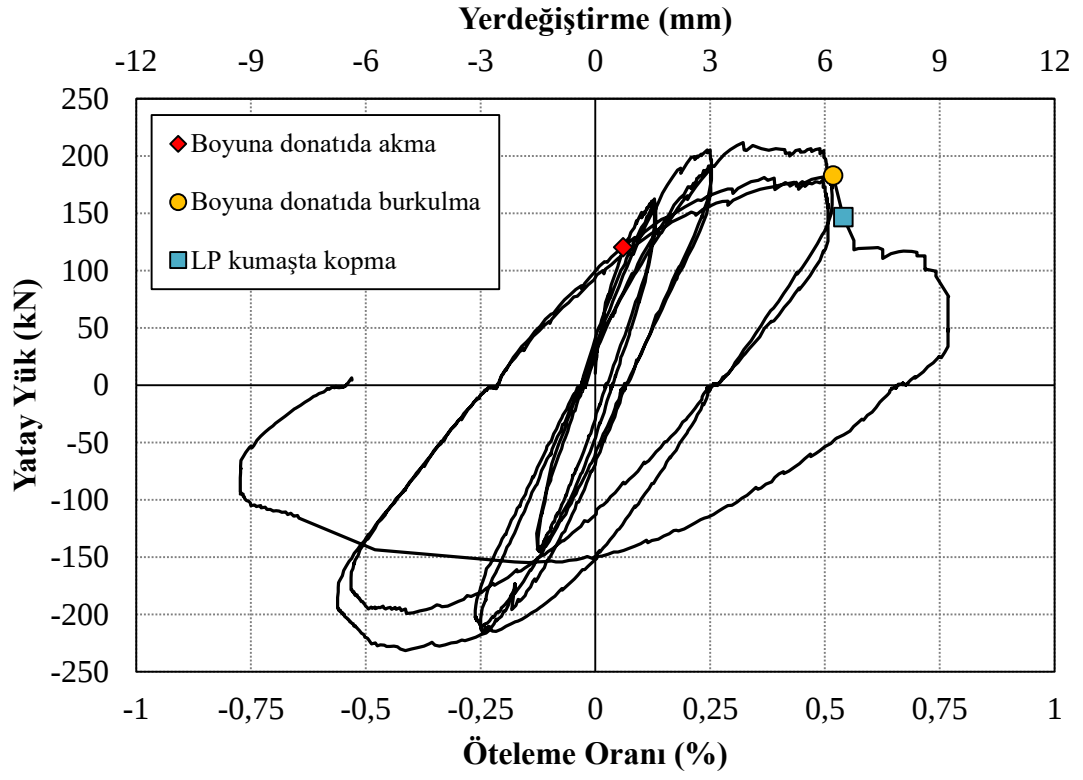
Şekil 3.30 : -0.05 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki (a), (b) kısmî yırtılmalar.



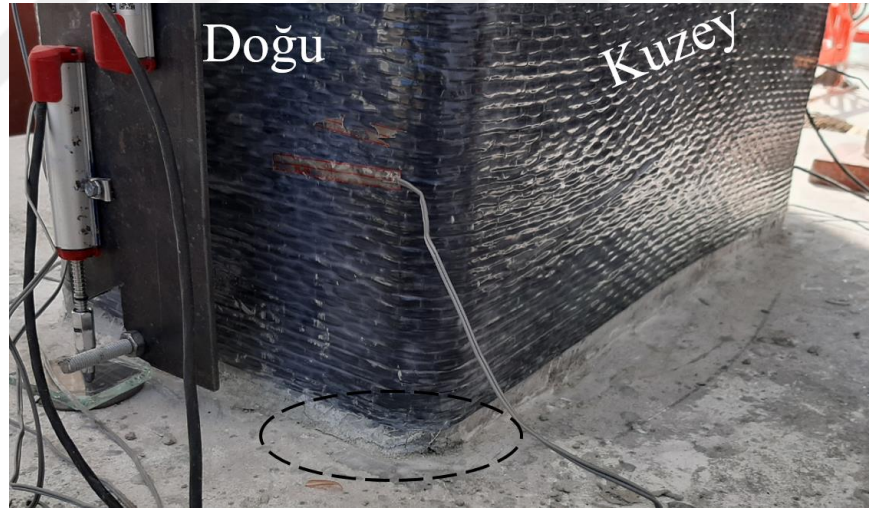
Şekil 3.31 : +0.075 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar ve tamir harcı parçalanması.



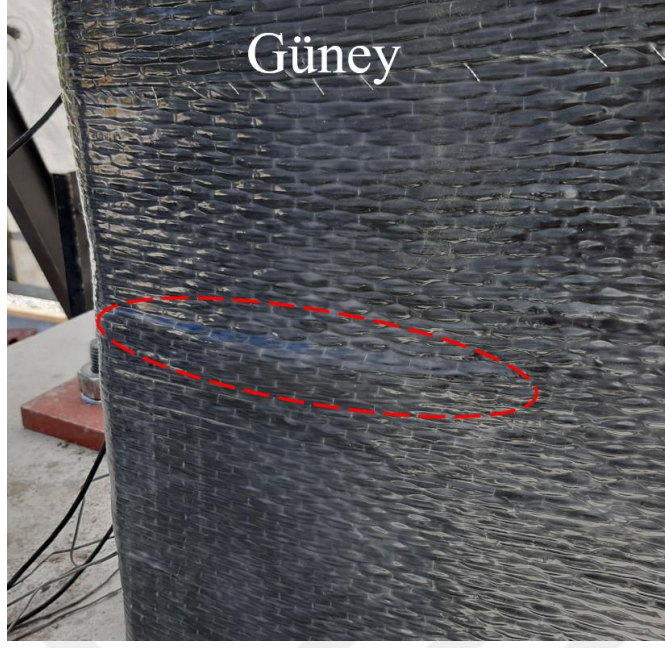
Şekil 3.32 : Tamir harcının kademeli uygulaması sonucu oluşan tabakalaşma.



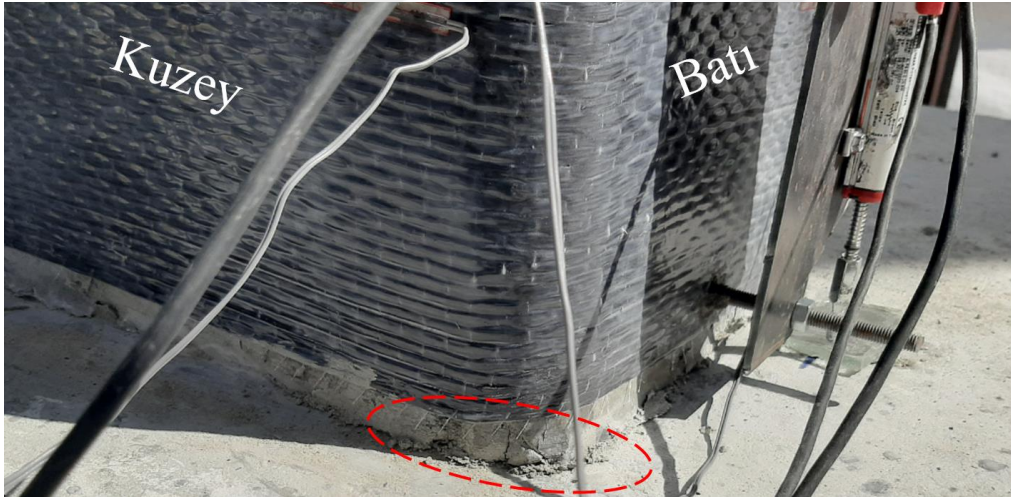
Şekil 3.33 : RSP2-J-R numunesine ait yatay yük-yer değiştirme diyagramı.



Şekil 3.34 : -0.025 görelî ötelemede kolon-temel birleşimde mikro çatlak oluşumu.



(a)



(b)

Şekil 3.35 : +0.05 görelî ötelemede (a) LP kumaş üzerindeki gerilme, (b) tamir harcı üzerinde kısmî ezilme.



Şekil 3.36 : +0.075 görelî ötelemede LP kumaş üzerindeki yırtılmalar ve tamir harcı parçalanması.



Şekil 3.37 : Tamir harcının kademeli uygulaması sonucu oluşan tabakalaşma.

Grup 2 içerisinde yer alan kolonların güçlendirme aşamasında, Grup 1’den farklı olarak iki parametre değişiklik arz etmektedir. Bunlardan birincisi farklı özelliklere sahip yapısal tamir harcı kullanımı, ikincisi ise farklı tamir harcı malzemesi kullanımına bağlı olarak gelişen uygulamaya aşamasındaki farklılıktır. Sika markalı, MonoTop® 620 isimli yapısal tamir harcının Çizelge 2.5’te sunulan ürün teknik bilgi föyü incelendiğinde, ilgili harcın 10 mm’den daha kalın yüzeylere uygulanması

durumunda sıvama işleminin kademeli olarak gerçekleştirilmesi gerektiği tavsiye edilmiştir. Önerilen güçlendirme yöntemi kapsamında herhangi bir kalıp kullanılmaması ve numunenin sıvanacak pas payı kesitinin kalınlığının nistepen geniş olması (40 mm) dikkate alındığında, uygulama esnasında yapısal tamir harcının yüzeye bu kalınlıkta tutunup sıvama işleminin devam edebilmesi adına bekleme süreci gerekmiştir. Buna bağlı olarak uygulanan yapısal tamir harcında keskin kenarlarla birbirinden ayrılan birden fazla katman oluşmuştur (Şekil 3.37). Bunun yanı sıra katmanlar arasındaki uygulama aşamasında yaşanan bekleme, her bir katmanda yer alan harç için dayanım farklılıklarına sebep olmuştur. Dolayısıyla, güçlendirilen numunelerin üzerindeki tamir harcının test gününde (7. Gün), küp numuneler üzerinden elde edilen basınç dayanımı yaklaşık 25 MPa olarak elde edilmişse de, harcın numune üzerindeki dayanımı belirtilen kademeleşmeye bağlı olarak küp numuneler üzerinden elde edilen değerden çok daha düşük geldiği öngörülmektedir. Test sonrasında, bahsedilen kademeli uygulamaya bağlı olarak harcın yüzeyinde erken oluşan hasarlar ve parçalanmalar, Grup 2 içerisinde yer alan güçlendirilmiş numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinde neden herhangi bir dayanım artışı gözlemlenemediğini açıklamaktadır. Verilen hasar fotoğrafları dikkatle incelendiğinde, Grup 1 kolonları içerisindeki referans kolonunun (RSP1) göçmeye ulaştığı öteleme oranında, önerilen hibrit ince mantolama yöntemi ile güçlendirilen kolonların yapısal bütünlüğünü koruyup, gözle tespit edilecek herhangi bir hasarın oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bunun aksine Grup 2 içerisinde yer alan kolonlar üzerinde, önceki bölümlerde bahsedilen malzeme uygulama sürecindeki farklılığa bağlı olarak ortaya çıkan problemler sonucunda, aynı öteleme oranlarında herhangi bir iyileşmenin oluşmayıp, benzer hasar mekanizmaları oluşmuştur. Dolayısıyla, önerilen yöntem, en-boy oranı iki olan Grup 2 kolonlarının hasar oluşum mekanizması üzerinde herhangi bir iyileşmeye sebebiyet vermemiştir. Her iki kolon grubuna ait iskelet eğrileri Şekil 3.40 ve Şekil 3.41’de özetlenmiştir.

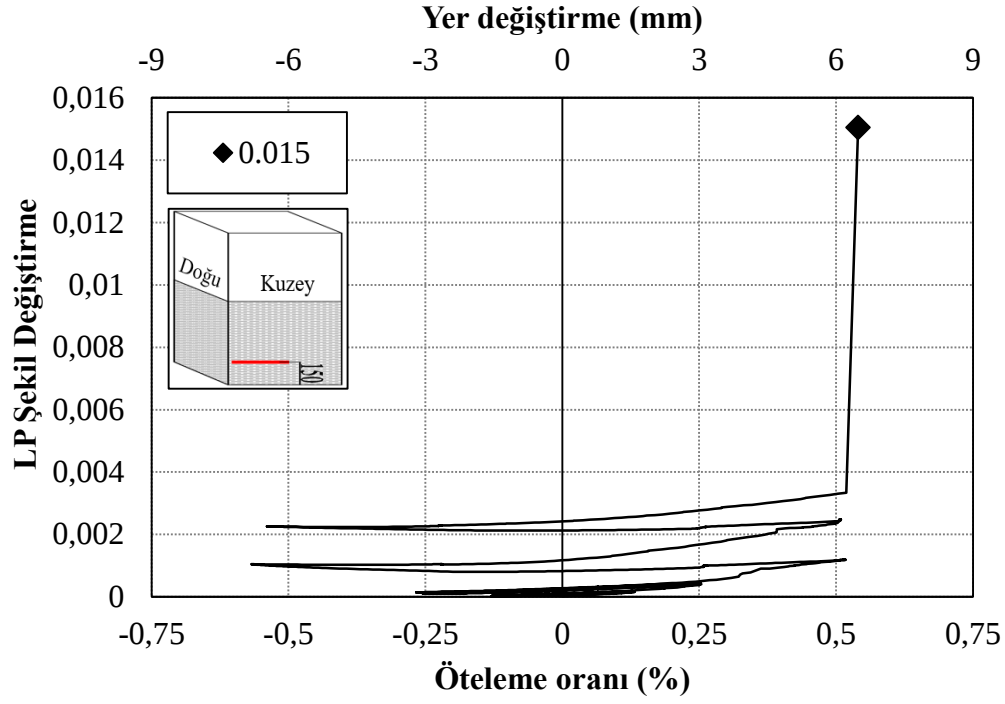
Grup 2 içerisinde yer alan güçlendirilmiş numuneler için de benzer şekilde gerinimler kaydedilmiştir ve ilgili gerinim kayıtları Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da paylaşılmıştır. RSP2-J-R numunesi için LP kumaş üzerinden okunan maksimum uzama temel-kolon birleşiminden 30 cm yükseklikte 0.015 mertebelerinde kaydedilmişken, RSP2-J numunesi için bu değer temel-kolon birleşimi üzerinden yaklaşık 15 cm yükseklikte 0.005 mertebelerinde ölçülmüştür.

Her iki grup içerisinde yer alan güçlendirilmiş kolon numuneleri için CFRP kumaş üzerinde kaydedilen ve yukarıda paylaşılan maksimum gerinim değerlerinin çevrimsel yüklemeye maruz kolonların deprem performanslarının iyileştirilmesi amacıyla kullanılan FRP malzemelerin etkinliğinin incelenmesi adına değerli olduğu düşünülmektedir. Gerek literatürde ki mevcut araştırmalar gerekse de yönetmelikler tarafından tavsiye edilen etkili fiber gerinim değerlerinin (ϵ_{fu}), büyük çoğunlukla sadece basınç altında test edilen numuneler dikkate alınarak önerildiği unutulmamalıdır. Fakat çevrimsel yüklemede, sadece eksenel basınca maruz bırakılan numunelerden farklı olarak, fiber liflerin üzerinde uygulama doğrultusuna bağlı olarak oluşan eksenel gerilmelerin numunelerin tüm yüzeylerinde eşit olacak şekilde dağılmaması beklenir (Del Zoppo ve diğ., 2017)

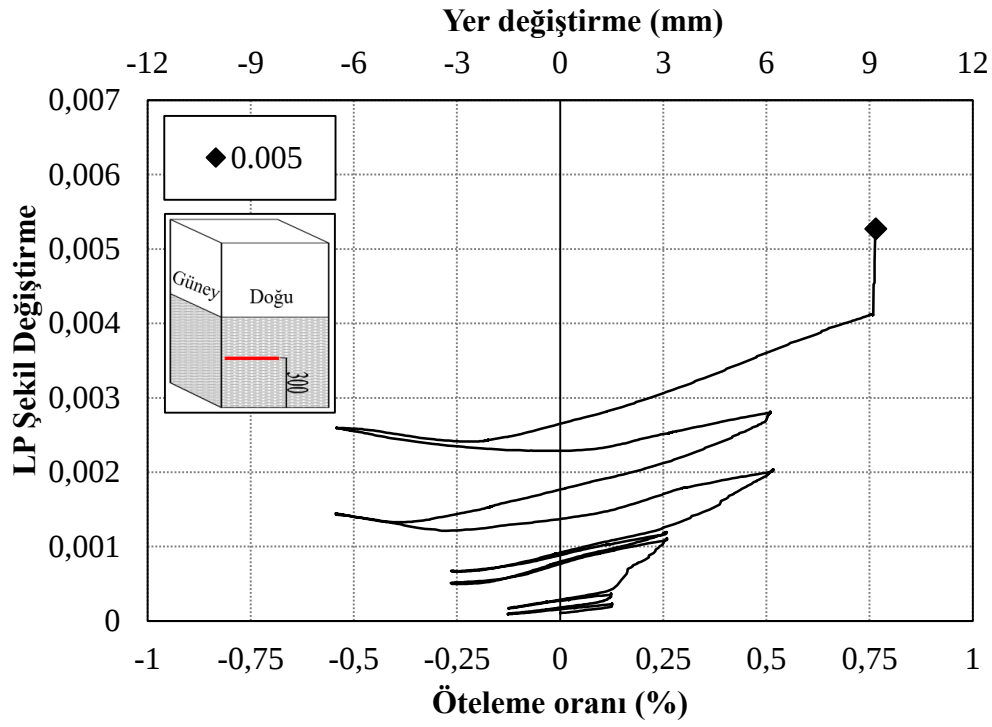
Test edilen tüm numunelerde, öteleme oranına bağlı olarak gözlenen hasar mekanizmaları Çizelge 3.1’de detaylı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : Numunelerin ait hasar mekanizmaları.

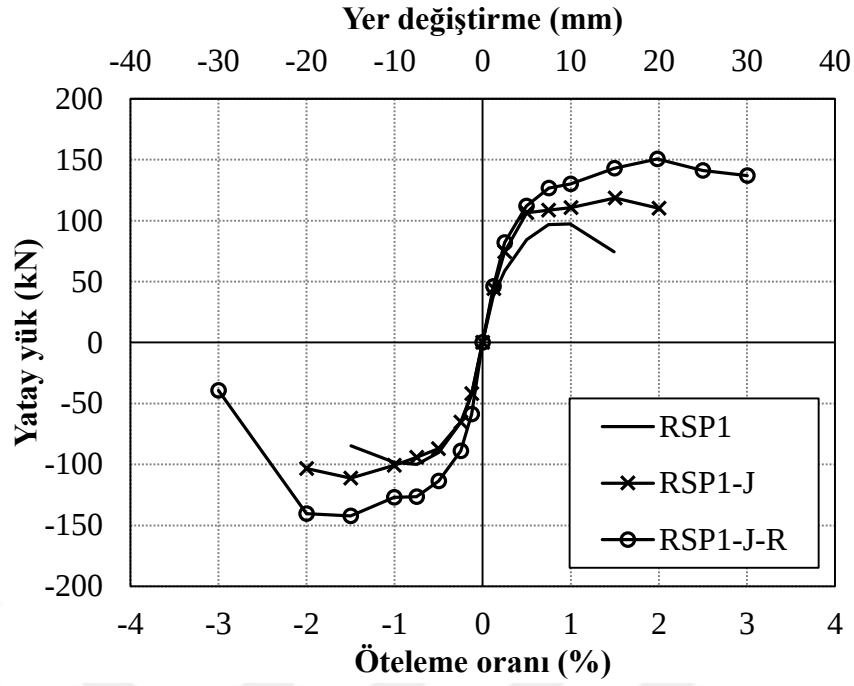
Hasar mekanizması	Numuneler – Öteleme oranı (%)					
	Grup 1			Grup 2		
	RSP1	RSP1-J	RSP1-J-R	RSP2	RSP2-J	RSP2-J-R
İlk eğilme çatlağı	0.50	-	-	-0.50	-	-
Boyuna donatıda akma	-	2.00	2.00	-	0.75	0.50
Kabuk betonunda dökülme	1.50	-	-	-0.75	-	-
FRP kumaşta kopma	-	-2.00	-3.00	-	0.75	0.75
Maksimum dayanım (İtme)	1.00	1.50	2.00	0.50	0.25	0.50
Maksimum dayanım (Çekme)	-1.00	-1.50	-1.50	-0.50	-0.50	0.50



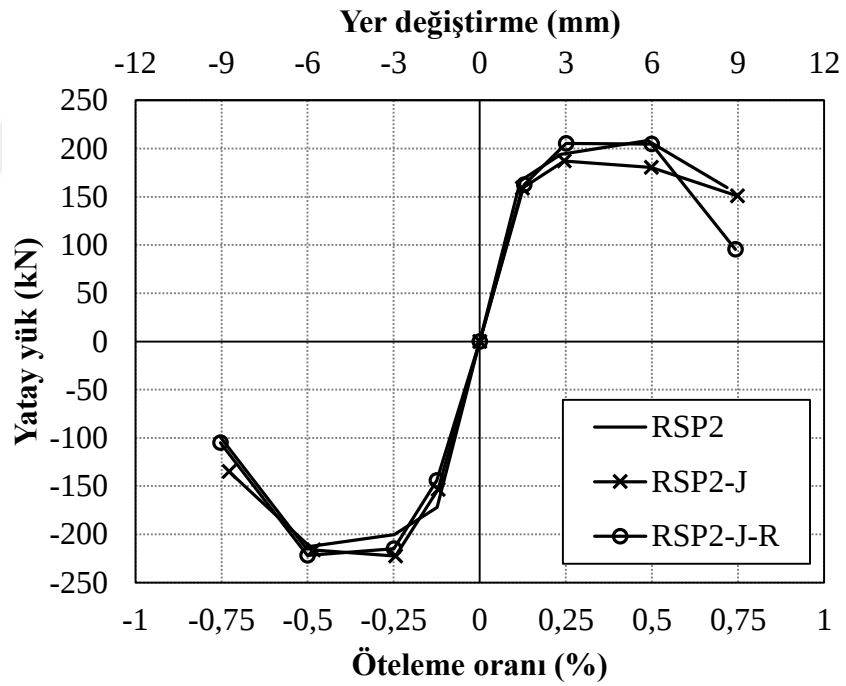
Şekil 3.38 : RSP2-J-R numunesine ait LP Şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 3.39 : RSP1-J numunesine ait LP Şekil değiştirme diyagramı.



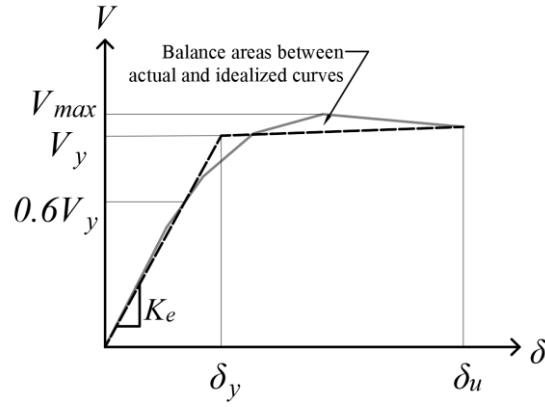
Şekil 3.40 : Grup 1 kolonlarına ait iskelet eğrileri.



Şekil 3.41 : Grup 2 kolonlarına ait iskelet eğrileri.

3.2 Süneklik ve Rijitlik Değişimi

Test edilen numunelerin deprem performanslarının niceliksel olarak karşılaştırılabilmesi adına, süneklik ve rijitlik değerleri hesaplanmıştır. İlgili hesaplarda ASCE-SEI 41-17 tarafından önerilen yaklaşım dikkate alınmıştır.



Şekil 3.42 : Yer değiştirme sünekliğine ait parametreler.

Şekil 3.42’de tasvir edilen yaklaşıma göre, testten edilen doğrusal olmayan yatay yük-yer değiştirme eğrisi, iki doğrudan oluşan bir eğri ile idealleştirilmiştir. Bu idealleştirme işlemi yapılırken, her iki eğri arasında kalan alanların yaklaşık olarak eşit olması dikkate alınmıştır. Eğri üzerinde yer alan alan, akma dayanımı (V_y), idealleştirilen eğrinin kesişim noktası dikkate alınarak hesaplanmışken, etkili yatay rijitlik değeri akma dayanımının %60’ını kesen doğrunun eğimine eşittir. Yer değiştirme sünekliği (μ), yatay yük taşıma kapasitesinde hedeflenen dayanım kaybına ($0.8V_{max}$) karşılık gelen yer değiştirmenin (δ_u) akma dayanımına karşılık gelen yer değiştirmeye (δ_y) oranını göstermektedir. İlgili hesaplarda, numunenin yüklemeye başladığı doğrultu itme doğrultusu olmasından dolayı sadece itme yönü dikkate alınmış olup, Çizelge 3.2’de özetlenmiştir. Verilen tablo incelendiğinde, Grup 1 kolonları içerisindeki referans numune (RSP1), güçlendirilen numunelerle kıyaslandığında beklenildiği gibi en düşük sünekliğe sahip kolon olmuştur. Bu istenmeyen durum temel sebebi, çekme bölgesinde yer alana boyuna donatılarda akma mekanizmasının gözlenmemiş olmasıdır. Ayrıca standart altı sismik detaylandırmadan kaynaklı olarak ortaya çıkan etkisiz sargılamaya bağlı olarak, çekirdek betonunda gelişen erken çatlaklar ve basınç bölümündeki boyuna donatıların burkulmalar, gözlenen gevrek davranışa neden olan diğer sebeplerdendir. Önerilen hibrit ince mantolama yöntemi ile güçlendirilen RSP1-J-R numunesine bakıldığında ise hemen hemen %100’e yakın bir süneklik artışı gözlenmiştir. Bunun yanında, RSP1-J numunesinde elde edilen süneklik artışı, önerilen yöntem içerisinde kullanılan ilave boyuna donatıların çıkarılması durumunda dahi yöntemin deprem performansı üzerinde etkili bir iyileşme ortaya koyduğunu ispatlamıştır.

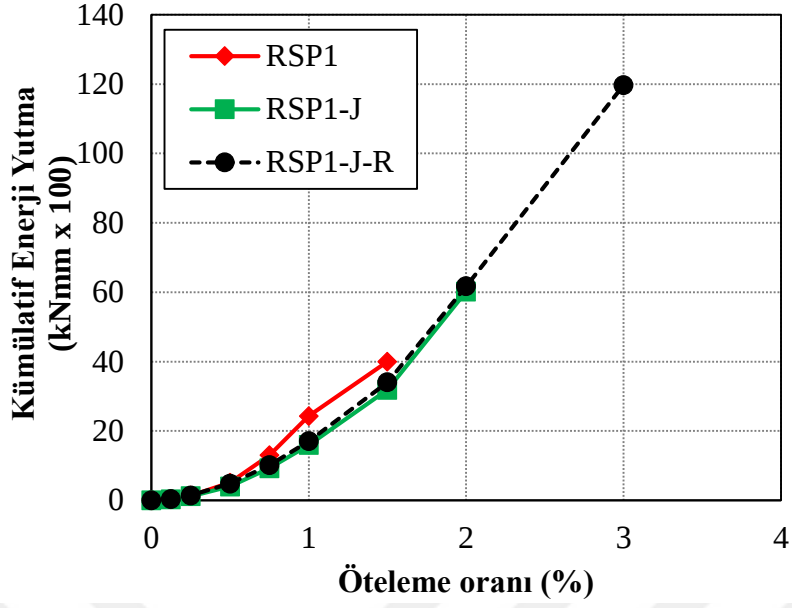
Çizelge 3.2 : Numunelere ait süneklik ve rijitlik değişimi.

Numune adı	V_y (kN)	δ_y (mm)	K_e (kN/m)	V_u (kN)	δ_u (mm)	Süneklik	Süneklik Artışı %
RSP1	94.50	4.34	21.77	77.93	14.15	3.26	-
RSP1-J	111.05	3.45	32.19	110.22	20.02	5.80	77.98
RSP1-J-R	144.45	4.61	31.33	136.92	30.05	6.52	99.93
RSP2	214.22	1.84	116.42	177.90	7.92	4.30	-
RSP2-J	189.90	1.59	119.43	153.09	8.57	5.39	25.22
RSP2-J-R	209.76	1.36	154.24	163.73	7.07	5.20	20.77

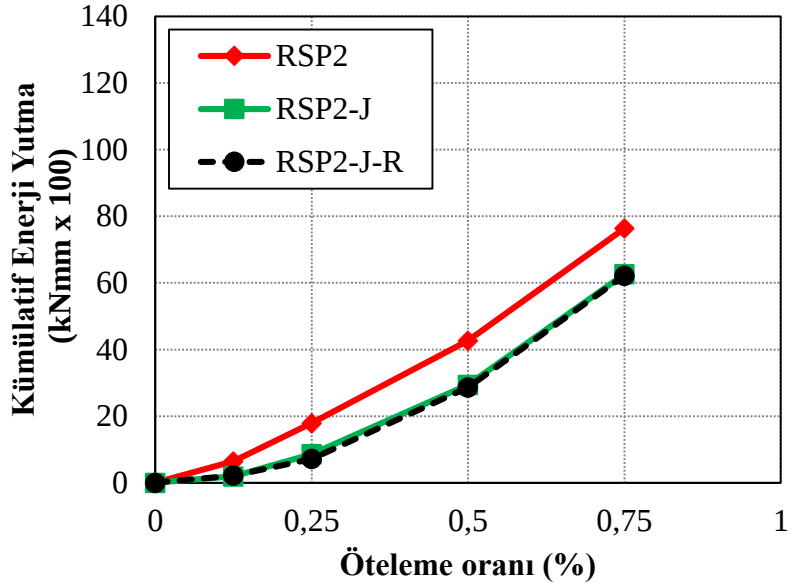
3.3 Kümülatif Enerji Yutma Kapasitesi

İlgili numunelerin enerji yutma kapasiteleri, numunelerin deprem performanslarının kıyaslanabilmesi adına önemli bir nicel parametredir. Genellikle betonarme yapılarda enerji yutma, boyuna donatılarda gözlenen akma ve hasar gelişimleri ile tetiklenir. Dolayısıyla, olası depremde ortaya çıkacak sismik enerjinin başarı bir şekilde yutulumu genel davranışı, ani gerçekleşen gevrek davranıştan, talep edilen sünek davranışa çevirmektedir. Test edilen tüm numunelerin enerji yutma kapasiteleri, her hedef deplasmanın ilk çevrimi dikkate alınarak, ilgili çevrimin altında kalan kapalı alan cinsinden hesaplanmıştır. Sonuçlar, her bir çevrim için elde edilen değerlerin toplanması ile kümülatif hale getirilmiş ve öteleme oranına bağlı olarak Grup 1 ve Grup 2 kolonları için Şekil 3.43 ve Şekil 3.44’de sırasıyla sunulmuştur. İlgili şekiller Grup 1 için incelendiğinde, önerilen hibrit mantolama yöntemi ile güçlendirilmiş RSP1-J-R kolonunun referans kolona nispeten yaklaşık %100 mertebesinde daha büyük bir enerji yutulumu sergilediği görülmüştür. Bu durum CFRP kumaş tarafından sağlanan yanal sargılama bağlı olarak ulaşılan ileri öteleme oranları ve büyük kalıcı plastik şekil değiştirmelerden kaynaklanmaktadır.

Bunun yanında, RSP2-J numunesi, önerilen yöntem içerisinde yer alan ilave boyuna donatıların çıkarılmış olması durumunda dahi, ilgili yöntemin enerji yutma kapasitesinde iyileşme ortaya koyduğunu ispatlamıştır.



Şekil 3.43 : Grup 1 kolonlarına ait kümülatif enerji yutma kapasiteleri.



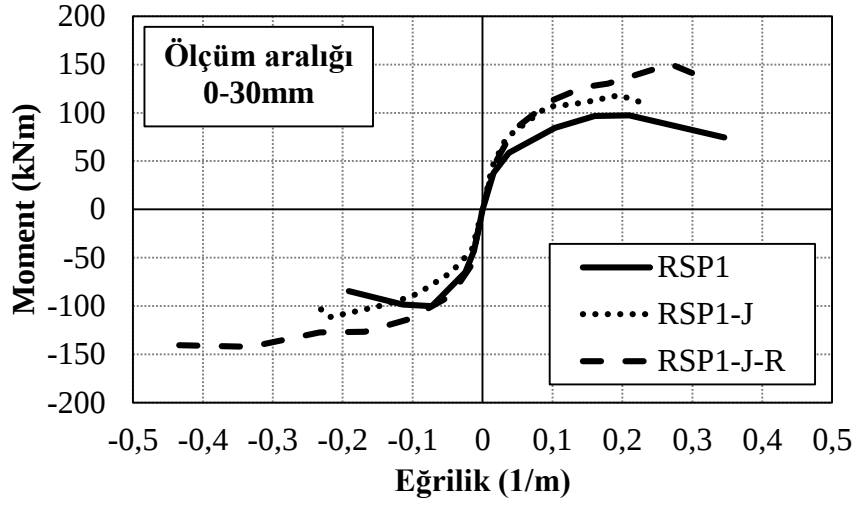
Şekil 3.44 : Grup 2 kolonlarına ait kümülatif enerji yutma kapasiteleri.

İlgili şekiller Grup 2 için dikkate alınarak incelendiğinde ise, güçlendirilen RSP2-J ve RSP2-J-R numunelerinin enerji yutma karakteristiklerinin aynı olduğu gözlenmiştir. Fakat, ilgili numuneler, güçlendirilmiş olmalarına rağmen referans numunenin enerji yutma karakteristiğinin altında kalmaktadır. Önerilen hibrit mantolama yöntemi, her iki Grup içinde aynı adım takip edilerek uygulansada, önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklandığı gibi farklı özellikteki yapısal tamir harcına bağlı olarak sıvama

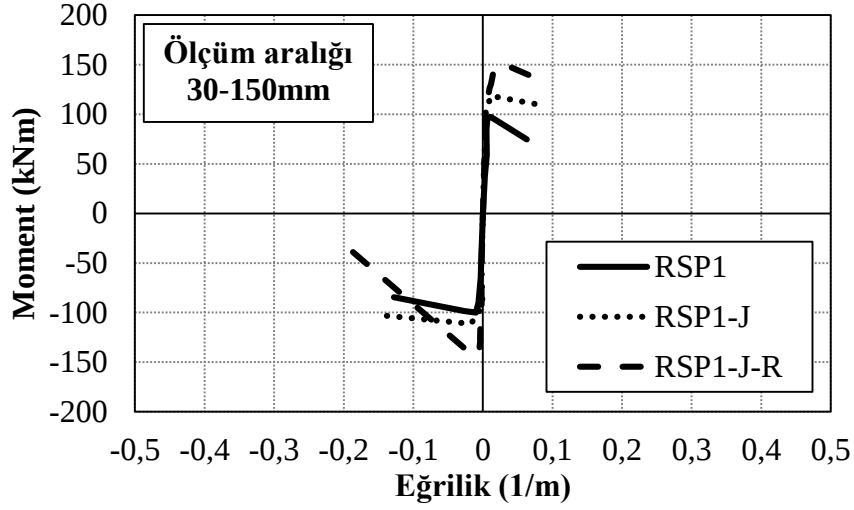
sürecinde ortaya çıkan kademeli uygulamaya bağlı olarak gelişen aderans problemi, Grup 2 kolonları üzerinde ilgili yöntemin etkisini göstermemesinin temel sebebi olarak değerlendirilmektedir.

3.4 Moment Eğrilik

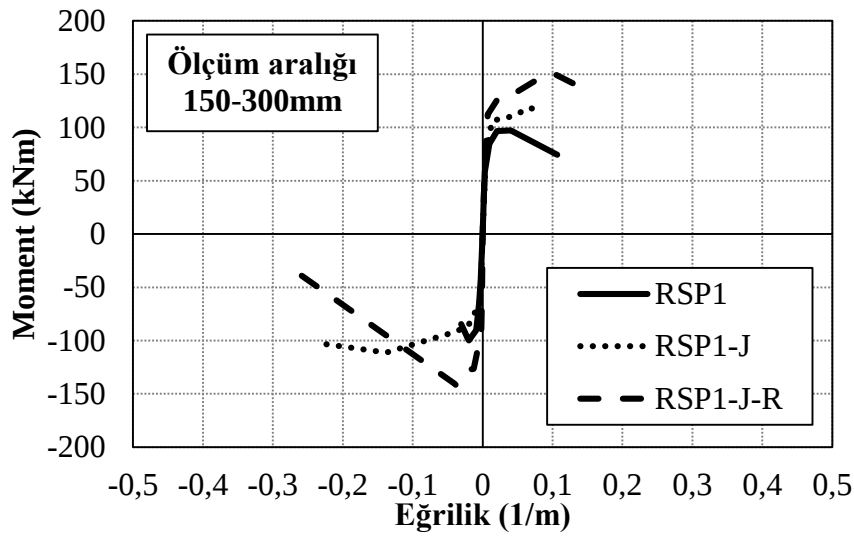
Potansiyel plastik mafsallık bölgesi boyunca farklı ölçüm uzunlukları için elde edilen moment eğrilik (M- θ) ilişkileri Grup 1 ve Grup 2 kolonları için Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48, Şekil 3.49 Şekil 3.50’de sırasıyla sunulmuştur. İlgili şekillerde, moment değerleri test esnasında ölçülen yatay yük değerlerinin kesme açıklığı ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Ortalama eğrilikler, potansiyel plastik mafsallık bölgesi içerisinde, kolon-temel birleşimi üzerinden 0-30, 30-h/2 ve h/2-h mm ölçüm aralıkları için lineer potansiyometreler kullanılarak elde edilmiştir. Grup 1 kolonları dikkate alındığında, 0-30 mm ölçüm aralığı için RSP1 kolonu üzerinden ölçülen maksimum eğrilik 0.23 (1/m) mertebesindeyken, güçlendirilen RSP1-J ve RSP1-J-R numuneleri için yaklaşık olarak 0.45 (1/m) mertebesinde-dir. Literatüre bakıldığında, düşük ve/veya orta seviye eksenel yük oranı altında gerçekleştirilen tam ölçekli kolon testlerinden elde edilen bulgulara göre, elastik olmayan eğrilik değerlerinin büyük kısmının, plastik mafsallık bölgesi içerisinde daha geniş ölçüm aralığında kaydedildiği görülmüştür (Farrokh Ghatte ve diğ., 2019; İlki ve diğ., 2009; Saribas ve diğ., 2019). Fakat bu çalışmada, yüksek eksenel yük oranına bağlı olarak, elastik olmayan eğriliklerin büyük kısmının, 0-30 mm arasında kaydedildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, numunenin nispeten daha üst kısımlarına (100-150 mm) yerleştirilen potansiyometrelerden elde edilen okumalara bağlı olarak elde edilen eğriliklerin çok küçük kaldığı şekillerden açıkça görülmüştür. Elde edilen moment eğrilik değerleri incelendiğinde ise RSP2 referans numunesi ve güçlendirilen RSP2-J ve RSP2-J-R numunelerinin, ölçülen maksimum eğrilik değerlerinin yaklaşık olarak aynı mertebede kaldığı ve herhangi bir iyileşmenin ortaya çıkmadığı görülmüştür. Aynı zamanda taban moment değerleri ve genel eğrilik karakteristiklerinin Grup 2 içerisinde yer alan üç kolon içinde benzer olduğu söylenebilir.



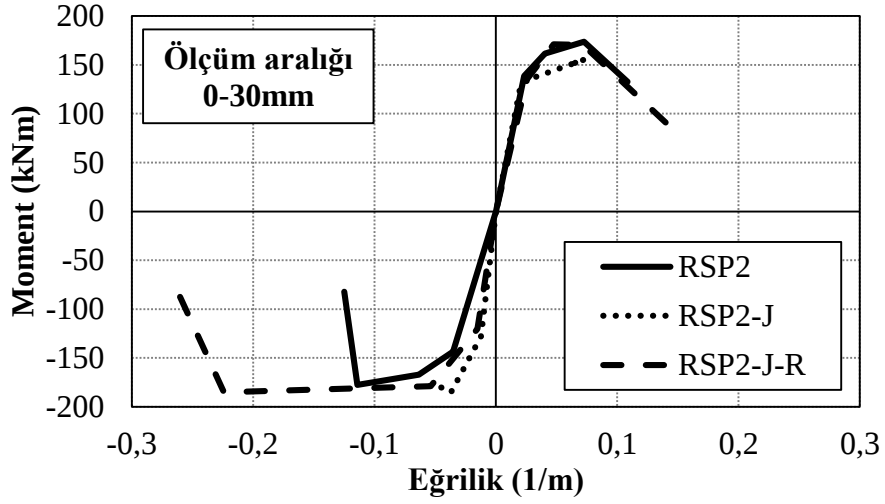
Şekil 3.45 : 0-30mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



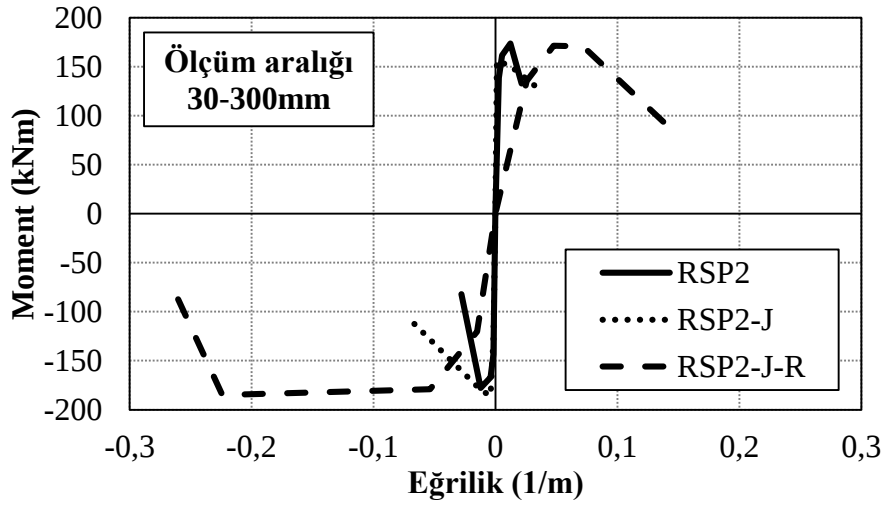
Şekil 3.46 : 30-150mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



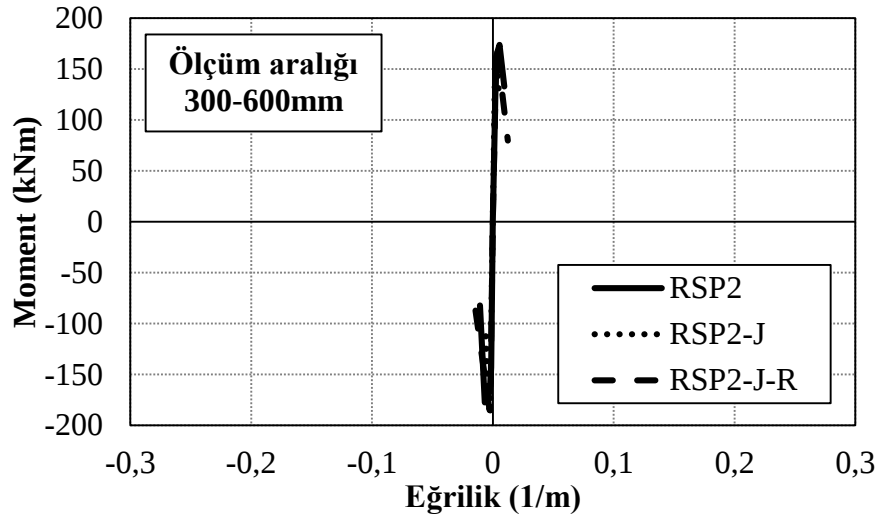
Şekil 3.47 : 150-300 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



Şekil 3.48 : 0-30 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



Şekil 3.49 : 30-150mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



Şekil 3.50 : 150-300 mm ölçüm aralığı için moment-eğrilik diyagramı.



4. ANALİTİK ÇALIŞMA

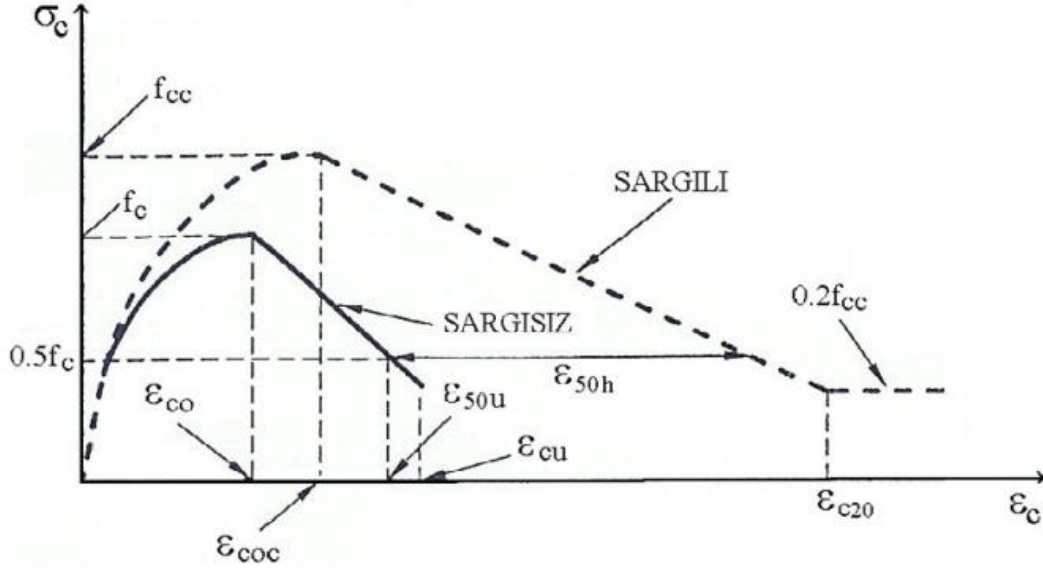
Bu bölümde, deneysel çalışma kapsamında test edilen numunelerin davranışı literatürde ki mevcut malzeme modelleri dikkate alınarak, XTRACT paket programı yardımıyla modellenmiştir. Elde edilen teorik davranışlar, deneysel çalışmadan elde edilen davranışla kıyaslanarak sunulmuştur.

4.1 Malzeme Modelleri

Numunelerin moment-eğrilik diyagramlarının elde edilmesi amacıyla yapılacak kabuller, kesit davranışını esas alınmıştır. Literatürde ki mevcut çalışmalar göz önünde bulundurularak sargısız beton (kabuk betonu), etriye ile sargılanmış beton, CFRP kumaşlarla sargılanmış beton, burkulmalı donatı çelik modelleri için yapılan kabuller aşağıdaki bölümden belirtilmiştir.

4.1.1 Sargılı ve sargısız beton modeli

Sargılı ve sargısız beton modelleri için Geliştirilmiş Kent ve Park modeli dikkate alınmıştır (Şekil 4.1). İlgili modelde, sargısız betonun davranışı maksimum dayanıma kadar ikinci derece parabol olarak ifade edilirken, maksimum dayanımın aşıldığı noktadan sonra negatif bir eğimle doğrusal olarak azaldığı varsayılır.



Şekil 4.1 : Geliştirilmiş Kent ve Park modeline ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.

Geliştirilmiş Kent ve Park modeli kapsamında sargısız beton için önerilen davranışına ait parabolik kısım formülasyonlar Denklem 4.1’de sunulurken doğrusal kısım tanımlayan formüller Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.4’te verilmiştir.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad 4.1$$

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u(\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0.2f_c \quad 4.2$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad 4.3$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285f_c}{142f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad 4.4$$

İlgili formüllerde f_c ve ε_{co} sırasıyla sargısız beton basınç dayanımı ve bu dayanıma karşılık gelen birim şekildeğiştirme değerini ifade etmektedir. Normal dayanımlı betonlar için ε_{co} yaklaşık olarak 0.002 alınabilir. Belirtilen modelde sargılı beton için ise beton basınç dayanımı ve buna karşılık gelen birim şekildeğiştirme değeri sargı etkisine bağlı olarak hesaplanan K katsayısı ile çarpılarak arttırılır. İlgili modelde sargılı beton için parabolik kısım tanımlayan formüller Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’da sunulurken doğrusal kısım tanımlayan formüller Denklem 4.7-Denklem 4.10’da belirtilmiştir.

$$\sigma_c = K f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad 4.5$$

$$\varepsilon_{coc} = K \varepsilon_{co} \quad 4.6$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad 4.7$$

$$\sigma_c = K f_c [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0.2 f_c \quad 4.8$$

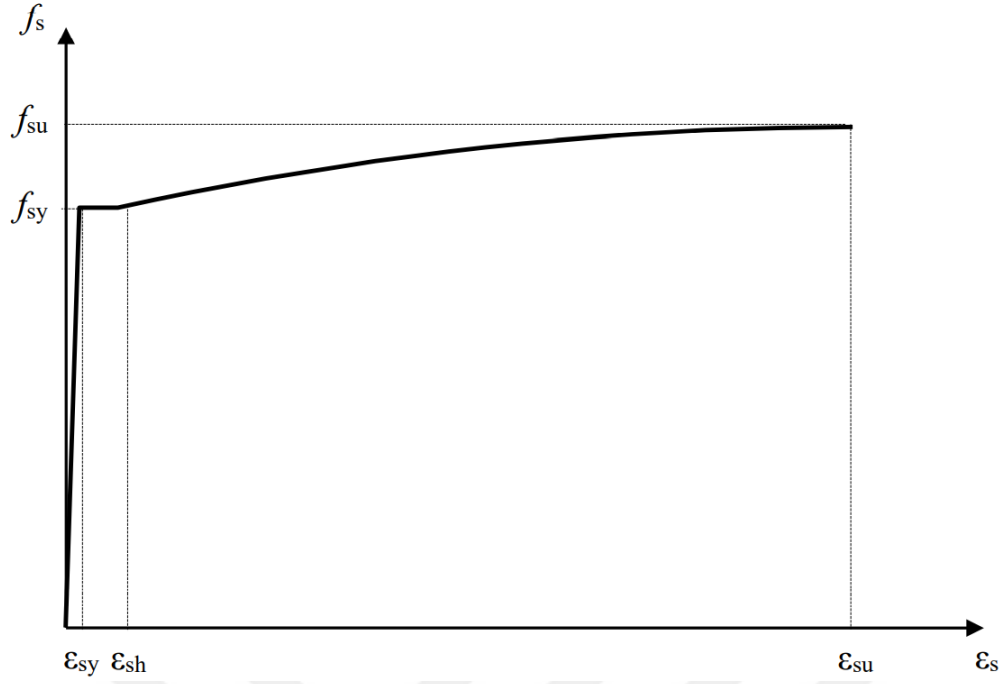
$$Z_c = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad 4.9$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad 4.10$$

Belirtilen ifadelerde f_{cc} , ε_{coc} , b_k , ρ_s ve s sırasıyla sargılı beton basınç dayanımı, sargılı betonda maksimum beton basınç dayanımına karşılık gelen birim kısalma, etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek betonun küçük boyutu, enine donatının hacimsel oranını ve etriyeler arası mesafeyi simgelemektedir. İlgili formüller dikkate alınarak elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 4.2’de sunulmuştur.

4.1.2 Donatı çeliği modeli

Donatı çeliği için TBDY (2018) tarafından doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirme kapsamında önerilen pekleşmeli donatı çeliği modeli kullanılmıştır (Şekil 4.2). Numunelerden alınan S220 ve S420 çelik donatı numunelerin çekme testinden elden değerler dikkate alınarak, ilgili parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, herhangi bir malzeme katsayısıyla çarpılmayıp doğrudan kullanılmıştır.



Şekil 4.2 : TBKY (2018) tarafından önerilen donatı çeliği modeli.

Numunelerin maruz kaldığı yüksek eksenel yük oranı ve etriyeler arası mesafenin genişliği göz önünde bulundurularak, kesitin basınç bölgesindeki yer alan donatılar Yalcin ve Saatcioglu (2000) çalışmasında önerilen boyuna donatının burkulmasını da içeren basınç gerilmesi etkisindeki çelik modeli kullanılarak modellenmiştir. Yazarlar, en-boy oranı 8’den büyük olan kolonlar için basınç bölgesinde yer alan donatıların, akma değerine ulaştıktan sonra negatif bir eğimle ani dayanım kaybı yaşadığını belirtmiştir. Bu kapsamda $\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s/Du}$ aralığı için davranışı tanımlayan değerler Denklem (4.5), Denklem (4.6) ve Denklem (4.7) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$f_s = f_y - (\varepsilon_s - \varepsilon_y) \left[-23000 + 11000 \ln \left(\frac{s}{d_b} \right) \right] \quad (4.5)$$

$$f_{s/Du} = 28 \left(\frac{s}{d_b} \right)^{-1.7} f_y \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{s/Du} = \left[40 - 6 \ln \left(\frac{s}{d_b} \right) \right] \varepsilon_y \quad (4.7)$$

4.1.3 FRP sargılı beton

Literatürde FRP malzemelerle sargılanmış kare, dikdörtgen veyahut dairesel kesite sahip numunelerin davranışının elde edilmesi amacıyla bir çok model önerilmiştir (Ilki ve diğ, 2008; Hosotani ve diğ, 1997; Samaan ve diğ, 1998; Spoelstra ve Monti, 1999; Lam ve Teng, 2003). Bu çalışmada Ilki ve diğ. (2008) tarafından önerilen FRP sargılı beton modeli kullanılmıştır. İlgili model CFRP malzeme tarafından sağlanan sargı etkisinin, etriyeden sağlanan sargı etkisiyle beraber dikkate alınmasının esas almaktadır. Bu bağlamda, FRP kumaşlar aracılığıyla sağlanan sargı basıncı Denklem 4.8 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_l = \frac{\kappa_a \rho_f \varepsilon_{h,rup} E_{frp}}{2} \quad (4.8)$$

İlgili denklemde, κ_a brüt en kesit alanının etkili sargı alanına oranı dikkate alınarak hesaplanan etki faktörüdür. TS500’de verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir. ρ_f ve E_{frp} , sırasıyla FRP malzemenin kesit alanının beton kesit alanına oranını ve sargı malzemesinin elastisite modülünü simgelemektedir. FRP kumaşın kopma gerilmesi, $\varepsilon_{h,rup}$, yazarlar tarafından önerildiği gibi, üreticiden elde edilen nihai kopma gerilmesinin %85’i olarak dikkate alınmıştır. Hesaplanan sargı etkisine bağlı olarak, Denklem 4.9 ve 4.10 yardımıyla CFRP malzemedan sağlanan sargılama sonucunda elde basınç dayanımı ve gerilmeler hesaplanmıştır. İlgili denklemlerde, h ve b en kesit boyutlarını göstermektedir. LTF ise monotonik yükleme için 1, çevrimsel yükleme için 2 olarak dikkate alınması önerilen yükleme faktörünü simgelemektedir.

$$\left[\frac{f_{cc}}{f_{co}} \right]_{CFRP} = \left[1 + 2.54 \frac{f_l}{f_{co}} \right] \quad (4.9)$$

$$\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} \right]_{CFRP} = \left[1 + \frac{h}{b} \times (LTF) \times 19.27 \times \left(\frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.53} \right] \quad (4.10)$$

Enine donatıdan sağlanan sargılama sonucunda elde basınç dayanımı ve gerilmeler Denklem 4.11 ve Denklem 4.12 ile hesaplanmıştır. Hem CFRP hem de etriye yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, Denklem 4.13 ve 4.14’de belirtilen şekilde kümülatif olarak toplanmıştır ve sargılı kesitin maksimum dayanım ve maksimum dayanıma karşılık gelen gerilme değerleri elde edilmiştir.

$$\left[\frac{f_{cc}}{f_{co}} \right]_{ITR} = \left[1.0 + 4.54 \frac{f_l}{f_{co}} \right] \quad (4.11)$$

$$\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} \right]_{ITR} = \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (4.12)$$

$$\left[\frac{f_{cc} - f_{co}}{f_{co}} \right]_{TOTAL} = \left[\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right]_{CFRP} + \left[\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right]_{ITR} \quad (4.13)$$

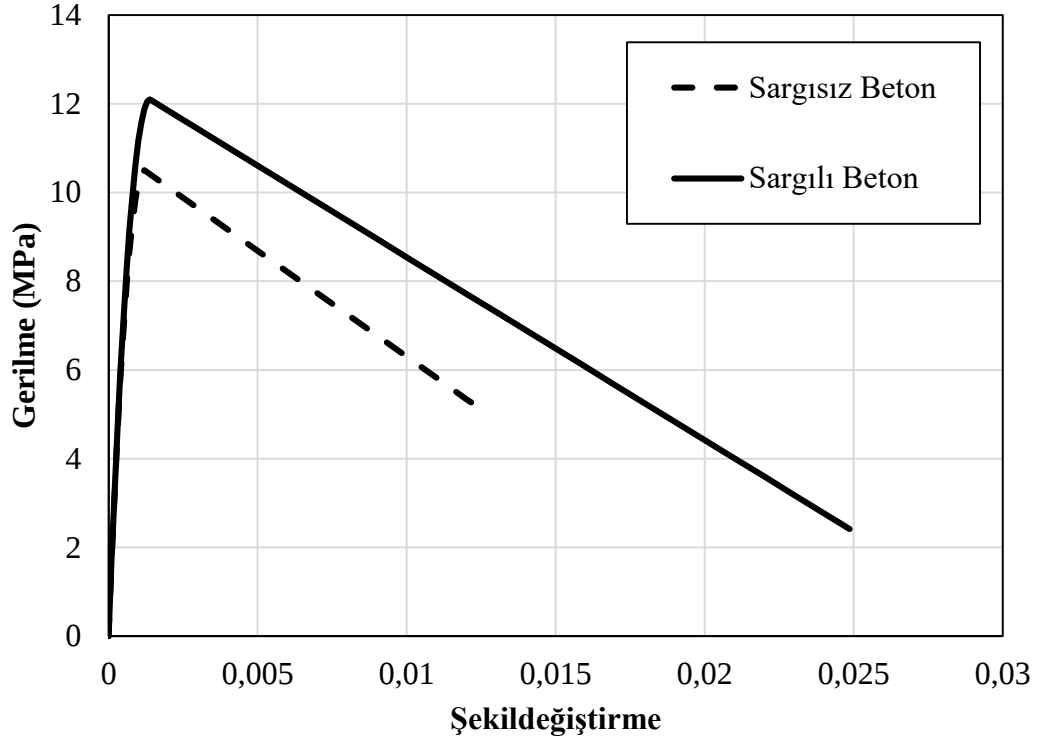
$$\left[\frac{\varepsilon_{cc} - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{co}} \right]_{TOTAL} = \left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} - 1 \right]_{CFRP} + \left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} - 1 \right]_{ITR} \quad (4.14)$$

4.2 Moment Eğrilikler

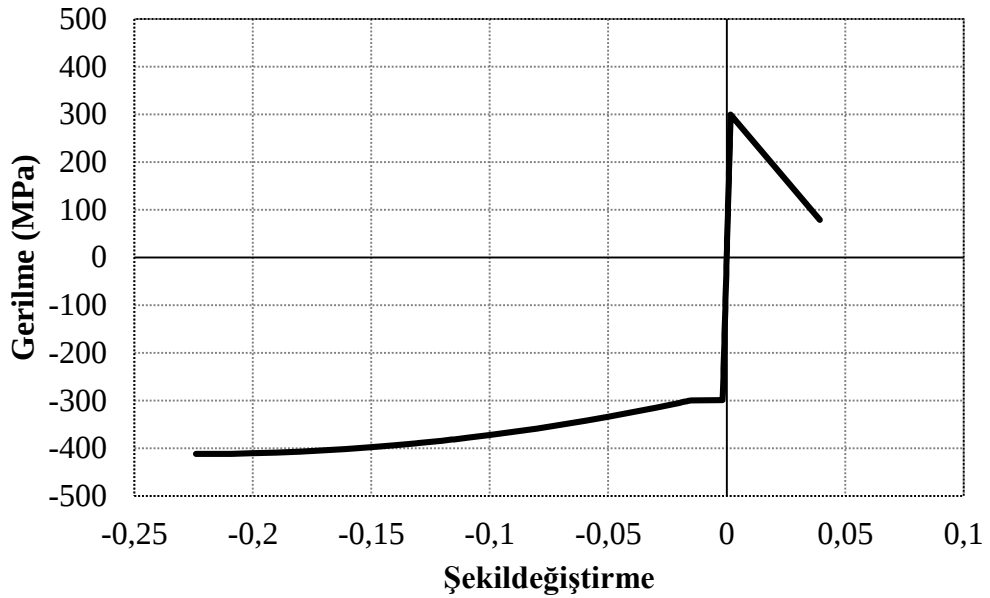
Bu bölümde belirtilen malzeme modelleri dikkate alınarak XTRACT paket programında elde edilen moment-eğrilik diyagramları her iki grup için hem refeans numuneler hem de güçlendirilmiş numuneler dikkate alınarak sunulmuştur.

4.2.1 RSP1 numunesi

RSP1 numunesi Grup 1 içerisinde yer alan referans kolonu temsil etmektedir. İlgili numunenin modellenmesinde kullanılan sargılı ve sargısız beton modeli Şekil 4.3'te sunulmuştur. Donatı çeliği olarak önceki bölümlerde belirtildiği gibi çekme bölgesinde elastoplastik, basınç bölgesinde burkulmalı donatı çeliği modeli kullanılmıştır. Boyuna donatıya ait elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 4.4'te sunulmuştur.

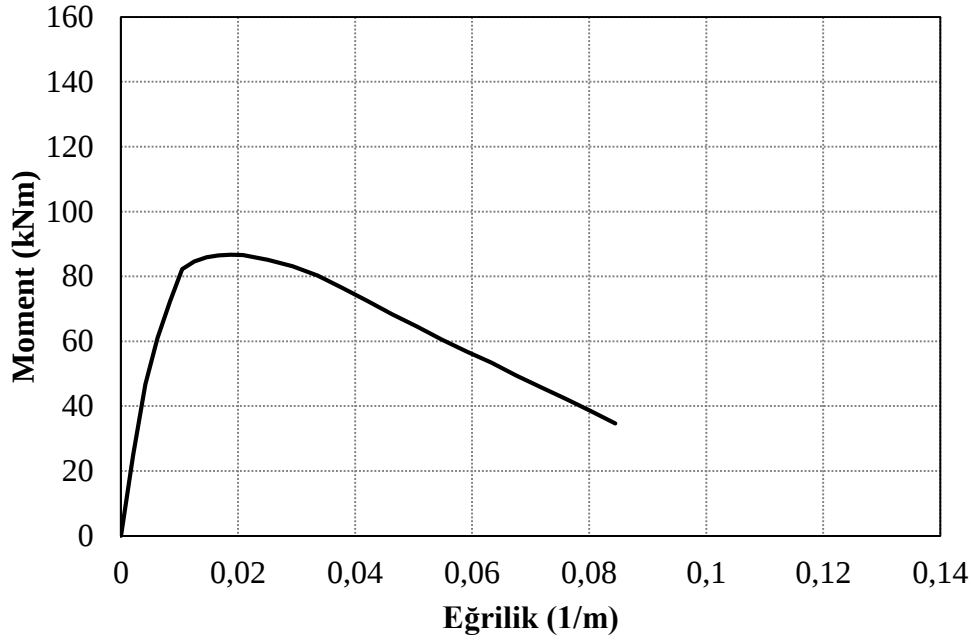


Şekil 4.3 : Sargılı ve sargısız beton modeli.



Şekil 4.4 : Burkulmalı donatı çeliği modeli.

Belirtilen modeller kullanılarak XTRACT paket programı yardımıyla elde edilen RSP1 numunesine ait moment eğrilik diyagramı Şekil 4.5’de sunulmuştur. İlgili diyagramda maksimum moment sonrasında gözlenen ani düşüş yüksek eksenel yük ve basınç bölgesinde boyuna donatının burkulmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

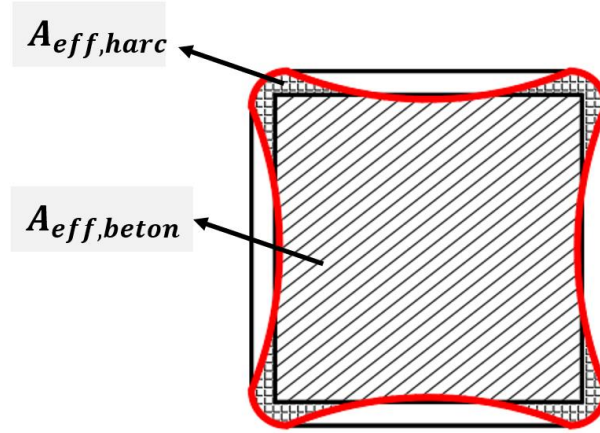


Şekil 4.5 : RSP1 kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.

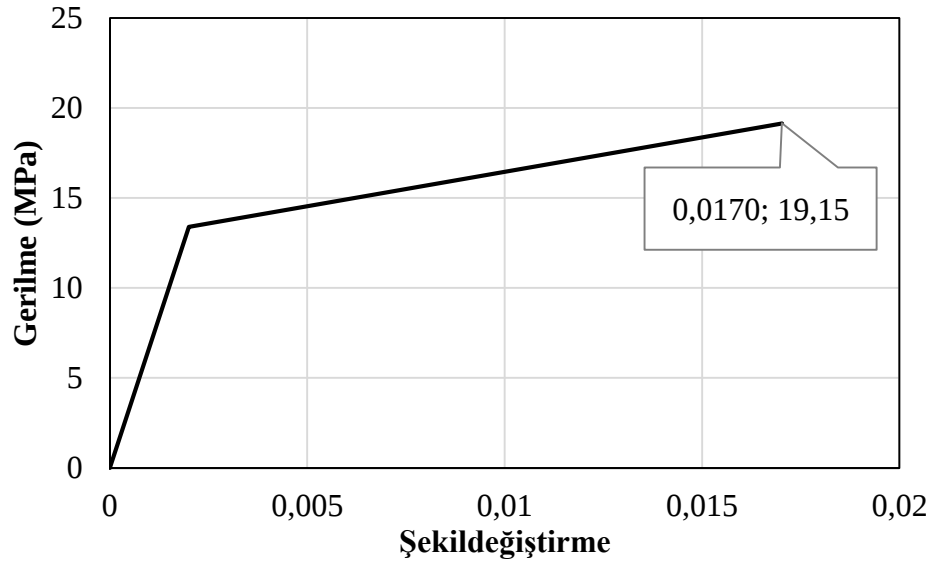
4.2.2 RSP1-J ve RSP1-J-R numuneleri

Grup 1 içerisinde yer alan RSP1-J-R kolonu bu çalışma kapsamında önerilen hibrit mantolama yöntemiyle güçlendirilen kolonları temsil ederken, RSP1-J numunesi önerilen yöntemden boyuna donatının çıkarılarak güçlendirilen numuneyi temsil etmektedir. Güçlendirilen numunelerde önceki bölümlerde belirtilen CFRP sargılı beton modeli kullanılmıştır. Lifli polimer kumaşlarla sargılanan kesitin dayanım ve şekildeğiştirme artışının hesaplanabilmesi adına, farklı kalınlığa ve basınç dayanımına sahip olan tamir harcı ve çekirdek beton kesitleri tek bir kesite indirgenmiştir (Şekil 4.6). Belirtilen indirgeme işleminde tamir harcı ve çekirdek beton kesitinin, lifli polimer kumaştan kaynaklanan etkili sargı alanı içerisinde kalan alanları hesaplanmıştır. Bu hesaplama işleminde AutoCAD (2019) paket programı kullanılmıştır. Hesaplanan bu alanlar ve dayanımlar gözönünde bulundurularak ağırlıklı ortama alınmış ve kesit tek bir dayanıma indirgenmiştir (Denklem 4.15). İlgili denklemde $A_{eff,beton}$ ve $A_{eff,harç}$ sırasıyla etkili sargı alanı içerisinde kalan beton ve yapısal tamir harcı alanları simgelemektedir. Belirtilen indirgeme işlemi sonucunda elde edilen kesit dayanımı dikkate alınarak lifli polimer kumaşla sargılanan kesitin nihai gerilme ve şekildeğiştirme eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.7).

$$f_c = \frac{(f_{c,beton} \times A_{eff,beton} + f_{c,harc} \times A_{eff,harc})}{(A_{eff,beton} \times A_{eff,harc})} \quad 4.15$$

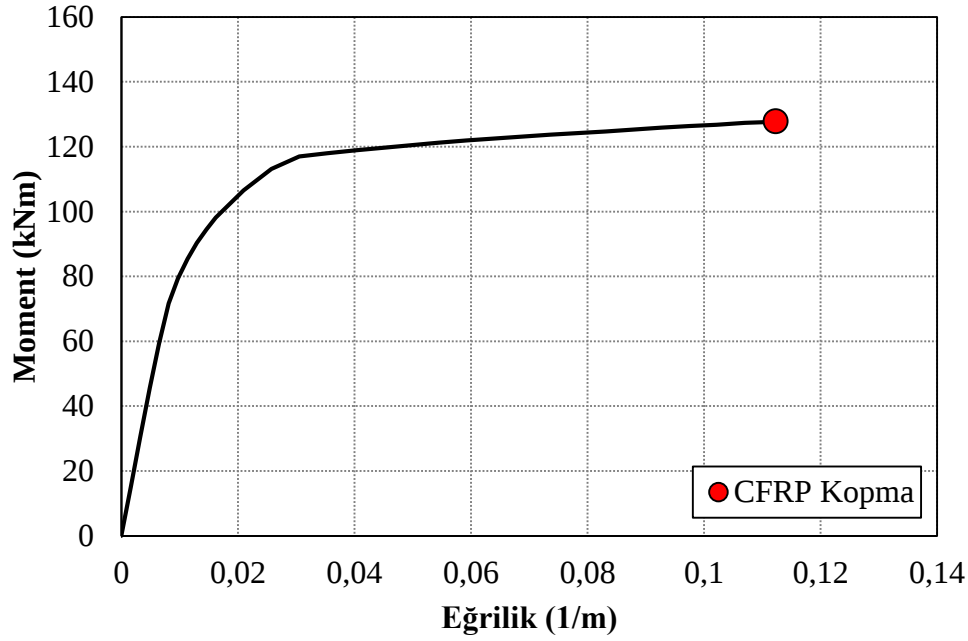


Şekil 4.6 : Lifli polimer kumaş sargılı kesitin etkili sargı alanı (Grup 1).

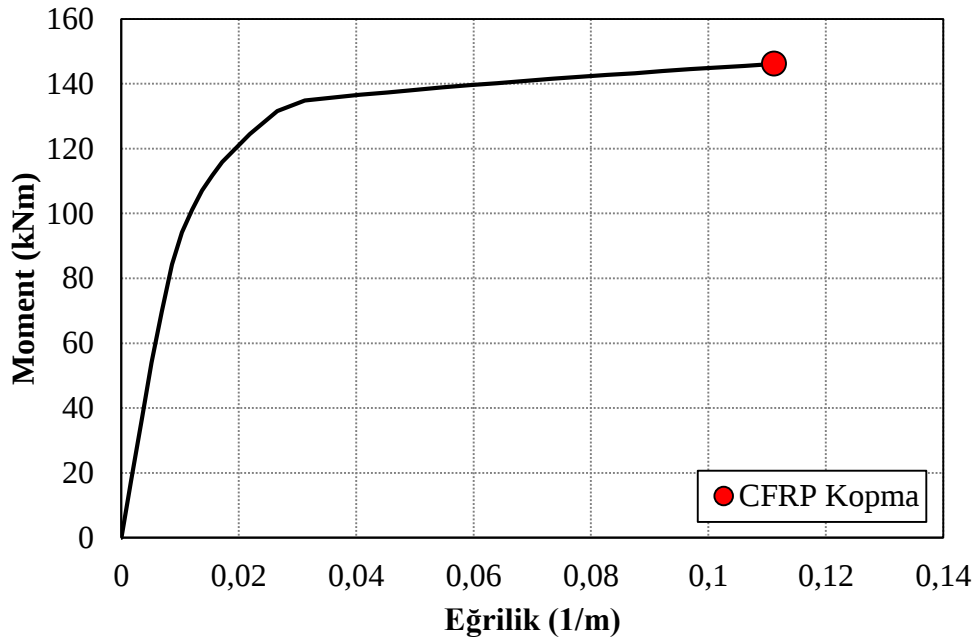


Şekil 4.7 : CFRP sargılı kesite ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Grup 1).

Her iki güçlendirilen numunede de (RSP1-J, RSP1-J-R) tüm kesit belirtilen eğriyle modellenmiştir. CFRP kumaş sargılamasıyla sağlanan yanıl sargı basıncına bağılı olarak hem mevcut hemde ilave donatıların burkulmasının önleneyeğı varsayılarak burkulma donatı çeliğı modeli güçlendirilen kolonlarda kullanılmamıştır. Belirtilen malzeme modelleri dikkate alınarak elde edilen moment eğrilik diyagramları sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da sırasıyla RSP1-J ve RSP1-J-R numuneleri için verilmiştir.



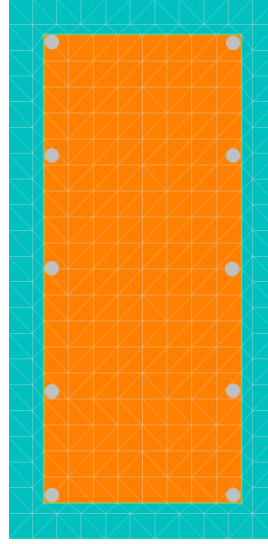
Şekil 4.8 : RSP1-J kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.



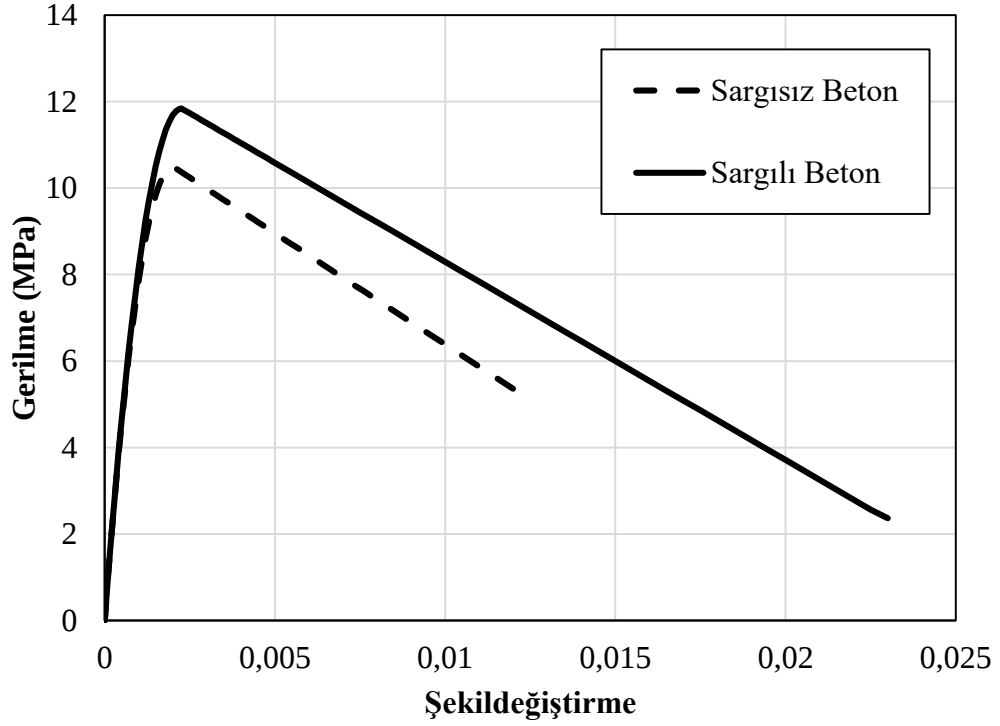
Şekil 4.9 : RSP1-J-R kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.

4.2.3 RSP2 numunesi

RSP1 numunesi Grup 2 içerisinde yer alan referans kolonu temsil etmektedir. İlgili numuneye ait kesit görüntüsü ve modelleme de kullanılan sargılı ve sargısız beton modelleri sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de sunulmuştur. Donatı çeliği olarak önceki bölümlerde detayları belirtilen burkulmalı donatı çeliği modeli kullanılmıştır (Şekil 4.4).

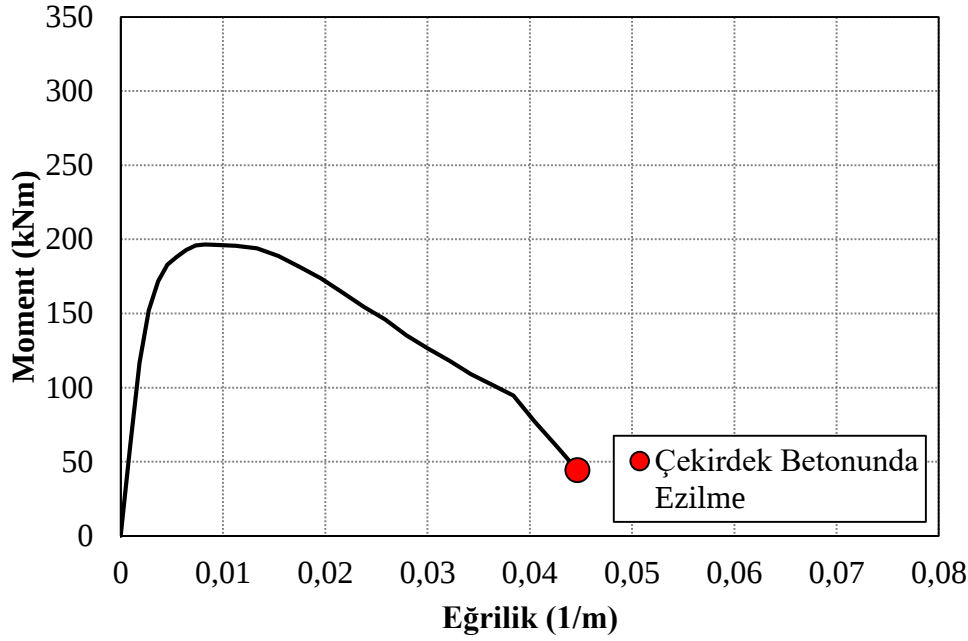


Şekil 4.10 : RSP2 kolonuna ait kesit görüntüsü



Şekil 4.11 : RSP2 kolonu için sargılı ve sargısız beton modeli.

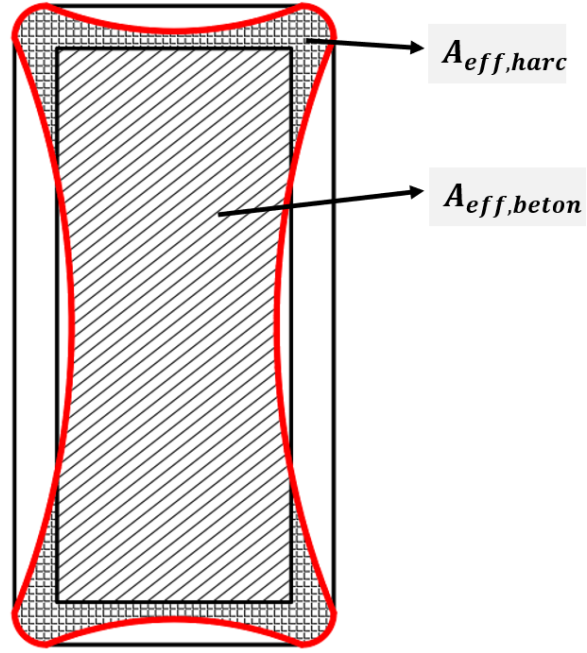
Belirtilen modeller kullanılarak XTRACT paket programı yardımıyla elde edilen RSP2 numunesine ait moment eğrilik diyagramı Şekil 4.12’de sunulmuştur. İlgili diyagramdan da görüleceği üzere kesit moment taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra etriyeler arası mesafenin genişliği ve yüksek eksenel yüke bağlı olarak boyuna donatılarda burkulmaya bağlı olarak moment kapasitesi negatif bir eğimle hızlıca kaybedilmiştir.



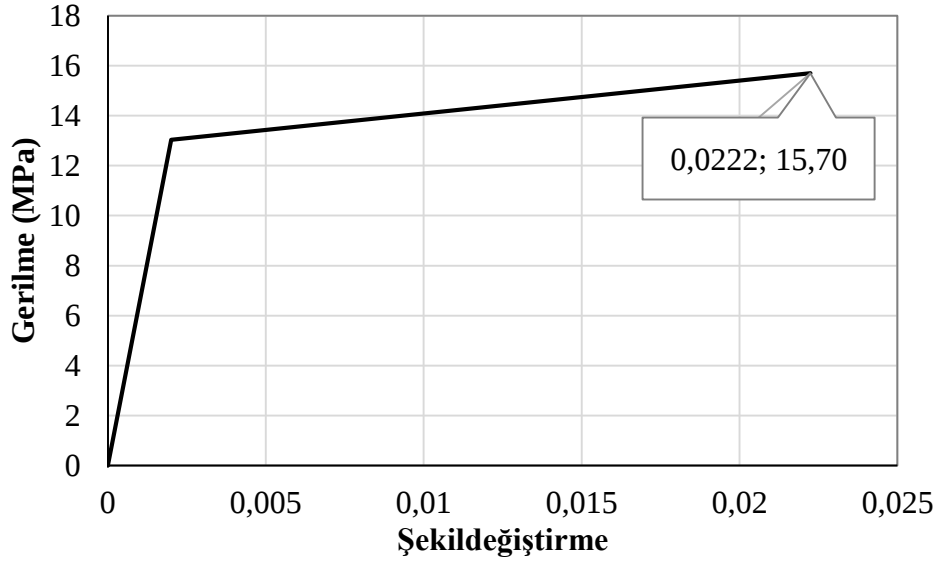
Şekil 4.12 : RSP2 kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.

4.2.4 RSP2-J ve RSP2-J-R numuneleri

Grup 2 içerisinde yer alan RSP2-J-R kolonu bu çalışma kapsamında önerilen hibrit mantolama yöntemiyle güçlendirilen kolonları temsil ederken, RSP2-J numunesi önerilen yöntemden boyuna donatının çıkarılarak güçlendirilen numuneyi temsil etmektedir. Güçlendirilen numunelerde önceki bölümlerde belirtilen CFRP sargılı beton modeli kullanılmıştır. Lifli polimer kumaşlarla sargılanan kesitin dayanım ve şekildeğiştirme artışının hesaplanabilmesi adına, Grup 1 kapsamında güçlendirilen numunelerde uygulanan yöntemle tek bir kesite indirgenmiştir. Belirtilen indirgeme işleminde tamir harcı ve çekirdek beton kesitinin, lifli polimer kumaştan kaynaklanan etkili sargı alanı içerisinde kalan alanları hesaplanmıştır (Şekil 4.13). Hesaplanan bu alanlar ve dayanımlar gözönünde bulundurularak ağırlıklı ortama alınmış ve kesit tek bir dayanıma indirgenmiştir (Denklem 4.15). Belirtilen indirgeme işlemi sonucunda elde edilen kesit dayanımı dikkate alınarak lifli polimer kumaşla sargılanan kesitin nihai gerilme ve şekildeğiştirme eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.14).

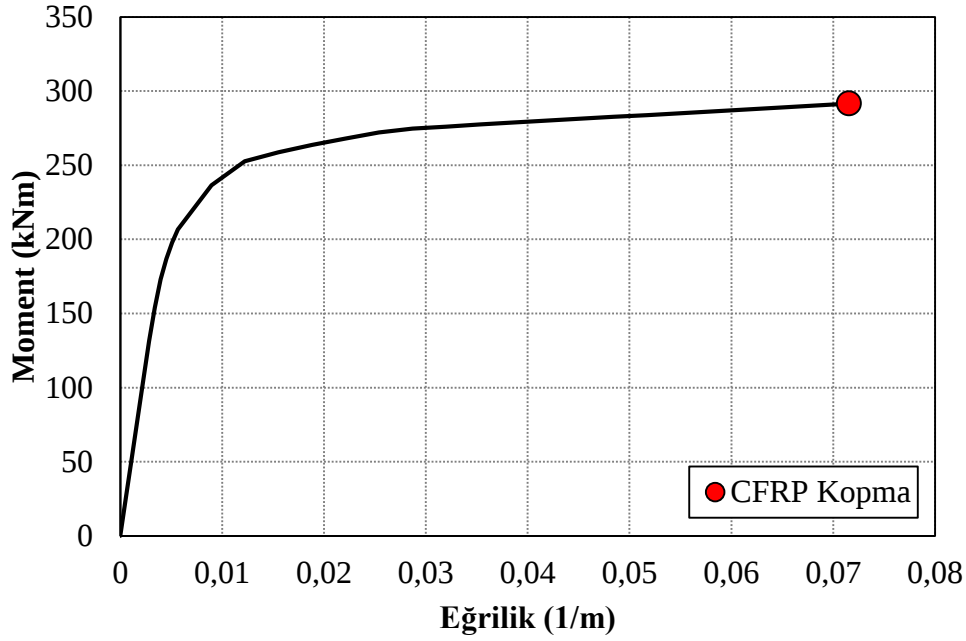


Şekil 4.13 : Lifli polimer kumaş sargılı kesitin etkili sargı alanı (Grup 2).

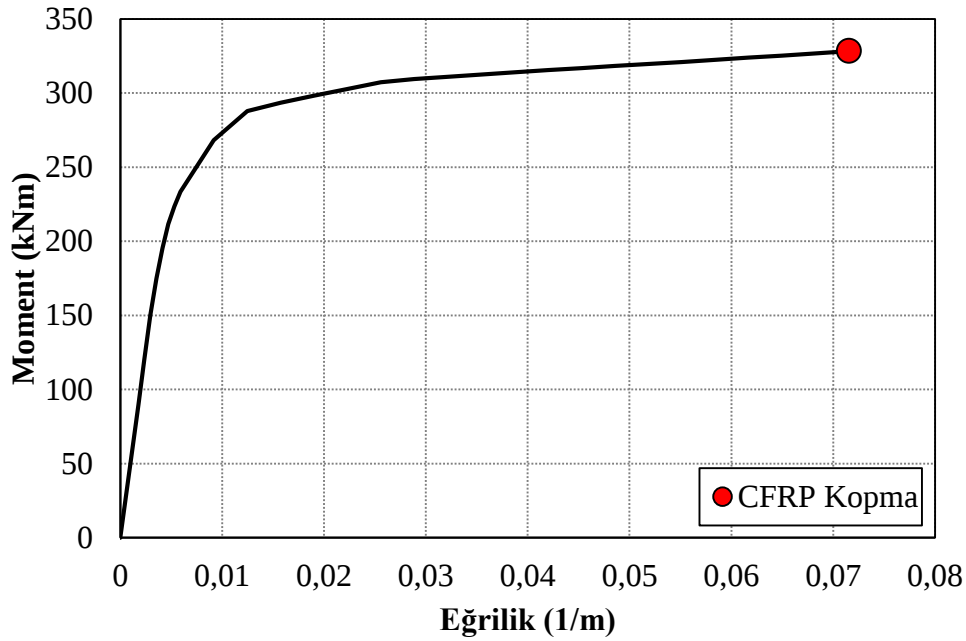


Şekil 4.14 : CFRP sargılı kesite ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Grup 2).

Her iki güçlendirilen numunede de (RSP2-J, RSP2-J-R) tüm kesit belirtilen eğriyle modellenmiştir. CFRP kumaş sargılamasıyla sağlanan yanıl sargı basıncına bağılı olarak hem mevcut hemde ilave donatıların burkulmasının önleneyeğı varsayılarak burkulma donatı çeliğı modeli güçlendirilen kolonlarda kullanılmamıştır. Belirtilen malzeme modelleri dikkate alınarak elde edilen moment eğrilik diyagramları sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sırasıyla RSP2-J ve RSP2-J-R numuneleri için verilmiştir.



Şekil 4.15 : RSP2-J kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.

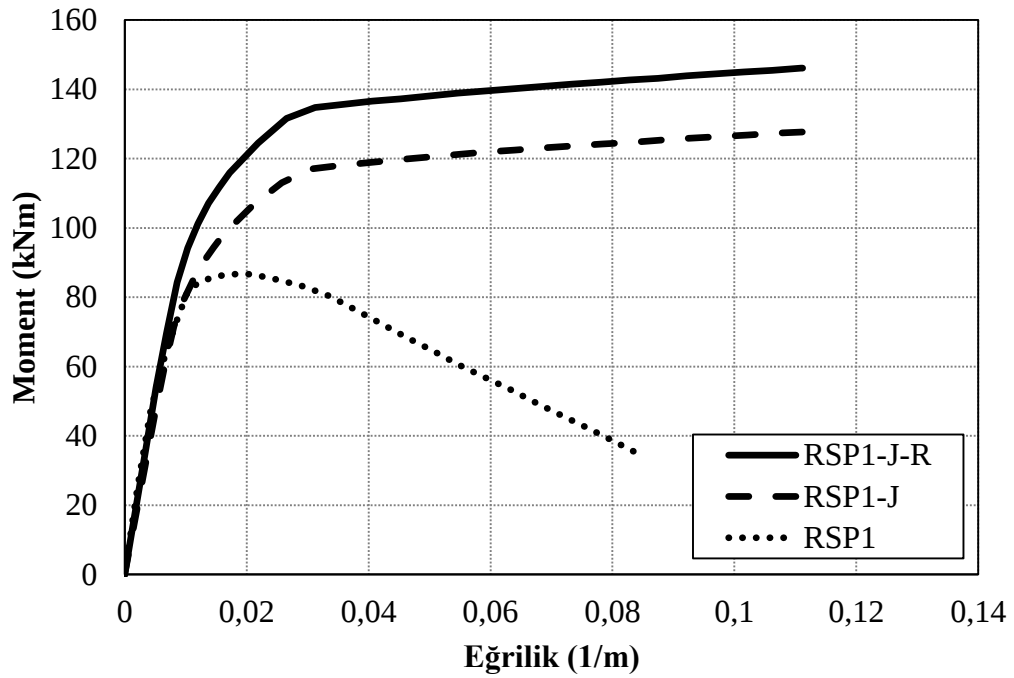


Şekil 4.16 : RSP2-J-R kolonuna ait moment-eğrilik diyagramı.

Grup 1 ve Grup 2 kapsamında teorik olarak moment-eğrilik diyagramları elde edilen referans ve güçlendirilmiş numuneler karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de sunulmuştur.

Grup 1 kolonları incelendiğinde referans numunenin barındırdığı standart altı nitelikler dolayısıyla (düşük beton basınç dayanımı, etriyeler arası geniş mesafe vb.) beklendiği gibi gevrek davranış sergileyerek güç tükenmesine ulaştığı görülmüştür. Maksimum

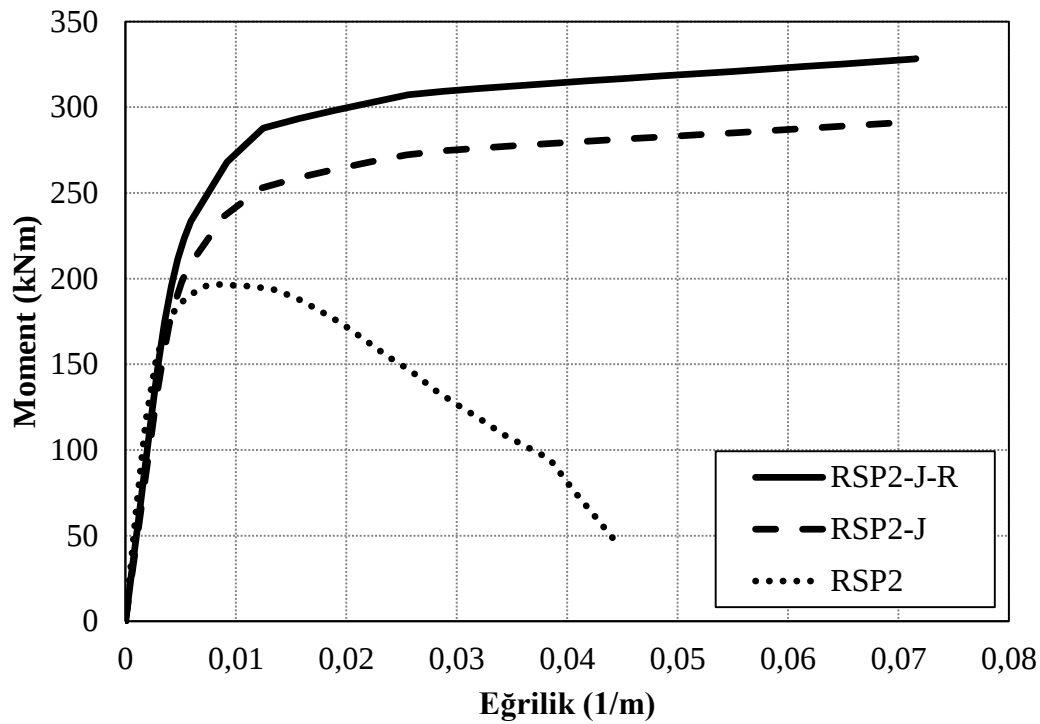
moment sonrasında yaşanan ani düşüş yüksek eksenel yük ve boyuna donatıda ki burkulma tarafından tetiklenmiştir. Grup 1 içerisinde ki güçlendirilen numunelere bakıldığında hibrit mantolama yöntemi ile güçlendirilen numune RSP1-J-R numunesinde hem moment kapasitesinde hemde süneklilikte ciddi bir artış gözlenmiştir. Moment taşıma kapasitesindeki artış, ilave edilen boyuna donatı ve tamir harcının dayanımının, belirtilen indirgenme işlemi ile kesit dayanımını eklenerek yükseltmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Süneklilikte gözlenen artış ise CFRP kumaş vasıtasıyla sağlanan yanal sargı basıncından kaynaklanmaktadır. Bir diğer güçlendirilen RSP1-J numunesinde boyuna donatı ilave edilmeden mantolama yapılmasına bağlı olarak elde edilen moment kapasitesinde artış nispeten daha az olmakla birlikte, süneklilikte de lifli polimerden kaynaklanan yanal sargı basıncına bağlı olarak iyileşme gözlenmiştir.



Şekil 4.17 : Grup 1 kolonları için moment-eğrilik diyagramlarının karşılaştırılması.

Grup 2 kolonları incelendiğinde referans numunenin (RSP2) belirtilen standart altı nitelikler dolayısıyla Grup 1 referans kolonu (RSP1) gibi gevrek davranış sergileyerek güç tükenmesine ulaşmıştır. Moment-eğrilik karşılaştırmaları incelendiğinde maksimum moment sonrasında yaşanan ani düşüş yüksek eksenel yük ve boyuna donatıda ki burkulma tarafından tetiklenmiştir. Grup 2 içerisinde ki güçlendirilen numunelere bakıldığında ise hibrit mantolama yöntemi ile güçlendirilen numune

RSP2-J-R numunesinde hem moment kapasitesinde hemde süneklikte iyileşme gözlenmiştir. Moment taşıma kapasitesindeki artış, ilave edilen boyuna donatı ve tamir harcının dayanımının, belirtilen indirgenme işlemi ile kesit dayanımını eklenerek yükseltmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Süneklikte gözlenen artış ise CFRP kumaş vasıtasıyla sağlanan yanıl sargı basıncından kaynaklanmaktadır. Bir diğır güçlendirilen RSP2-J numunesinde boyuna donatı ilave edilmeden mantolama yapılmasına bağılı olarak elde edilen moment kapasitesinde artış nispeten daha az olmakla birlikte, süneklikte de lifli polimerden kaynaklanan yanıl sargı basıncına bağılı olarak iyileşme gözlenmiştir.



Şekil 4.18 : Grup 2 kolonları için moment-eğrilik diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3 Kesit Analizi ile Tepe Deplasman Hesabı

Bu bölümde analitik olarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisinden yararlanılarak konsol kolonun yük-yerdeğiştirme diyagramları elde edilmiştir. İlgili hesapta konsol kolonun tepe yerdeğiştirme, doğrusal tepedeğiştirmesi (Δ_y) ve doğrusal olmayan tepe yerdeğiştirme (Δ_p) değerlerinin süperpoze edilmesiyle elde edilmiştir (Denklem 4.16). Akma yer değiştirmesinin hesabından, kolon boyunca oluşacak deformasyonların eleman boyunca doğrusal olduğu varsayımı yapılmıştır. Buna bağılı olarak elastik

deformasyonlar, kesit için atanan malzeme modelleriyle gerçekleştirilen moment eğrilik analizine bağlı olarak elde edilen akma eğriliği, kolon yüksekliği parametreleri dikkate alınarak Denklem 4.17 ile hesaplanmıştır. Plastik deformasyonların kesitin plastik mafsalsal bölgesi içerisinde yoğunlaşacağı varsayılarak, ilgili hesapta Pauley ve Priestley (1992) tarafından önerilen Denklem 4.18 kullanılmıştır. İlgili formülde plastik mafsalsal boyunu simgeleyen l_p , kesit yüksekliğinin yarısı olarak dikkate alınmıştır ($0.5h$). Kolon yüksekliği (l_s), kolon temel birleşimiyle yatay yükün uygulandığı noktanın arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. Yatay yük ve moment arasındaki ilişki Denklem 4.19 sunulmuştur. Bu denklemde M , V ve F sırasıyla taban momenti, taban kesitindeki kesme kuvvetini ve yükü simgelemektedir. Konsol kolonların elastik ve plastik yerdeğiştirmelerine ilişkin süperpoze edilmiş davranış Şekil 4.19 sunulmuştur.

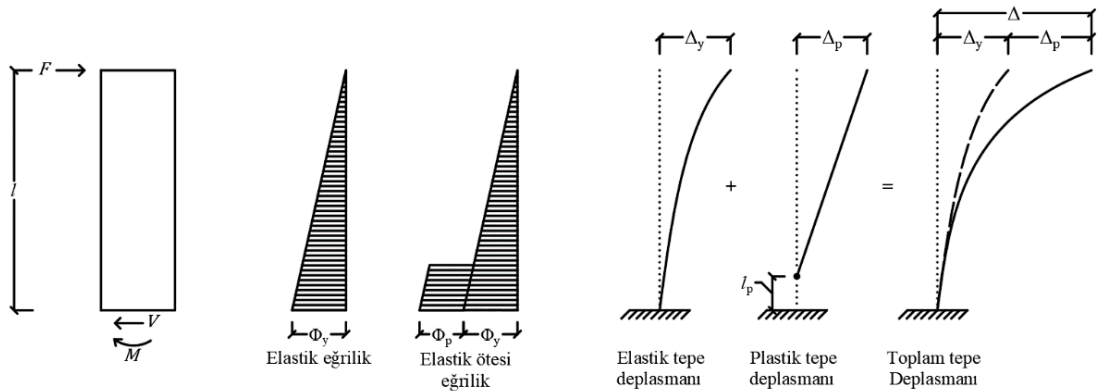
Her bir numune için moment-eğrilik ilişkisi, önceki bölümlerde belirtilen malzeme kabulleriyle XTRACT adlı kesit analizi programı yardımıyla elde edilmiştir. Belirtilen formüller kullanılarak analitik yatay yük-yerdeğiştirme ilişkileri hesaplanmıştır.

$$\Delta = \Delta_y + \Delta_p \quad 4.16$$

$$\Delta_y = \frac{\Phi_y \times l_s^2}{3} \quad 4.17$$

$$\Delta_p = (\Phi_m - \Phi_y) l_p (l - 0.5 l_p) \quad 4.18$$

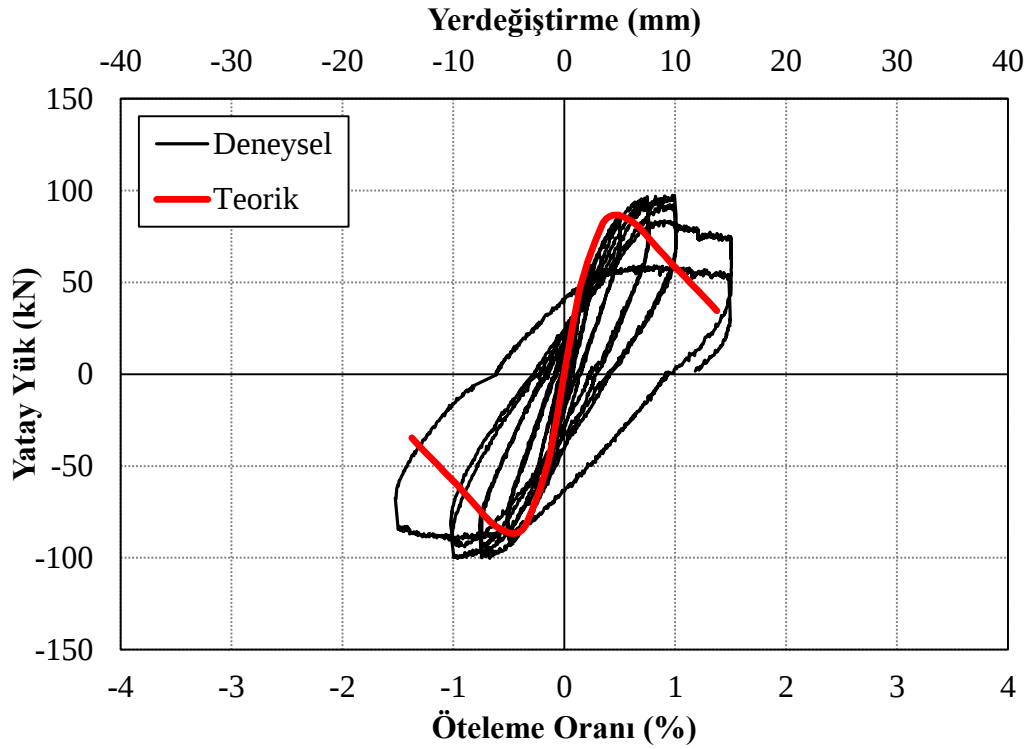
$$M = F \times l_s \quad 4.19$$



Şekil 4.19 : Konsol elemanın davranışı.

4.3.1 RSP1 numunesi için analitik hesaplar

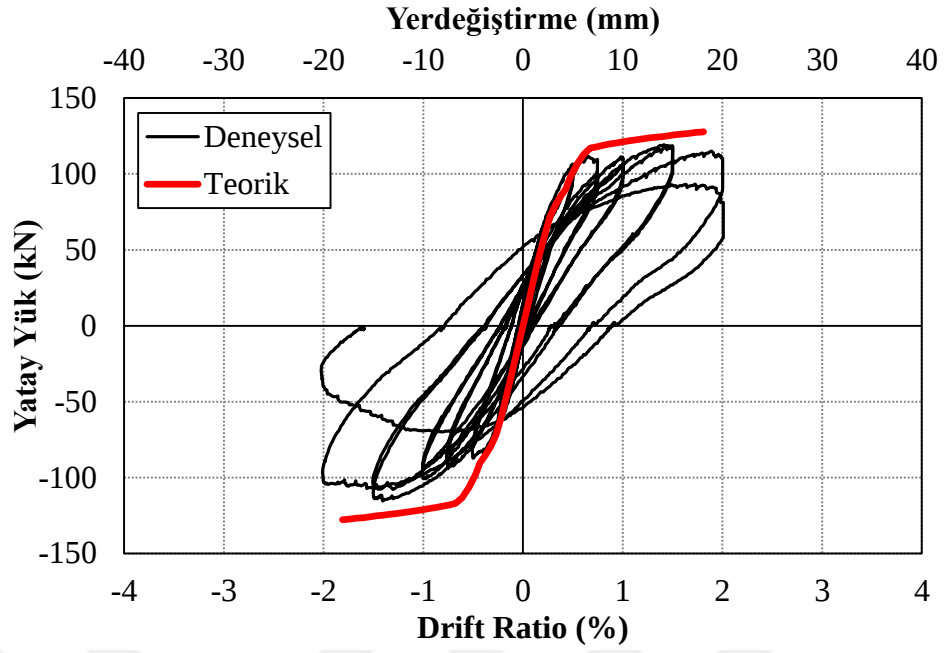
Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait referans numune için (RSP1) elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak şekil 4.20’de sunulmuştur. Tüm numunelerde, elde edilen davranışın, kesit ve donatı detaylarının simetrik olmasına bağlı olarak çekme bölgesi içinde aynı olacağı varsayılmıştır.



Şekil 4.20 : RSP1 kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3.2 RSP1-J numunesi için analitik hesaplar

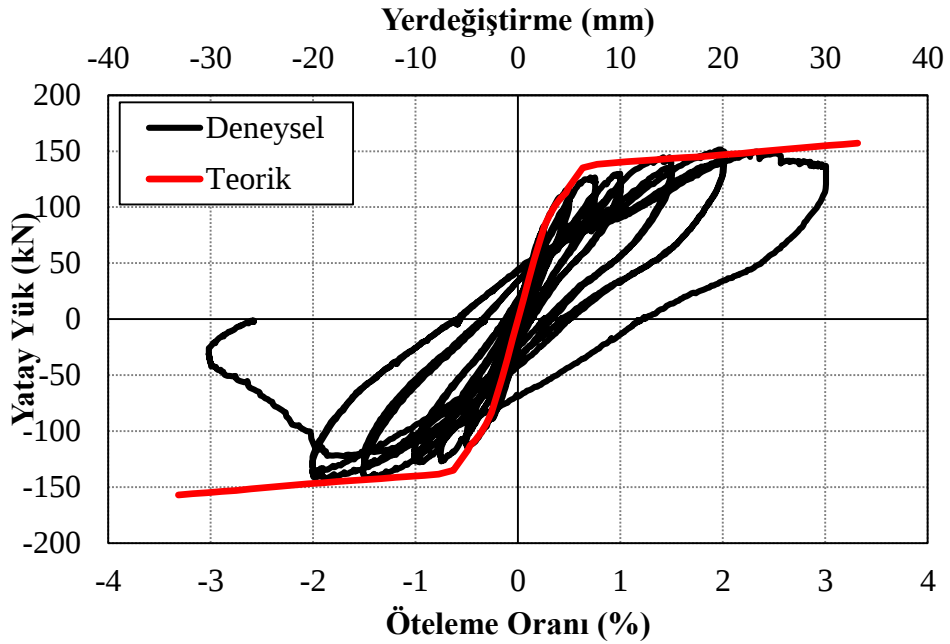
Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait hibrit mantolama yöntemi içerisinde yer alan ilave boyuna donatıların kullanılmadığı güçlendirme durumuna ait RSP1-J numunesi için elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak şekil 4.21’de sunulmuştur.



Şekil 4.21 : RSP1-J kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3.3 RSP1-J-R numunesi için analitik hesaplar

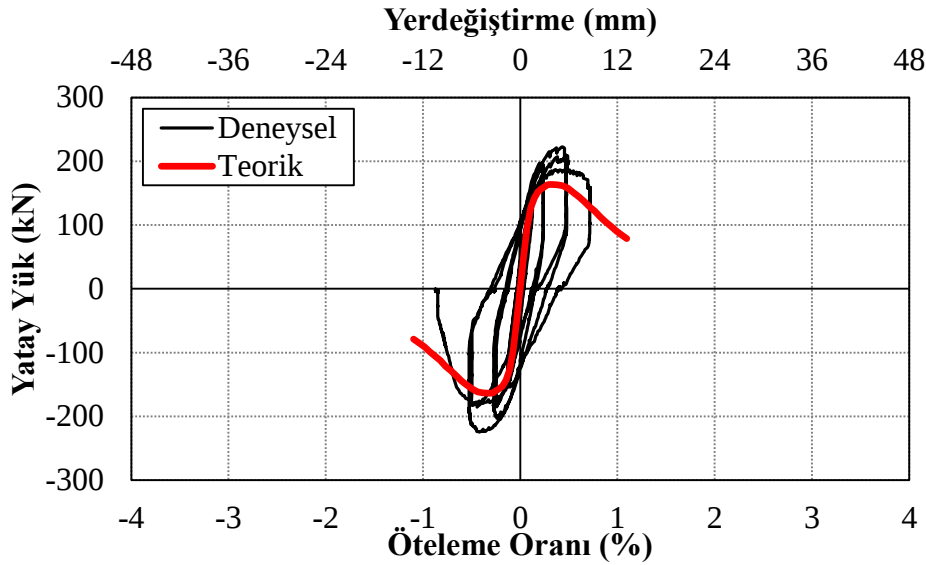
Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait hibrit mantolama yöntemiyle güçlendirme durumuna ait RSP1-J-R numunesi için elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.22’de sunulmuştur.



Şekil 4.22 : RSP1-J-R kolonu için için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3.4 RSP2 numunesi için analitik hesaplar

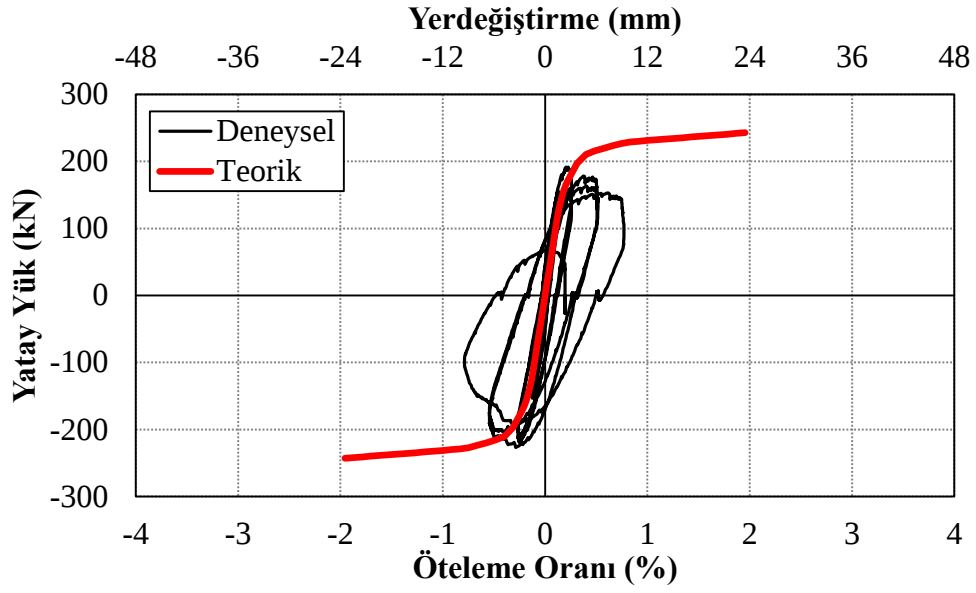
Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait referans numune için (RSP2) elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.23’de sunulmuştur.



Şekil 4.23 : RSP2 kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3.5 RSP2-J numunesi için analitik hesaplar

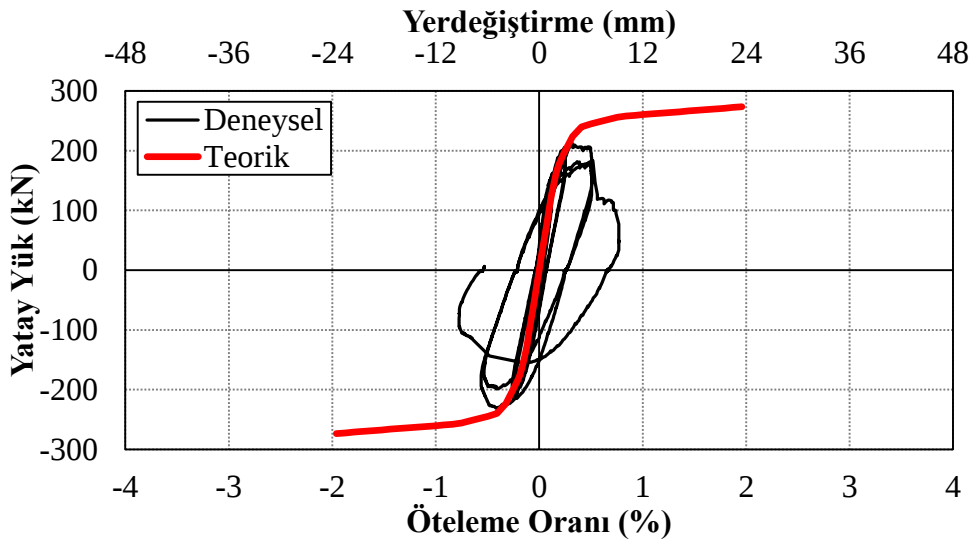
Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait hibrit mantolama yöntemi içerisinde yer alan ilave boyuna donatıların kullanılmadığı güçlendirme durumuna ait RSP2-J numunesi için elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.24’de sunulmuştur. İlgili kolonun analitik olarak elde edilen nihai yerdeğiştirme değerinin, deneysel çalışmaya nispetle çok ileride çıkmasının temel sebebi, FRP sargılı beton için kullanılan model kapsamında, sargı basıncının hesabında dikkate alınan $\epsilon_{h,frp}$ değerinin lifli polimer kumaşın nihai kopma uzamasının %85’i mertebesinde alınmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak lifli polimer kumaşların %3.5 ötelenme oranlarına kadar kopmayacağı varsayılarak analitik hesaplar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.24 : RSP2-J kolonu için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

4.3.6 RSP2-J-R numunesi için analitik hesaplar

Belirtilen esaslar dikkate alınarak en-boy oranı bir olan kolon grubuna ait hibrit mantolama yöntemiyle güçlendirme durumuna ait RSP1-J-R numunesi için elde edilen teorik ve analitik yük-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.25’de sunulmuştur.. İlgili numunede de RSP2-J numunesinde belirtilen sebeplerden dolayı deneysel çalışmaya nispetle daha ileri öteleme oranına gidilmiştir. Bunun yanında Grup 2 kapsamında güçlendirilmiş numuneler kıyaslandığında teorik olarak yatay yük kapasitesinde ki artış boyuna donatı katkısıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.25 : RSP2-J-R için teorik ve deneysel yük-yerdeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

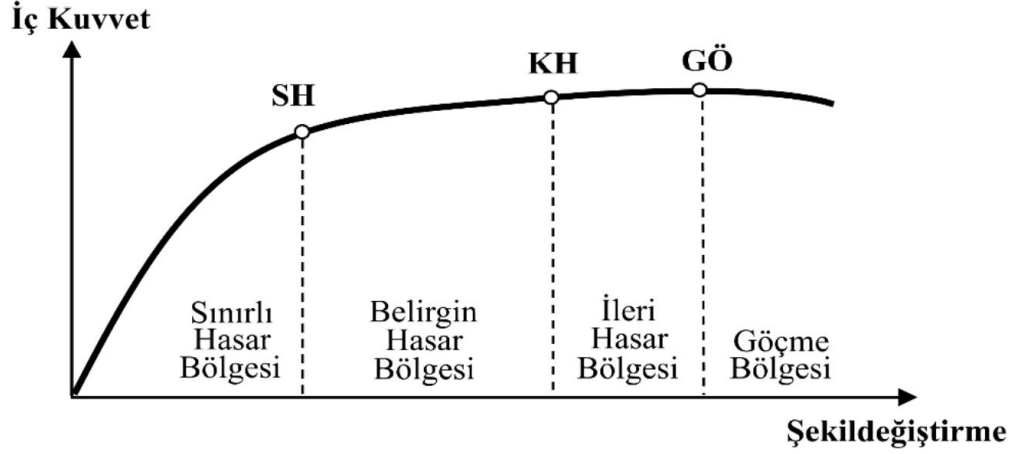


5. PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde test edilen tüm kolonların TBDY (2018)'ye göre performans değerlendirmesi ayrı ayrı sunulmuştur. Önceki bölümde güçlendirilmiş kolonların lifli polimer kumaş sargılı kesitleri için nihai gerilme-şekildeğiştirme değerleri hesaplanırken İlki ve diğ. (2008) tarafından önerilen model kullanılırken, yönetmeliğe göre performans değerlendirmesi yapılan bu bölümde, LP sargılı kesitin nihai gerilme-şekildeğiştirme değerleri yönetmelik sınırları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda Denklem 4.8'de yer alan $\epsilon_{h,rup}$ ifadesi için $0.5\epsilon_{fu}$ ve 0.01'den küçük olanı seçilmiştir.

5.1 TBDY (2018)

Bu bölümde test edilen tüm numunelerin TBDY (2018) yönetmeliğine göre performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Yapı elemanlarında kesit bazında TBDY 2018 tarafından üç temel hasar belirtilmiştir. Bu hasarlar, kısmi miktarda elastik ötesi davranışı tanımlayan sınırlı hasar (SH), kesit dayanımının güvenli olarak korunabileceği elastik ötesi davranışa tanımlayan kontrollü hasar (KH) ve ileri düzeyde elastik ötesi davranışın tanımlayan göçme öncesi (GÖ) hasar durumudur. Bu hasar durumları göz önünde bulundurularak tanımlanan dört hasar bölgesi Şekil 5.1'de tanımlanmıştır. Kesit hasar durumu SH'ya ulaşmayan elamanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, hasar durumu SH ile KH arasında yer alan kesitler Belirgin Hasar Bölgesi'nde, hasar durumu KH ile GÖ arasında yer alan kesitler İleri Hasar Bölgesi'nde ve GÖ hasar sınırını aşan kesitler ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadır.



Şekil 5.1 : Kesit hasar bölgeleri (TBDY,2018).

Belirtilen hasar sınırları TBDY (2018) tarafından şekildeğiştirme ve plastik dönme tabanlı olmak üzere ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu çalışmada hasar sınırları plastik dönme talepleriyle tanımlanan sınırlar kullanılmıştır. GÖ hasar sınırı için plastik dönme talebi ve buna bağlı olarak hesaplanan KH sınırına ait plastik dönme talebi sırasıyla Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 yardımıyla hesaplanmıştır. İlgili formüllerde ϕ_u ve ϕ_y sırasıyla göçme öncesi eğrilik ve akma eğriliğini simgelerken, l_p , l_s ve d_b ise sırasıyla plastik mafsal boyu, kesme açıklığı ve boyuna donatı çapını belirtmektedir. Numunelerin hasar sınırları, verilen denklemler yardımıyla hesaplanan plastik dönme sınırlarına karşılık gelen sayısal değerlerin, analitik çalışmadan elde edilen dönme değerleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. SH hasar sınırı için plastik dönme talebi ($\theta_p^{(SH)}$) betonun basınç bölgesindeki en dış lifinde 0.002 kısalmaya karşı gelen dönme değeri kabul edilmiştir.

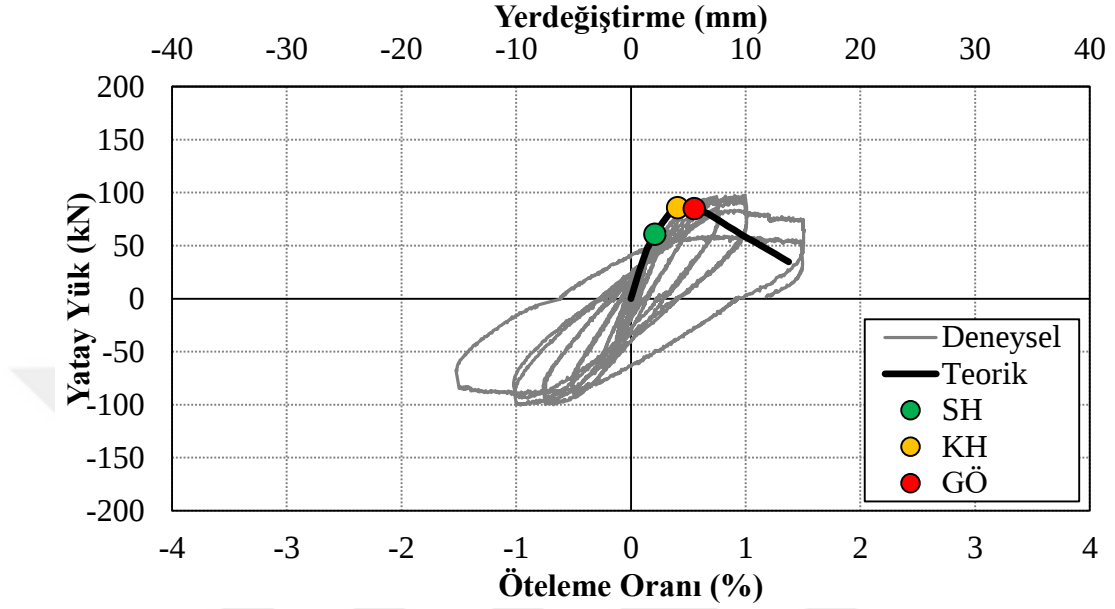
$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) l_p \left(1 - 0.5 \frac{l_p}{l_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad 5.1$$

$$\theta_p^{(GÖ)} = 0.75 \theta_p^{(KH)} \quad 5.2$$

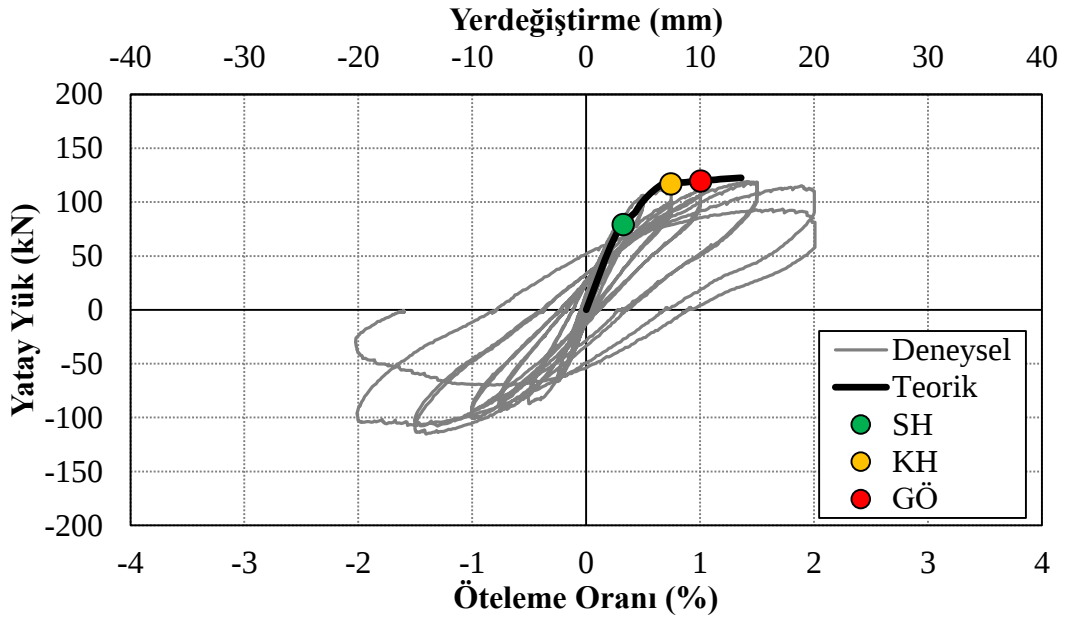
5.1.1 Grup 1 numuneleri

Belirtilen hesaplamalar yardımıyla Grup 1 içerisinde referans numune olarak değerlendirilen RSP1 kolonuna ait performans düzeyleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Tüm kolonlar için performans değerleri, testin itme yönünde başlatılmasından dolayı sadece itme yönü dikkate alınarak sunulmuştur. İlgili şekil incelendiğinde itme yönünde %1 öteleme oranında dayanım kaybı başlayan numune için TBDY tarafından GÖ hasar

sınırı için öngörülen öteleme oranının %0.5 mertebesinde kaldığı gözlenmiştir. Belirtilen numunenin yüksek aksenal yük ve kesme oranlarına maruz kalması gözönünde bulundurulduğunda, TBDY tarafından öngörülen GÖ hasar sınırının güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.



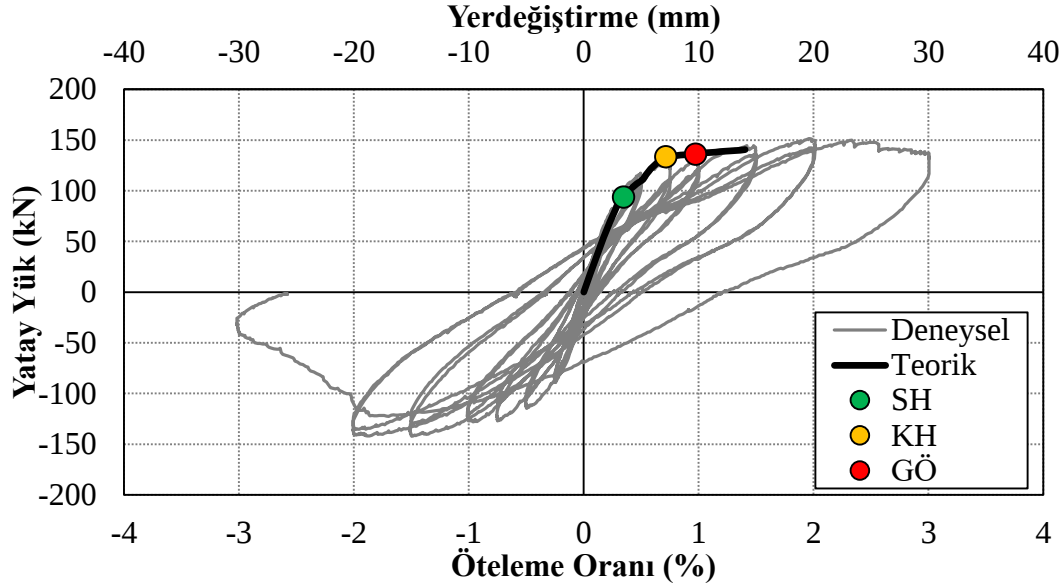
Şekil 5.2 : RSP1 kolonuna ait performans sınırları.



Şekil 5.3 : RSP1-J kolonuna ait performans sınırları.

Belirtilen denklemler yardımıyla Grup 1 içerisinde hibrit mantolama yöntemi içerisindeki boyuna donatının etkinliğinin incelenmesi adına sadece yapısal tamir harcı ve CFRP kumaş kullanımıyla güçlendirilen RSP1-J kolonuna ait performans düzeyleri

Şekil 5.3’de sunulmuştur. İlgili şekil incelendiğinde numunenin deneyde itme yönünde herhangi bir dayanım kaybı yaşamadan %2 öteleme oranına ulaştığı gözlenmiştir. Elde edilen teorik yük-yerdeğiştirme eğrisinde son nokta CFRP kumaşa kopmaya karşılık gelmektedir. İlgili numunesi için TBDY tarafından GÖ hasar sınırı için öngörülen öteleme oranının %1 mertebesinde kaldığı gözlenmiştir. Bu değer RSP1-J numunesinin deneysel davranışı gözönünde bulundurulduğunda TBDY tarafından öngörülen GÖ hasar sınırının yarı yarıya güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.



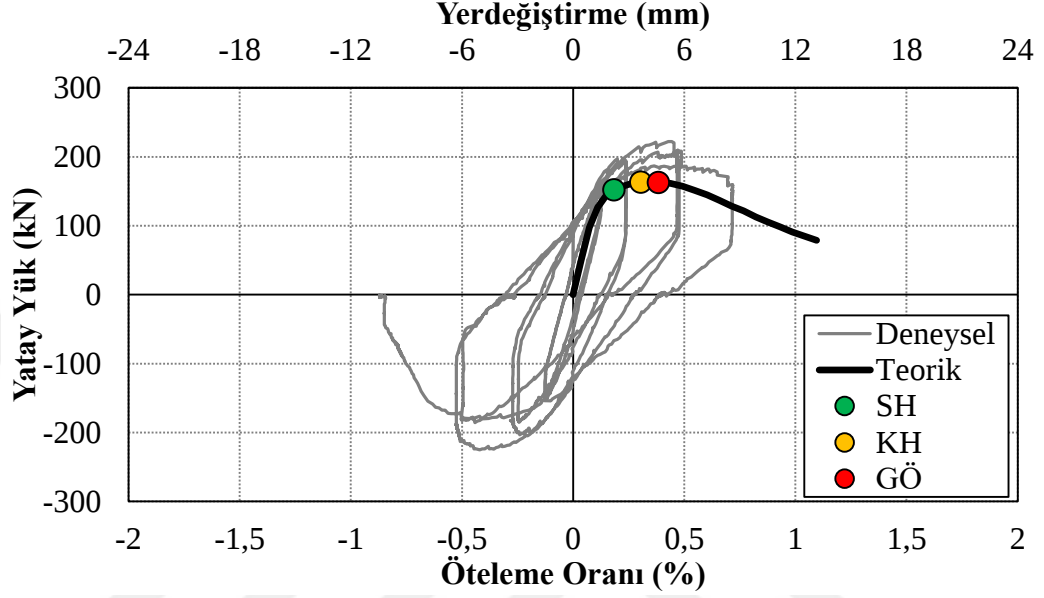
Şekil 5.4 : RSP1-J-R kolonuna ait performans sınırları.

Belirtilen denklemler yardımıyla Grup 1 içerisinde hibrit mantolama yöntemi güçlendirilen RSP1-J-R kolonuna ait performans düzeyleri Şekil 5.4’de sunulmuştur. İlgili şekil incelendiğinde numunenin deneyde itme yönünde herhangi bir dayanım kaybı yaşamadan %3 öteleme oranına ulaştığı gözlenmiştir. Elde edilen teorik yük-yerdeğiştirme eğrisinde son nokta CFRP kumaşa kopmaya karşılık gelmektedir. İlgili numunesi için TBDY tarafından GÖ hasar sınırı için öngörülen öteleme oranının %1 mertebesinde kaldığı gözlenmiştir. Bu değer RSP1-J-R numunesinin deneysel davranışı gözönünde bulundurulduğunda TBDY tarafından öngörülen GÖ hasar sınırının oldukça güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

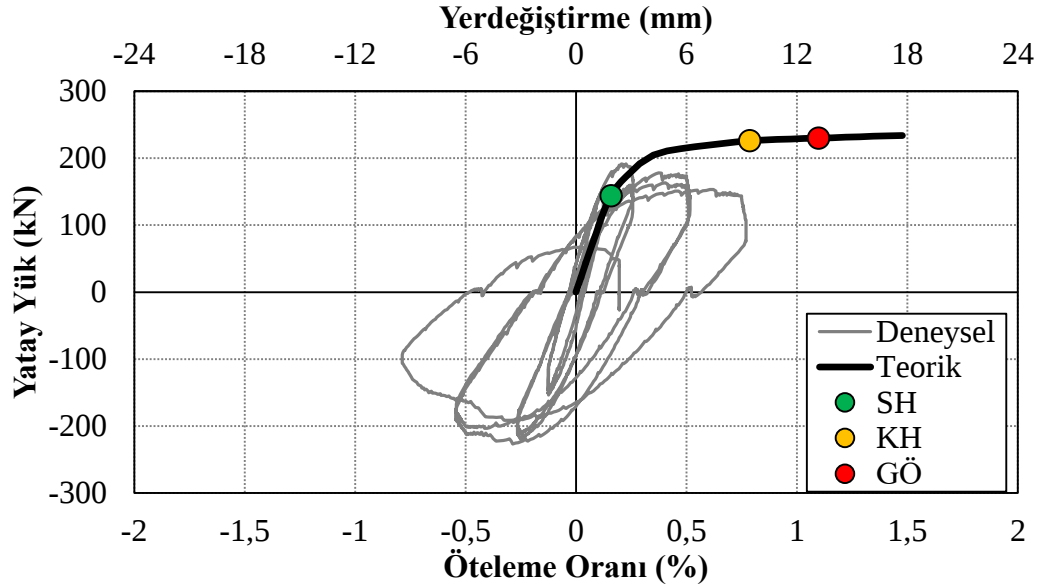
5.1.2 Grup 2 numuneleri

Belirtilen hesaplamalar yardımıyla Grup 2 içerisinde referans numune olarak değerlendirilen RSP2 kolonuna ait performans düzeyleri Şekil 5.5’de verilmiştir. Tüm kolonlar için performans değerleri, testin itme yönünde başlatılmasından dolayı sadece

itme yönü dikkate alınarak sunulmuştur. İlgili şekil incelendiğinde itme yönünde %0.5 öteleme oranında dayanım kaybı başlayan numune için TBDY tarafından GÖ hasar sınırı için öngörülen öteleme oranının da %0.5 mertebesinde kaldığı gözlenmiştir. Yüksek eksenel yük ve kesme oranlarına maruz kalan RSP2 kolonun için TBDY tarafından öngörülen GÖ hasar sınırının riskli olduğu söylenebilir.



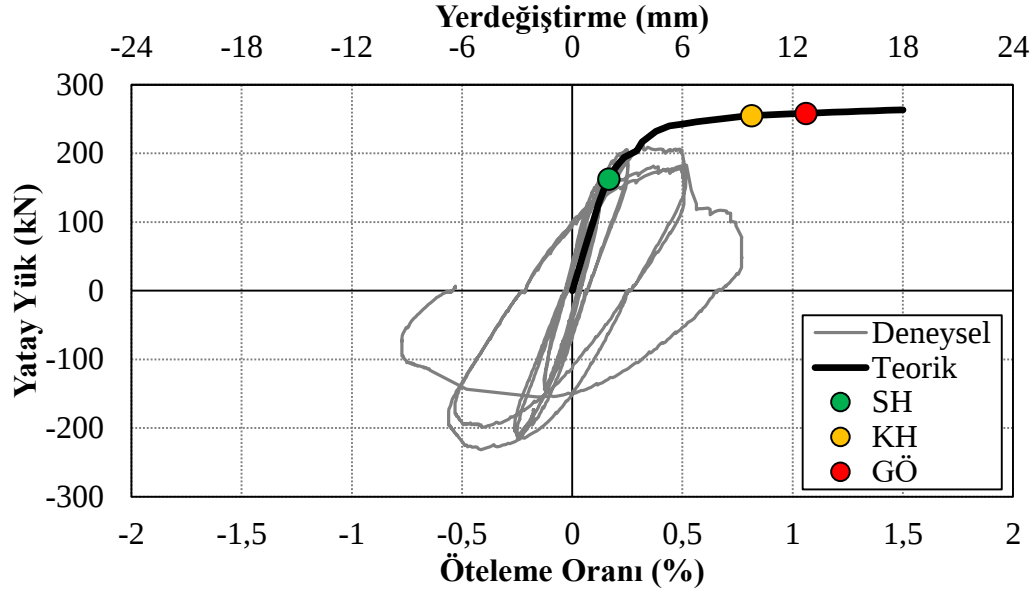
Şekil 5.5 : RSP2 kolonuna ait performans sınırları.



Şekil 5.6 : RSP2-J kolonuna ait performans sınırları.

Belirtilen denklemler yardımıyla Grup 2 içerisinde hem hibrit mantolama yöntemi içerisindeki boyuna donatının etkinliğinin incelenmesi adına sadece yapısal tamir harcı ve CFRP kumaş kullanımıyla güçlendirilen RSP2-J kolonuna hemde hibrit mantolama

yöntemi güçlendirilen RSP2-J-R kolonuna ait performans düzeyleri sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sunulmuştur. Grup 2 içerisinde yer alan güçlendirilmiş kolonlarda, referans numuneye kıyasla, süneklik ve yatay yük taşıma kapasitesinde herhangi bir iyileşmenin gözlenmemesine ait sebepler önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Buna bağlı olarak RSP2-J ve RSP2-J-R kolonları için TBDY tarafından öngörülen performans sınırlarının deneysel verilerle karşılaştırılması makul gözükmemektedir.



Şekil 5.7 : RSP2-J-R kolonuna ait performans sınırları.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında geleneksel mantolama yöntemlerine alternatif olarak yenilikçi bir hibrit ince mantolama yöntemi önerilmiştir. İlgili mantolama yöntemi, Türkiye ve birçok gelişmekte olan ülkenin yapı stoğunu içerisinde yer alan standart altı yapıları temsilen, standart altı betonarme kolonlar üzerine uygulanmıştır. En-boy oranı dikkate alınarak iki gruba ayrılan numuneler üzerinde ilgili yöntemin, deprem performansına etkisi incelenmiştir. Tüm numuneler sabit eksenel yük ve çevrimsel yatay yükleme altında test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Geleneksel betonarme mantolama yönteminin aksine, önerilen hibrit ince mantolama yöntemi herhangi bir kalıp kurma işlemi gerektirmemektedir. Aynı zamanda yöntem kapsamında yoğun enine ve boyuna donatı ilavesi kullanılmayışı dolayısıyla ilgili yöntem hızlı ve pratik bir uygulamaya sahiptir.
- Önerilen hibrit ince mantolama yöntemiyle güçlendirilen Grup 1 kolonunun (RSP1-J-R) yatay yük taşıma kapasitesinde referans kolona kıyasla gözlenen artış yapısal tamir harcından kaynaklanmıştır. Ayrıca, numunenin köşelerine ekilmiş dört adet boyuna donatı, elemanın yanıl yük kapasitesini arttırarak ilgili kolonun eğilme dayanımında bir artışı netice vermiştir.
- RSP1-J numunesi önerilen yöntem içerisinde kullanılan boyuna donatının çıkarılması durumunda dahi süneklikte referans kolona nispeten belirgin bir artış ortaya koyduğu ispatlamıştır.
- Grup 1 kategorisi içerisinde yer alan güçlendirilmiş kolonların, yatay yük ve süneklik parametlerinde gözlenen artış, yüksek eksenel yük ve kesme oranlarına sahip standart altı betonarme kolonlarda elde edilmiştir. Önerilen yöntemin nispeten daha düşük eksenel yük ve kesme oranlarında daha etkili bir performans sergileyeceği düşünülmektedir.
- Grup 2 kategorisi içerisinde yer alan güçlendirilmiş kolonlarda (RSP2-J, RSP2-J-R) referans numuneye kıyasla yatay yük taşıma kapasitesi ve süneklik

değerlerinde herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir. Bu durum tamir harcının ilgili numunelerde uygulandığı kesitin kalınlığının nispeten yüksek olmasına bağlı olarak oluşan kademeli uygulamadan kaynaklanmaktadır. Bu kademeli uygulamaya bağlı olarak harç yüzeyleri arasında yeterli bir aderans sağlanamamış ve yapısal tamir harcından etkili bir şekilde faydalanılamamıştır.

- Aynı uygulama adımlarıyla güçlendirilmiş olmalarına rağmen, farklı nitelikteki yapısal tamir harcı kullanımına bağlı olarak gelişen başarısızlık, önerilen hibrit ince mantolama yönteminin etkinliğinin, uygulanacak kesit kalınlığı için uygun özellikteki yapısal tamir harcı kullanımıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.



KAYNAKLAR

- ACI 374.2R-13** Guide for testing Reinforced Concrete Structural Elements under Slowly Applied Simulated Seismic Loads. 3(2), 54–67.
<http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- TBDY** (2018) Türk bina deprem yönetmeliği (2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Cho, C. G., Han, B. C., Lim, S. C., Morii, N., & Kim, J. W. (2018).** Strengthening of reinforced concrete columns by High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composite (HPFRC) sprayed mortar with strengthening bars. *Composite Structures*, 202(February), 1078–1086.
- Del Zoppo, M., Di Ludovico, M., Balsamo, A., & Prota, A. (2017).** Behavior of CFRP confined RC columns under axial load and uniaxial cyclic lateral loading. *COMPdyn 2017 - Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 2753–2764.
- Fakharifar, M., Chen, G., Arezoumandi, M., & ElGawady, M. (2015).** Hybrid jacketing for rapid repair of seismically damaged reinforced concrete columns. *Transportation Research Record*, 2522(2522), 70–78.
- Farrokhi Ghatte, H., Comert, M., Demir, C., Akbaba, M., & Ilki, A. (2019).** Seismic Retrofit of Full-Scale Substandard Extended Rectangular RC Columns through CFRP Jacketing: Test Results and Design Recommendations. *Journal of Composites for Construction*, 23(1), 04018071.
- Hosotani, M., Kawashima, K., & Hoshikuma, J. (1998).** A Stress-Strain Model for Concrete Columns Confined by Carbon Fiber Sheets, *Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements*, JSCE, 39(592), 37–52.
- Ilki, A., Demir, C., Bedirhanoglu, I., & 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.
- Lam, S. S. E., Wu, B., Wong, Y. L., Wang, Z. Y., Liu, Z. Q., & Li, C. S. (2003).** Drift Capacity of Rectangular Reinforced Concrete Columns with Low Lateral Confinement and High-Axial Load. *Journal of Structural Engineering*, 129(6), 733–742.
- Lam, L. & Teng, J.G. (2003).** Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete, *Construction and Building Materials*, 17(6-7): 471-489
- Li, J., Gong, J., & Wang, L. (2009).** Seismic behavior of corrosion-damaged reinforced concrete columns strengthened using combined carbon fiber-reinforced polymer and steel jacket. *Construction and Building Materials*, 23(7), 2653–2663.
- Lu, Y., Yi, S., Liang, H., Gong, T., & Li, N. (2019).** Seismic Behavior of RC Square Columns Strengthened with Self-Compacting Concrete-Filled CFRP-Steel Tubes. *Journal of Bridge Engineering*, 24(2), 04018119.
- Raza, S., Khan, M. K. I., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019).**

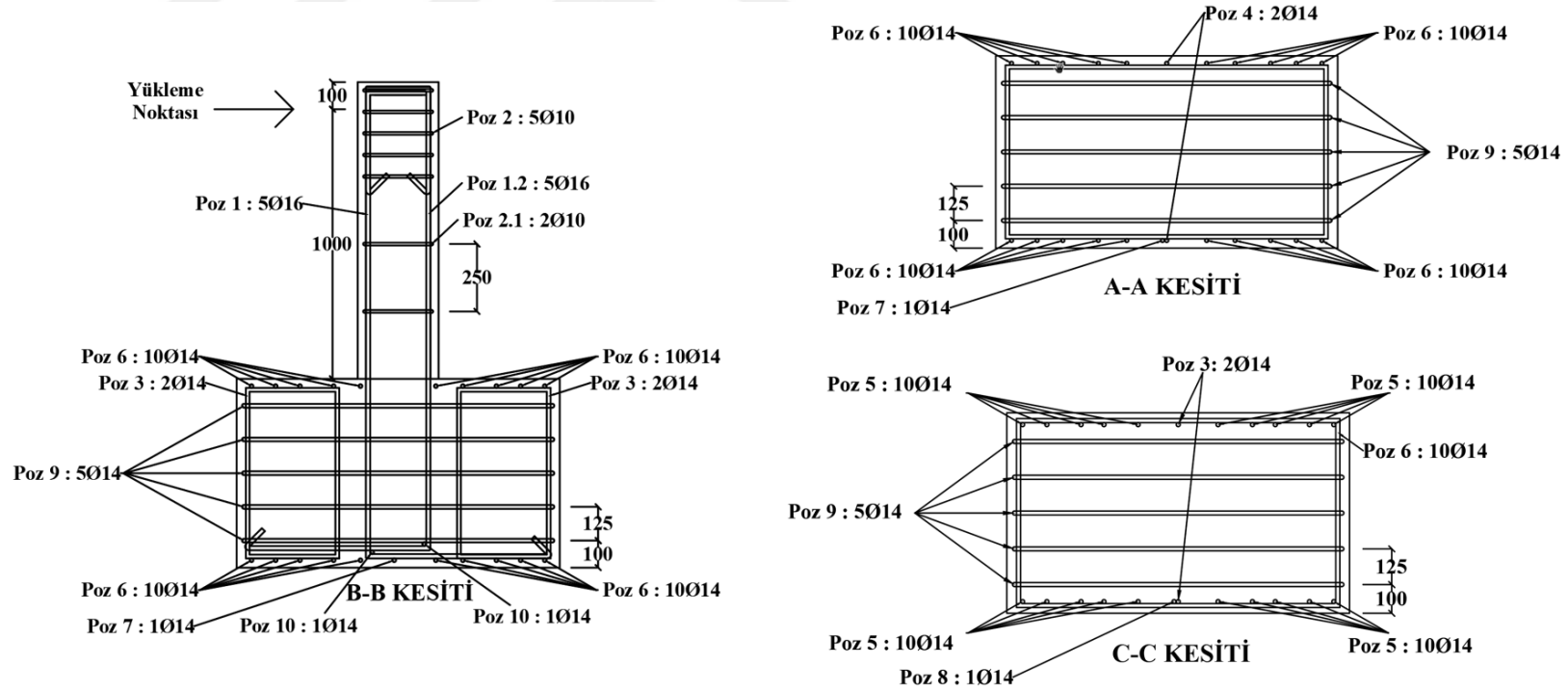
- Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review. *Sustainability* (Switzerland), 11(11).
- Realfonzo, R., & Napoli, A.** (2009). Cyclic Behavior of RC Columns Strengthened by FRP and Steel Devices. *Journal of Structural Engineering*, 135(10), 1164–1176.
- Samaan, M., Mirmiran, A. & Shahawy M.** (1998). Model of concrete confined by fiber composites, *J. Struct. Eng.*, 124, 9, 1025-1031.
- Saribas, I., Goksu, C., Binbir, E., & Ilki, A.** (2019). Seismic performance of full-scale RC columns containing high proportion recycled aggregate. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(11), 6009–6037.
- Seible, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A., & Innamorato, D.** (1997). Seismic Retrofit of RC Columns with Continuous Carbon Fiber Jackets. *Journal of Composites for Construction*, 1(2), 52–62.
- Seifi, A., Hosseini, A., Marefat, M. S., & Khanmohammadi, M.** (2018). Seismic retrofitting of old-type RC columns with different lap splices by NSM GFRP and steel bars. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27(2), 1–21.
- Seyhan, E. C., Goksu, C., Uzunhasanoglu, A., & Ilki, A.** (2015). Seismic behavior of substandard RC columns retrofitted with embedded Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP) reinforcement. *Polymers*, 7(12), 2535–2557.
- Spoelstra, M.R. & Monti, G.** (1999). FRP-confined concrete model, *Journal of Composites for Construction*, 3(3), 143-150
- Tapan, M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., & Ilki, A.** (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34, 606–628.
- TS500/2000 (TSE)** (2000). Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures, Turkish Standards Institute, Ankara.
- Wu, Y.-F., Liu, T., & Wang, L.** (2008). Experimental Investigation on Seismic Retrofitting of Square RC Columns by Carbon FRP Sheet Confinement Combined with Transverse Short Glass FRP Bars in Bored Holes. *Journal of Composites for Construction*, 12(1), 53–60.
- Yalcin, C., & Saatcioglu, M.** (2000). Inelastic analysis of reinforced concrete columns. *Computers and Structures*, 77(5), 539–555.
- Ye, L. P., Zhang, K., Zhao, S. H., & Feng, P.** (2003). Experimental study on seismic strengthening of RC columns with wrapped CFRP sheets. *Construction and Building Materials*, 17(6–7), 499–506.
- Zeng, X. G., Jiang, S. F., Xu, X. C., & Huang, H. S.** (2019). Numerical modeling of earthquake-damaged circular bridge columns repaired using combination of near-surface-mounted BFRP Bars with external BFRP sheets jacketing. *Materials*, 12(2).
- Zhang, G., Liu, B., Bai, G., & Liu, J.** (2009). Experimental study on seismic behavior of high strength reinforced concrete frame columns with high axial compression ratios. *Structural Engineering and Mechanics*, 33(5), 653–656.

EKLER

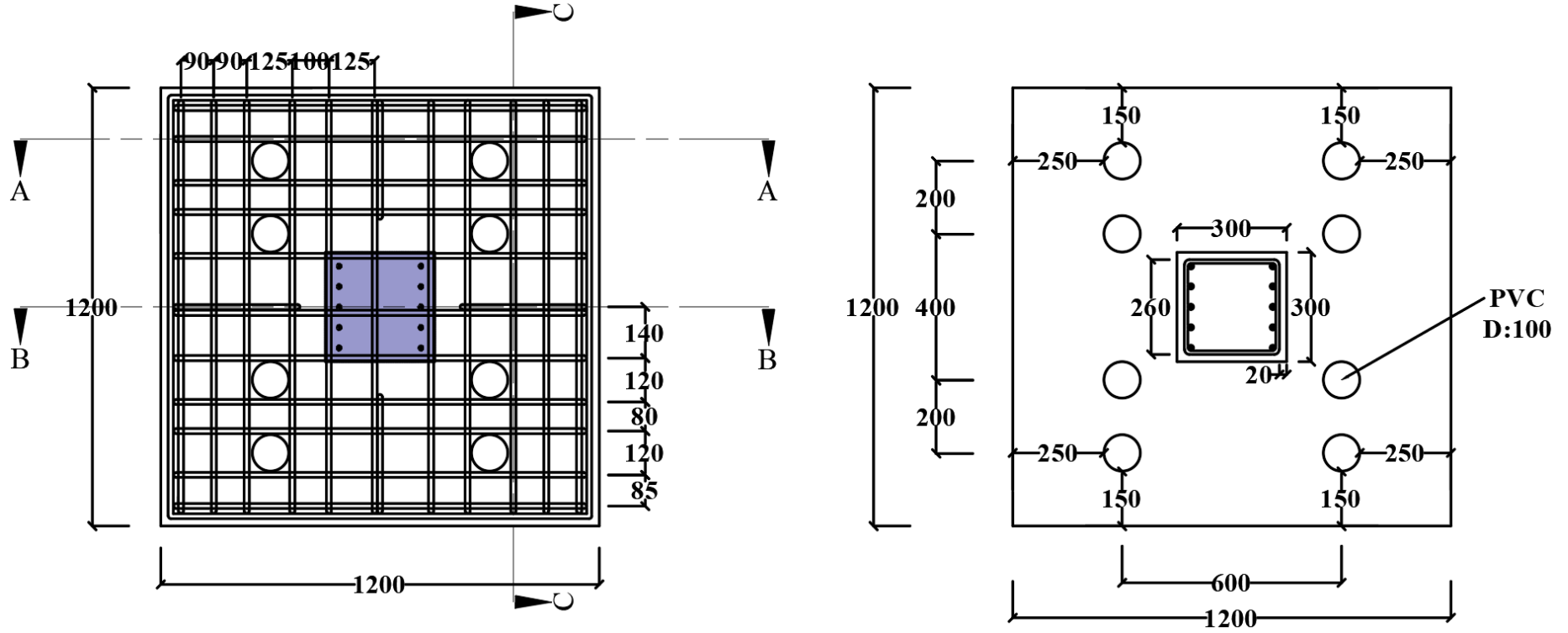
EK A: Grup 1 numunelerine ait kolon-temel boyut ve donatı detayları



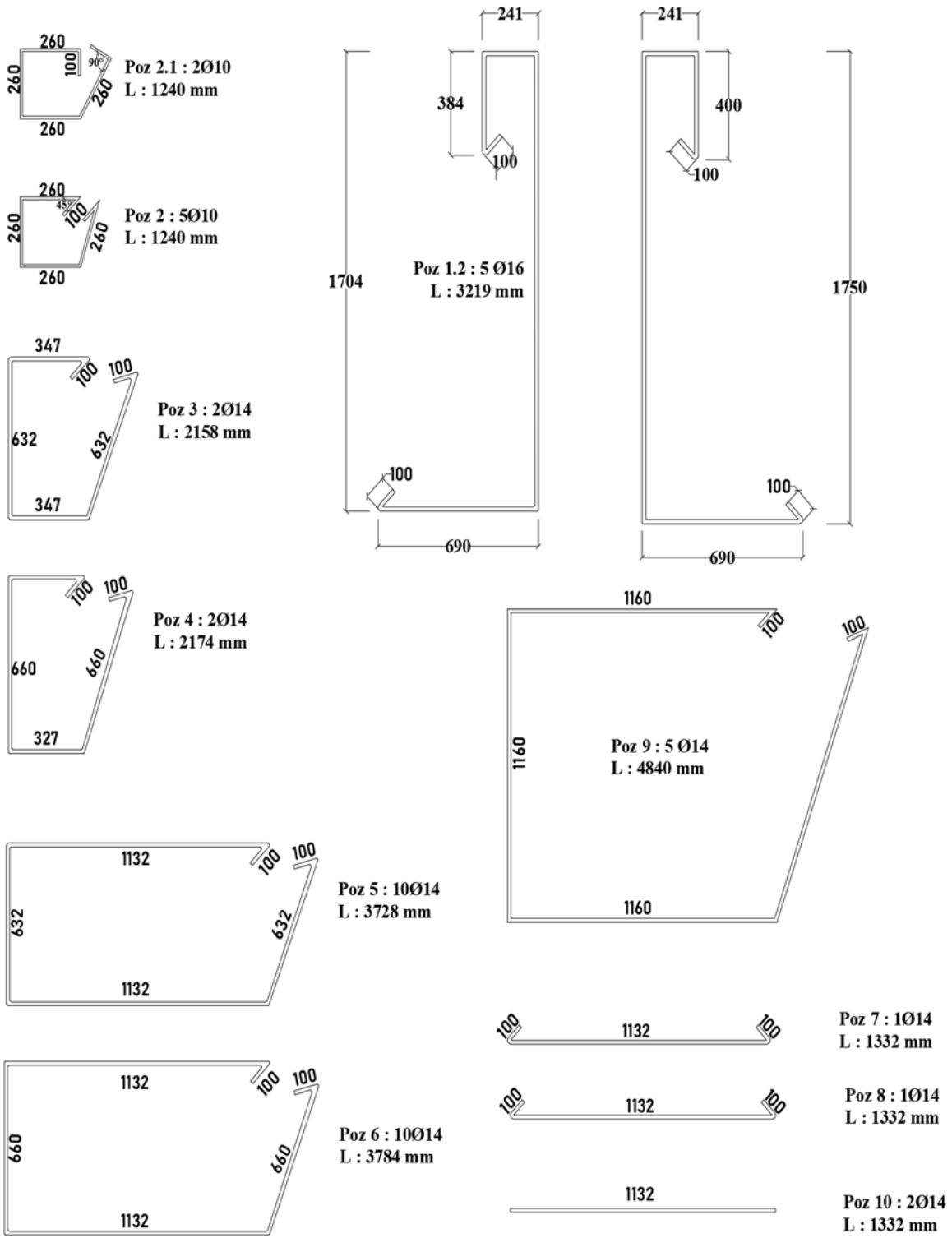
EK A



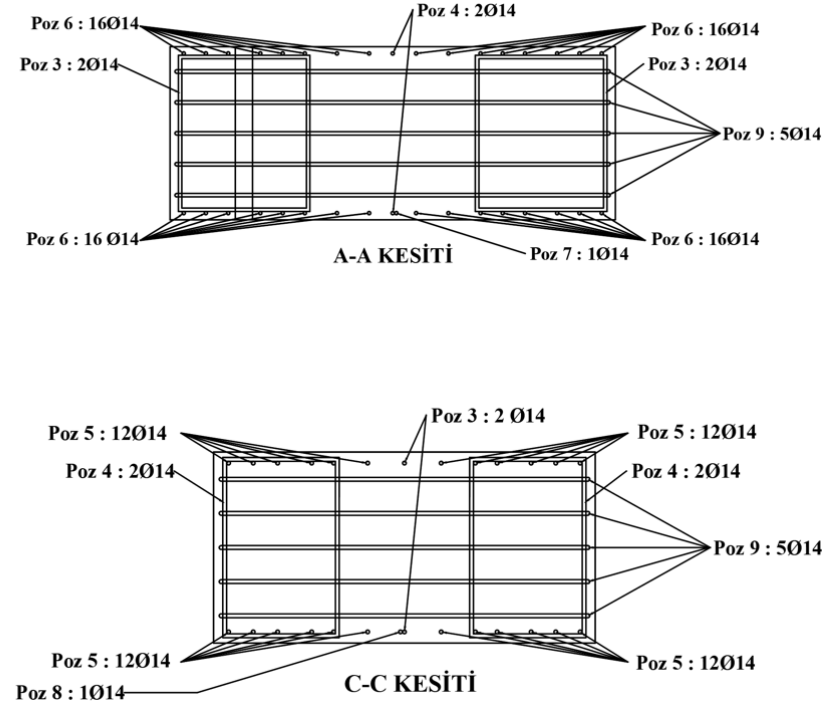
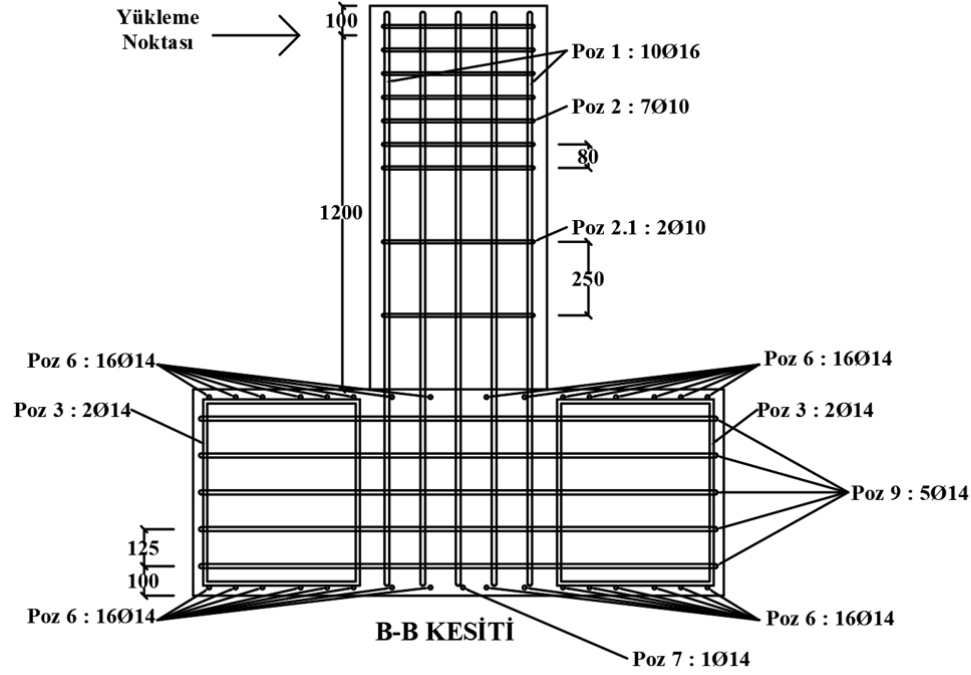
Şekil A.1 : Grup 1 numunelerinin donatı ve boyut detayları (Birim cinsi mm'dir.).



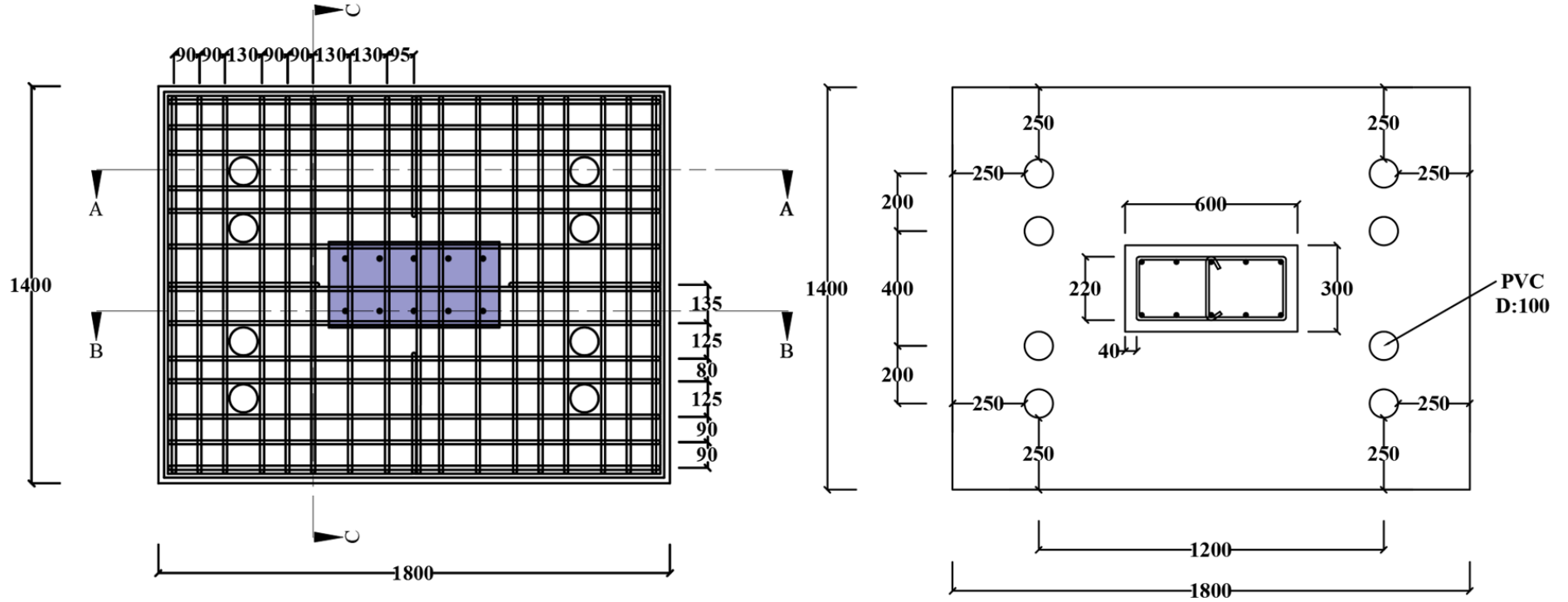
Şekil A.2 : Grup 1 numunelerinin temel boyutları ve PVC detayları (Birim cinsi mm'dir.).



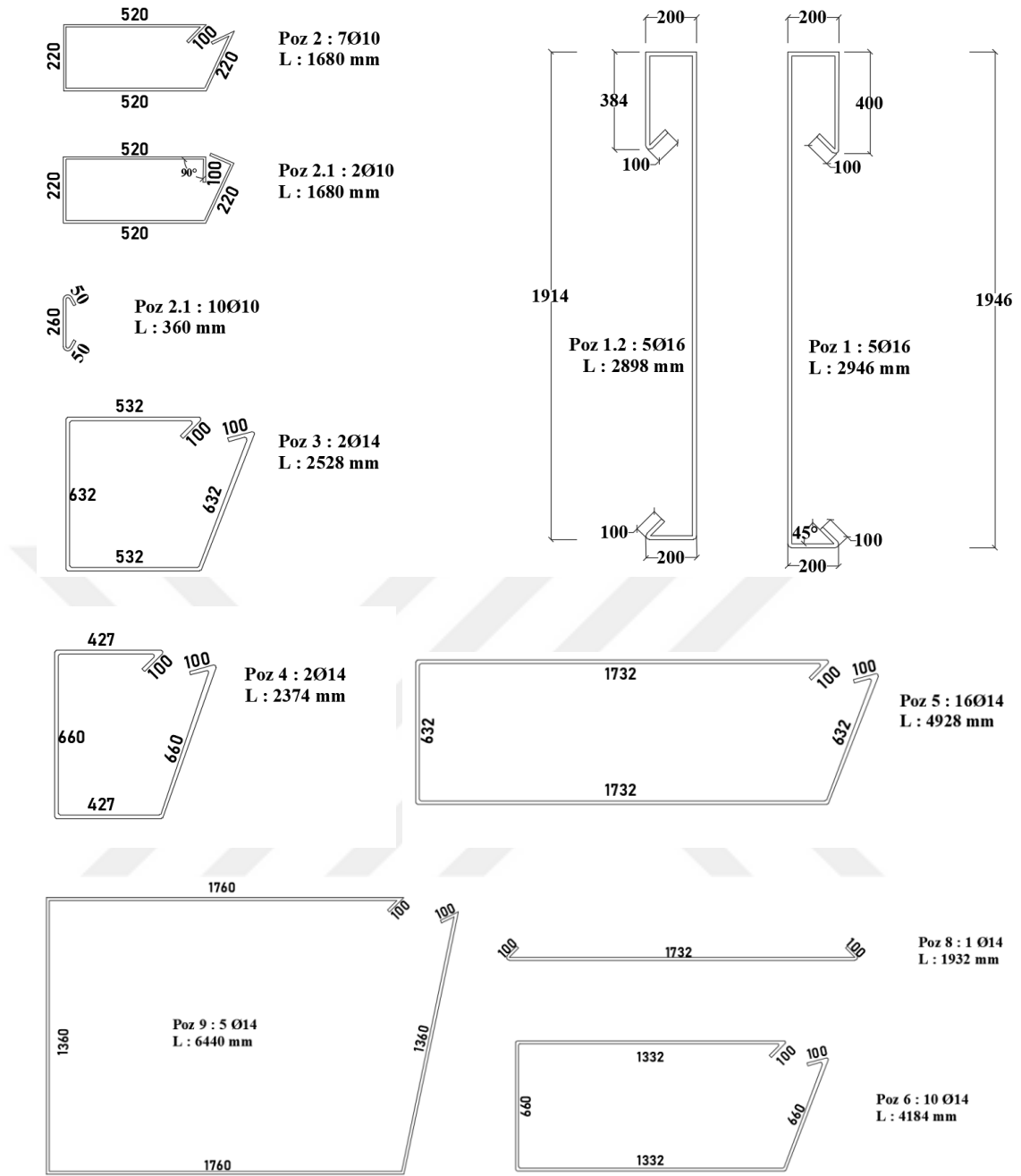
Şekil A.3 : Grup 1 kolon-temel donatı açılımları.



Şekil A.4 : Grup 2 numunelerinin donatı ve boyut detayları (Birim cinsi mm'dir.).



Şekil A.5 : Grup 2 numunelerinin temel boyutları ve PVC detayları (Birim cinsi mm'dir.).



Şekil A.6 : Grup 2 kolon-temel donatı açılımları.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Furkan NARLITEPE

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : -, İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, Deprem Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- **Altınbaş Üniversitesi** : Araştırma Görevlisi, (Ağustos,2020-devam ediyor)