

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KOROZYONA MARUZ KALMIŞ TAM ÖLÇEKLİ BETONARME
KOLONLARININ SİSMİK PERFORMANS SEVİYELERİN
BİRİNCİL ÇATLAK GENİŞLİĞİNE BAĞLI OLARAK TAHMİN
EDİLMESİ**

Aqludin KARİMİ

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2019**

Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Hakan YALÇINER danışmanlığında, Aqludin KARİMLİ tarafından hazırlanan bu çalışma 24.06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr.Üyesi Yaşar AYAZ

İmza:



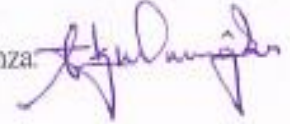
Üye : Doç. Dr. Hakan YALÇINER

İmza:

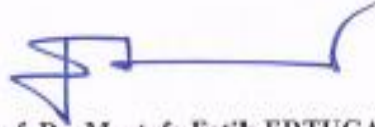


Üye : Dr. Öğr.Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

İmza:



Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 04.10.7 / 2019 tarih ve 25.10..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Korozyona Maruz Kalmış Tam lekli Betonarme Kolonlarının Sismik Performans Seviyelerin Birincil atlak Genişliğine Bağlı Olarak Tahmin Edilmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 20/06/2019

Aqludin KARİMİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOROZYONA MARUZ KALMIŞ TAM ÖLÇEKLİ BETONARME KOLONLARININ SİSMİK PERFORMANS SEVİYELERİN BİRİNCİL ÇATLAK GENİŞLİĞİNE BAĞLI OLARAK TAHMİN EDİLMESİ

Aqludin KARİMİ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

Günümüzde yapısal değerlendirme teknikleri, inşaat mühendisleri için betonarme yapıların sismik performans seviyelerini değerlendirmek için pratik yöntemler sunmaktadır. Korozyon mekanizmasında bilinmeyen birçok parametre olması nedeniyle; korozyona maruz kalmış betonarme yapıların sismik performans seviyelerinin tahmini, korozyona maruz kalmamış betonarme yapılara göre daha karmaşıktır. Bundan dolayı, sahadaki görsel değerlendirmelere dayanarak paslanmış betonarme kolonların sismik performans seviyelerini tahmin etmek için pratik bir model geliştirmek önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında birincil korozyon çatlak genişliklerine bağlı olarak paslandırılmış kolonlarının sismik performans seviyelerinin tahmini için deneysel bir çalışma yapılmıştır. 25 adet tam ölçekli betonarme kolonların paslandırılması için tam ölçekli hızlandırılmış korozyon havuzu kullanılmıştır. Üç farklı beton sınıfı için (9, 27 ve 37 MPa) ve farklı korozyon oranlarında birincil korozyon çatlak genişlikleri ölçülmüştür. Betonarme kolonların sismik performans seviyelerini iki farklı eksenel yük altında (0.20 ve 0.40) ve yanal yük uygulanarak kolonların deplasman kapasiteleri ölçülmüştür. Yükleme deneylerinden sonra paslandırılmış betonarme kolonları kırılarak beton içeresinden çıkartılan tüm donatılar ile gerçek korozyon oranları elde edilmiştir. Ölçülen birincil korozyon çatlak genişliklerinde elde edilen gerçek korozyon oranları, enerji bazlı yöntemle göre betonarme kolonların yanal deplasman kapasiteleri ile ilişkilendirilmiştir. Üç ampirik model geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi, ölçülen birincil korozyon çatlak genişliklerine bağlı olarak donatı çubuklarının kesit alanında azalma oranının tahmini içindir. İkinci model, çatı katı ötelenme oranının ve korozyon seviyelerinin bir fonksiyonu olarak betonarme kolonlarının enerji kapasitesinin yüzdesini tahmin etmek içindir. Üçüncü model ise birincil korozyon çatlak genişliklerinin bir fonksiyonu olarak betonarme kolonlarının sismik performans seviyelerini tahmin etmek içindir.

2019, 103 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Çatlak genişliği, Korozyon, Performans seviyeleri

ABSTRACT

Master Thesis

ESTIMATION of SEISMIC PERFORMANCE LEVELS DEPENDING on the PRIMARY CRACK WIDTH of FULL-SCALE REINFORCED CONCRETE COLUMNS EXPOSED to CORROSION

Aqludin KARİMİ

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan YALÇINER

Today's structural assessment techniques provide practical methods for structural engineers to assess the seismic performance levels of reinforced concrete (RC) buildings. Because of unknown many parameters with complex structures of corrosion, prediction of seismic performance levels of corroded RC buildings is more complex compared to uncorroded ones. Therefore, it is important to develop a practical model to predict the seismic performance levels of corroded RC columns based on visual assessments on site. In this thesis, an experimental study was performed for the prediction of the seismic performance levels of corroded RC columns as a function of initial corrosion crack widths. A full scale of an accelerated corrosion pool was used to corrode the 25 full scale RC columns. Initial corrosion crack widths at different levels of corrosion were measured for three different concrete strength levels of 9, 27 and 37 MPa. Seismic performance levels of corroded RC columns under combined cyclic lateral displacement excursions at two different axial load ratios (i.e., 0.20 and 0.40) of columns capacities were measured. Actual corrosion levels were obtained by breaking the concrete and extracting the all reinforcement bars following cyclic loading tests. Obtained actual corrosion levels at the measured initial corrosion crack widths were used to be correlated with lateral displacement capacities of RC columns according to energy-based method. Three empirical models were developed. The first was for predicting the cross-sectional area reduction of reinforcement bars according to the initial corrosion crack widths. The second model was for predicting the percentage of energy capacity of RC columns as a function of the drift ratio and corrosion levels. The third model was for predicting the seismic performance levels of RC columns as a function of the initial corrosion crack widths.

2019, 103 Pages

Keywords: Corrosion, concrete, crack widths, performance levels.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen çok değerli danışmanım, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Hakan YALÇINER, Öğretim Üyesi Dr. Atilla KUMBASAROĞLU ve her aşamada bana destek çıkan, tezin yazımında büyük yardımı olan Arş. Gör. Ahmet ihsan TURAN abime, hayatım boyunca desteklerini ve dualarını her zaman yanımda hissettiğim sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve tüm aileme' teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneysel Çalışmalarım sırasında her an yanımda olup, yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli inşaat Mühendisi arkadaşlarım, başta Rameen KOHISTANI olmak üzere, Enis DOĞRU'ya, Mehmet Fırat MERMİTE'e, Umytjan YANGİBAYEV'e, ve Arş. Gör. Alper Çeliğ'e, teşekkür ederim. Aynı zamanda yaptığım deneysel çalışmalar sırasında beni maddi olarak destekleyen Şahin Tamer YILMAZ, Celalettin ALIM ve Orhan ÖZBEYE'YE de şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasının finansal desteği Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK 3501 ve 116M162 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca burslu öğrenci olarak çalıştığım TÜBİTAK kurumuna Desteklerinden ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Aqludin KARİMİ

Haziran, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Vidal vd. (2004) Çatlak Modeli	4
2.2 Zhang vd. (2010) Çatlak Modeli	5
2.3 Khan vd. (2014) Çatlak Modeli.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	6
3.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri.....	6
3.2. Betonarme Donatı İşleri	8
3.3. Kalıp İşleri.....	14
3.4. Beton Döküm İşleri ve Beton Özellikleri.....	15
3.5. Hızlandırılmış Korozyon Yöntemi	19
3.6. Paslandırma Sonrası Birincil Korozyon Çatlak Haritaları	23
3.7. Deney Düzenegi ve Ölçümler	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	36
4.1. Deney Sonuçları	36
4.1.1. Numunelerin gerçek korozyon oranları ve dağılımları.....	36
4.2. Yük-Deplasman Sonuçları	51
4.3. Korozyon Çatlak Genişlikleri ile Gerçek Korozyon Oranları Arasındaki İlişki	65
4.4. Paslandırılmış Betonarme Kolonların Sismik Performans Seviyeleri	70
5. SONUÇLAR.....	80
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	83
EK.1: Betonarme kolonları için birincil çatlak haritaları	83
Ek-2. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	103

ÖZGEÇMİŞ	104
----------------	-----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Betonarme kolonlarının kesit özellikleri çizimi.....	7
Şekil 3.2 . Betonarme kolon donatıları: (a) Boyuna donatılar ve etriyeler, (b) Temel ve giriş donatıları	8
Şekil 3.3. Boynuna donatılarının kodlandırılması: (a) Renkli bakır kabloların hazırlanması, (b) Kodlanan donatıların bakış yönü.....	8
Şekil 3.4. Bakır kabloların boyuna donatılara bağlanması	9
Şekil 3.5. Betonarme kolon donatıların tartılma işleri.	9
Şekil 3.6. Betonarme kolonların donatılarının bağlanması.	13
Şekil 3.7. Hazır hale getirilen betonarme kolon donatı kafesleri.	13
Şekil 3.8. Kalıp işleri: (a) Betonarme kolonlar için hazırlanan kalıplar, (b) Hazırlanan donatı kafeslerinin kalıba yerleştirilmesi.....	14
Şekil 3. 9. Beton dökümü: (a) C8, (b) C20	15
Şekil 3.10. Beton dökümü C30 beton için	16
Şekil 3.11. Küp ve silindir numune alımı.	16
Şekil 3.12. Kalıptan çıkartılan betonarme kolonları: (a) C8, (b) C20 ve C30.	17
Şekil 3.13. Küp ve silindir numunelerinin beton basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi.	18
Şekil 3.14. Betonarme kolonların betonarme havuzuna taşınması.	19
Şekil 3.15. Bakır kabloların donatılara bağlanması.	20
Şekil 3.16. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği	21
Şekil 3.17. Deney düzeneği şematik gösterimi	22
Şekil 3.18. Faraday Kanunu'na göre gerçek pas oranlarının karşılaştırılması (Yalciner vd., 2012).....	23
Şekil 3.19. Korozyona maruz kalmış kolonların birincil çatlak genişliği: (a) Mikroskop ile çatlak genişliğinin okunması, (b) Çatlak genişliklerin ölçümü.	24
Şekil 3.20. C5 betonarme kolonun çatlak haritası.....	25
Şekil 3.21. C10 betonarme kolonun çatlak haritası.....	26
Şekil 3.22. C19 betonarme kolonun çatlak haritası.....	27
Şekil 3.23. C20 betonarme kolonun çatlak haritası.....	28
Şekil 3.24. C24 betonarme kolonun çatlak haritası.....	29
Şekil 3.25. C25 betonarme kolonun çatlak haritası.....	30

Şekil 3.26. Deney düzeneği kurumu: (a) Ölçüm düzeneklerin kurulması, (b) Deney düzeneğin kaynak işleri.	31
Şekil 3.27. Numunenin yan görünüşü.....	32
Şekil 3.28. Numunenin ön görünüşü.....	33
Şekil 3.29. Deney düzeneğin gösterimi.....	34
Şekil 3.30. Çatlak ölçerlerin monte edilmesi	35
Şekil 3.31. FEMA 461 yükleme programı.	35
Şekil 4.1. Betonarme kolonların yükleme deneylerinden sonra kırılma işleri.	36
Şekil 4.2. Betonarme donatıların temizleme işleri: (a) Boyuna ve etriye donatıları için kimyasal işleri, (b) Mekanik temizleme işleri.	37
Şekil 4.3. C8 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon oran dağılımları.	44
Şekil 4.4. C8 betonarme kolonların etriye donatılarının korozyon dağılımı.....	45
Şekil 4.5. C20 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon oran dağılımları	46
Şekil 4.6. C20 betonarme kolonların etriye donatılarının korozyon dağılımı.....	47
Şekil 4.7. C30 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon dağılımları.	48
Şekil 4.8. C30 betonarme kolonların etriye donatılarının korozyon dağılımı.....	49
Şekil 4.9. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C1 betonarme kolonu, (b) C2 betonarme kolonu.....	51
Şekil 4.10. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C3 betonarme kolonu, (b) C4 betonarme kolonu.....	52
Şekil 4.11. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C5 betonarme kolonu, (b) C6 betonarme kolonu.....	53
Şekil 4.12. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C7 betonarme kolonu, (b) C8 betonarme kolonu.....	54
Şekil 4.13. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C9 betonarme kolonu, (b) C10 betonarme kolonu.....	55
Şekil 4.14. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C12 betonarme kolonu, (b) C13 betonarme kolonu.....	56
Şekil 4.15. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C14 betonarme kolonu, (b) C15 betonarme kolonu.....	57
Şekil 4.16. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C16 betonarme kolonu, (b) C17 betonarme kolonu.....	58
Şekil 4.17. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C18 betonarme kolonu, (b) C19 betonarme kolonu.....	59
Şekil 4.18. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: C20 betonarme kolonu	60
Şekil 4.19. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: C21 betonarme kolonu	60

Şekil 4.20. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C22 betonarme kolonu, (b) C23 betonarme kolonu.....	61
Şekil 4.21. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C24 betonarme kolonu, (b) C25 betonarme kolonu.....	62
Şekil 4.22. Paslanmış kolonların çatlak desenleri.....	64
Şekil 4.23. Betonarme donatıların kesilmesi: (a) Kesilen donatıların aralıkların yerleri, (b) Donatıların kesilme işleri (c) Kesilen donatıların parçaları.	65
Şekil 4.24. Kesilen donatılardan elde edilen korozyon oranları ve karşılık gelen birincil korozyon çatlak genişlik dağılımları.	66
Şekil 4.25. C8 betonarme kolonları için ΔA_s 'ye karşılık gelen birincil çatlak genişlik değerleri.	68
Şekil 4.26. C20 ve C30 betonarme kolonları için ΔA_s 'ye karşılık gelen birincil çatlak genişlik değerleri.	68
Şekil 4.27. Betonarme kolon donatılarındaki ortalama kesit kaybına karşılık gelen kesilmiş donatılardaki ortalama kesit kaybı.	70
Şekil 4.28. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelenmeleri: (a) C8-%20, (b) C8-%40.....	72
Şekil 4.29. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelenmeleri: (a) C20-%20, (b) C20-%40.....	73
Şekil 4.30. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelenmeleri, C30-%40.....	74
Şekil 4.31. Çatı katı ötelemesine karşı tüketilen toplam enerji, C8 betonarme kolonu ..	75
Şekil 4.32. Çatı katı ötelemesine karşı tüketilen toplam enerji: (a) C20, (b) C30	76
Şekil 4.33. Passız betonarme kolonlarının yüzde enerji kapasiteleri	77
Şekil 4. 34. Korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının yüzde enerji kapasiteleri: (a) C8 ₇₋₉ , C20 ₇₋₉ , C30 ₂₋₄ , (b) C8 ₁₀ , C20 ₁₀ , C30 ₅	78

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3. 1. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri.	10
Tablo 3. 2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri.	11
Tablo 3. 3. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri.	12
Tablo 3.4. Kullanılan betonarme numunelerin basınç dayanımları	18
Tablo 4.1. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).....	38
Tablo 4.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).	39
Tablo 4.3. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).	40
Tablo 4.4. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).....	41
Tablo 4.5. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).	42
Tablo 4.6. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).....	43
Tablo 4.7. Ortalama çatlak genişliği; kesilmiş, kesilmemiş tek bir donatıdaki kesit kaybı ve karşılık gelen kolondaki ortalama donatı kesit kaybı.	67
Tablo 4.8. Vision 2000 performans seviyeleri ve karşılık gelen hasar durumları (Vision 2000, 1995).....	71

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

A_S	Paslanmamış Donatının Kesit Alanı
A_C	Kolonun En Kesit Alanı
c	Beton Paspayı
C_L	Korozyon Oranı
d_0	Donatı İlk Çapı
E	Enerji Kapasitesi
f_{ck}	Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı
H	Kesit Yüksekliği
I	Sistemden Geçen Akım
L_p	Plastik Mafsalsal Boyu
m	Donatı Boyuna Düşen İlk Kütle
m'	Donatı Boyuna Düşen Son Kütle
mm	Milimetre
N	Kolona Etkiyen Eksenel Yük
t	Saniye Olarak Uygulanan Korozyon Süresi
w	Çatlak Genişliği
W_i	Donatıların İlk Kütlesi
W_f	Donatıların Son Kütlesi
α	Korozyon Penetrasyon Yoğunluk Katsayısı
δ	Çatı Katı Ötelenmesi
$\emptyset$	Donatı Çapı
ΔA_S	Kesit Alanındaki Kayıplar
Δm	Donatı Boyuna Düşen Ortalama Birim Kütle Kaybı

Kısaltmalar

A	Akım
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Beton Sınıfı
CL _L	Boyuna Donatıların Korozyon Oranı
CL _N	Korozyon Oranı Kolonun Negatif Yönünde
CL _P	Korozyon Oranı Kolonun Pozitif Yönünde
CW	Çatlak Ölçer
CL _S	Sargı Donatıların Korozyon Oranı
FEMA	Federal Emergency Management Agency
H	Saat
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
L	Boyuna Donatı
N	Negatif
P	Pozitif
RC	Betonarme
S	Sargı Donatı
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
x	Paslandırılmamış Kolon

Betonarme Kolonların Adlandırmaları

C1	8 MPa dayanıma sahip bir numaralı betonarme kolon
C2	8 MPa dayanıma sahip iki numaralı betonarme kolon
C3	8 MPa dayanıma sahip üç numaralı betonarme kolon
C4	8 MPa dayanıma sahip dört numaralı betonarme kolon
C5	8 MPa dayanıma sahip beş numaralı betonarme kolon
C6	8 MPa dayanıma sahip altı numaralı betonarme kolon
C7	8 MPa dayanıma sahip yedi numaralı betonarme kolon
C8	8 MPa dayanıma sahip sekiz numaralı betonarme kolon

C9	8 MPa dayanıma sahip dokuz numaralı betonarme kolon
C10	8 MPa dayanıma sahip on numaralı betonarme kolon
C11	20 MPa dayanıma sahip on bir numaralı betonarme kolon
C12	20 MPa dayanıma sahip on iki numaralı betonarme kolon
C13	20 MPa dayanıma sahip on üç numaralı betonarme kolon
C14	20 MPa dayanıma sahip on dört numaralı betonarme kolon
C15	20 MPa dayanıma sahip on beş numaralı betonarme kolon
C16	20 MPa dayanıma sahip on altı numaralı betonarme kolon
C17	20 MPa dayanıma sahip on yedi numaralı betonarme kolon
C18	20 MPa dayanıma sahip on sekiz numaralı betonarme kolon
C19	20 MPa dayanıma sahip on dokuz numaralı betonarme kolon
C20	20 MPa dayanıma sahip yirmi numaralı betonarme kolon
C21	30 MPa dayanıma sahip yirmi bir numaralı betonarme kolon
C22	30 MPa dayanıma sahip yirmi iki numaralı betonarme kolon
C23	30 MPa dayanıma sahip yirmi üç numaralı betonarme kolon
C24	30 MPa dayanıma sahip yirmi dört numaralı betonarme kolon
C25	30 MPa dayanıma sahip yirmi beş numaralı betonarme kolon

1. GİRİŞ

Betonarme yapı elemanlarında korozyon oluşumu ile birlikte ortaya çıkan olumsuzlukların başında betonun çatlaması ve aderans kaybı yer almaktadır. Betonun çatlamasının sebebi korozyon sonucu oluşan pas ürünün yol açtığı hacimsel genişleme sonucu meydana gelen gerilmelerdir. Korozyon betonarme yapıların yapısal davranışlarını etkileyerek olası bir deprem etkisi altında can kaybı sonuçlara varan etkiler göstermektedir. 1999 Marmara depreminden sonra kentsel dönüşüm tarafından yapılan incelemelerde, yapıların yıkılma ve göçme sebebinde tespit edilen kalitesiz malzeme, dayanımı düşük beton basınç dayanımı yapı, imalatlarındaki işçilik hatası gibi parametrelere ek olarak en önemli parametre betonarme donatıların paslanmasıdır. Diğer bir çalışma Yalciner vd. (2012) yapmış olduğu çalışmada 25 yıllık kuzey Kıbrıs Türk bir betonarme binanın paslanmadan dolayı ortaya çıkan olumsuz sonuçlardan dolayı yıkımına karar verilmiş ve betonarme bina servis ömrünü tamamlamadan yıkılmıştır.

Korozyondan dolayı betonarme elemanlarda çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar korozyon oranı, beton sınıfı ve deprem yüküne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Donatı korozyonu ve korozyondan dolayı oluşan çatlaklar betonarme yapıların servis ömürlerini olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Korozyona maruz kalmış betonarme yapıların servis ömrü çatlama zamanı olarak tanımlanırken, detaylı bir yapısal modelleme yapılmadıkça bu yapıların sismik performans seviyelerinin öngörülmesi kolay değildir. Betonarme elemanlarının korozyon çatlak genişliğini tahmin etmek için birçok deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmalardan bir tanesi El Maaddawy vd. (2005) tarafından yapılan en önemli deneysel çalışmalardan biri servis yükleri altında ve servis yükleri bulunmadan paslandırılmış betonarme kirişleri üzerine yapılan çalışmadır. Yapılan çalışmada servis yüklerinin paslandırma aşamasında birincil korozyon çatlak genişlikleri üzerine etkisinin taşıma gücüne olan etkisini incelemek için önemli bir yere sahiptir. Gerçekleştirilen çalışmada sekiz adet betonarme kirişi hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak paslandırılmış ve eğilme deneyleri yapılmıştır. El Maaddawy vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada elde edilen korozyon oranları betonarme kirişlerinden çıkartılan donatılara kupon testleri ile sağlanmıştır.

Yang vd. (2016) tarafından korozyon oranları %5, %10, %15 ve %20 olan 210×210 mm kesit boyutları ve 1500 mm kolon boyuna sahip betonarme kolonları tersinir artımlı yük etkisi altında deneye tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmada betonarme kolonlarının 28 günlük beton basınç dayanımları 46.4 MPa olarak verilmiştir. Betonarme kolonları tek bir eksenel yük oranı için deneye tabi tutulmuş olup eksenel yük değeri 0.18'dir. Yapılan deneysel çalışmada paslanmış betonarme kolonlarının sünekliliğini ve enerji kapasitelerini tahmin etmeye yönelik iki ampirik model geliştirilmiştir.

Li ve Melchers (2006) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise korozyondan dolayı betonun çatlak genişliğini tahmin etmek için stokastik bir süreç önerilmiştir. Li ve Melchers (2006) tarafından önerilen bu model, beton çatlak genişliğini tahmin etmek için farklı tip korozyon yoğunluğu ve buna bağlı çok sayıda değişkeni dikkate almaktadır.

Betonarme yapılarda meydana gelen korozyon sonucu oluşan çatlak genişlikleri yapısal performansı etkilemektedir. Bu etkiyi göze alarak geliştirilen modeller ile yapısal betonarme yapıların performans seviyesini değerlendirmek için yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, betonarme yapıların yapısal performans değerlendirme yöntemlerini daha rahat kullanılabilir hale getirmek ve inşaat mühendislerine bu yapılar hakkında hızlı bir karar verme mekanizması oluşturmak için korozyon nedeniyle oluşan çatlak genişliği ve yapısal performans arasında bir ilişki gerekmektedir. Paslandırılmış betonarme yapılarının yapısal değerlendirmesi ileri araştırma yöntemleri gerektirdiğinden, bu alanda belirli bir çalışması olmayan inşaat mühendisler için pratik bir model oluşturma ihtiyacı da artmaktadır. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında korozyon sonucu oluşan birincil çatlak genişliklerinin paslandırılmış betonarme elemanların sismik performans seviyelerini tahmin etmek için tahribatsız bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model sayesinde yalnızca birincil korozyon çatlak genişliğine bağlı olarak farklı bir hesap yöntemi kullanmadan sadece mikroskop ölçümleri ile betonarme yapıların sismik performans seviyelerini hesaplanabilecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Betonarme yapı elemanlarında korozyondan dolayı meydana gelen birincil çatlak genişliklerini tahmin etme amacıyla literatürde birçok farklı çalışma yapılmıştır (örneğin; Vidal vd., 2004; Li, 2005; Li ve Melchers, 2006).

Korozyon oranına bağlı olarak tahmin edilen çatlak genişliği zamana bağlı olarak yapıların servis ömrünü ve kullanılabilirlik sınır durumunun değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Literatürde korozyondan dolayı çatlak genişliğini tahmin etmek için geliştirilen modeller yapının kullanılabilirlik sınır durumunu değerlendirmeye yöneliktir; ancak elde edilen çatlak genişlikleri ile birlikte yapının deprem performansı üzerine bir değerlendirme imkânı sağlamamaktadır. Daha önceki çalışmalarda elde edilen birçok çatlak genişliği modeli ise oldukça ileri düzeyde korozyon kimyasını içermekte olup saha çalışmaları için elverişli değildir. Aynı zamanda önerilen çatlak genişlik modellerinde elde edilen çatlak genişliklerinin farklı hızlandırılmış korozyon yöntemleri ve farklı korozyon sürecinde betonarme elemanlarının sabit servis yükleri etkisi altında paslandırılması veya servis yük etkisinin göz önüne alınmayarak elde edilmesine bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir.

Malumbela vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada da bu durumu açıklayarak; mevcut literatürdeki servis yüklerinin kullanılarak veya kullanılmadan yapılan çalışmalarda çatlak genişlikleri konusunda bilinmeyen birçok parametre ve karmaşıklığın olduğu vurgulanarak açıklanmıştır. Malumbela vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise servis yükler etkisinde farklı beton basınç dayanımları (35.2-50.8 MPa) arasında değişen betonarme kirişlerin paslandırılması için hızlandırılmış bir yöntem kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her bir korozyon çatlağının genişlemesi, çatlakların genel düzenine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Yu vd. (2015) tarafından yapılan diğer bir deneysel çalışmada üç adet betonarme kirişini doğal olarak paslandırarak; çatlak genişliklerin haritası oluşturulmuş ve ortalama kesit kaybı ile çatlak genişlikleri arasında bir korelasyon tespit edilmiştir. Çelik çubukların çukurlanma faktörleri temel olarak 2,5 ile 5,0 arasında olup, ortalama kesitsel kayıpların artmasıyla azalmıştır.

Mevcut tez çalışmasında betonarme kolon sayısı ve boyutları göz önüne alındığından paslandırma süreci servis yükleri ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Eksenel yük etkisi altında veya eksenel yük ihmal edilerek paslandırılan betonarme elemanlarında aynı korozyon oranında donatı çapının değişmediği kabulü yapılarak; mevcut çalışma için elde edilen birincil çatlak genişlikleri servis yükleri kullanılarak geliştirilen çatlak genişlik modellerinden elde edilecek değerler ile karşılaştırılmalıdır. Fakat yapılan çalışmalar betonarme kiriş olduğu için betonarme kolon ile karşılaştırılmamıştır.

2.1 Vidal vd. (2004) Çatlak Modeli

Vidal vd. (2004) tarafından geliştirilen çatlak genişlik modeli 14 ve 17 yıllık bir deneysel çalışmaya dayanmaktadır. Vidal vd. (2004) tarafından servis yükleri etkisinde paslandırılan ve betonarme elemanlarında çatlak genişliğini tahmin etmek için geliştirilen ampirik model Denklem 2.1’de verilmiştir.

$$w = K(\Delta A_s - \Delta A_{s0}) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de w çatlak genişliği (mm), $K = 0.0575$, ΔA_s donatı kesit alan kaybı (mm²) ve ΔA_{s0} çatlak başlangıcı için kesit alan kaybıdır (mm²). Çatlak başlangıcı için kesit alan kaybı Denklem 2.2 yardımı ile hesaplanabilir.

$$\Delta A_{s0} = A_s \left[1 - \left[1 - \frac{\alpha}{d_0} \left(7.53 + 9.32 \frac{c}{d_0} \right) 10^{-3} \right]^2 \right] \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de A_s paslanmamış donatının kesit alanı (mm²), d_0 donatı ilk çapı (mm), α korozyon penetrasyon yoğunluk katsayısı olup, homojen korozyon oranı için 2 bölgesel korozyon için 4 ve 8 arasında değerler almaktadır (Rodriguez vd., 1996), c (mm) ise beton paspayıdır. ΔA_s Denklem 2.3 ve 2.4 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta A_s = \frac{\Delta m}{m} A_s \quad (2.3)$$

$$\Delta m = m - m' \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’da Δ_m donatı boyuna düşen ortalama birim kütle kaybı (gr/mm), m ve m' sırasıyla donatı boyuna düşen birim birinci ve son kütleleri temsil etmektedir.

2.2 Zhang vd. (2010) Çatlak Modeli

Zhang vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada iki adet betonarme kirişi 14 yıl boyunca servis yükler etkisi altında paslandırılarak; çatlak genişliğini tahmin etmeye yönelik ampirik bir model geliştirmiştir. Geliştirilen modelde çatlak genişliğini ortalama donatı çapındaki azalmanın bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Denklem 2.5’te Zhang vd. (2010) tarafından geliştirilen çatlak modeli gösterilmektedir. Zhang vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada çatlak genişliğinin ortalama donatı çapındaki azalmaya bağlı olarak hesaplanmasının deneysel veriler ile karşılaştırıldığında daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

$$w = 0.1916\Delta A_s + 0.164, \quad (2.5)$$

Denklem 2.5’da w çatlak genişliği (mm), ΔA_s ise donatı kesit alan kaybını (mm^2) temsil etmektedir.

2.3 Khan vd. (2014) Çatlak Modeli

Khan vd. (2014) tarafından yapılan diğer bir deneysel çalışmada ise betonarme kirişleri servis yükler altında paslandırarak; elde edilen çatlak genişliklerini Rodriguez vd. (1996), Vidal vd. (2004) ve Zhang vd. (2010) tarafından geliştirilen çatlak genişlik modelleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Zhang vd. (2010) tarafından geliştirilen modelin beton pas-payı ve donatı çapı oranının dikkate alınması durumunda deneysel verilere daha yakın çatlak genişliklerinin tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

$$w = 0.1916\Delta A_s \frac{d_0}{c} + 0.164, \quad (2.6)$$

Denklem 2.6’da w çatlak genişliği (mm), ΔA_s donatı kesit alan kaybı (mm^2), d_0 donatı ilk çapı (mm), c (mm) ise beton pas-payıdır.

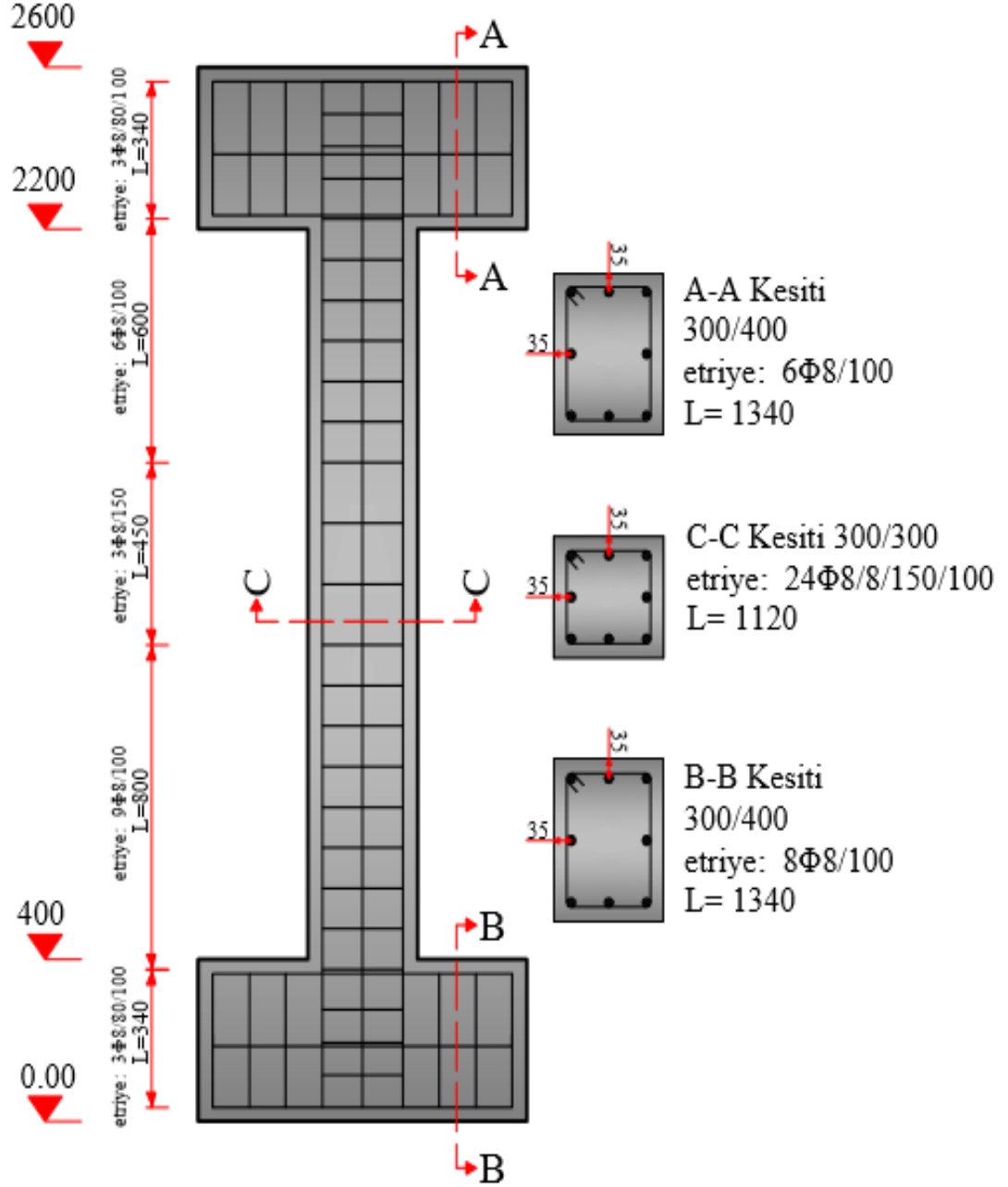
3. MATERYAL ve YÖNTEM

TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında gerçekleştirilen tez çalışmasının bu kısmında deneysel çalışmada üretilmiş olan betonarme kolon numunelerinin malzeme-kesit özellikleri, uygulanan hızlandırılmış korozyon yöntemi, deney yükleme ve ölçüm düzenekleri belirtilmiştir. Anlatılan bu bilgiler ile yapılan çalışmanın daha anlaşılır olması amaçlanmıştır.

3.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri

Çalışma kapsamında üretilen 25 adet tam ölçekli betonarme kolon numuneleri geleneksel yöntemlere bağlı kalınarak tasarlanmıştır. Deneyleri gerçekleştirilen betonarme kolon numunelerinin kesit özellikleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Betonarme kolonlarının net açıklığı 180 cm olup, temel alt sınırından kiriş üst bölgesine uzaklığı 260 cm’dir. Tüm betonarme kolon numuneleri için yükseklik ve genişlikler özdeş olup 30×30 cm olarak tasarlanmıştır. Donatı kafesleri için TS500 (2000) standartlarına uygun 8 adet 16 mm çapında nervürlü donatı ve 8 mm çapında iki kollu etriye kullanılmıştır. Tasarımı yapılan betonarme kolonlarında kullanılan pas-paylarının beton yüzeyinden donatı merkezine olan mesafesi 3.5 cm’dir.

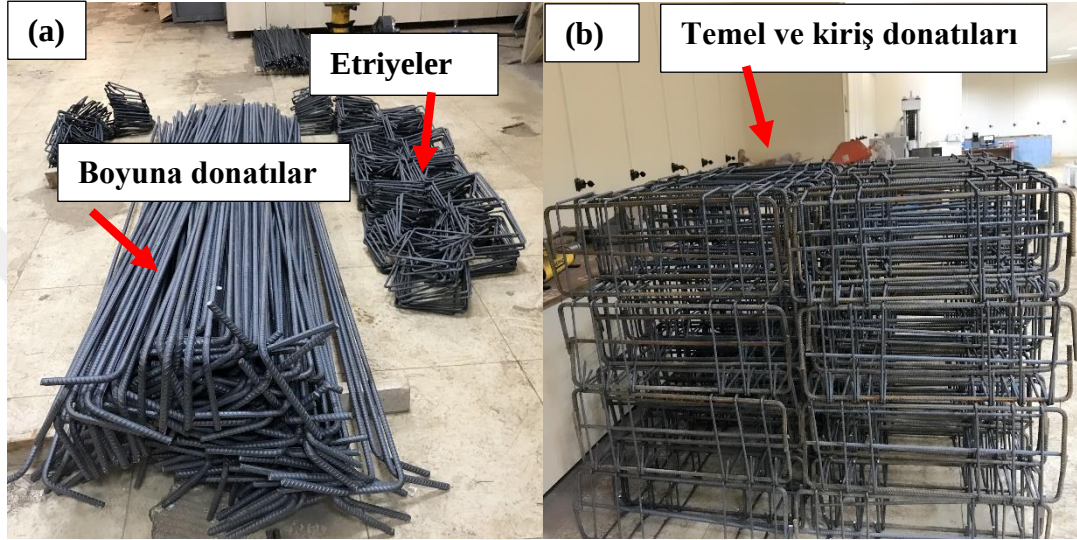
C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C15,C16,C17
C18,C19,C20,C21,C22,C23,C24,C25



Şekil 3.1. Betonarme kolonlarının kesit özellikleri çizimi.

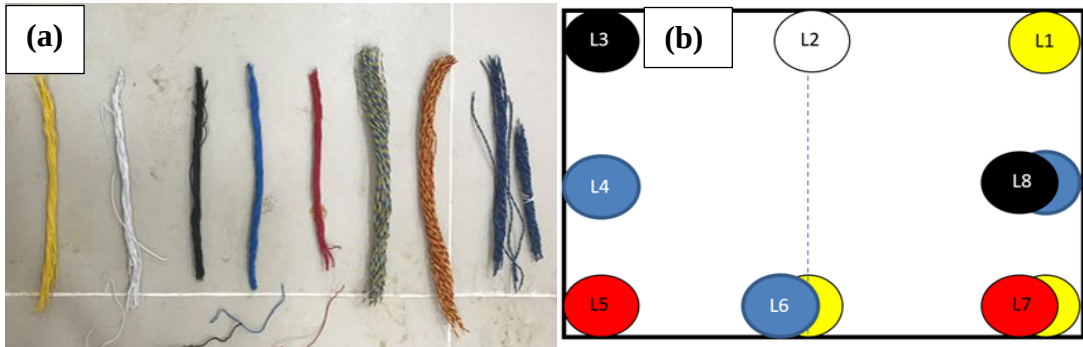
3.2. Betonarme Donatı İşleri

Şekil 3.2’de görülen çelik betonarme donatıları tasarımda belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Donatıların uygun boylarda kesilmesinden sonra tüm donatılara mekanik temizleme işlemi uygulanmıştır. Bu yapılan işlem ile donatıların ilk kütlelerini etkileyebilecek tüm atıklar donatının yüzeyinden temizlenmiştir.



Şekil 3.2 . Betonarme kolon donatıları: (a) Boyuna donatılar ve etriyeler, (b) Temel ve kiriş donatıları.

Donatılar mekanik temizleme işlemlerinden sonra kodlanmıştır. Kodlama işlemi için Şekil 3.3’de ve Şekil 3.4’de görülen renkli kaplamaya sahip paslanmaz özellikte bakır kabloları kullanılmıştır.

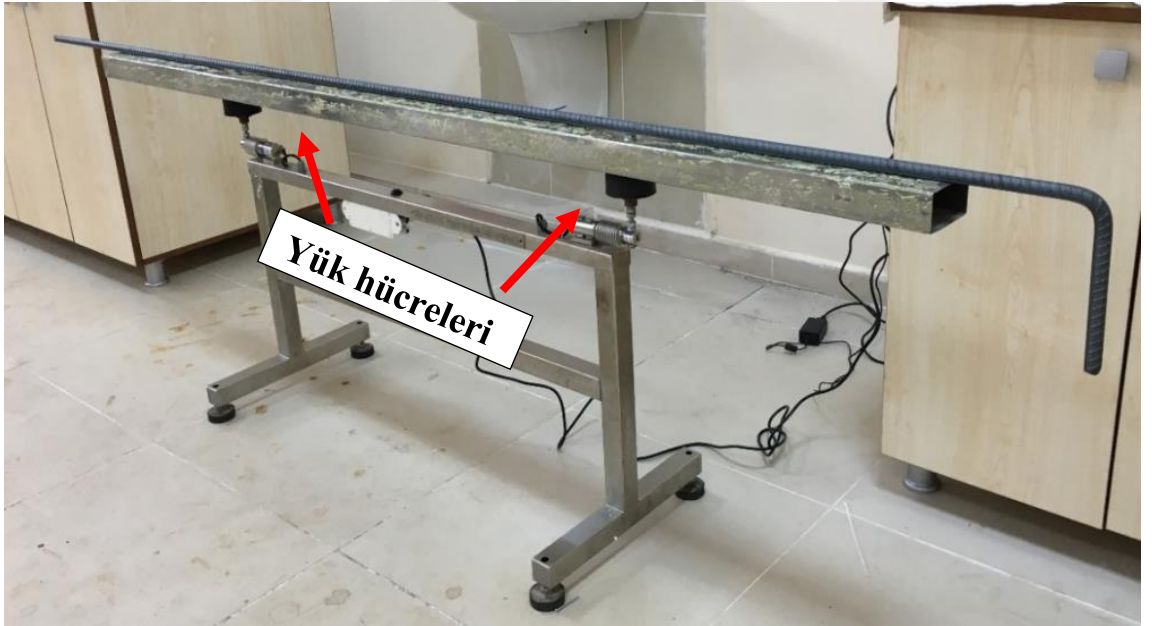


Şekil 3.3. Boyuna donatılarının kodlandırılması: (a) Renkli bakır kabloların hazırlanması, (b) Kodlanan donatıların bakış yönü.



Şekil 3.4. Bakır kabloların boyuna donatılara bağlanması.

Kodlanan donatıların ilk kütlelerini tespit etmek amacıyla Şekil 3.5’de görülen 0.05 gr hassasiyete sahip olan ve iki noktadan yük hücresi bulunan bir terazi kullanılmıştır. Yapılan kodlama işlemi ile donatıların beton içinden çıkarıldıktan sonra karışmaması hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Betonarme kolon donatılarının tartılma işlemi.

Tartım işleri tamamlanan donatıların ilk kütleleri Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilmiştir. Tartılan donatılar tasarımda belirtilen ölçülerde bağlanarak betonarme kolonların donatı kafesleri Şekil 3.6’de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Şekil 3.7’da deneylerde kullanılacak 25 adet betonarme kolonun donatı kafesleri görülmektedir.

Tablo 3. 1. TUBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri (gr).

Kod	C1	N/A _c .f _{ck} = %20				C6	N/A _c .f _{ck} = %40			
		C2	C3	C4	C5		C7	C8	C9	C10
L1	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	4069.0	4012.0	4112.0	4106.0		4098.0	4170.0	4059.5	4158.0
L2		4077.0	4102.5	4084.0	4168.0		4098.0	4082.0	4085.0	4096.5
L3		4080.0	4128.5	4077.0	4091.0		4104.0	4091.0	4077.5	4119.0
L4		4090.0	4087.5	4102.5	4106.5		4079.0	4099.0	4062.5	4064.5
L5		4099.5	4106.0	4084.5	4086.5		4102.5	4088.5	4163.5	4084.5
L6		4150.0	4101.5	4079.5	4073.0		4094.5	4101.0	4099.5	4168.0
L7		4111.1	4089.5	4084.0	4082.5		4099.5	4082.5	4101.0	4116.5
L8		4190.5	4100.5	4059.5	4123.0		4096.0	4085.5	4174.0	4090.0
S1		479.0	485.0	486.0	477.5	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	463.0	481.5	466.5	483.0
S2		499.0	482.0	481.5	485.5		506.0	497.5	498.5	479.5
S3		483.5	501.0	501.5	485.0		505.0	463.0	464.0	464.0
S4		507.0	482.0	495.0	496.5		495.0	482.0	502.0	480.0
S5		501.5	479.0	462.5	483.5		480.0	475.0	508.0	482.5
S6		486.0	487.5	482.0	486.0		498.5	503.0	479.5	481.0
S7		459.5	486.5	495.0	494.5		480.5	465.5	485.5	497.0
S8		486.0	479.0	478.5	466.0		484.5	507.0	479.0	464.0
S9		486.0	504.0	463.5	485.5		488.0	463.0	481.0	464.5
S10		486.0	493.0	484.5	475.5		482.5	486.0	478.0	506.5
S11		496.0	495.0	485.0	477.5		461.0	481.5	464.5	467.5
S12		508.0	485.0	475.5	478.0		480.5	499.5	506.5	494.0
S13		486.5	460.0	476.5	484.0		482.0	466.0	463.5	490.0
S14		489.0	486.0	465.0	454.5		479.0	477.0	483.5	488.0
S15		462.5	507.0	463.0	476.0		489.0	497.5	463.5	462.0
S16		486.0	462.5	489.0	485.0		488.0	497.5	463.0	500.0
S17		486.5	484.5	483.0	483.5		494.5	482.0	479.5	499.0
S18		463.0	484.5	500.5	495.0		486.5	463.5	483.5	464.5

Tablo 3. 2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri (gr).

Kod	C11	N/A _c .f _{ck} = %20				C16	N/A _c .f _{ck} = %40			
		C12	C13	C14	C15		C17	C18	C19	C20
L1		3995.0	4103.0	4082.5	4068.0		4047.5	4107.5	4071.0	4052.0
L2		4052.0	4034.5	4025.0	4041.5		4033.5	4045.5	4042.0	4052.0
L3		4067.0	4041.0	4056.5	4055.0		4046.5	4033.0	4042.5	4027.0
L4		4028.5	4051.0	4024.5	4023.0		4036.0	4085.5	4074.5	4036.0
L5		4145.5	4107.0	4088.5	4051.5		4116.0	4057.0	4068.5	4008.5
L6		4073.5	4052.0	4066.5	4052.0		4072.0	4135.0	4026.5	4022.5
L7		4044.5	4034.0	4055.5	4034.0		4031.0	4038.5	4043.5	4077.0
L8		4060.0	4076.5	4109.5	4063.5		4094.5	4058.0	4121.5	4017.0
S1	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	430.0	441.5	443.5	449.0	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	466.5	450.0	443.0	446.0
S2		451.5	427.0	457.5	421.0		443.0	442.0	462.0	463.0
S3		450.5	441.0	422.0	442.0		447.5	443.0	449.0	450.0
S4		466.0	448.5	444.0	436.5		442.0	448.0	443.5	447.5
S5		448.0	447.5	443.5	452.0		449.5	440.0	450.5	444.0
S6		445.0	447.5	446.5	456.0		453.5	438.5	442.5	447.0
S7		454.5	432.5	441.0	448.0		435.5	455.5	440.0	449.0
S8		446.0	450.5	426.5	470.5		449.5	461.5	432.0	433.5
S9		444.5	462.0	467.0	456.0		449.5	440.5	486.5	449.5
S10		468.5	455.0	423.0	461.0		445.5	482.5	453.5	455.0
S11		477.5	465.5	460.0	448.5		444.5	444.0	472.0	468.0
S12		450.5	448.5	443.0	428.5		451.0	478.0	460.5	453.5
S13		440.5	452.0	436.0	451.0		443.5	444.0	431.0	439.0
S14		452.5	425.0	439.0	419.0		438.5	445.0	450.5	449.5
S15		440.5	461.0	467.0	443.5		453.0	430.0	448.0	432.0
S16		441.0	440.0	463.0	432.5		433.5	457.5	437.5	446.0
S17		466.5	447.5	464.5	451.0		430.0	429.0	449.5	457.0
S18		454.0	446.0	437.0	441.0		447.0	434.5	446.5	448.5

Tablo 3. 3. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonları için paslandırma öncesi donatı gravimetrik değerleri (gr).

Kod	C21	N/A _c .f _{ck} = %40			
		C22	C23	C24	C25
L1	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	4073.5	4005.5	3988.5	3990.5
L2		3989.0	4118.5	4013.5	4030.0
L3		4020.0	3956.5	4030.5	4087.0
L4		3996.5	4081.0	4097.5	4053.0
L5		4056.0	4003.0	4064.5	4008.5
L6		4214.0	4067.0	4080.5	4066.0
L7		4049.0	4111.0	4089.5	4086.0
L8		4049.5	4017.5	4082.5	4126.5
S1		438.0	466.0	436.0	452.5
S2		452.0	428.0	445.5	449.5
S3		463.5	420.5	441.5	426.0
S4		450.5	448.0	460.0	434.0
S5		458.5	426.0	443.0	458.0
S6		455.0	442.0	445.0	437.5
S7		443.0	433.5	469.5	458.0
S8		455.5	420.5	444.0	446.0
S9		447.5	440.0	465.0	457.5
S10		426.0	444.5	433.5	444.0
S11		446.5	467.0	463.0	449.5
S12		448.0	446.5	457.5	458.0
S13		511.0	445.5	434.0	444.0
S14		462.5	444.5	444.5	446.0
S15		447.5	441.5	430.0	458.5
S16		461.5	447.0	463.5	473.0
S17		451.0	437.5	430.5	431.5
S18		439.0	448.0	432.0	430.5



Şekil 3.6. Betonarme kolonların donatılarının bağlanması.



Şekil 3.7. Hazır hale getirilen betonarme kolon donatı kafesleri.

3.3. Kalıp İşleri

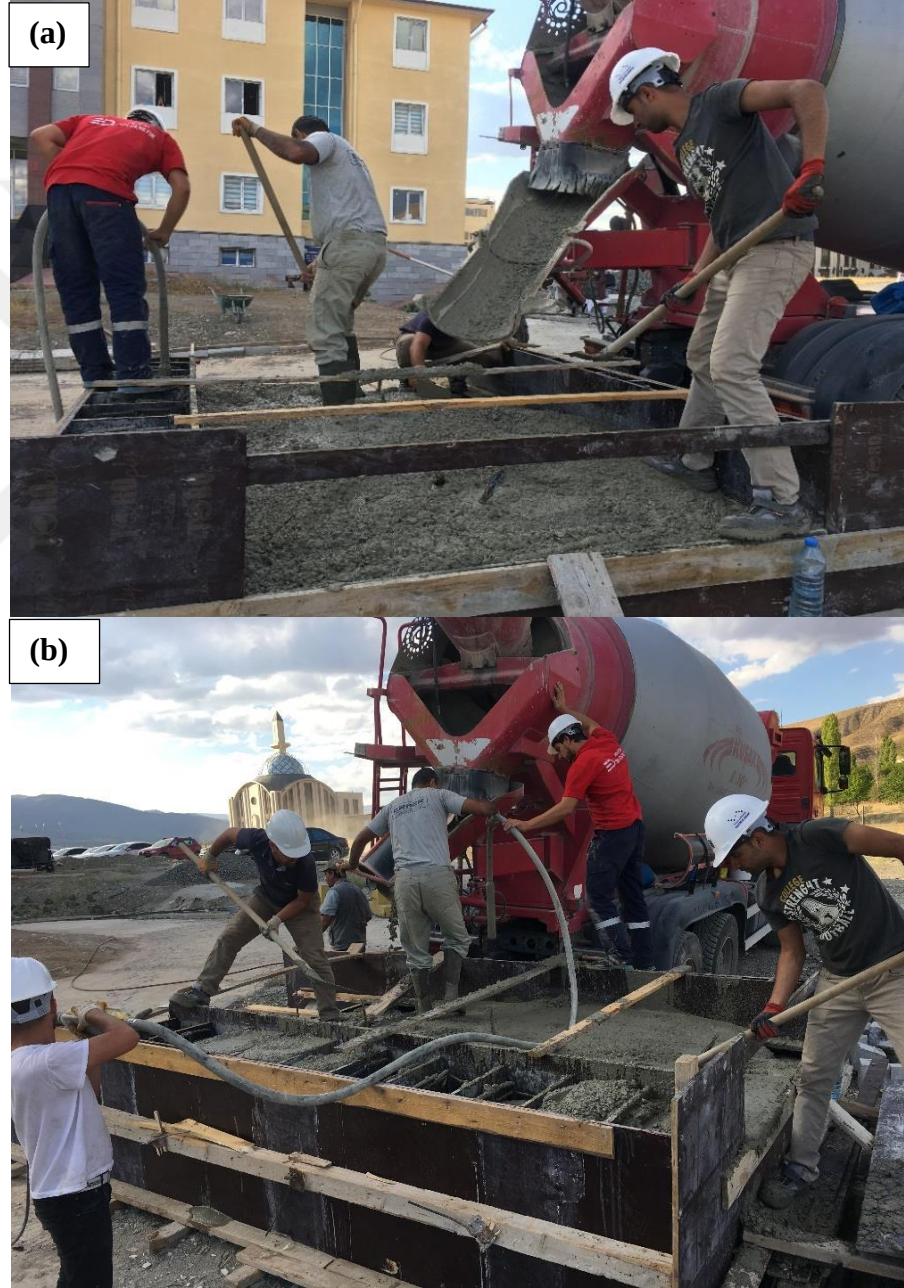
Tez çalışması kapsamında su yalıtımlı ply-wood kalıplar kullanılmıştır. Ply-wood'lar donatı kafeslerine uygun ölçülerde kesilip birleştirilerek montajları yapılmıştır. Kalıpların içi beton döküm işleminden önce kalıp yağı ile yağlanarak betonun yüzeyinin pürüzsüz elde edilmesini sağlanmıştır. Bunun yanında kalıp yağı betonarme kolonların kalıptan daha rahat çıkmasını sağlamıştır. Şekil 3.8'de kalıp imalatı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kalıp işleri: (a) Betonarme kolonlar için hazırlanan kalıplar, (b) Hazırlanan donatı kafeslerinin kalıba yerleştirilmesi.

3.4. Beton Döküm İşleri ve Beton Özellikleri

TS 500 (2000) standartlarında belirtilen prosedürlere bağlı kalınarak beton döküm işleri yapılmıştır, beton döküm işleri Şekil 3.9’de ve Şekil 3.10’de gösterilmektedir. Beton döküm işleri için hiçbir katkı maddesi kullanılmadan tek seferde gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü esnasında betonun kalıba eşit bir şekilde yerleşmesi için TS1247 (1984) standartlarına uygun şekilde vibratör uygulanmıştır.



Şekil 3. 9. Beton dökümü: (a) C8, (b) C20.



Şekil 3.10. Beton dökümü C30 beton için.

Betonarme kolonların beton basınç mukavemetlerini tespit etmek amacıyla beton dökümü işlemi sırasında TS EN-206 (2000) yönetmeliklerine uygun şekilde her kolon numunesi için 6 adet küp ve silindir numunesi alınmıştır (Bkz Şekil 3.11). Numune alımında plastik kalıp kullanılarak numunelerin su sızdırması engellenmiştir. Tüm kalıplar numune alımından önce yağlanmıştır. Küp numunesi için 150x150x150 mm boyutlarında silindir numunesi için ise 150x300 mm boyutlarında kalıplar kullanılmıştır. Beton numuneleri bir hafta süresince kolon numuneleri ile aynı ortamda kürlenmiştir. Bu şekilde beton basınç dayanımlarındaki olası bir farklılıkların önüne geçilmiştir.



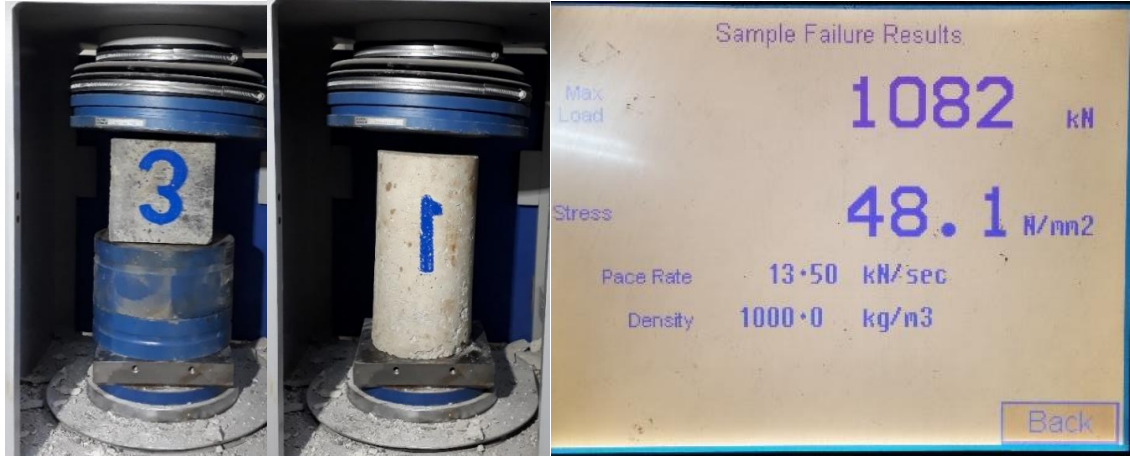
Şekil 3.11. Küp ve silindir numune alımı.

Beton dökümünden sonra betonun su içeriği çimentonun hidratasyonu için yeterlidir, fakat dökümden sonra ilerleyen saatlerde betonun nem ve sıcaklık gibi durumlarını kontrol etmek gerekir. Nem ve sıcaklık durumlarının normal seviyelerden farklı olması halinde betonda mikro çatlaklar oluşacaktır. Oluşan bu çatlaklar ise zaman ile genişleyebilmektedir. Belirtilen bu olumsuzlukların önüne geçebilmesi için beton döküm tarihinden itibaren 7 gün boyunca aralıksız kürleme işlemi yapılmıştır. Betonarme kolonları beton dökümünden 5 gün sonra kalıplarından Şekil 3.12’de görüldüğü üzere çıkarılmıştır.

Şekil 3.13’da görüldüğü üzere betonarme kolonların beton basınç mukavemetlerini belirlemek için silindir numunelerin beton basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda silindir numunelerinin beton basınç dayanımları sırasıyla 9.47, 27.79 ve 37.46 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Kalıptan çıkartılan betonarme kolonları: (a) C8, (b) C20 ve C30.



Şekil 3.13. Küp ve silindir numunelerinin beton basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi.

Betonarme kolonların silindir numune deney sonuçları Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kullanılan betonarme numunelerin basınç dayanımları

Beton sınıfı	Küp beton basınç dayanımları (MPa)
C8	9.47
C20	27.79
C30	37.46

Priz süresini tamamlayan betonarme kolonları hızlandırılmış korozyon yöntemi ile korozyona maruz bırakılmaları için Şekil 3.14’de görüldüğü üzere 3 ton taşıma kapasiteli seyyar vinç yardımı ile kontrollü bir şekilde tam ölçekli bakır paslandırma havuzuna yerleştirilmiştir. Ardından yerleştirelen betonarme kolonların hızlandırılmış korozyon yöntemi için bakır kabloları dikkatli bir şekilde soyulmuştur.



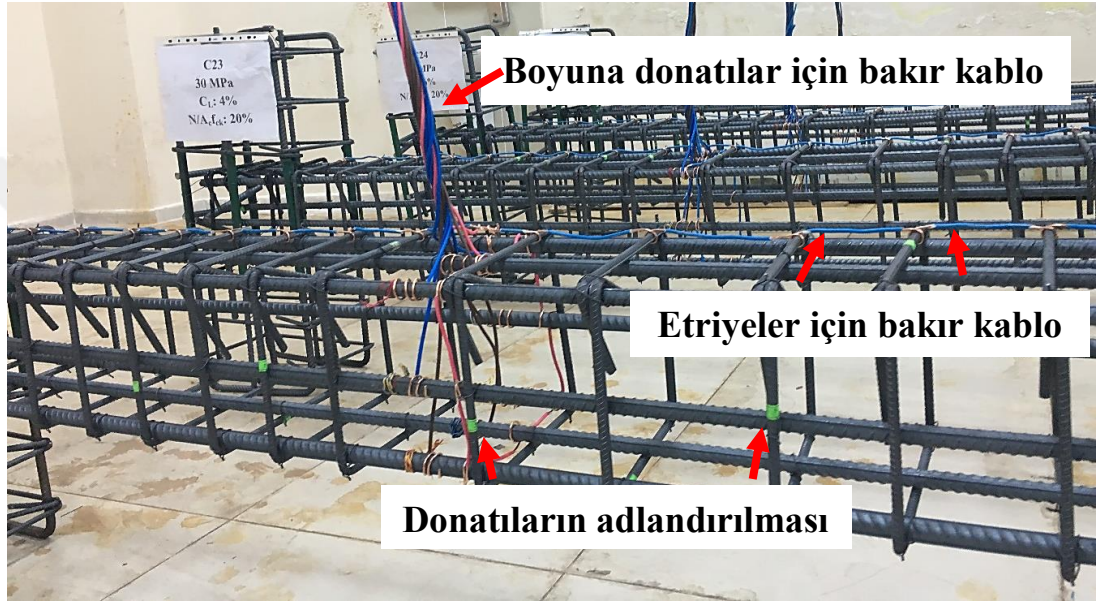
Şekil 3.14. Betonarme kolonların betonarme havuzuna taşınması.

3.5. Hızlandırılmış Korozyon Yöntemi

Korozyon sürecinin yapılarda ilerlemesi uzun yıllar sürebilmektedir. Doğal yolla paslandırmaya bırakıldığı zaman oldukça uzun süreçler alacak korozyon durumu hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanarak kısa sürelere indirebilmek mümkündür. Tez sahibinin yer aldığı TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında üretilmiş olan 25 adet betonarme kolonun 20 tanesi farklı korozyon oranlarında (%2 %4 %6 %10) paslandırılmış olup geriye kalan 5 tane betonarme kolon ise korozyona maruz bırakılmamıştır.

Yalciner (2017) yılında yapmış olduğu çalışma kapsamında kullanılan hızlandırılmış korozyon yönteminde betonarme elemanındaki tüm donatılara kablolar bağlanarak betonarme donatılı paslandırılmıştır. Yapılan çalışmada devreden geçen akım donatılara bağlanan bakır kablolar sebebiyle donatı boyunca yol izleyerek eşit bir paslanma elde edilmesine yardımcı olmuştur.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında da Yalciner (2017) tarafından kullanılan yöntem referans alınarak Şekil 3.15’de görüldüğü gibi tüm etriye ve boyuna donatılara bakır kablolar bağlanmıştır. Kullanılan bakır kablolar TS EN 50525-2-31 (2012) uygun ve 4 mm çapında kullanılmıştır. Kabloların dış koruma kaplamaları yalnızca donatı ile temas edecek noktalarda soyulmuştur. Bakır kablolar donatılara bağlanırken tek parça halinde kullanılmıştır. Bu yönteme ek olarak boyuna donatı ve sargı donatılarının birleşim yerleri de bakır kablo ile bağlanmıştır.



Şekil 3.15. Bakır kabloların donatılara bağlanması.

Betonarme kolonlarının hızlandırılmış korozyon yöntemi Şekil 3.16’de gösterilen tam ölçekli paslandırma havuzunda gerçekleştirilmiştir. Tam ölçekli paslandırma havuzu, 175 cm genişliğe 85 cm yüksekliğe göre tasarlanmıştır. Betonarme paslandırma havuzundaki olası elektrik akım kaçağının önüne geçebilmesi için havuzun tüm iç yüzeyleri plastik yalıtımlı membran ile kaplanmıştır. Hızlandırılmış korozyon yönteminde kullanılacak olan güç kaynağı için 60 volt 10 amper değerinde ayarlı güç kaynakları kullanılmıştır.

Kontrollü paslanmanın sağlanabilmesi için sistemden geçen akım her 60 saniyede bir kayıt edilmiştir. Bunun sağlanabilmesi için devreyi tamamlayan güç kaynağı (artı kutup) ile bakır levhalar arasına (eksi kutup) her bir betonarme kolonu için voltmetreler yerleştirilerek geçen akımlar bilgisayarlar aracılığı ile kayıt edilmesi sağlanmıştır.

Ayarlı güç kaynağı Bilgisayar

Voltmetreler

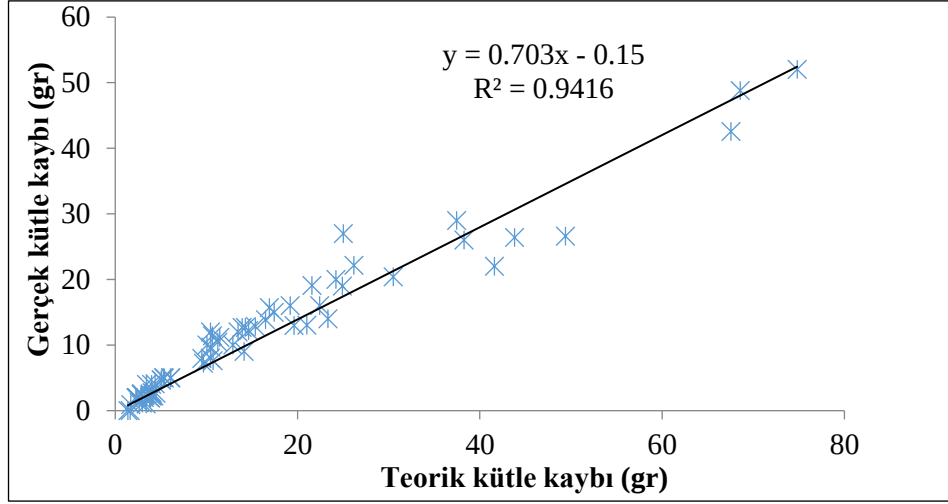
Eksi kutup

Bakır levha

Artı kutup

Bakır levha

21



Şekil 3.18. Faraday Kanunu'na göre gerçek pas oranlarının karşılaştırılması (Yalciner vd., 2012) .

Tez çalışmasında hızlandırılmış korozyon yönteminde kullanılan Faraday kanunu yalnızca hedeflenmiş olan gerçek kütle kaybı değerlerini teorik olarak yakın bir şekilde elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Betonarme kolon donatılarındaki gerçek kütle kayıplarını ve korozyon oranlarını hesaplamak için yükleme deneyi tamamlanan betonarme kolonlar kırılarak içlerinden donatıların çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Korozyon sonucu oluşan gerçek pas oranları Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

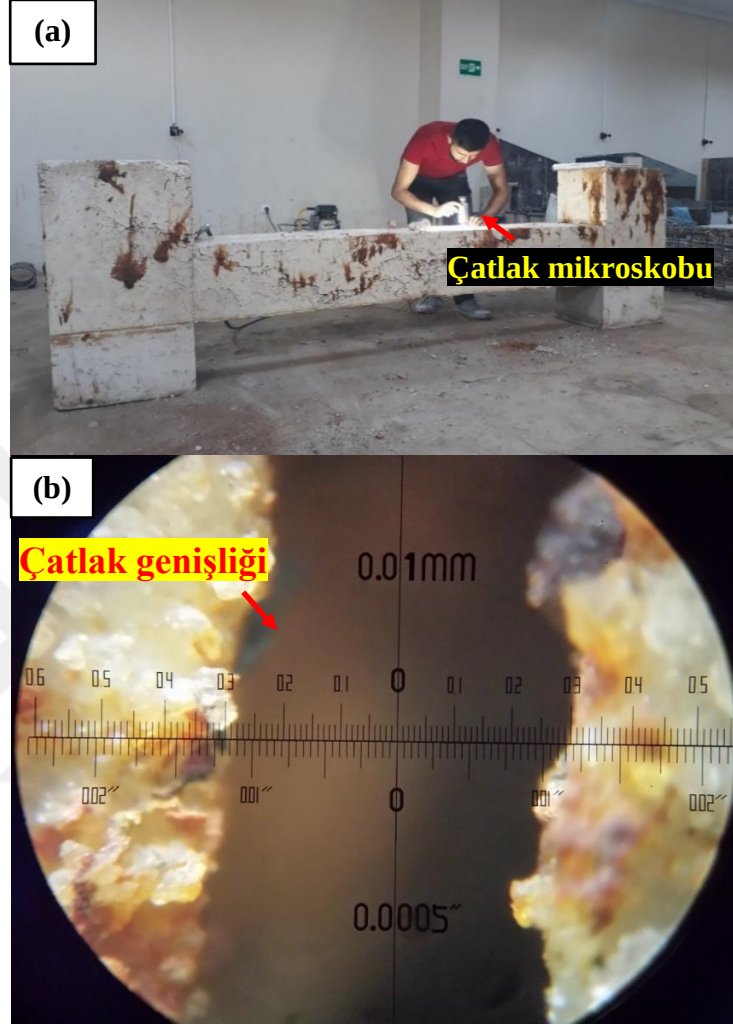
$$C_L = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\% \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de C_L korozyon oranını, W_i donatıların ilk kütlesini, W_f ise korozyona uğrayan donatıların mekanik ve kimyasal temizleme işlemlerinden sonraki son kütlesini belirtmektedir.

3.6. Paslandırma Sonrası Birincil Korozyon Çatlak Haritaları

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında 3 farklı beton basınç dayanımına sahip (C8, C20 ve C30) tam ölçekli betonarme kolonları üretilmiştir. Yükleme deneylerinden önce korozyona maruz bırakılan betonarme kolonların birincil çatlak genişliğini ölçmek için 0.02 hassasiyete sahip çatlak mikroskobu kullanılarak

çatlak genişlikleri Şekil 3.19’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Bu ölçülen çatlak genişliklerinin oluşma sebebi korozyondan dolayı pas ürünüdür.



Şekil 3.19. Korozyona maruz kalmış kolonların birincil çatlak genişliği: (a) Mikroskop ile çatlak genişliğinin okunması, (b) Çatlak genişliklerin ölçümü.

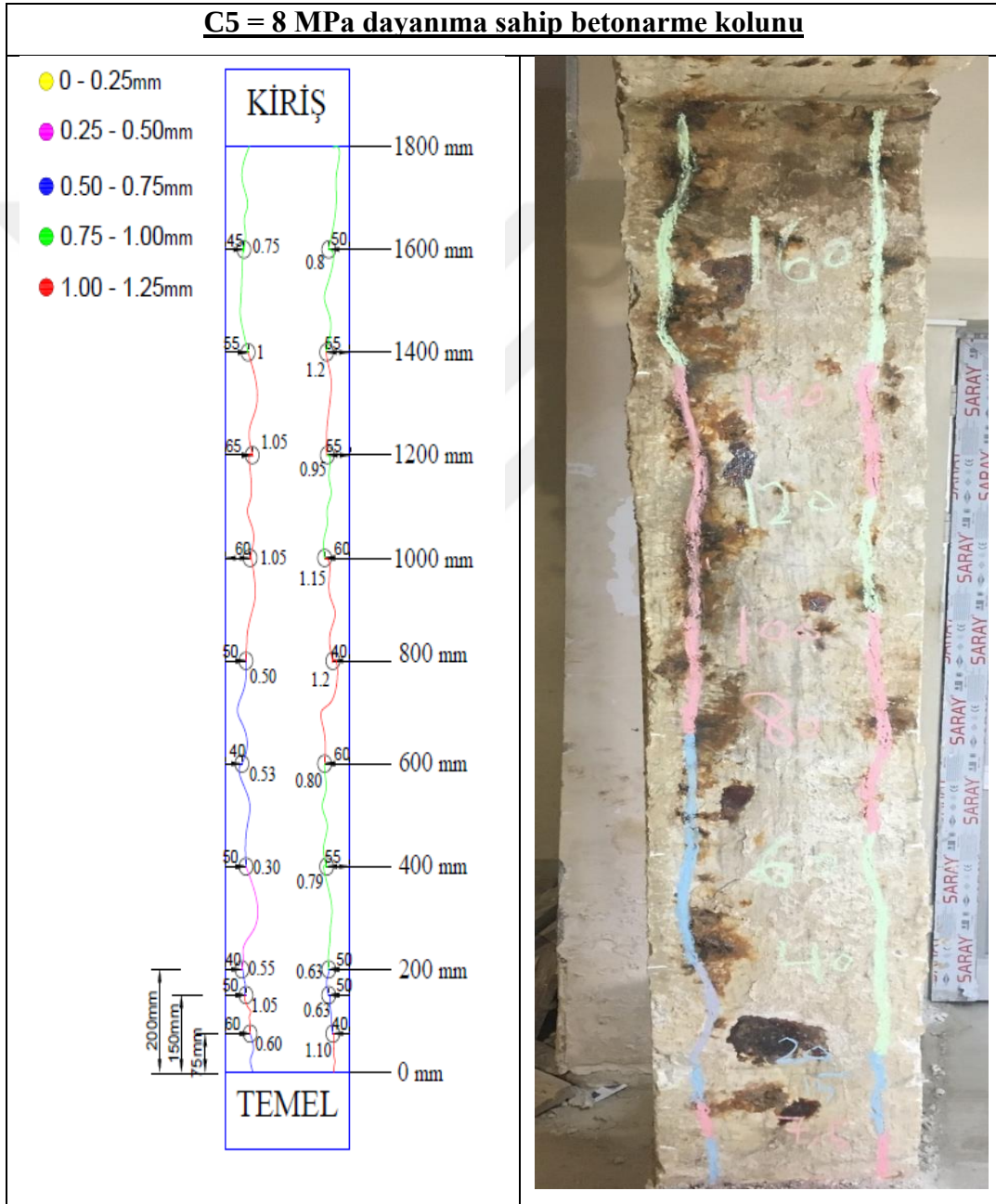
Tüm betonarme kolonları kolon boyunca 20 cm aralıklar ile hassas bir şekilde ölçülerek çatlak genişlikleri haritalandırılmıştır. Ayrıca betonarme kolonların plastik mafsal bölgesindeki birincil çatlak genişlikleri Park ve Paulay (1975) modeline göre (75 mm) ve bir üst seviye (150 mm) için de ölçülerek kayıt edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan ve deprem yönetmenliğinde yer alan plastik mafsal bölgesi (Park ve Paulay 1975) modeli Denklem 3.5’de gösterilmektedir. Bu formülde L_p plastik mafsal boyu H ise kesit yüksekliğidir. Şekil 3.20-3.25’de görüldüğü gibi farklı beton sınıfına ve farklı korozyon oranına sahip betonarme kolonların çatlak genişlikleri

izilerek haritalandırılmıştır. Ek 1’de ise tüm betonarme kolonlarının çatlak genişlik verileri gösterilmektedir.

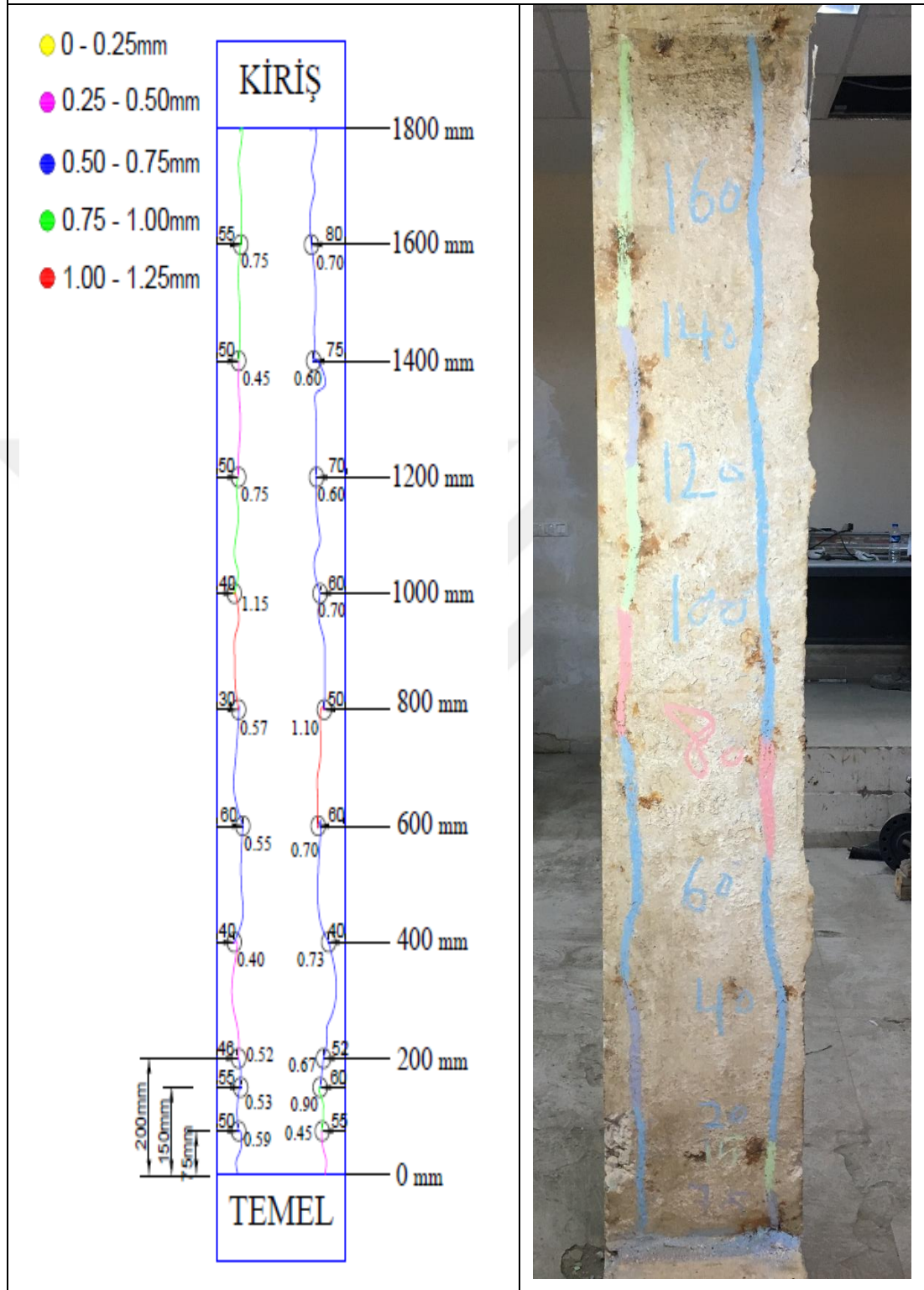
$$L_p = 0.5H$$

(3.5)



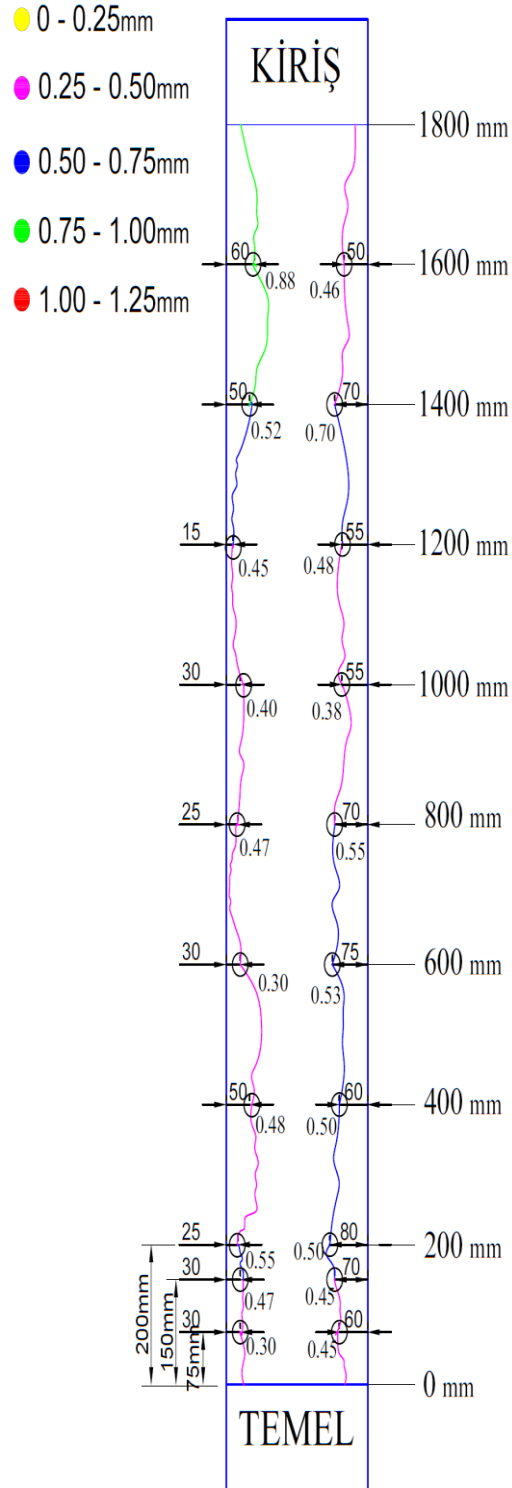
Şekil 3.20. C5 betonarme kolonun atlak haritası.

C10 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolonu



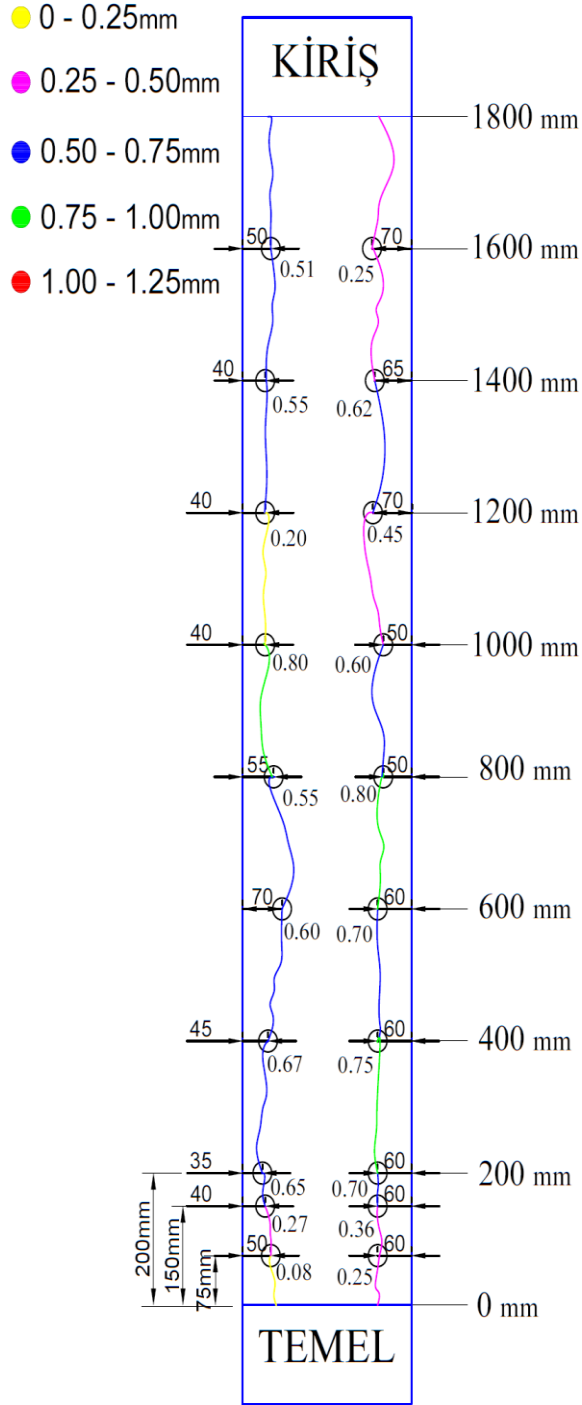
Şekil 3.21. C10 betonarme kolonun çatlak haritası.

C19 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolonu



Şekil 3.22. C19 betonarme kolonun çatlak haritası.

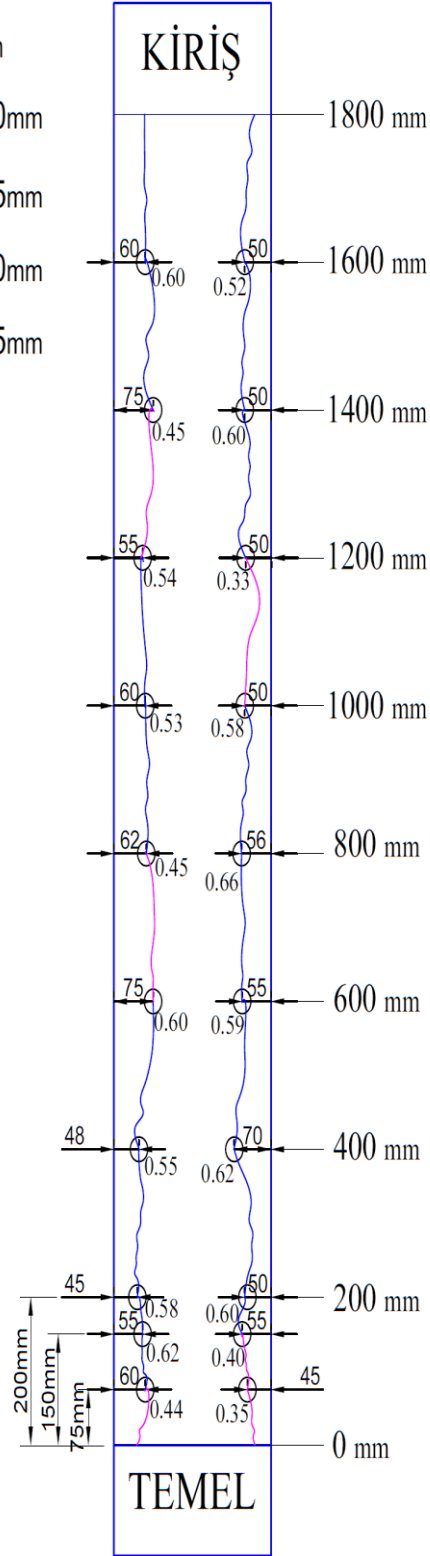
C20= 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolonu



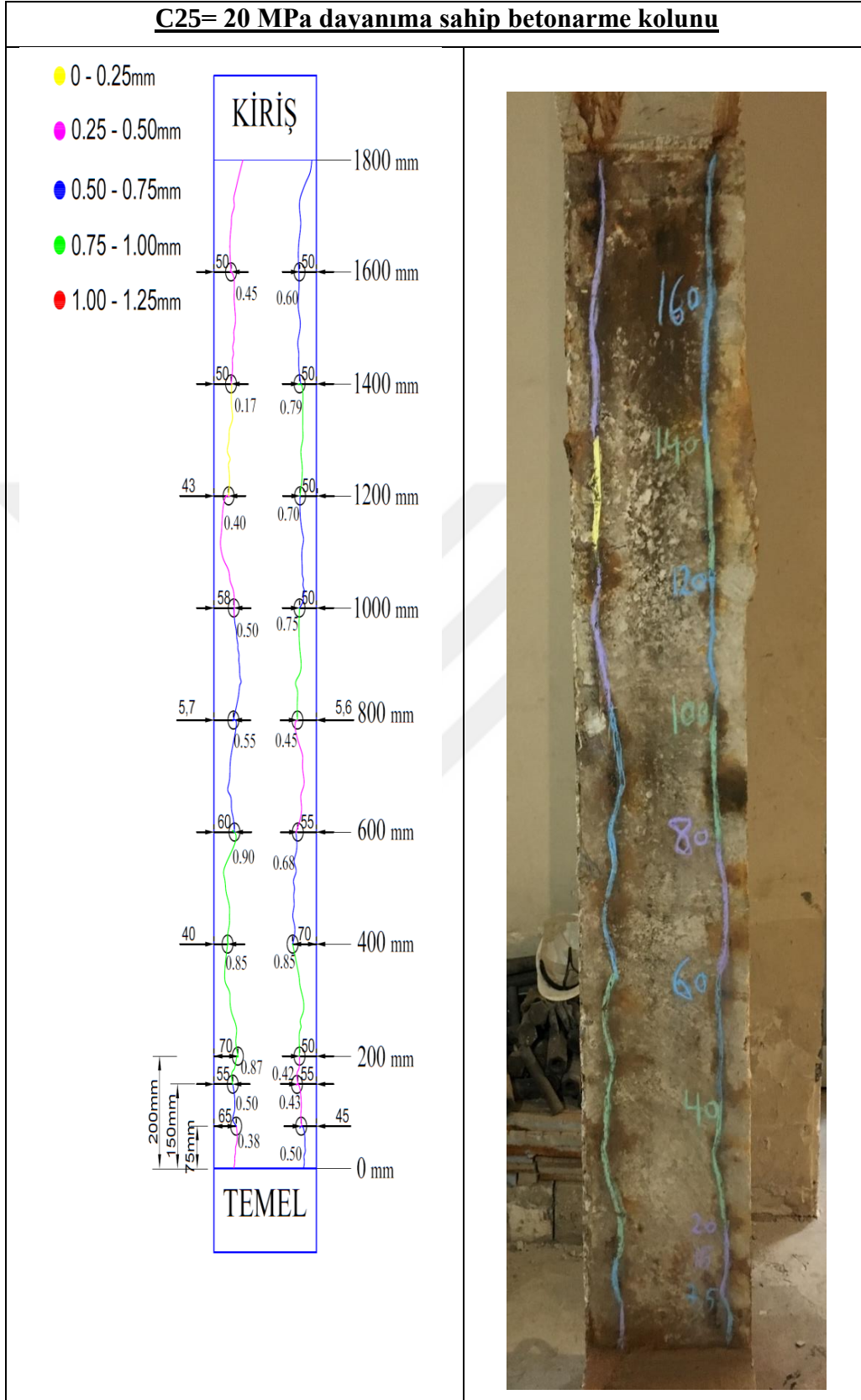
Şekil 3.23. C20 betonarme kolonun çatlak haritası.

C24 = 30 MPa dayanıma sahip betonarme kolonu

- 0 - 0.25mm
- 0.25 - 0.50mm
- 0.50 - 0.75mm
- 0.75 - 1.00mm
- 1.00 - 1.25mm



Şekil 3.24. C24 betonarme kolonun çatlak haritası.



Şekil 3.25. C25 betonarme kolonun çatlak haritası.

3.7. Deney Düzenegi ve Ölçümler

Betonarme kolon numunelerine uygulanan yükleme ve ölçüm düzenekleri tüm numuneler için özdeştir. Şekil 3.26’de yükleme ve ölçüm düzenegi kurulum aşaması görölmektedir.

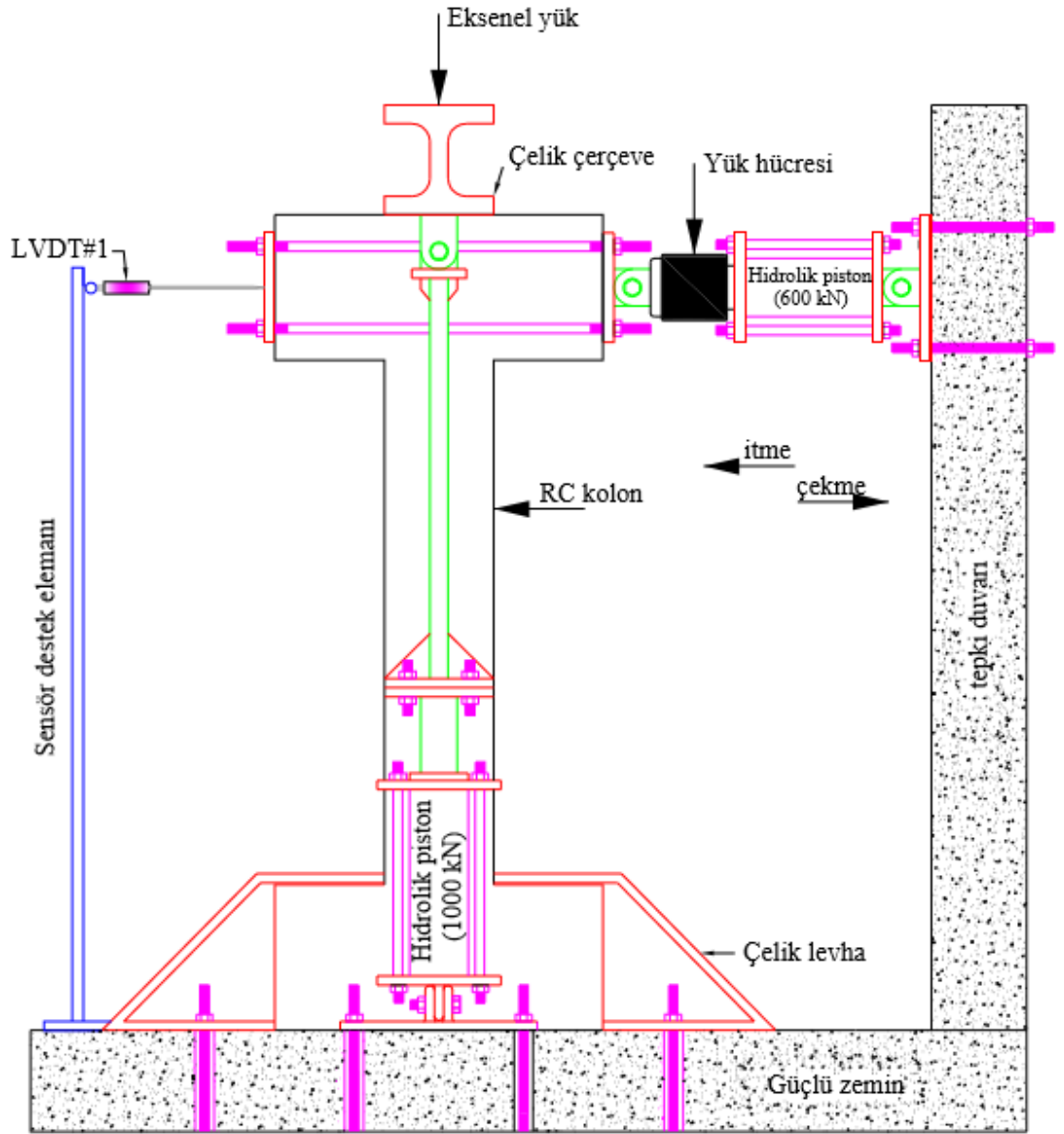


Şekil 3.26. Deney düzenegi kurumu: (a) Ölçüm düzeneklerin kurulması, (b) Deney düzenegin kaynak işleri.

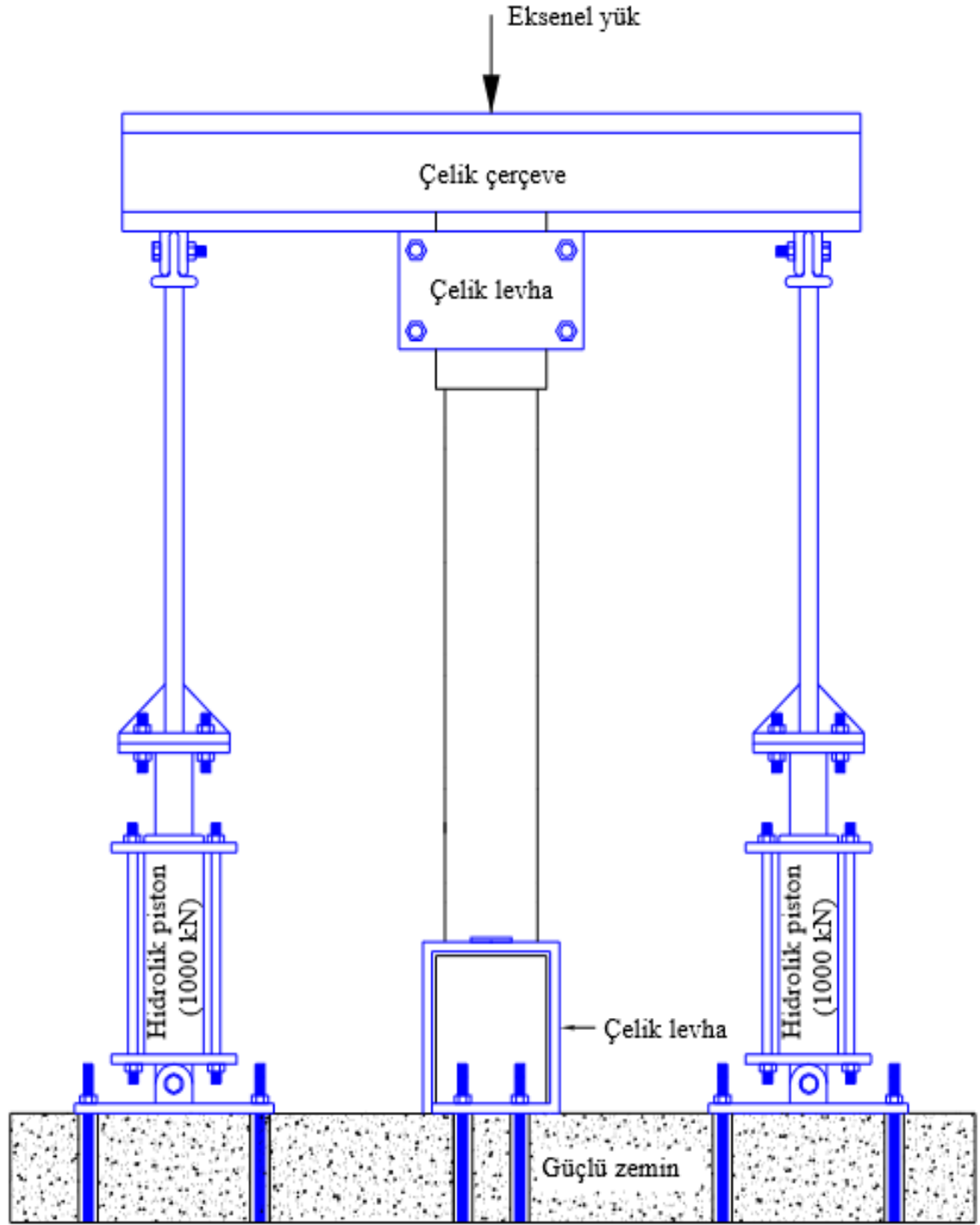
Şekil 3.26’de görölen yükleme düzenegi aksel için 2 adet 1000 KN kapasitesine sahip hidrolik silindir yanal yükleme için 1 adet 600 kn kapasitesine sahip hidrolik silindir kullanılmıştır. Hidrolik silindirler sağlam zeminine 2 cm kalınlığında çelik plaka ile sabitlenmiştir.

Yanal yüklemede kullanılacak hidrolik silindir ise 2 cm kalınlığındaki çelik plaka yardımıyla tepki duvarına sabitlenmiştir. Aksel yükleme için gerekli olan yükün doğru

olarak uygulanabilmesi için manometre kullanırken; yanal yükleme için ise bir adet yük hücresi kullanılmıştır. Betonarme kolonların yanal deplasmanlarının ölçülmesi için numune kirişin tam ortasında bir adet 200 mm kapasiteye sahip potansiyometre yerleştirilmiştir. Aynı zamanda deney sırasında numunelerin ikincil çatlak genişliğinin ölçülmesi için numune boyunca pas payı hizasında uygun olan noktalara üç adet çatlak ölçerler sabitlenmiştir. Deney sırasında elde edilen tüm veriler data logger yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Numune üzerine sabitlenen çatlak ölçerler ve diğer cihazlara ait olan çizimler Şekil 3.27-3.30’da görüldüğü üzere gösterilmiştir.

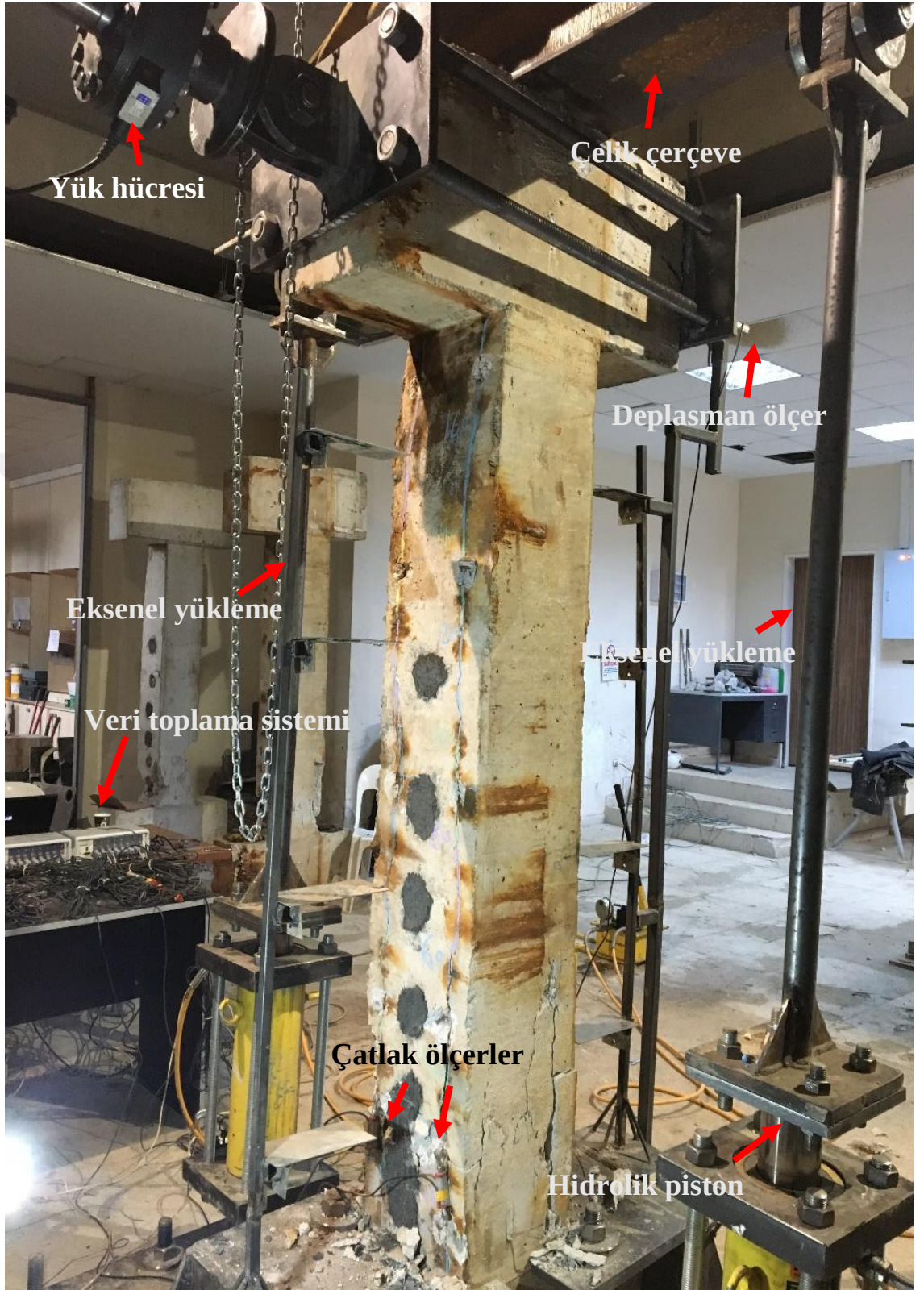


Şekil 3.27. Yükleme düzeneğinin yan görünüşü.

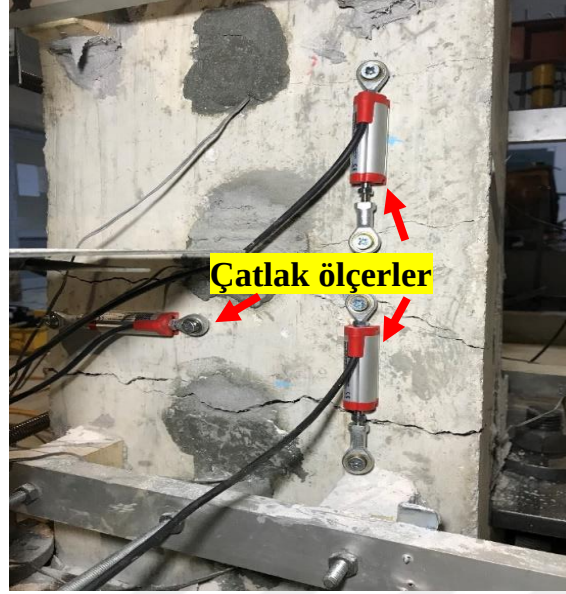


Ön görünüş

Şekil 3.28. Yükleme düzeneğinin ön görünüşü.

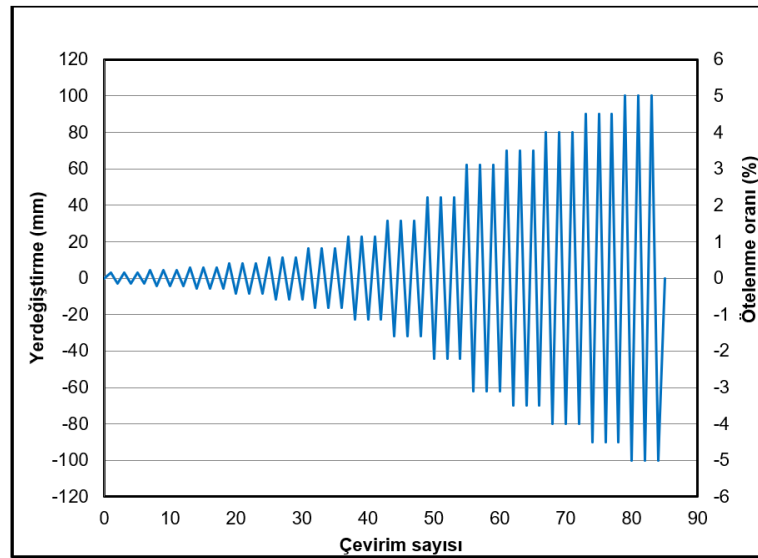


Şekil 3.29. Deney düzeneğinin gösterimi.



Şekil 3.30. Çatlak ölçerlerin monte edilmesi.

Şekil 3.31’ de görüldüğü gibi tersinir yükleme deneyleri FEMA 461 (2007) protokolüne uyarak her bir genlik için 3 çevrim yapılmıştır. FEMA 461 protokolünde bir yapının deprem esnasında gelen yüklere karşı nasıl davranacağını açıklanmaktadır. Tersinir yükleme deneylerini başlatmadan önce daha önce karar verildiği gibi numuneler eksenel yüklere tabi tutulmuştur. Bu şekilde C8-C20-C30 gurubundaki betonarme kolonlarından eksenel yükü C1-C5, C11-C15, betonarme kolunu için 0.20 olarak, C6-C10, C16-C20, C21-C25 ise 0.40 olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.31. FEMA 461 (2007) yükleme programı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Deney Sonuçları

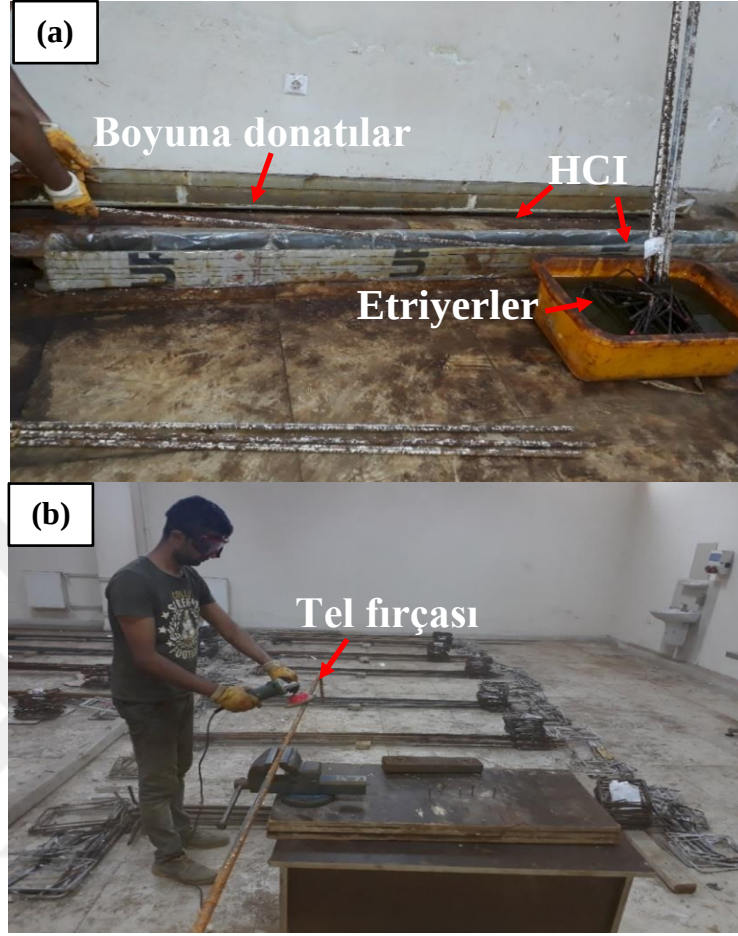
4.1.1. Numunelerin gerçek korozyon oranları ve dağılımları

Betonarme kolonların gerçek korozyon oranlarını elde etmek için tüm numuneler kırılarak; betonarme boyuna ve sargı donatıları daha önceden kaydedilen sıralamaya göre hilti yardım ile beton içerisinden çıkartılmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi betonarme kolonların yükleme deneylerinden sonra kırılma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Betonarme kolonların yükleme deneylerinden sonra kırılma işleri.

Boyuna donatılar ve sargı donatıları aynı şekilde ikinci tartım için hazır hale getirilmiştir. Beton içerisinden çıkartılan donatılar ASTM G1-03 (2003) yönetmeliğine göre önce mekanik ardından kimyasal temizlemeye tabi tutulmuştur. Mekanik temizleme işlemleri için tel fırçalar ile donatı yüzeyinde bulunan tüm korozyon ürünü uzaklaştırılmıştır. Kimyasal temizleme işlemleri için ise alüminyum bir havuz yapılmış ve içerisinde su ağırlığının %5’i kadar hidroklorik asit barından su havuzuna batırılarak 30 dakika süre ile havuz içinde bekletilerek donatı yüzeyindeki pas ürünleri kaldırılmıştır. Şekil 4.2’ de betonarme kolonlarından çıkartılan donatıların kimyasal ve mekanik temizleme işlemleri sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Betonarme donatıların temizleme işleri: (a) Boyuna ve etriye donatıları için kimyasal işleri, (b) Mekanik temizleme işleri.

Deneyleri gerçekleştirilen betonarme kolonların korozyon oranlarının sonuçlarını daha net bir şekilde ortaya koymak için;

- Betonarme kolonların boyuna ve etriyelerin ortalama korozyon oranları,
- Sadece boyuna donatıların ortalama korozyon oranları,
- Sadece etriye donatıların ortalama korozyon oranları,
- Her bir boyuna ve etriye donatısı için korozyon oranları, şeklinde tüm betonarme kolonların korozyon oranları hesaplanmıştır.

Tablo 4.1-4.6’da görüldüğü gibi her bir betonarme sınıfı için ve yukarıda bahsedilen parametreleri göz önüne alarak korozyon oranları sırasıyla tablo halinde verilmiştir. Ayrıca tüm betonarme kolon donatılarının korozyon dağılım sonuçları Şekil 4.3-4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.1. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).

Numune	N/A _c .f _{ck} (%)	İlk kütle (g)		Faraday kütle kaybı (g)	Gerçek kütle kaybı (g)		Faraday korozyon oranı (%)	Gerçek korozyon oranı (%)		Uygulanan akım- saat (A.h)
		L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	
C8 ₁	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C8 ₂	20	32867.1	8751.0	2819.8	704.6	363.5	6.78	2.14	4.15	2706.5
		Toplam: 41618.1			Ortalama: 1068.1			Ortalama: 2.57		
C8 ₃	20	32728.0	8743.5	3396.9	735.5	418.5	8.19	2.25	4.79	3260.5
		Toplam: 41471.5			Ortalama: 1154.0			Ortalama: 2.78		
C8 ₄	20	32683.0	8667.5	5029.0	1580.5	834.0	12.16	4.84	9.62	4827.0
		Toplam: 41350.5			Ortalama: 2414.5			Ortalama: 5.84		
C8 ₅	20	32836.5	8669.0	7064.8	1786.0	889.5	17.02	5.44	10.26	6781.1
		Toplam: 41505.5			Ortalama: 2675.5			Ortalama: 6.45		
C8 ₆	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C8 ₇	40	32771.5	8743.5	2720.9	937.0	589.5	6.51	2.86	6.74	2592.7
		Toplam: 41515.0			Ortalama: 1526.5			Ortalama: 3.68		
C8 ₈	40	32799.5	8688.0	3344.7	1380.0	622.5	8.04	4.21	7.17	3200.8
		Toplam: 41487.5			Ortalama: 2002.5			Ortalama: 4.83		
C8 ₉	40	32822.5	8649.5	4989.7	1422.5	783.5	12.03	4.33	9.06	4789.3
		Toplam: 41472.0			Ortalama: 2206.0			Ortalama: 5.32		
C8 ₁₀	40	32897.0	8667.0	7070.8	1586.5	913.5	17.01	4.82	10.54	6786.8
		Toplam: 41564.0			Ortalama: 2500.0			Ortalama: 6.01		

L1-8; 8 adet boyuna donatının toplam kütlesi, S1-18; 18 adet sargı donatısının toplam kütlesi.

Tablo 4.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C8 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).

Numune	N/A _c .f _{ck} (%)	Boyuna donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Boyuna donatılarının toplam son kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam son kütlesi (g)	Uygulanan akım-saat (A.h)
		L ₁₋₈	L ₁₋₈	S ₁₋₁₈	S ₁₋₁₈	
C8 ₁	20	x	x	x	x	x
C8 ₂	20	32867.1	32162.5	8751.0	8387.5	2706.5
		C _{LL} (%): 2.14		C _{LS} (%):2.11		
C8 ₃	20	32728.0	31992.5	8743.5	8325.0	3260.5
		C _{LL} (%): 2.25		C _{LS} (%): 4.79		
C8 ₄	20	32683.0	31102.5	8667.5	7833.5	4827.0
		C _{LL} (%):4.84		C _{LS} (%): 9.62		
C8 ₅	20	32836.5	31050.5	8669.0	7779.5	6781.1
		C _{LL} (%): 5.44		C _{LS} (%): 10.26		
C8 ₆	40	x	x	x	x	x
C8 ₇	40	32771.5	31834.5	8743.5	8154.0	2592.7
		C _{LL} (%): 2.86		C _{LS} (%):6.74		
C8 ₈	40	32799.5	31419.5	8688.0	8065.5	3200.8
		C _{LL} (%): 4.21		C _{LS} (%): 7.17		
C8 ₉	40	32822.5	31400.0	8649.5	7866.0	4789.3
		C _{LL} (%): 4.33		C _{LS} (%): 9.06		
C8 ₁₀	40	32897.0	31310.5	8667.0	7753.5	6786.8
		C _{LL} (%): 4.82		C _{LS} (%): 10.54		

C_L; Gerçek korozyon oranı, C_{LL}; boyuna donatılardaki gerçek korozyon oranı, C_{LS}; Sargı donatılarındaki gerçek korozyon oranı.

Tablo 4.3. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).

Numune	N/A _c .f _{ck} (%)	İlk kütle (g)		Faraday kütle kaybı (g)	Gerçek kütle kaybı (g)		Faraday korozyon oranı (%)	Gerçek korozyon oranı (%)		Uygulanan akım-saat (A.h)
		L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	
C11	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C12	20	32466.0	8127.5	2639.0	707.0	340.0	6.50	2.18	4.18	2533.0
		Toplam: 40593.5			Ortalama: 1047.0			Ortalama: 2.58		
C13	20	32499.0	8038.5	3252.1	433.5	296.0	8.02	1.33	3.68	3121.5
		Toplam: 40537.5			Ortalama: 729.5			Ortalama: 1.80		
C14	20	32508.5	8024.0	4870.1	877.0	460.0	12.02	2.70	5.73	4674.5
		Toplam: 40532.5			Ortalama: 1337.0			Ortalama: 3.30		
C15	20	32388.5	8007.0	7008.1	2279.0	922.5	17.35	7.04	11.52	6726.6
		Toplam: 40395.5			Ortalama: 3201.5			Ortalama: 7.93		
C16	40	x	x		x	x	x	x	x	x
C17	40	32477.0	8023.0	2632.6	571.0	374.5	6.50	1.76	4.67	2526.9
		Toplam: 40500.0			Ortalama: 945.5			Ortalama: 2.33		
C18	40	32560.0	8063.5	3248.9	797.5	433.5	8.00	2.45	5.38	3118.4
		Toplam: 40623.5			Ortalama: 1231.0			Ortalama: 3.03		
C19	40	32490.0	8098.0	4882.2	1267.5	680.0	12.03	3.90	8.40	4686.1
		Toplam: 40588.0			Ortalama: 1947.5			Ortalama: 4.80		
C20	40	32292.0	8078.0	6809.9	1908.0	880.0	16.87	5.91	10.89	6536.4
		Toplam: 40370.0			Ortalama: 2788.0			Ortalama: 6.91		

L1-8; 8 adet boyuna donatının toplam kütlesi, S1-18; 18 adet sargı donatısının toplam kütlesi.

Tablo 4.4. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C20 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).

Numune	N/A _c .f _{ck} (%)	Boyuna donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Boyuna donatılarının toplam son kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam son kütlesi (g)	Uygulanan akım-saat (A.h)
		L ₁₋₈	L ₁₋₈	S ₁₋₁₈	S ₁₋₈	
C11	20	x	x	x	x	x
C12	20	32466.0	31759.0	8127.5	7787.5	2533.0
		C _{LL} (%): 2.18		C _{LS} (%): 4.18		
C13	20	32499.0	32065.5	8038.5		3121.5
		C _{LL} (%): 1.33		C _{LS} (%):		
C14	20	32508.5	31631.5	8024.0	7564.0	4674.5
		C _{LL} (%): 2.70		C _{LS} (%): 5.73		
C15	20	32388.5	30109.5	8007.0	7084.5	6726.6
		C _{LL} (%): 7.04		C _{LS} (%): 11.52		
C16	40	x	x	x	x	x
C17	40	32477.0	31906.0	8023.0	7648.5	2526.9
		C _{LL} (%): 1.76		C _{LS} (%): 4.67		
C18	40	32560.0	31762.5	8063.5	7630.0	3118.4
		C _{LL} (%): 2.45		C _{LS} (%): 5.38		
C19	40	32490.0	31222.5	8098.0	7418.0	4686.1
		C _{LL} (%): 3.90		C _{LS} (%): 8.40		
C20	40	32292.0	30384.0	8078.0	7198.0	6536.4
		C _{LL} (%): 5.91		C _{LS} (%): 10.89		

C_L; Gerçek korozyon oranı, C_{LL}; Boyuna donatılardaki gerçek korozyon oranı, C_{LS}; Sargı donatılarındaki gerçek korozyon oranı.

Tablo 4.5. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonlarındaki korozyon oranı (boyuna ve sargı donatılarının toplam kütleleri).

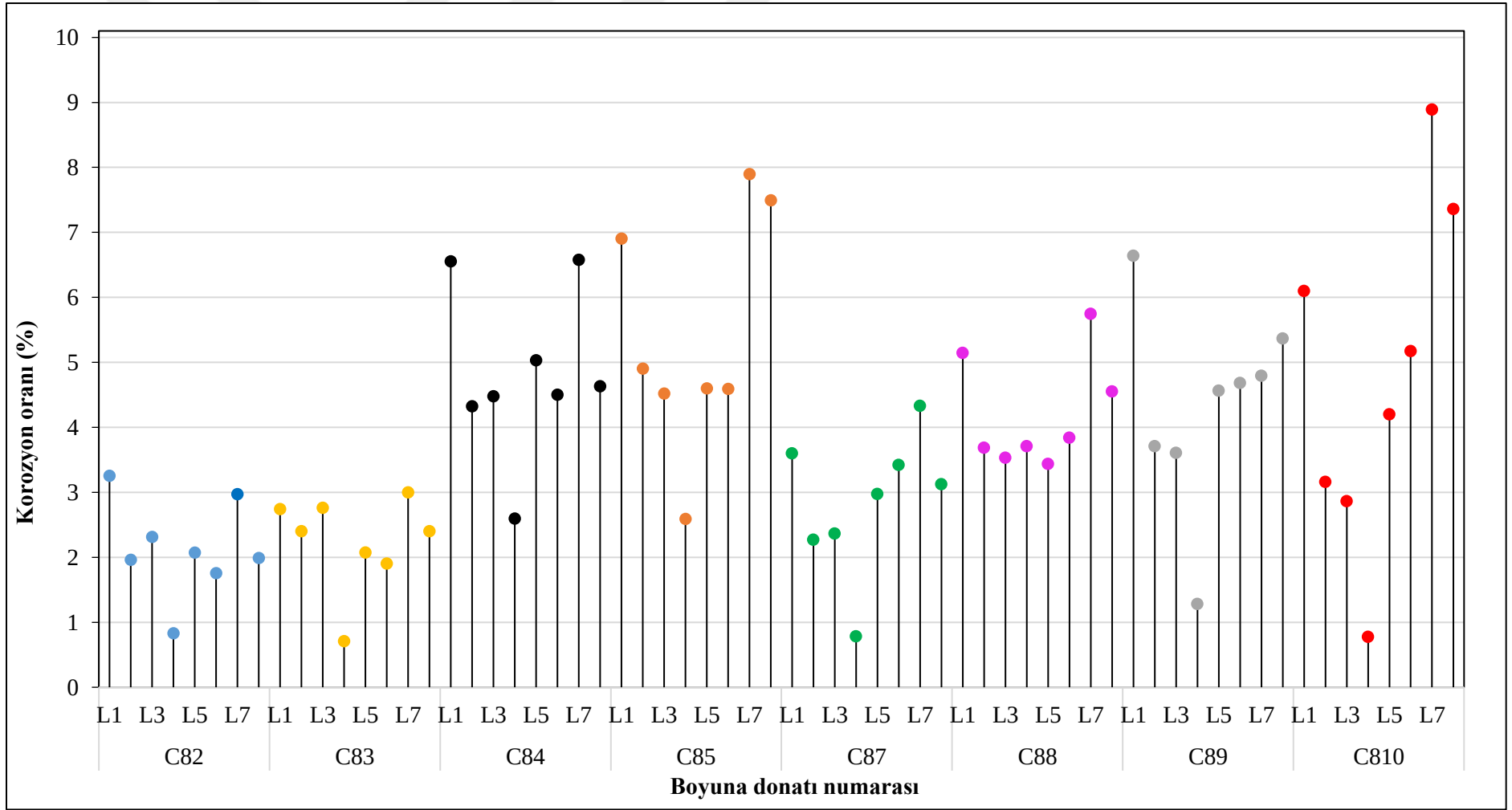
Numune	N/A _{c.fck} (%)	İlk kütle (g)		Faraday kütle kaybı (g)	Gerçek kütle kaybı (g)		Faraday korozyon oranı (%)	Gerçek korozyon oranı (%)		Uygulanan akım- saat (A.h)
		L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	L1-8+S1-18	L1-8	S1-18	
C30 ₁	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C30 ₂	40	32447.5	8156.5	2638.3	592.5	330.0	6.50	1.83	4.05	2532.3
		Toplam: 40604.0			Ortalama: 922.5			Ortalama: 2.27		
C30 ₃	40	32360.0	7946.5	3224.7	1028.5	553.5	8.00	3.18	6.97	3095.2
		Toplam: 40306.5			Ortalama: 1582.0			Ortalama: 3.92		
C30 ₄	40	32447.0	8038.0	4861.8	1226.0	585.0	12.01	3.78	7.28	4666.5
		Toplam: 40485.0			Ortalama: 1811.0			Ortalama: 4.47		
C30 ₅	40	32447.5	8054.0	6888.9	1952.0	995.5	17.01	6.02	12.36	6613.0
		Toplam: 40501.5			Ortalama: 2947.5			Ortalama: 7.28		

L1-8; 8 adet boyuna donatının toplam kütlesi, S1-18; 18 adet sargı donatısının toplam kütlesi.

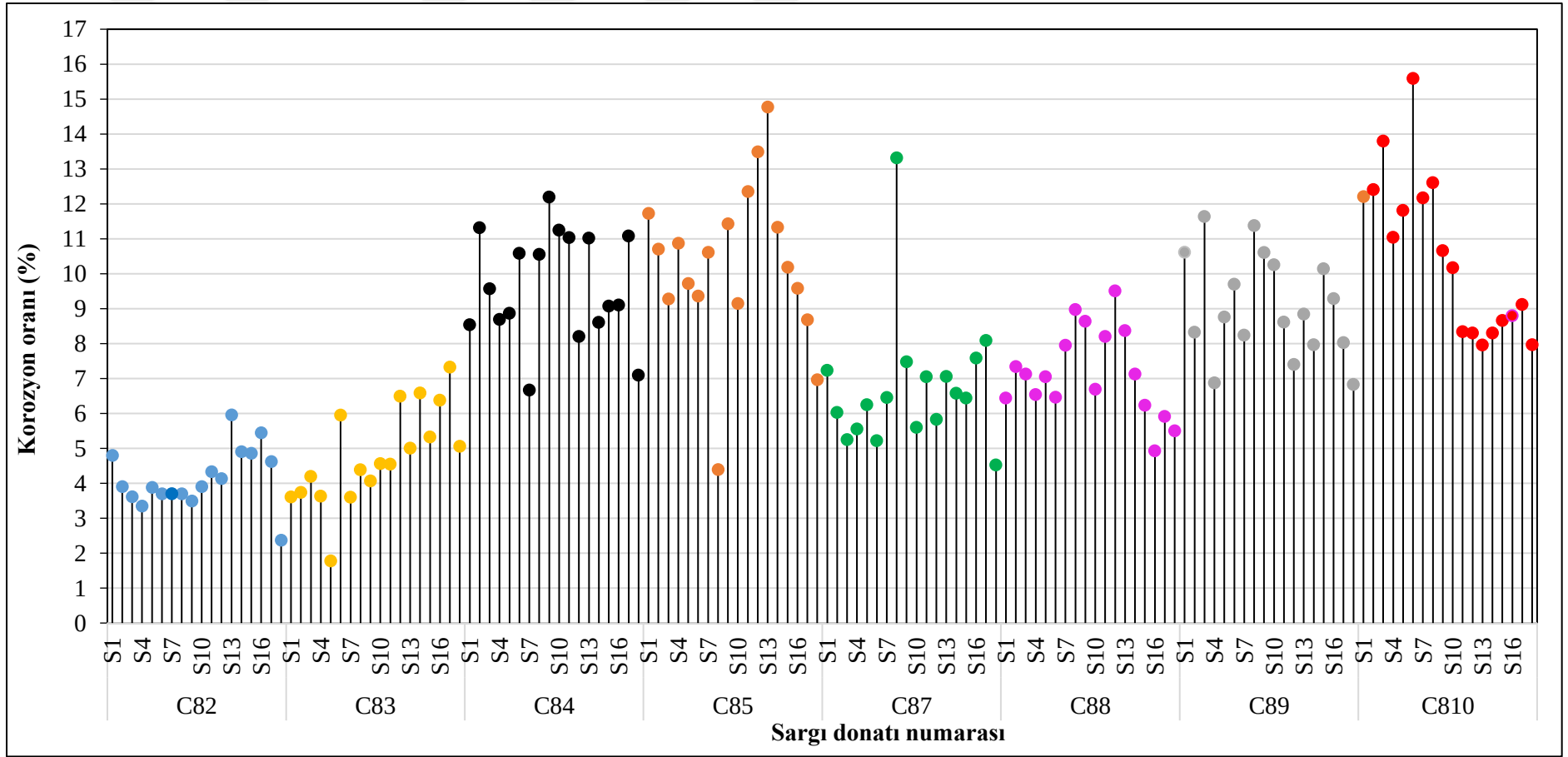
Tablo 4.6. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında elde edilen C30 betonarme kolonlarındaki boyuna ve etriyelerdeki korozyon oranı (yalnızca boyuna ve sargı donatılarının kütleleri).

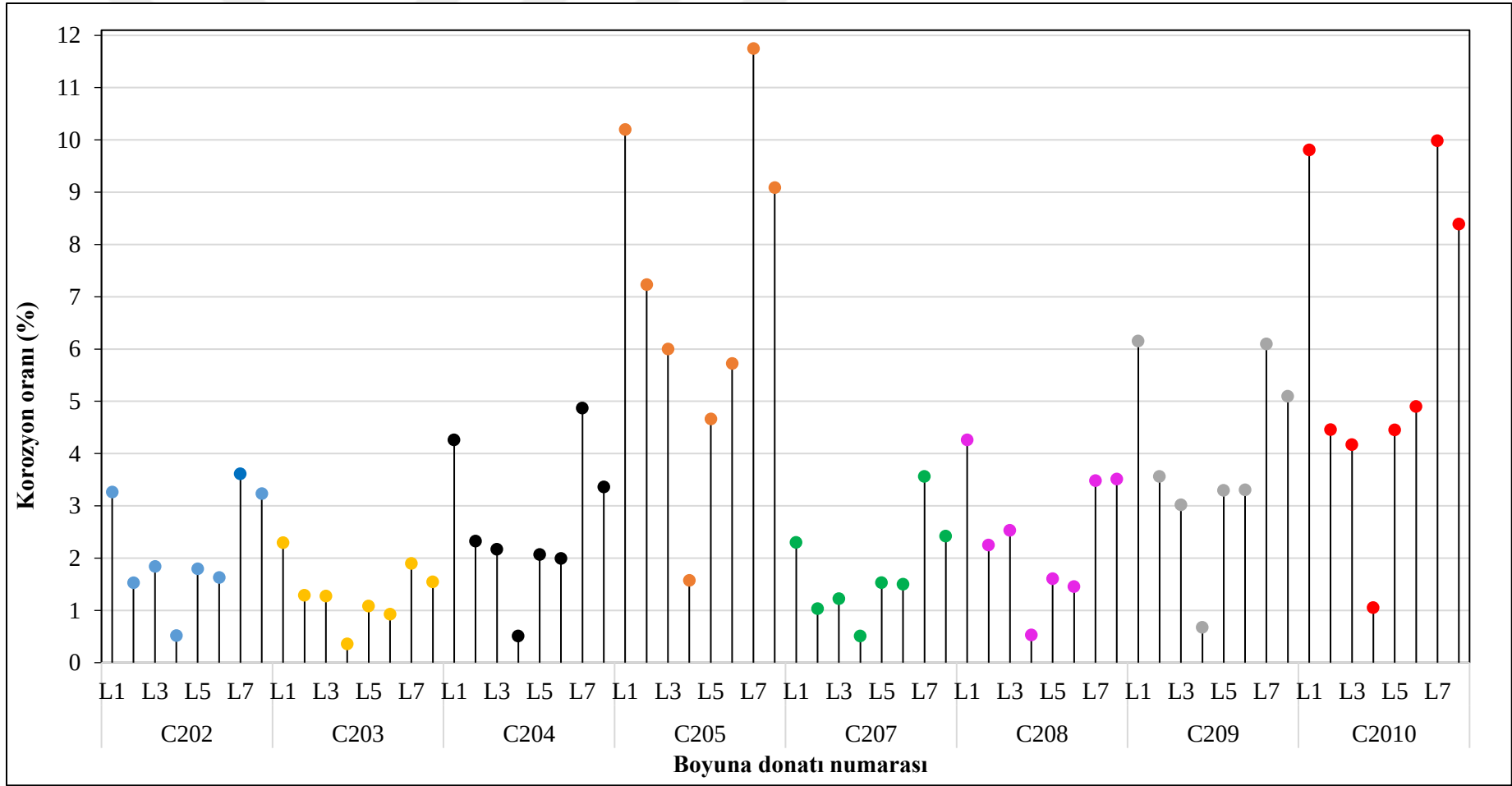
Numune	N/A _{c.fck} (%)	Boyuna donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Boyuna donatılarının toplam son kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam ilk kütlesi (g)	Sargı donatılarının toplam son kütlesi (g)	Uygulanan akım-saat (A.h)
		L ₁₋₈	L ₁₋₈	S ₁₋₁₈	S ₁₋₁₈	
C30 ₁	40	x	x	x	x	x
C30 ₂	40	32447.5	31855.0	8156.5	7826.5	2532.3
		C _{LL} (%): 1.83		C _{LS} (%): 4.05		
C30 ₃	40	32360.0	31331.5	7946.5	7393.0	3095.2
		C _{LL} (%): 3.18		C _{LS} (%): 6.97		
C30 ₄	40	32447.0	31221.0	8038.0	7453.0	4666.5
		C _{LL} (%): 3.78		C _{LS} (%): 7.28		
C30 ₅	40	32447.5	30495.5	8054.0	7058.5	6613.0
		C _{LL} (%): 6.02		C _{LS} (%): 12.36		

C_L; Gerçek korozyon oranı, C_{LL}; Boyuna donatılardaki gerçek korozyon oranı, C_{LS}; Sargı donatılarındaki gerçek korozyon oranı.

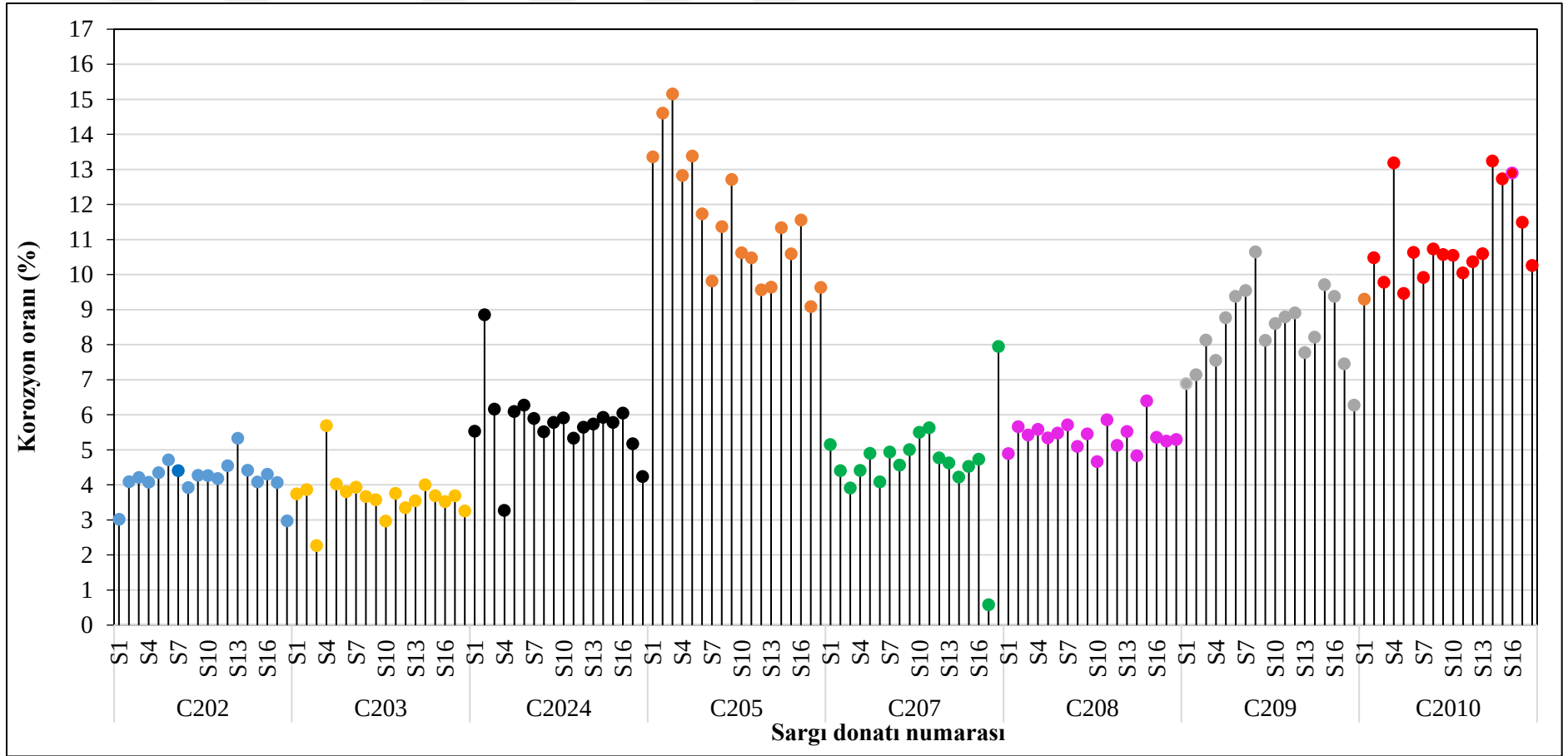


Şekil 4.3. C8 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon oran dağılımları.

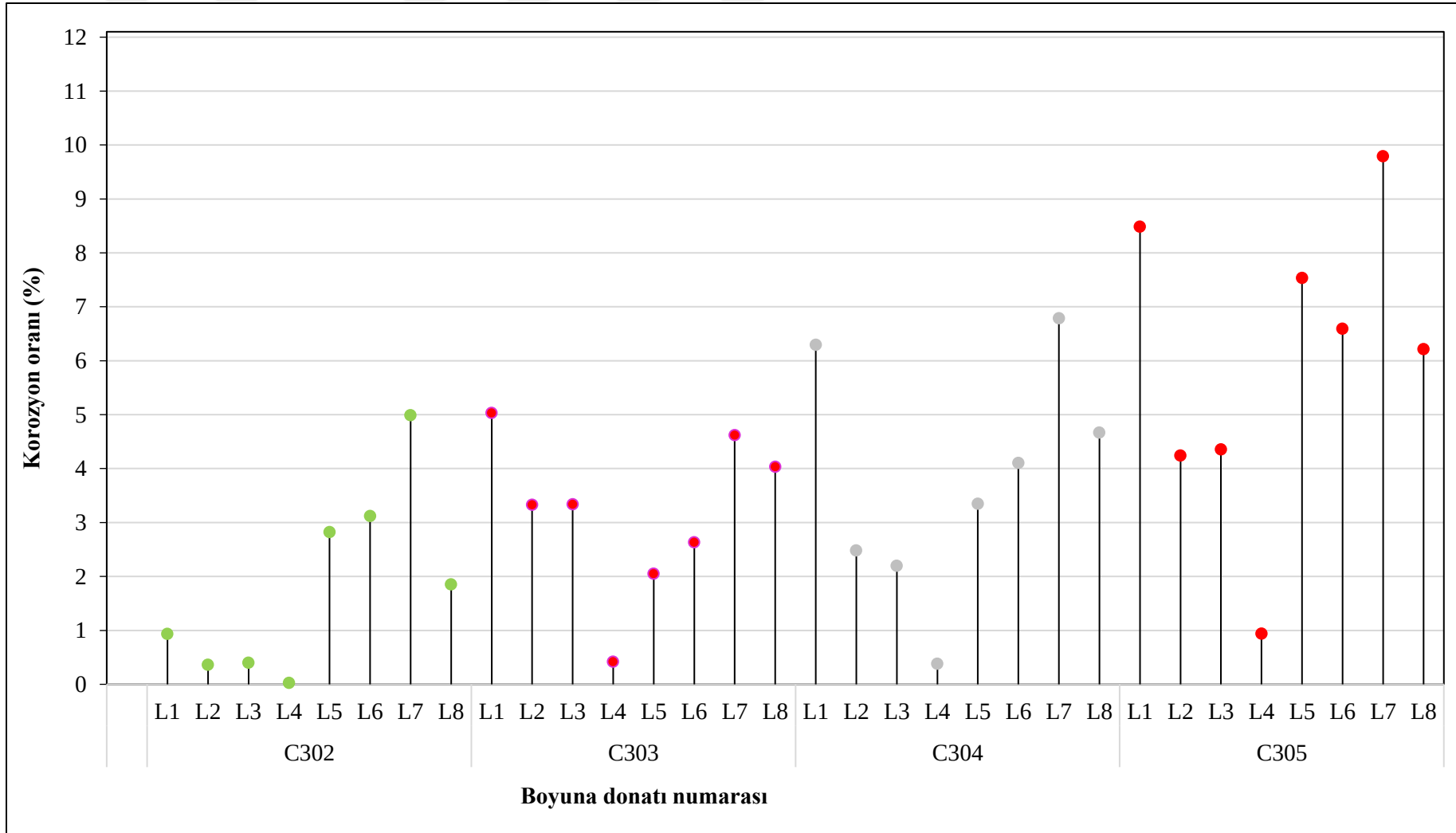




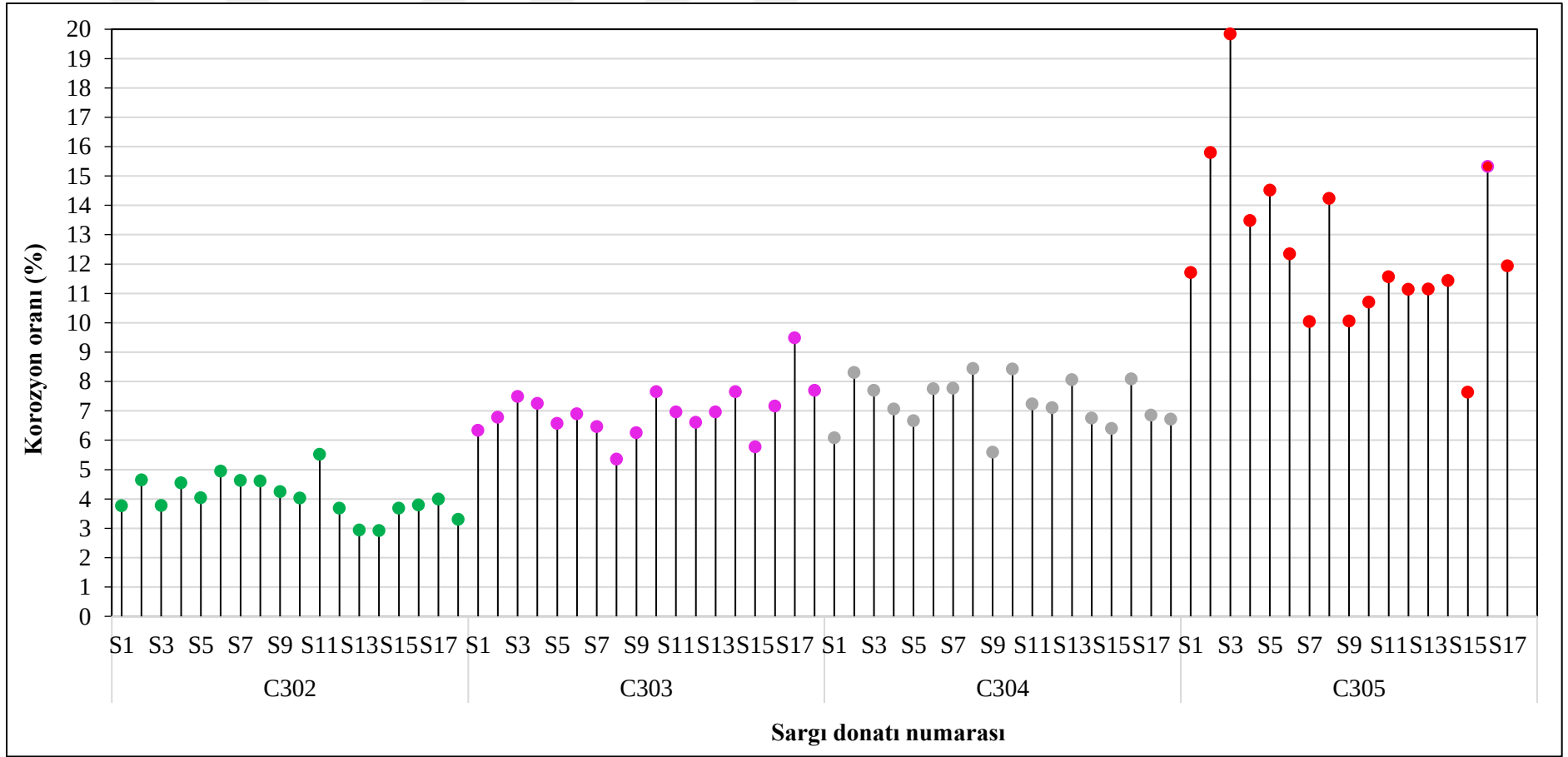
Şekil 4.5. C20 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon oran dağılımları.



Şekil 4.6. C20 betonarme kolonların etriye donatılarının korozyon dağılımı.



Şekil 4.7. C30 betonarme kolonları boyuna donatı korozyon dağılımları.

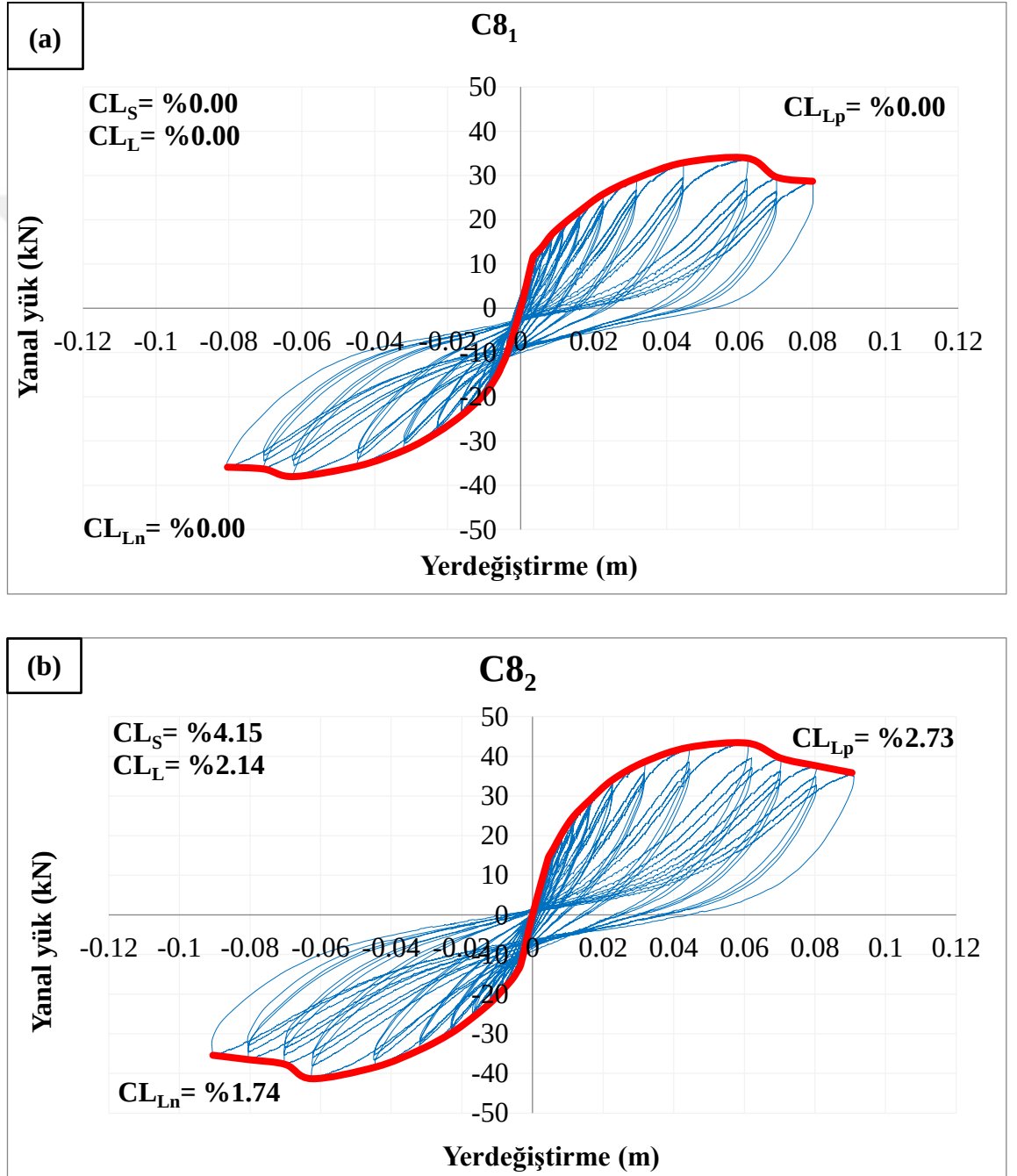


Şekil 4.8. C30 betonarme kolonların etriye donatılarının korozyon dağılımı.

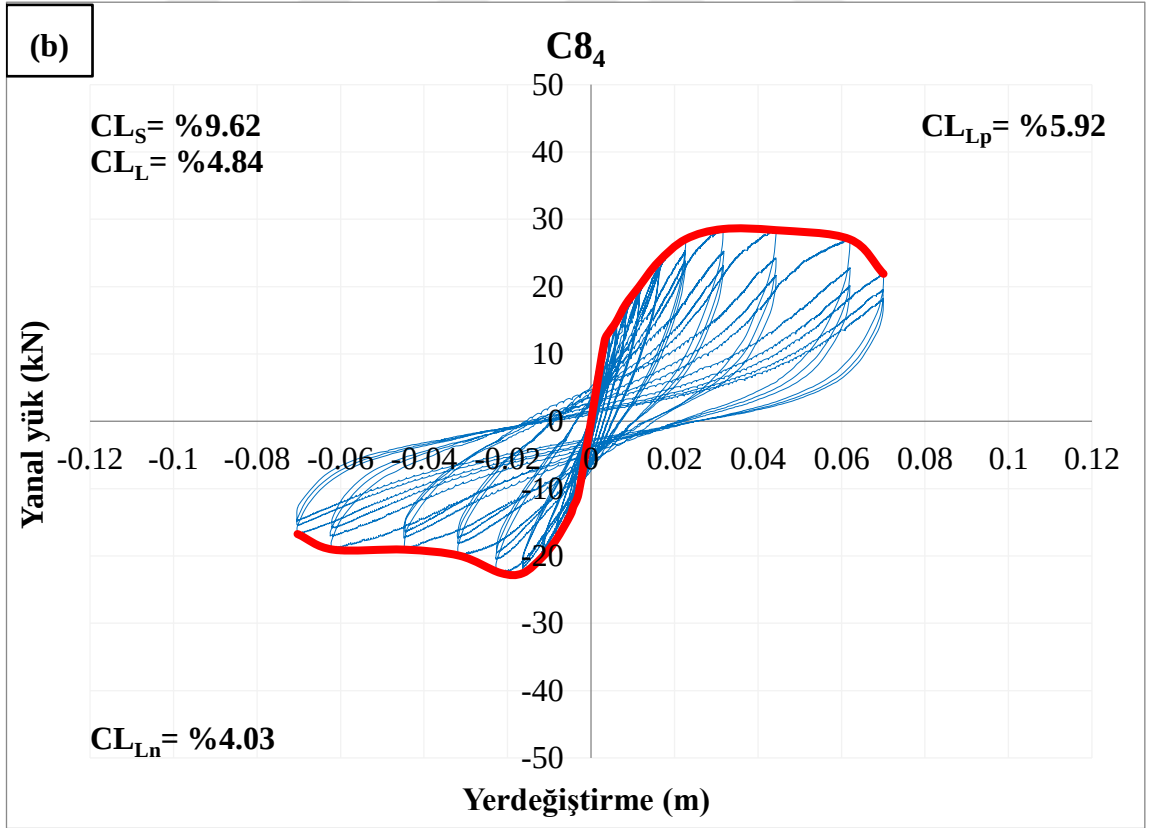
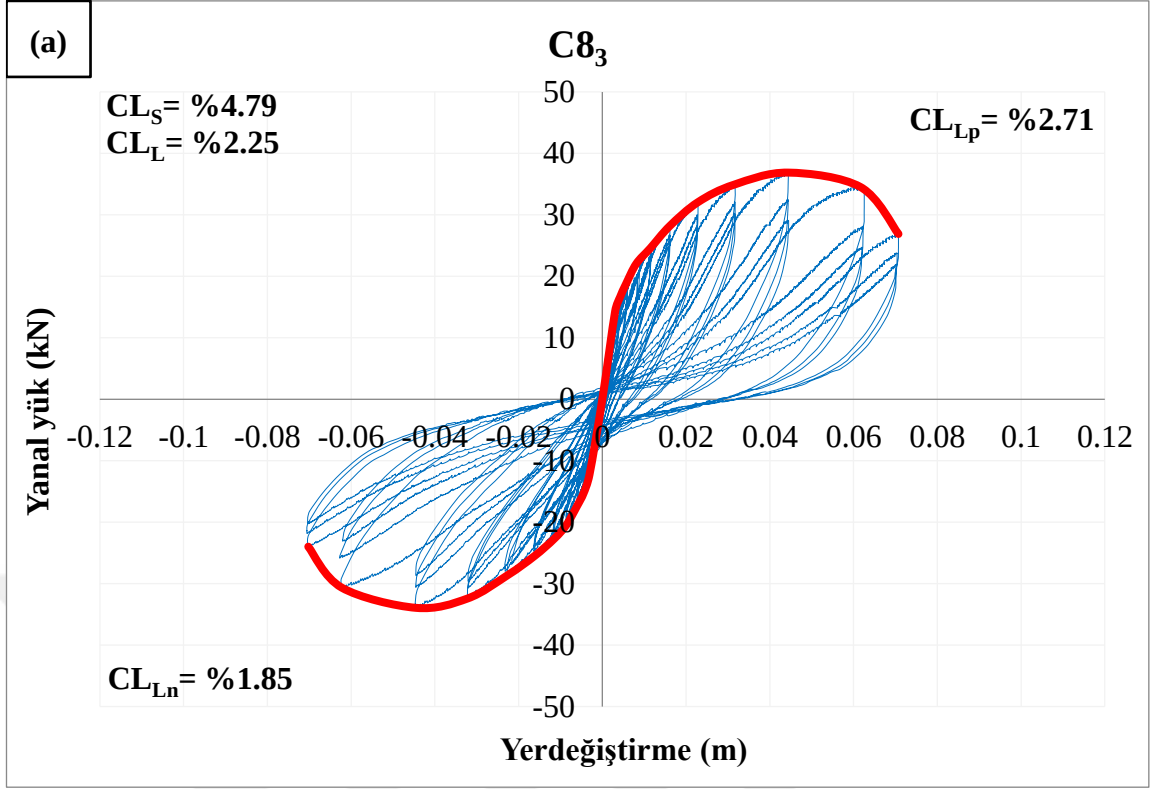
Tablo 4.1, 4.3 ve 4.5’de görüldüğü gibi; betonarme kolonları içerisinden çıkartılan donatıların gerçek korozyon oranları ile Faraday Kanunu’na göre hesaplanan korozyon oranları arasında değişiklikler görülmektedir. Bunun sebebi ise Faraday tarafından geliştirilen modelde beton içerisinde gömülü olmaksızın çıplak halde olan donatılara direk akım vererek deneye tabi tutulmuştur. Beton direncinden dolayı beton içerisinde gömülü olan donatılar çıplak donatılara göre farklılık göstermektedir. Yalçiner (2017) ve Biçer vd. (2018) tarafından yapılan deneysel çalışmada betonarme elemanların korozyon sürecinin ancak Faraday korozyon oranının %5 değerlerine ulaşması ile paslanmanın başladığı tespit edilmiş ve bu durum mevcut tez kapsamında da kullanılmıştır. Daha önceden yapılan çalışmalarda da bu farklılığın belirtilmesine rağmen; ancak yapılan çalışmaların küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmesi ve beton yüzey alanın küçük olması neden ile mevcut çalışmada çıkartılan farklar büyük bir rakam göstermiştir. Auyeung vd. (2000) tarafından geliştirilen modelde ortaya çıkan tahmini korozyon kütle kayıplarının gerçek kütle kayıplarına oranı 0.72 ile 1.19 arasında farklılık görülmektedir. El Maaddawy vd. (2006) ve Yalciner vd. (2012) tarafından geliştirilen modellerde ise sırasıyla, 0.69 ile 1.12; 1.10 ile 1.70 arasında farklılık meydana gelmiştir. Her üç modeldeki numunelerinin boyutları göz önüne alındığında her üç modelinde gerçek kütle kayıp oranlarına oldukça birbiriyle yakın değerler gösterilmektedir. Auyeung vd. (2000) ve El Maaddawy vd. (2006) elde edilen gerçek kütle kayıp oranları 1’in altında; Yalciner vd. (2012) ise 1’in üstünde gerçek korozyon oranını tahmin edebilmektedir. Paul vd. (2016) tarafından elde edilen gerçek kütle kaybını tahmin etmek için çıkartılan model ise 1.61 ile 2.65 arasında değerler alarak gerçek kütle kaybı tahmin etmekten gittikçe uzaklaşmıştır. Mevcut modeller sayısında paslandırılmış betonarme kolonlarının yapısal davranışlarını tahmin etme amacıyla genellikle boyuna donatısındaki ya ortalama korozyon oranını ya da maksimum korozyon oranının kullanılması ile yapılmaktadır. Ancak doğrusal olmayan yapı davranışında sargı donatılarının toplam yer değiştirmeye katkıları göz önüne alındığında; boyuna donatılarında aynı korozyon oranına sahip ancak etriyelerdeki farklı korozyon oranlarının ortaya çıktığı iki farklı betonarme kolonu için yapısal davranışın tamamen birbirinden farklı olacağı göz önüne alınması şarttır.

4.2. Yük-Deplasman Sonuçları

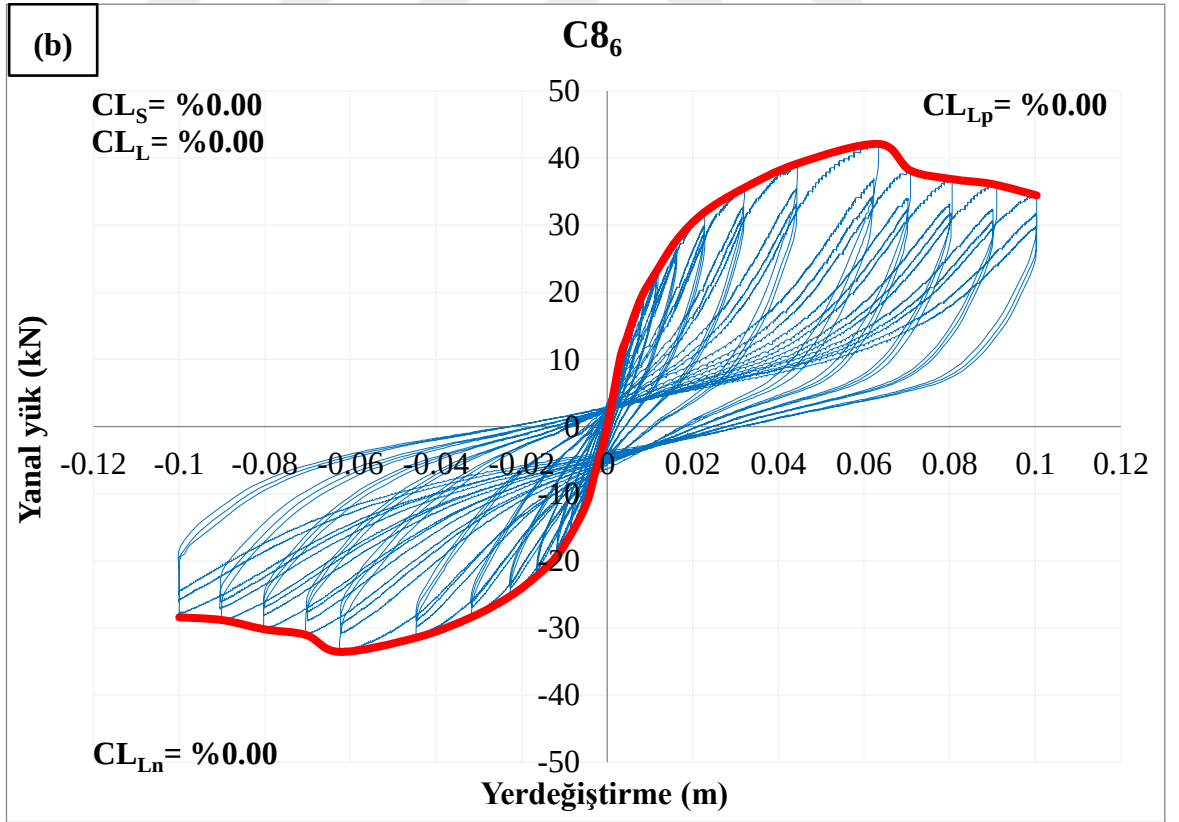
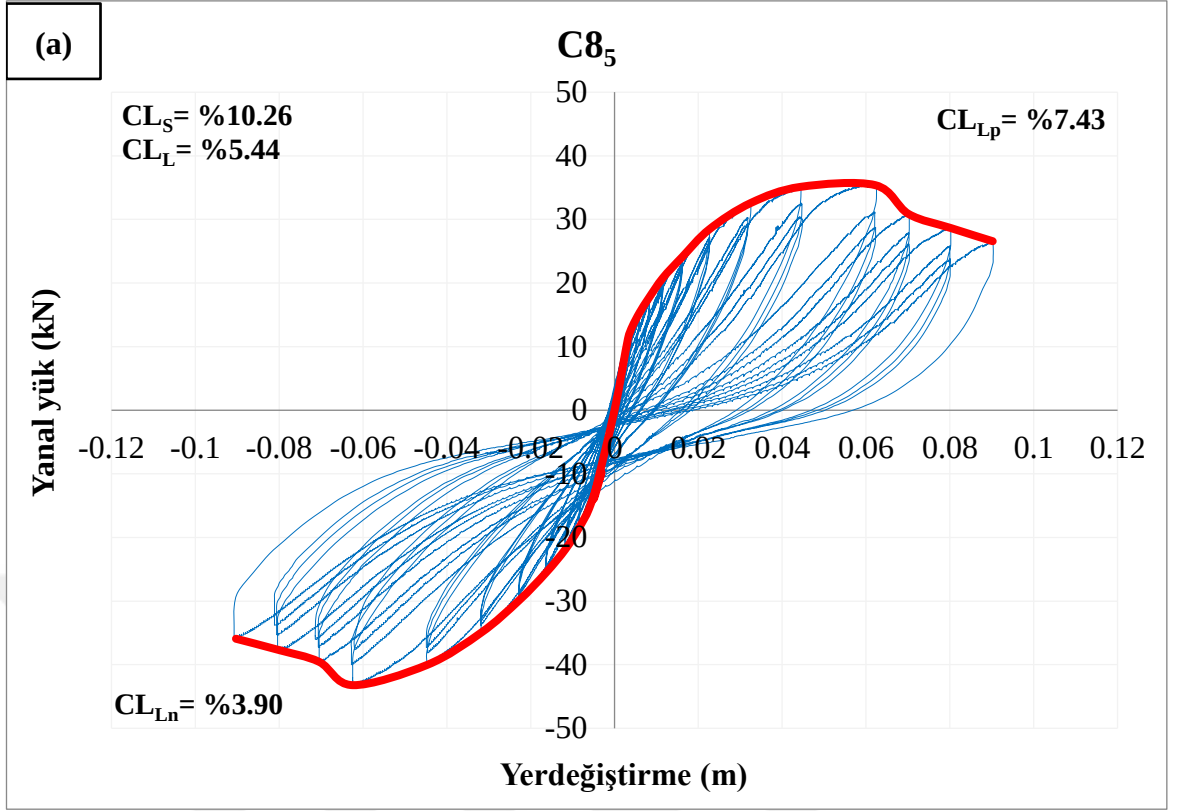
Tez çalışmasının bu kısmında yükleme deneylerinin tamamlanmasıyla birlikte elde edilen değerlerin yorumlanması ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Tersinir artımlı yükleme deneyleri sonucunda elde edilen betonarme kolonların yük-deplasman ilişkileri her  beton sınıfı için şekil 4.9-4.21’de sırasıyla gösterilmektedir.



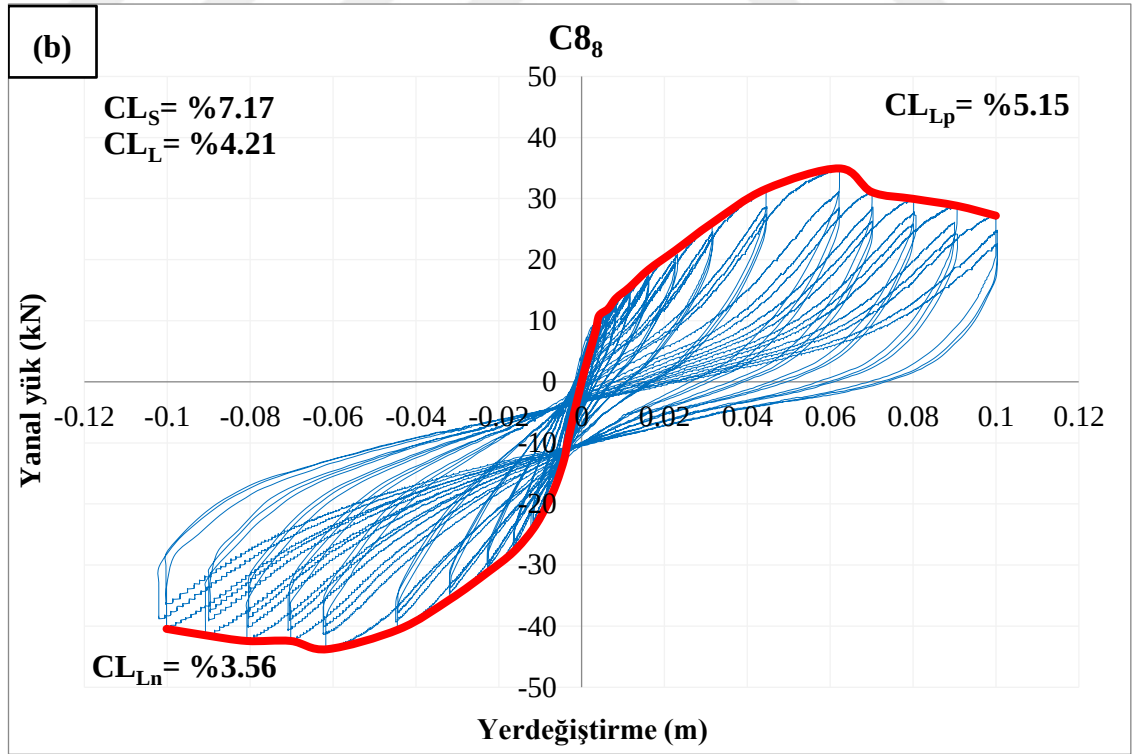
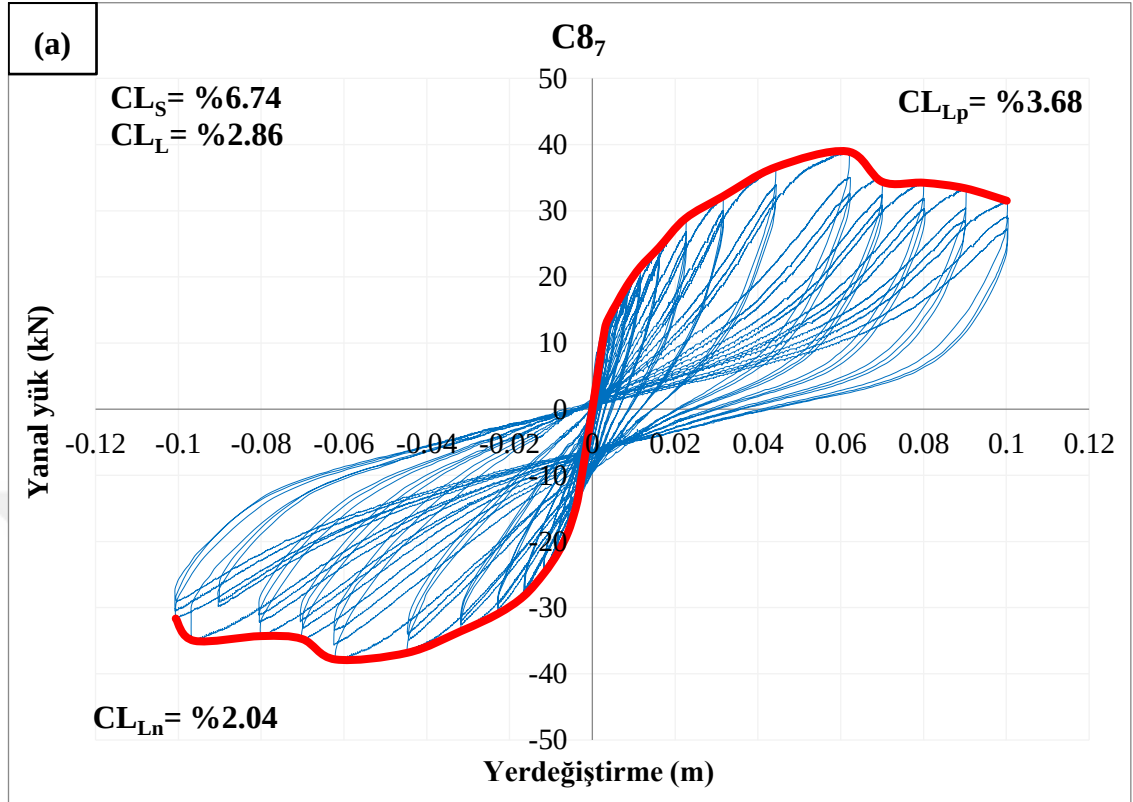
şekil 4.9. C8 betonarme kolonları iin histerik evirim sonuları: (a) C1 betonarme kolonu, (b) C2 betonarme kolonu.



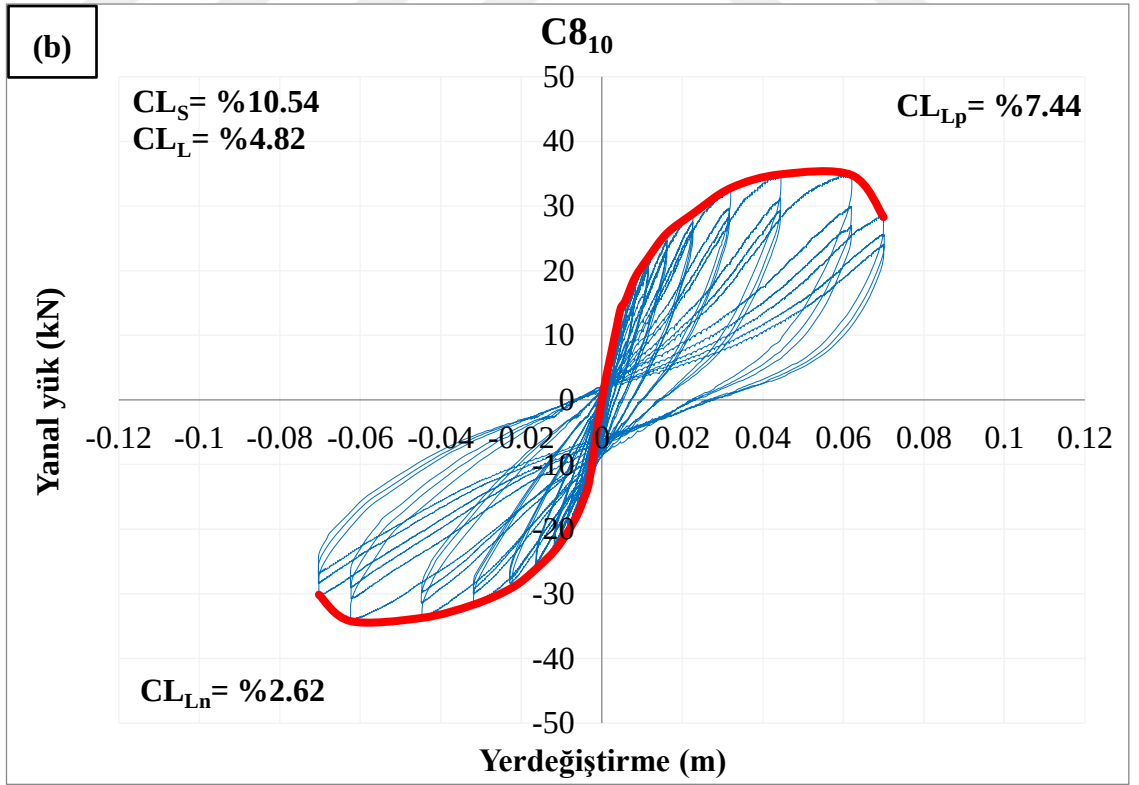
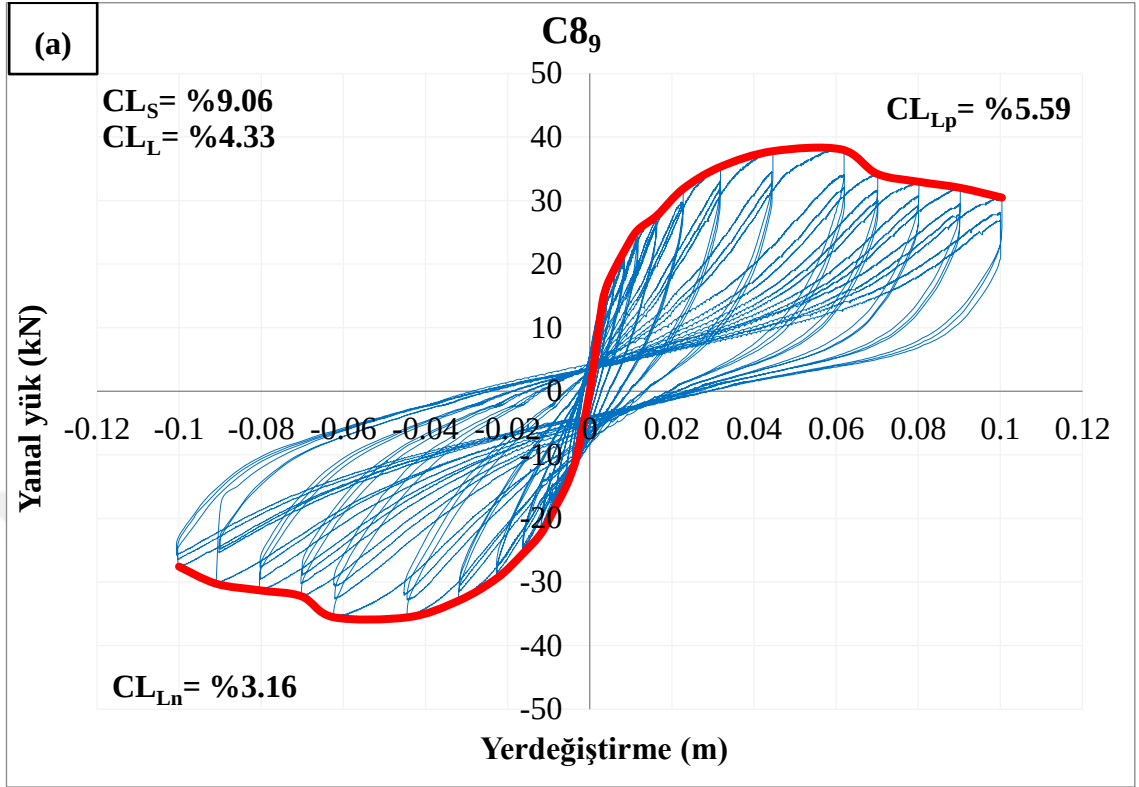
Şekil 4.10. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C3 betonarme kolonu, (b) C4 betonarme kolonu.



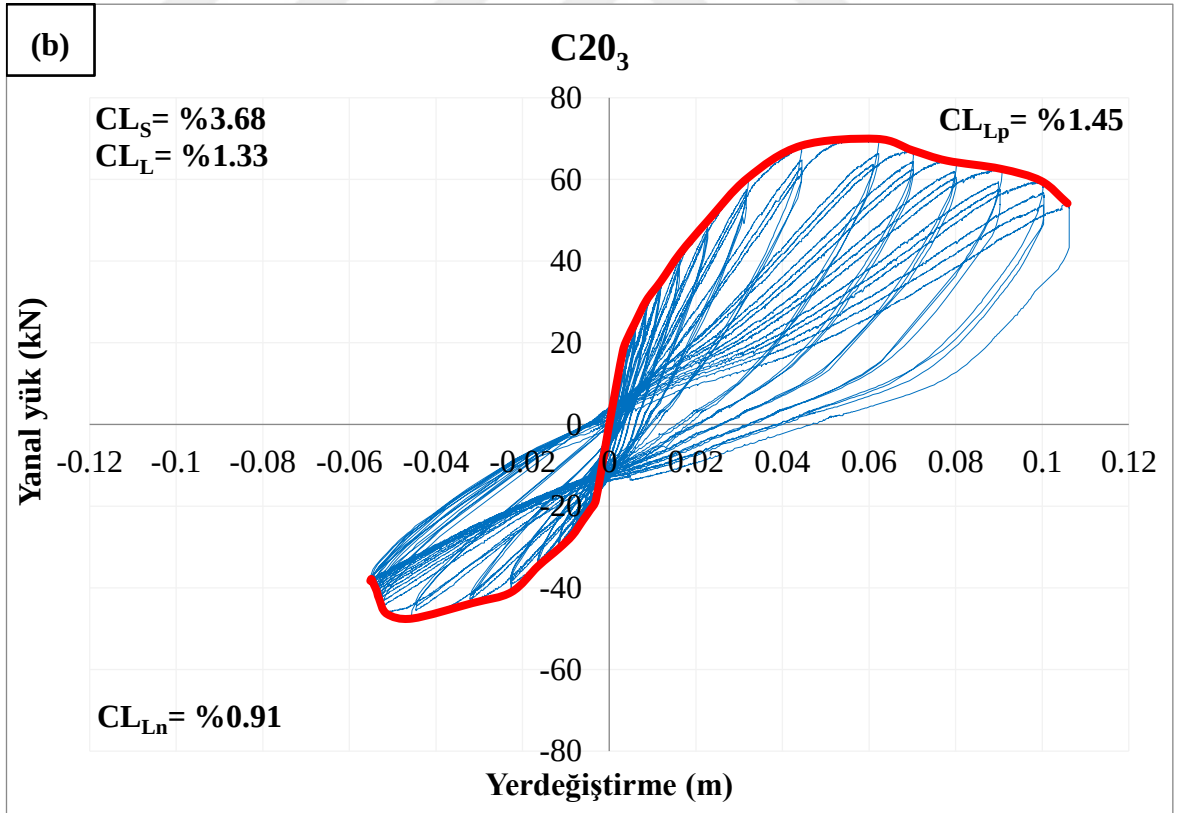
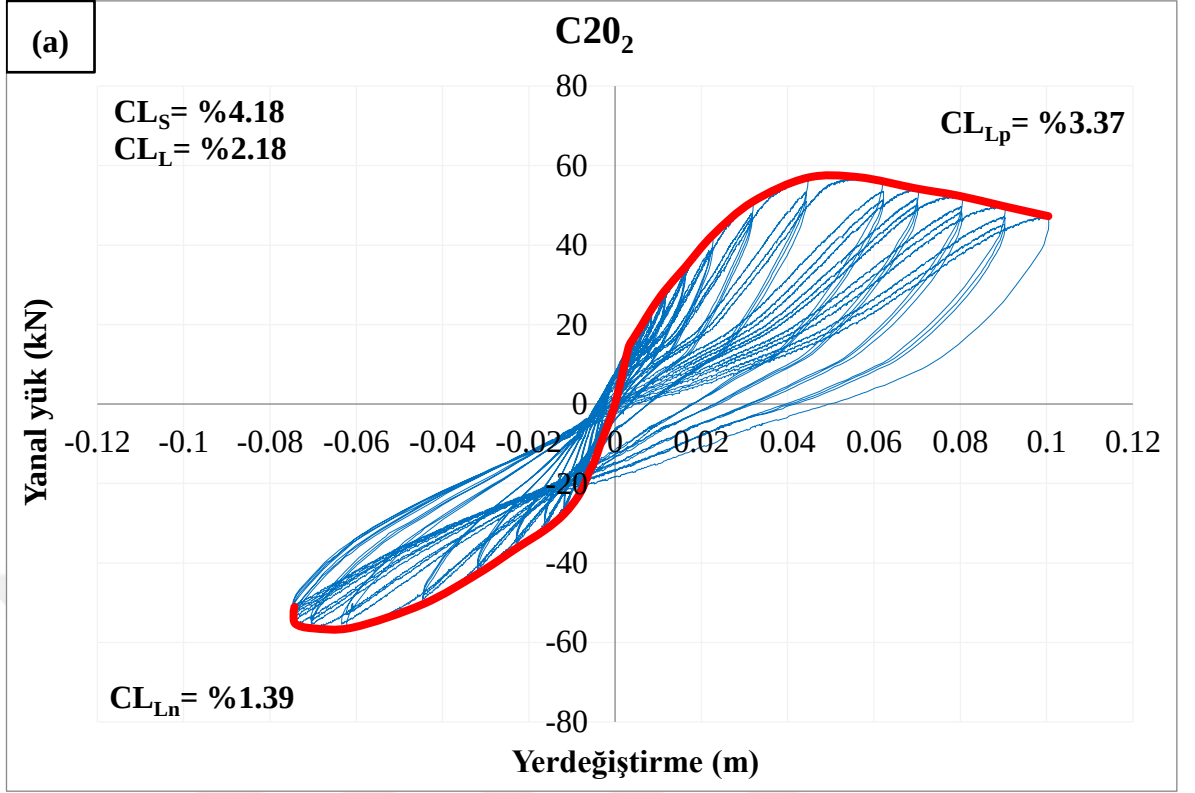
Şekil 4.11. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C5 betonarme kolonu, (b) C6 betonarme kolonu.



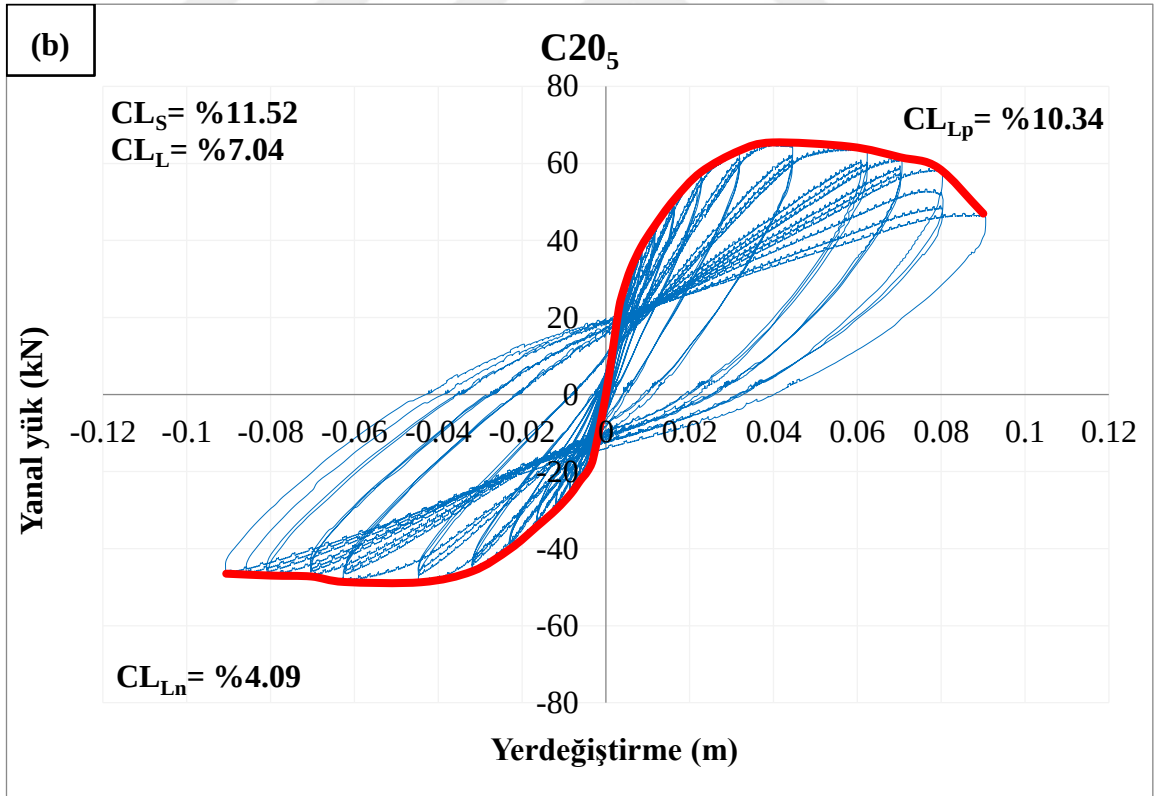
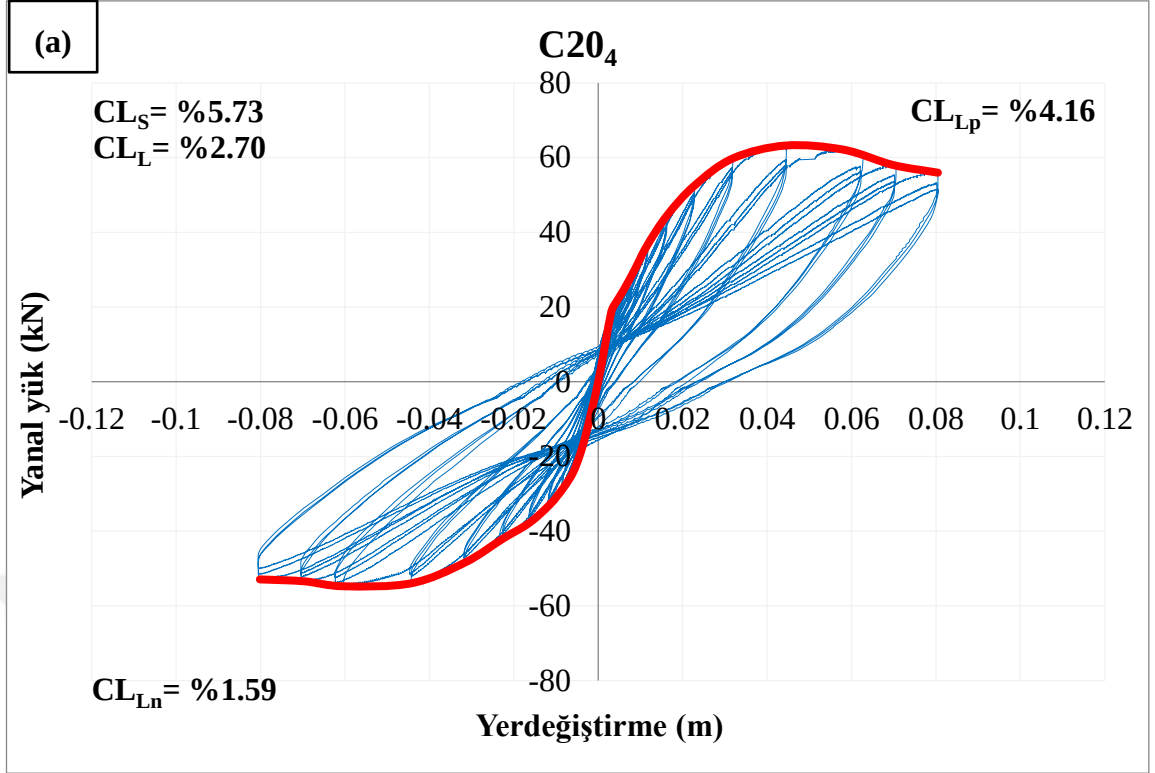
Şekil 4.12. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C7 betonarme kolonu, (b) C8 betonarme kolonu.



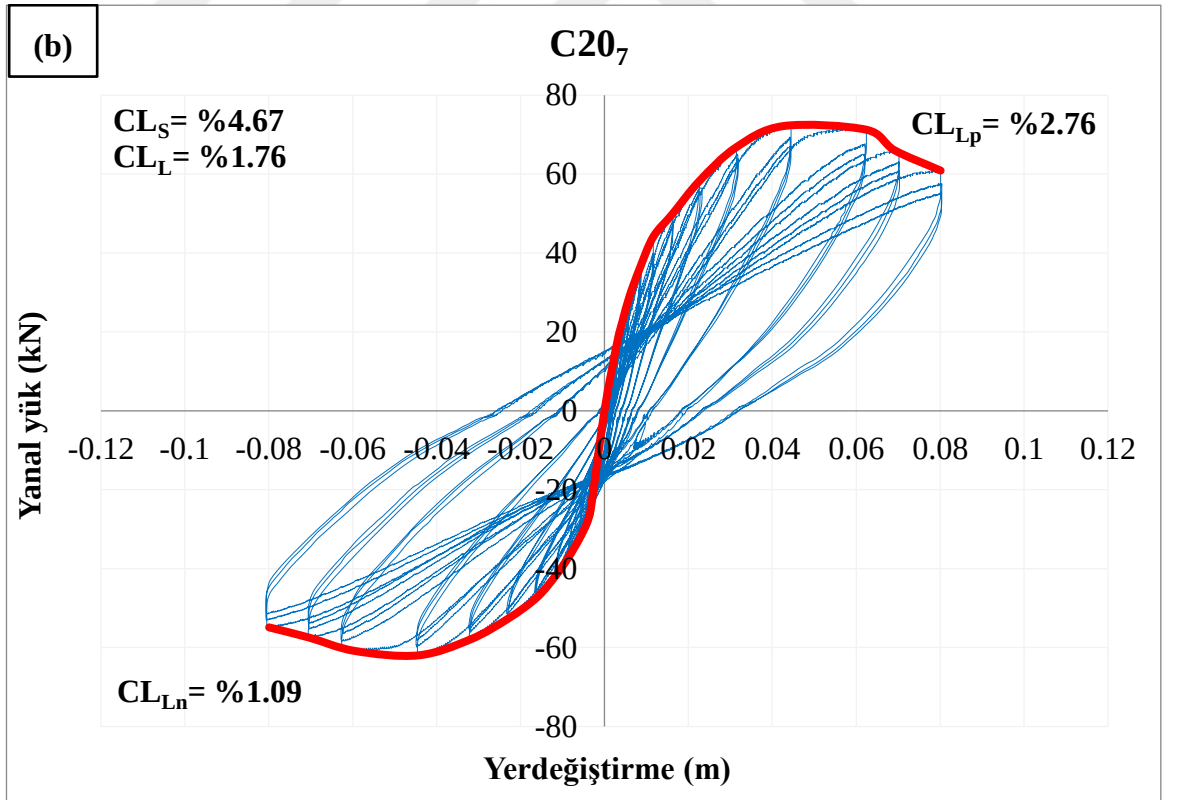
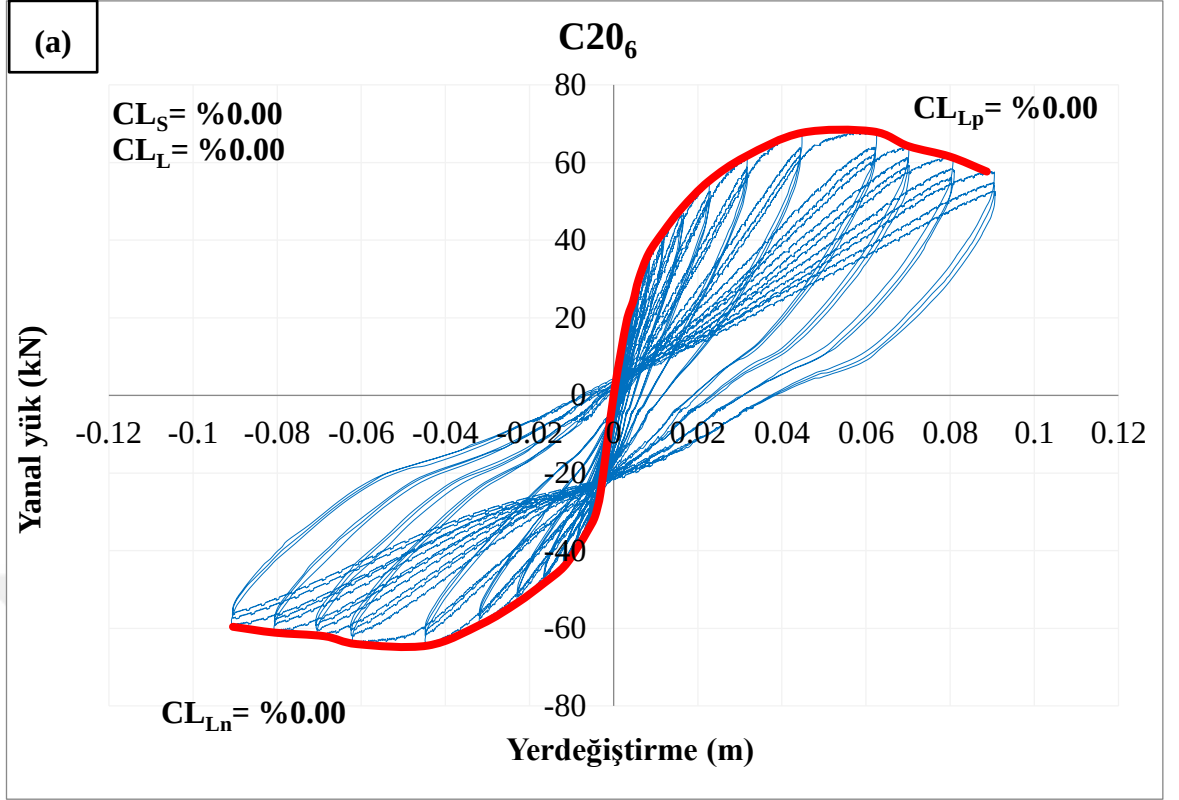
Şekil 4.13. C8 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C9 betonarme kolonu, (b) C10 betonarme kolonu.



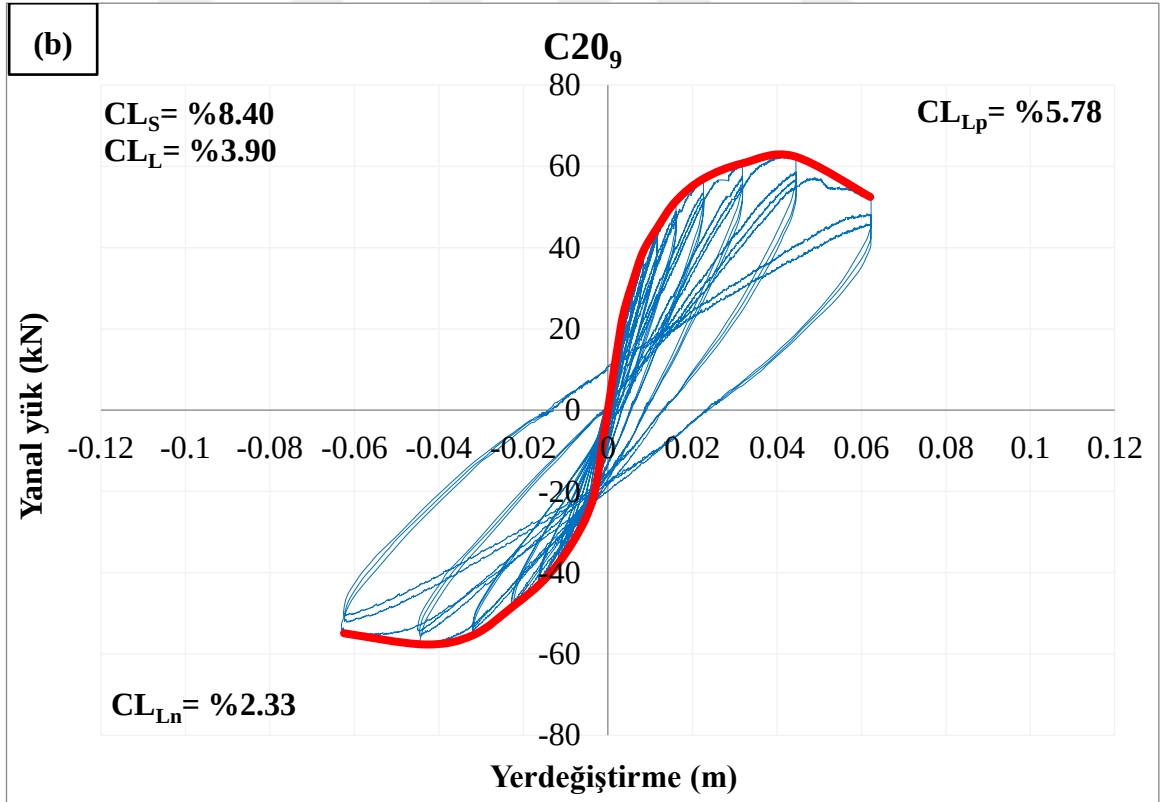
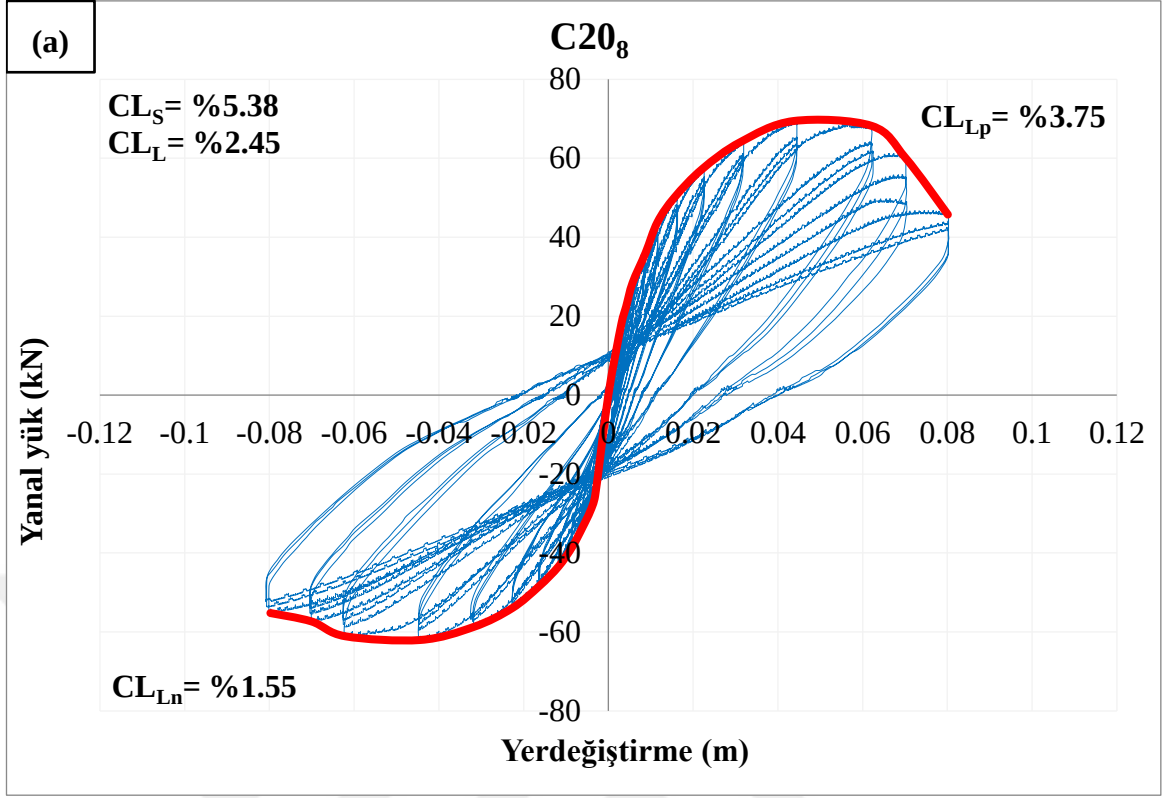
Şekil 4.14. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C12 betonarme kolonu, (b) C13 betonarme kolonu.



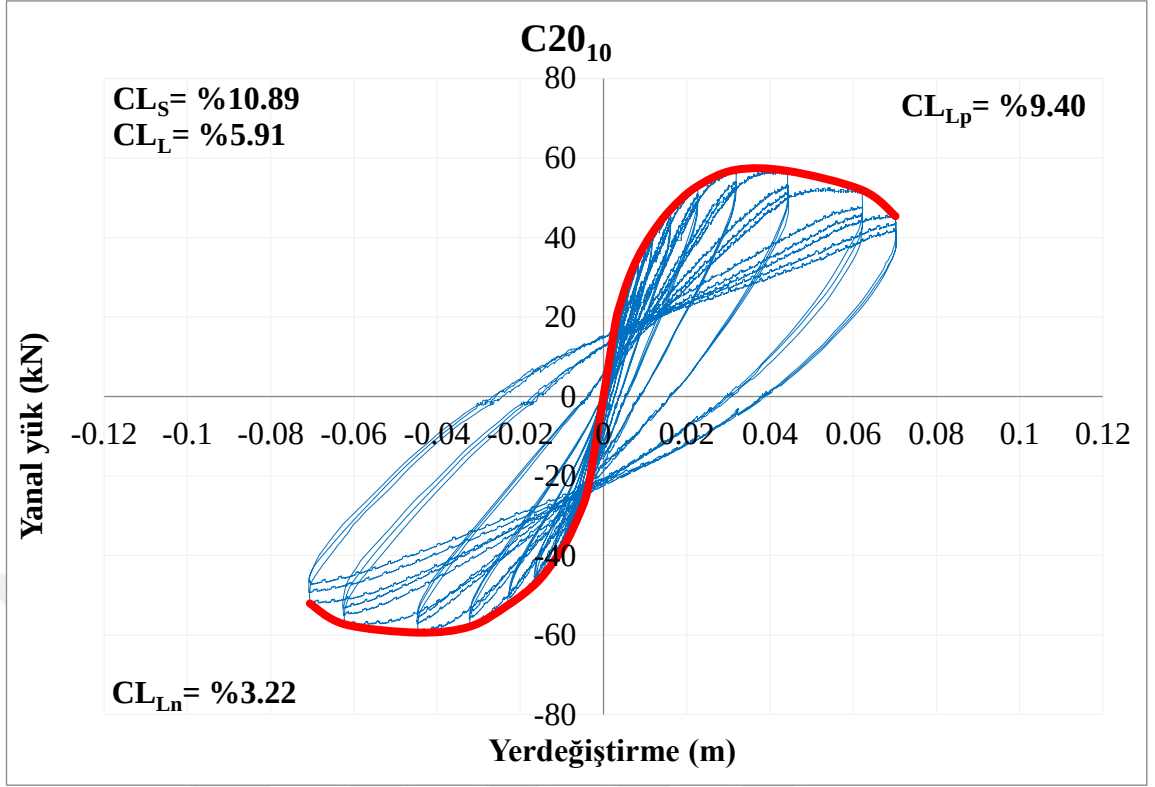
Şekil 4.15. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C14 betonarme kolonu, (b) C15 betonarme kolonu.



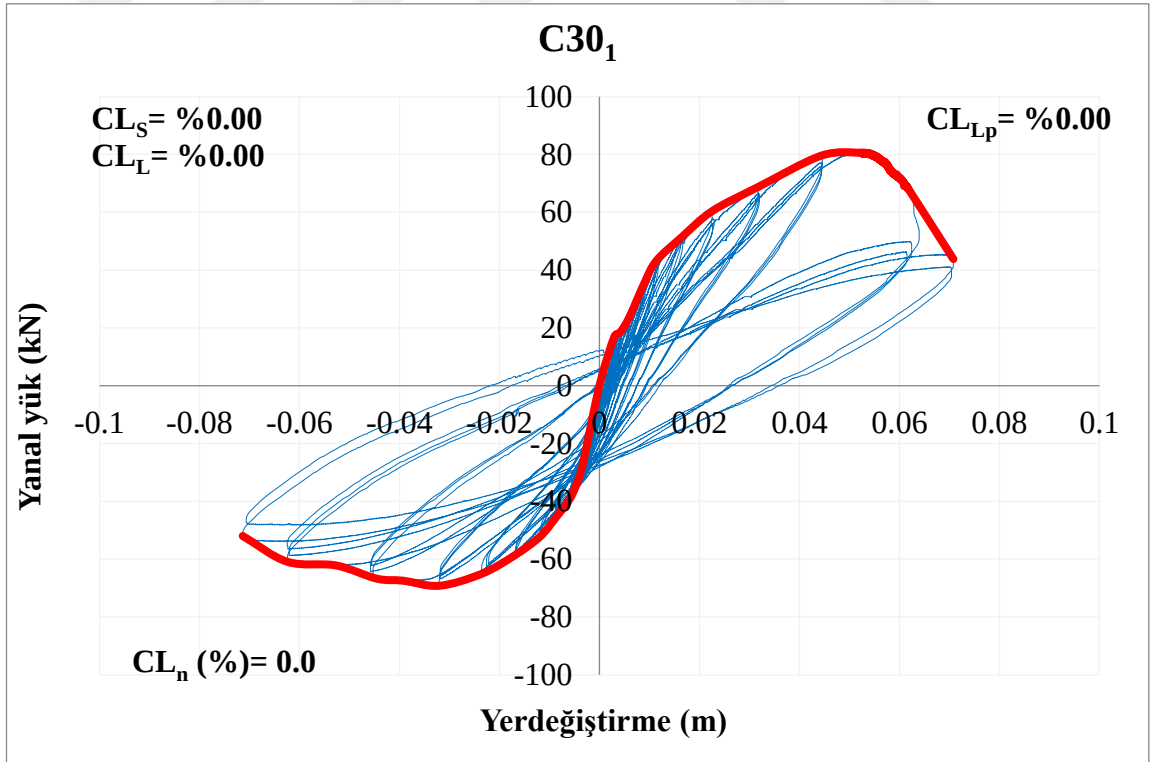
Şekil 4.16. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C16 betonarme kolonu, (b) C17 betonarme kolonu.



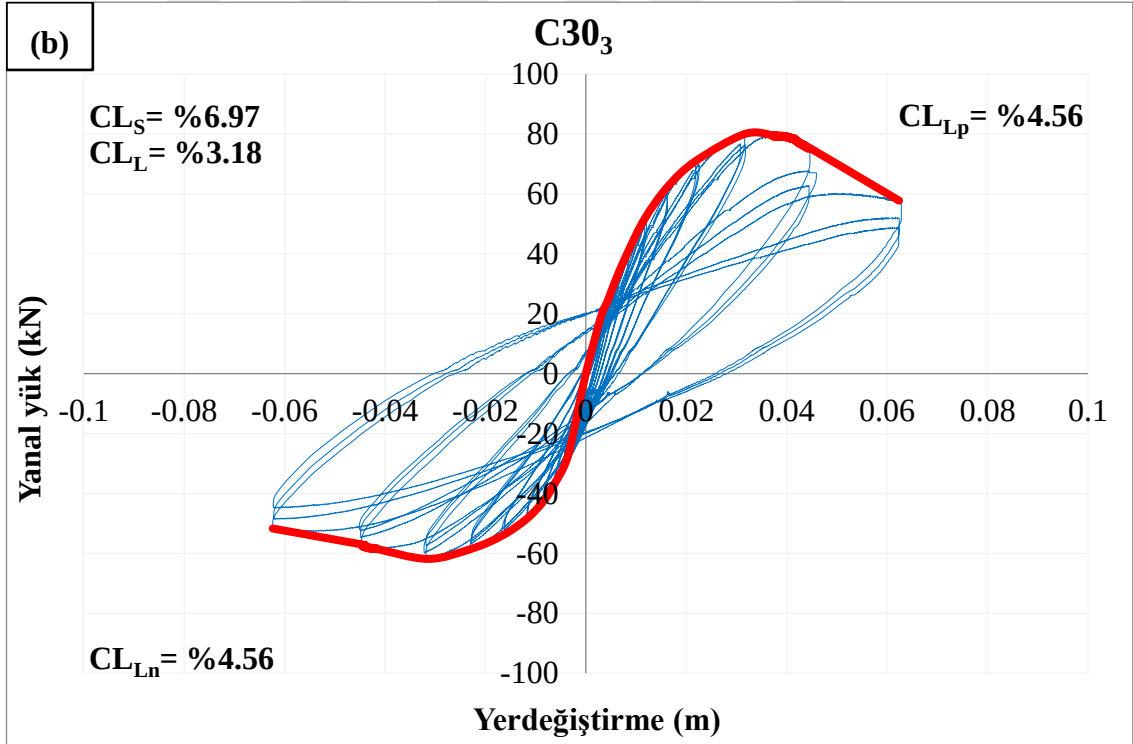
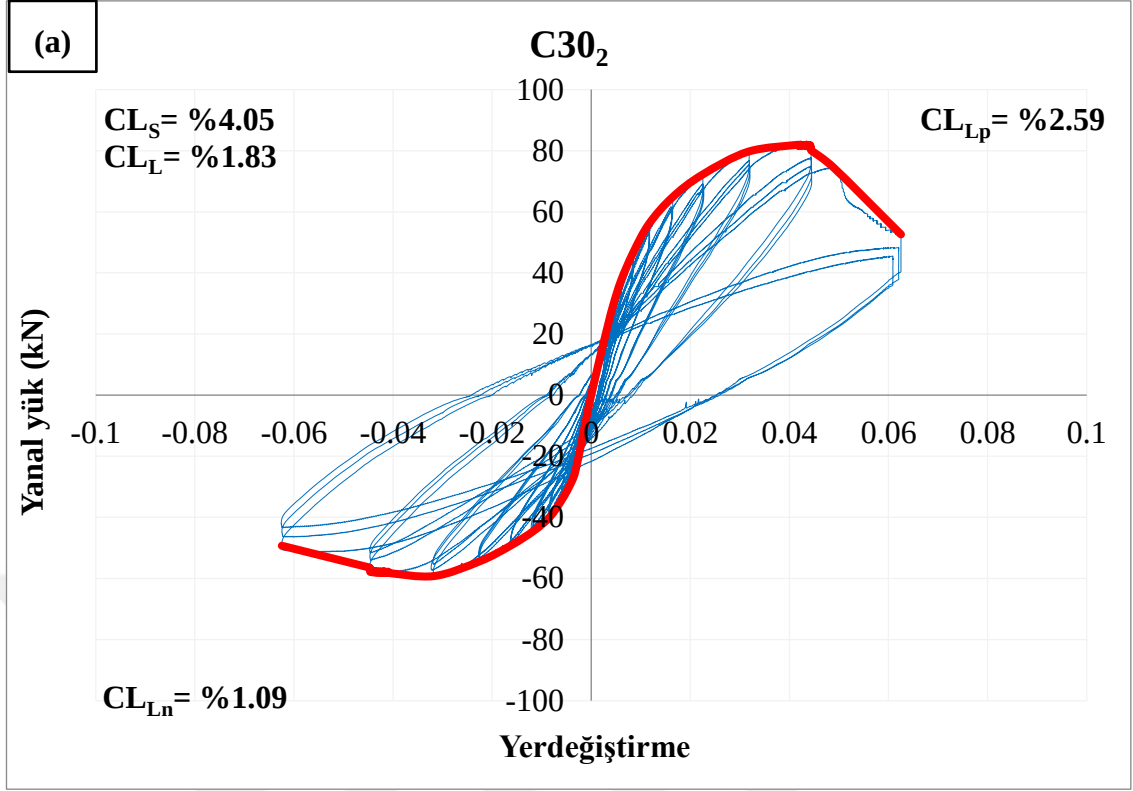
Şekil 4.17. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C18 betonarme kolonu, (b) C19 betonarme kolonu.



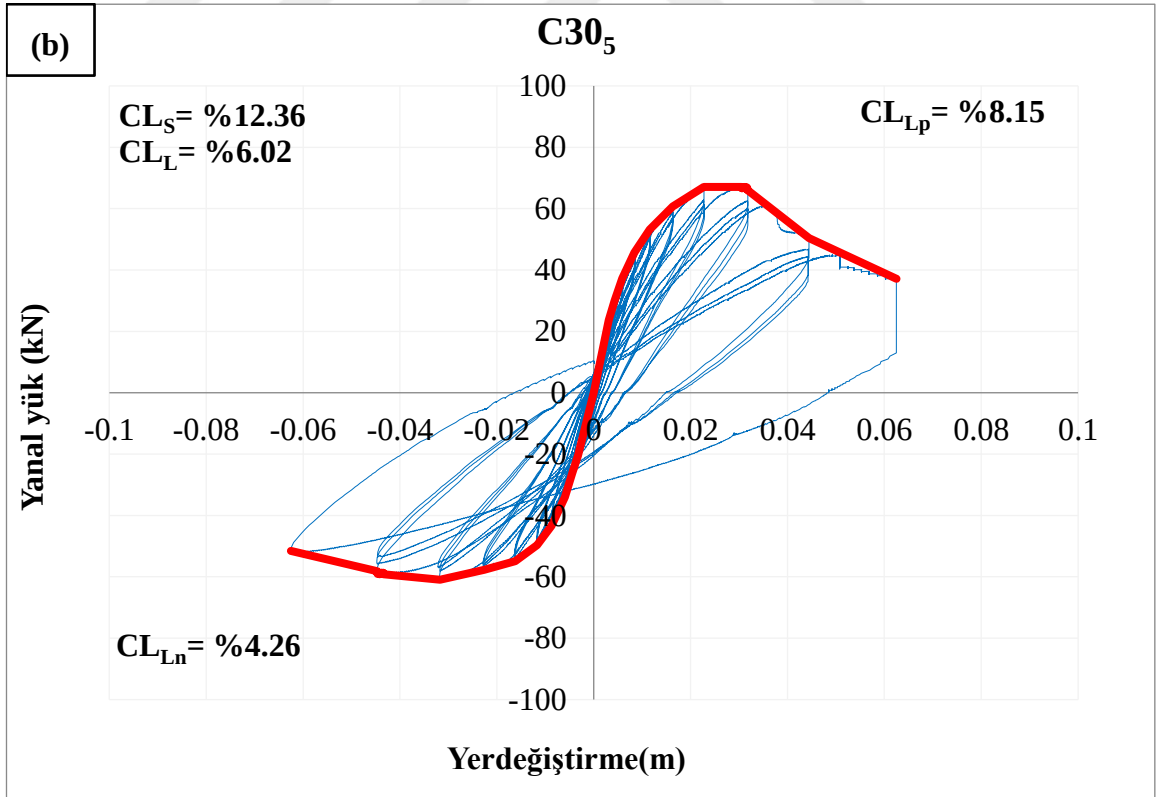
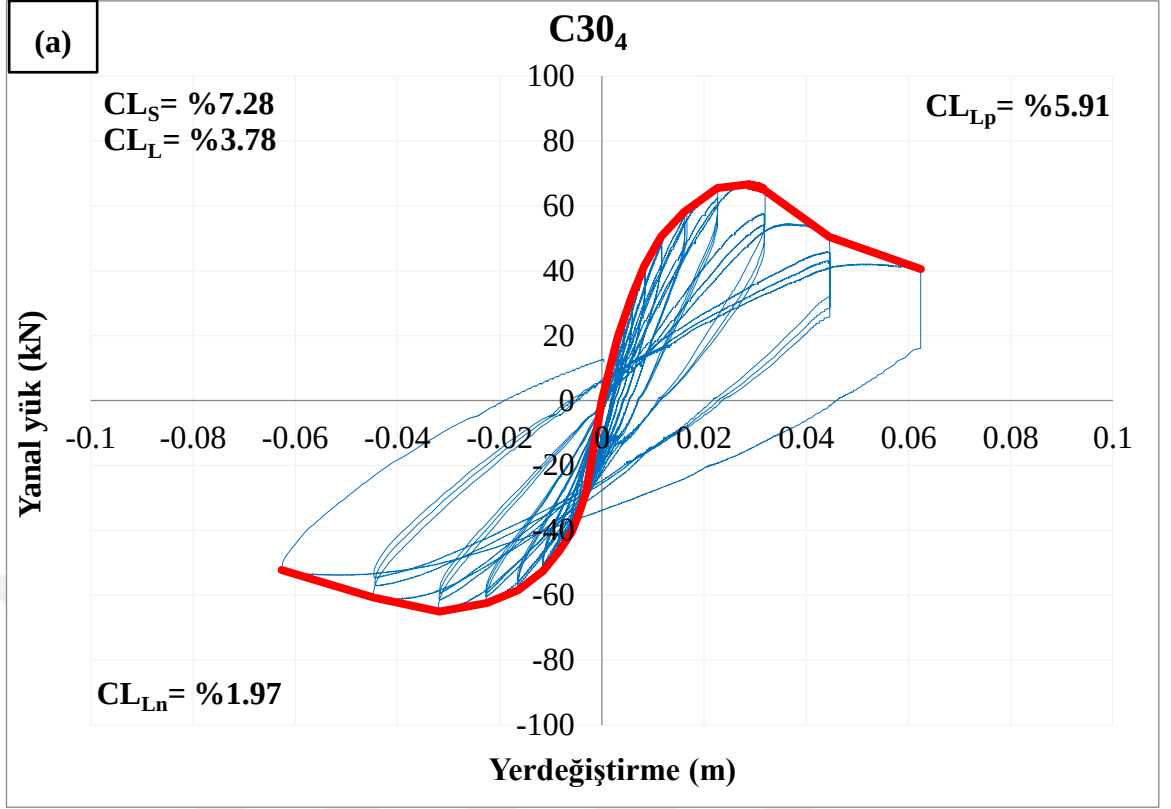
Şekil 4.18. C20 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları, C20 betonarme kolonu.



Şekil 4.19. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: C21 betonarme kolonu.



Şekil 4.20. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C22 betonarme kolonu, (b) C23 betonarme kolonu.

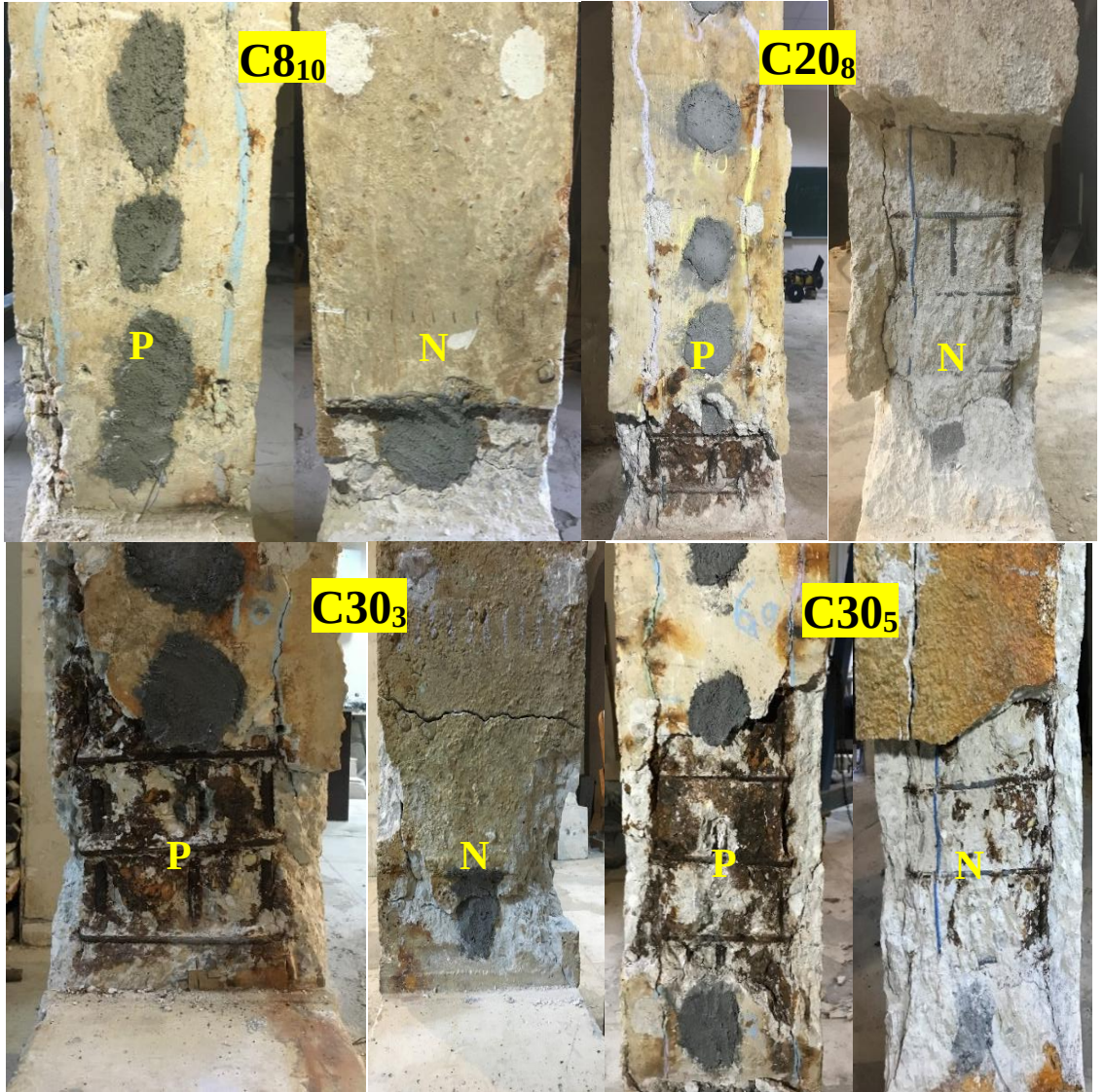


Şekil 4.21. C30 betonarme kolonları için histerik çevirim sonuçları: (a) C24 betonarme kolonu, (b) C25 betonarme kolonu.

DeneYleri gerçekleştirilen her bir betonarme kolona ait şekil 4.9-4.21’de grlen yük deplasman grafikleri mevcut kolona ait korozyon oranı ve beton basınç sınıfı gözetilerek değerlendirilmiştir. şekil 4.9-4.21’de incelediği gibi betonarme donatılarındaki korozyon oranının artması ile birlikte yapılan yükleme çevrimlerinin sayısında azalma grlmektedir. Aynı beton basınç dayanımı ve aynı korozyon oranlarına sahip kolonlardaki çevrim sayısındaki farklılık ise eksenel yük değerinin oranından dolayı değişmektedir. Eksenel yükün artması ile birlikte korozyondan dolayı meydana gelen rijitlik değerinin azalması daha belirgin hale gelmektedir. Aynı beton basınç dayanımına sahip kolonlar incelendiği zaman kolonun rijitlik değerlerindeki düşüş gibi enerji yutma kapasitende de gözle görülür bir azalış grlmektedir. Korozyona uğramış betonarme donatısının başta akma dayanımı olmak üzere birçok mekanik özelliği azalmaktadır. Buna ek olarak korozyondan dolayı biriken pas ürünü donatı çevresinde hacimsel bir genleşme meydana getirerek beton içerisinde radyal basınç etkisi ile çatlak oluşumuna sebebiyet vermektedir. Çatlayan yapı elemanında da ilk çatlamamış duruma göre önemli oranda rijitlik değişimi meydana gelecektir. Düşük oranda korozyon oranı süneklik değerini bir miktar artırmakla birlikte korozyon oranının artışı ile önemli derecede düşmektedir. şekil 4.22’de görüldüğü üzere oluşan çatlak dağılımları pozitif (P) ve negatif (N) yükleme yönlerinde çatlama düzenleri arasında farklılıklar grlmektedir. Meydana gelen değişikliklerin ana sebebi o bölgedeki korozyon oranlarındaki farklılıktır. Betonarme kolonların pozitif yükleme (L1, L7 ve L8) yönündeki korozyon oranları diğer yüzeylerden daha büyük olduğu için yapısal davranışlarda farklılık gösterilmektedir. Bununla birlikte yük taşıma kapasitelerindeki farklılıklardan dolayı paslanmış kolonlarının pozitif yükleme yönlerinde ikincil çatlak genişlikleri daha fazla olmuştur. şekil 4.22’de görüldüğü gibi; pozitif yükleme yönünde (havuzun alt kısmında kalan ve daha çok paslandırılan kolon yüzeyi) birincil korozyon çatlakların etkisi ile birlikte bu yüzeyde meydana gelen ikincil çatlaklar diğer yüzeye göre çok daha geniş olup plastik mafsall bölgesi doğrultusunda kalıcı hasarlara sebep olmuştur.

C30 gruplarının eğilme dayanım kapasiteleri C8 ve C20 numunelerinden daha yüksek olduğundan kabuk çatlaması iki yükleme yönünde bu numuneler için daha belirgin hale gelmiştir. Korozyonun bir başka etkisi de plastik mafsallı boyunu ve bölgesinde değişiklik meydana getirmesidir.

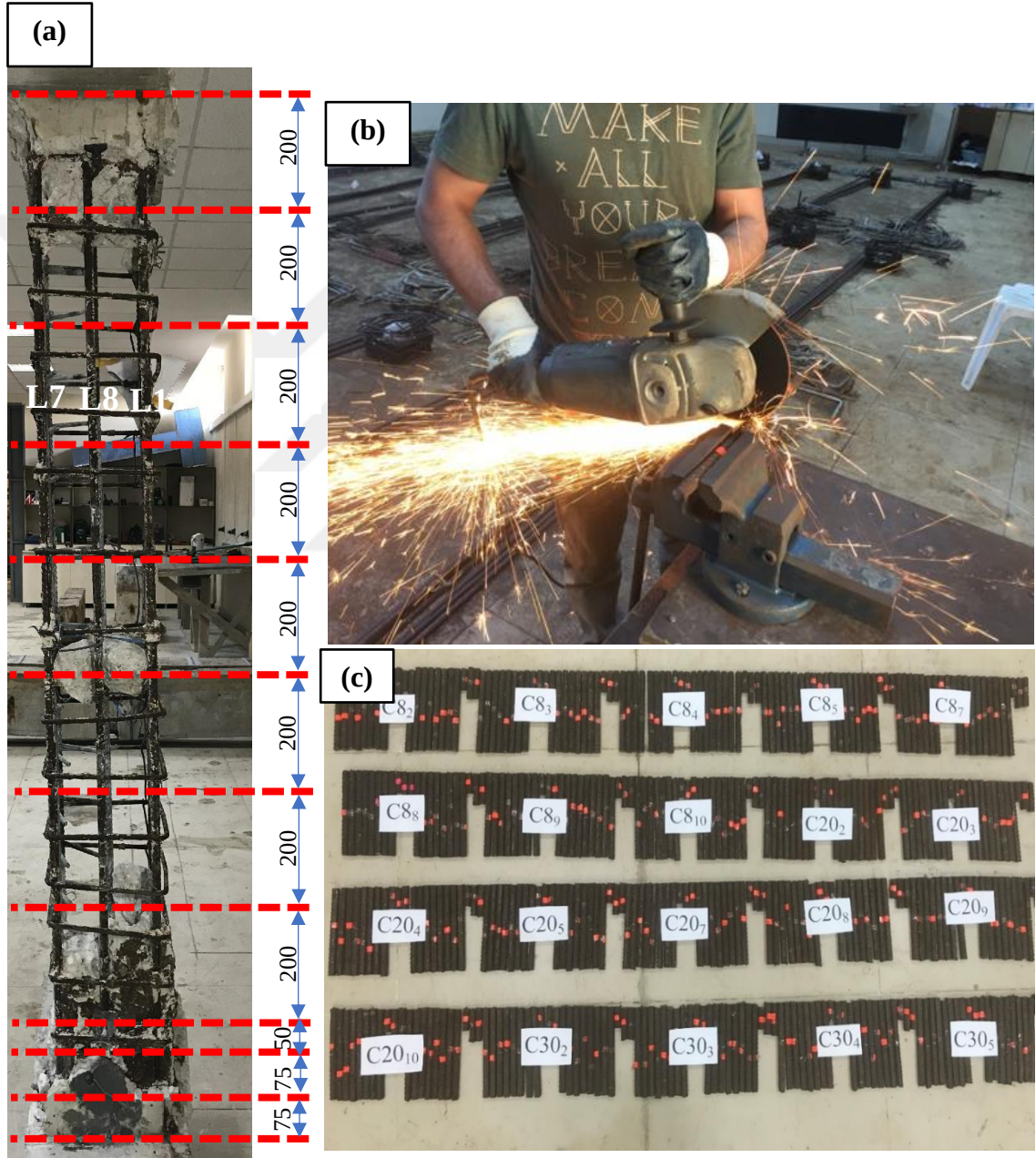
Şekil 4.22’de gösterildiği gibi korozyon durumunda plastik deformasyon sadece aksiyel yüke değil aynı zamanda farklı korozyon oranları için beton dayanım oranına da bağlıdır.



Şekil 4.22. Paslanmış kolonların çatlak desenleri.

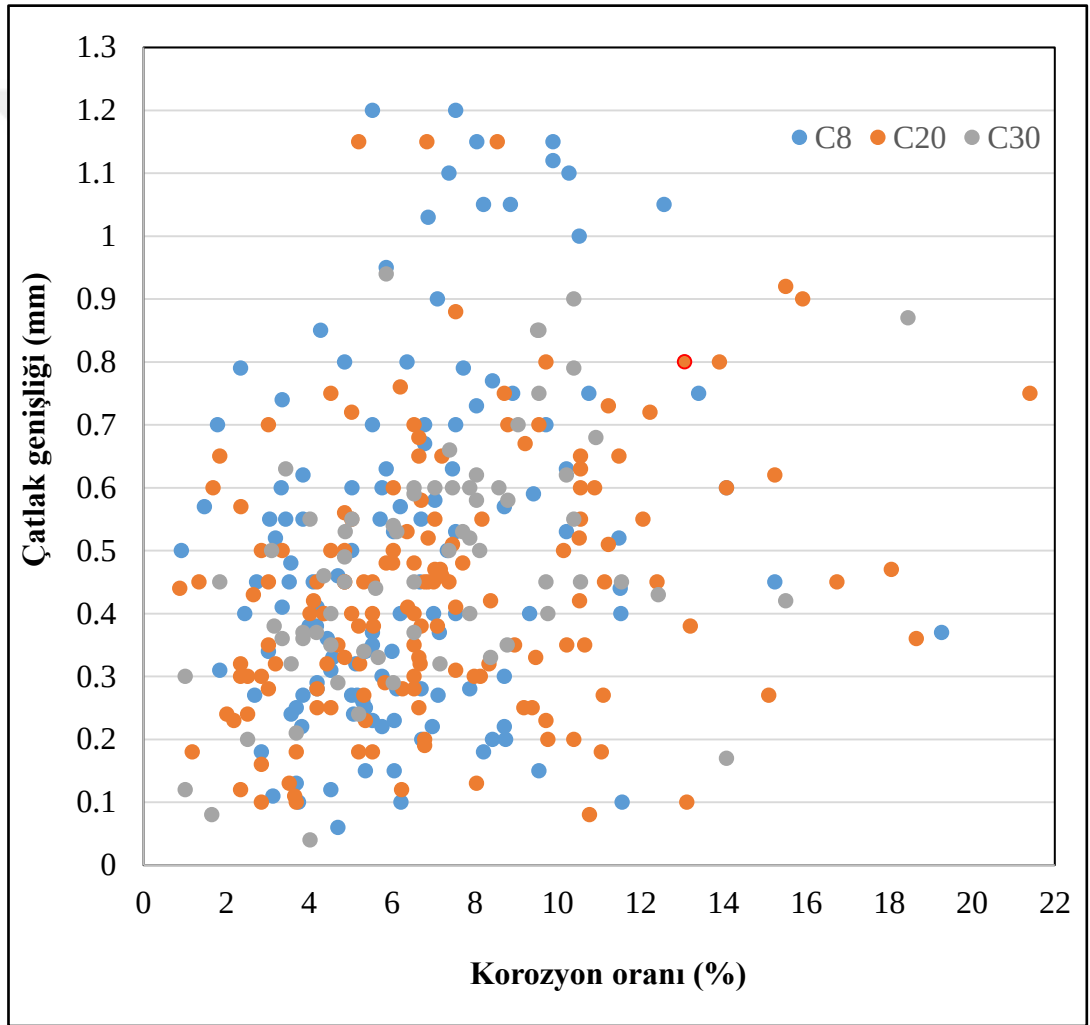
4.3. Korozyon Çatlak Genişlikleri ile Gerçek Korozyon Oranları Arasındaki İlişki

Betonarme kolonların çatlak genişlikleri ile gerçek korozyon oranlarını belirlemek amacıyla beton içeresinden çıkartılan donatılar (L1 ve L7 numaralı donatılar) Şekil 4.23'de görüldüğü gibi belirlenen ölçülerde kesilerek özdeş uzunluktaki passız donatı kütleleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 4.23. Betonarme donatıların kesilmesi: (a) Kesilen donatıların aralıkların yerleri, (b) Donatıların kesilme işleri (c) Kesilen donatıların parçaları.

Bu şekilde donatılar arasındaki kütle kaybından gerçek korozyon oranı hesaplanmıştır. Aynı zamanda her bir betonarme kolonunda 11 bölge için kesilmiş L1 ve L7 boyuna donatılarında meydana gelen kesit alanındaki kayıplar (ΔA_s) ve buna karşılık gelen birincil korozyon çatlak genişlik değerleri Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Tablo 4.7’de ise kesilmiş betonarme donatıları için ortalama korozyon oranları ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.7’de kesilmiş betonarme donatılarındaki kesilmemiş haldeki boyuna donatılardaki ve betonarme kolonundaki tüm boyuna donatıları ortalama korozyon oranları karşılaştırılmak üzere verilmiştir.

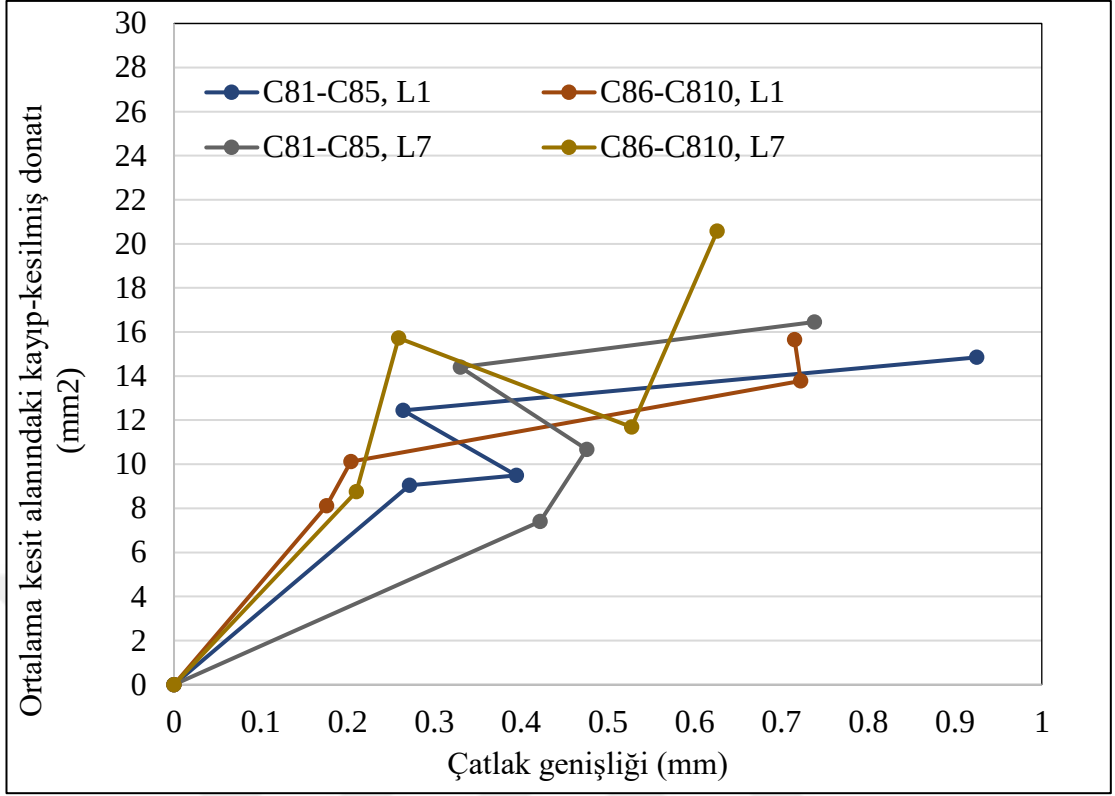


Şekil 4.24. Kesilen donatılardan elde edilen korozyon oranları ve karşılık gelen birincil korozyon çatlak genişlik dağılımları.

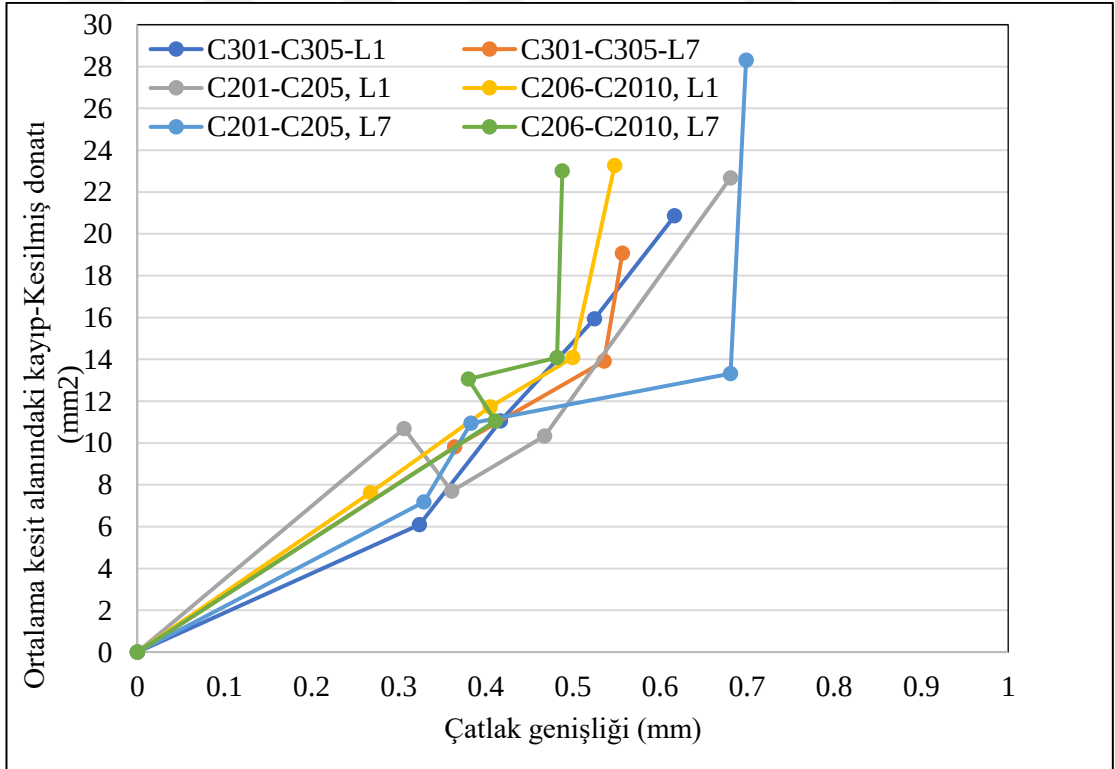
Tablo 4.7. Ortalama çatlak genişliği; kesilmiş, kesilmemiş tek bir donatıdaki kesit kaybı ve karşılık gelen kolondaki ortalama donatı kesit kaybı.

Kolon donatısı	Kesilmiş donatı				Kesilmemiş donatı için kesit kaybı		Kesilmemiş donatı- betonarme kolonundaki ortalama donatı kesit kaybı
	W _{cr} (mm)		ΔA _s (mm ²)		ΔA _s (mm ²)		
	L1	L7	L1	L7	L1	L7	
C8 ₁					x		
C8 ₂	0.39	0.48	9.49	10.67	6.55	5.97	4.31
C8 ₃	0.27	0.42	9.05	7.40	5.51	6.02	4.52
C8 ₄	0.26	0.33	12.45	14.41	13.18	13.22	9.72
C8 ₅	0.93	0.74	14.85	16.45	13.88	15.88	10.94
C8 ₆					x		
C8 ₇	0.18	0.21	8.11	8.76	7.24	8.71	5.75
C8 ₈	0.20	0.26	10.12	15.73	10.34	11.55	8.46
C8 ₉	0.72	0.53	13.77	11.68	13.35	9.63	8.71
C8 ₁₀	0.72	0.63	15.65	20.58	12.26	17.88	9.68
C20 ₁					x		
C20 ₂	0.31	0.38	10.68	10.95	6.57	7.26	4.38
C20 ₃	0.36	0.33	7.69	7.19	4.61	3.11	2.68
C20 ₄	0.47	0.68	10.33	13.32	8.57	9.79	5.42
C20 ₅	0.68	0.70	22.67	28.31	20.51	23.63	14.14
C20 ₆					x		
C20 ₇	0.27	0.41	7.63	11.05	4.62	7.16	3.53
C20 ₈	0.41	0.38	11.72	13.07	8.57	6.99	4.93
C20 ₉	0.50	0.48	14.08	14.08	12.37	12.26	7.84
C20 ₁₀	0.55	0.49	23.26	23.00	19.72	20.07	11.87
C30 ₁					x		
C30 ₂	0.32	0.00	6.09	0.00	1.88	3.72	3.65
C30 ₃	0.42	0.36	11.05	9.82	10.11	9.29	6.39
C30 ₄	0.53	0.54	15.94	13.91	12.65	13.64	7.60
C30 ₅	0.62	0.56	20.86	19.08	17.06	19.68	12.10

Kesilmiş olan (L1 ve L7) donatıları için hesaplanan ortalama kesit kayıpları ve bu kayıplara karşılık gelen ortalama çatlak genişlikleri arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 4.25 ve 4.26’de verilmiştir.



Şekil 4.25. C8 betonarme kolonları için ΔA_s 'ye karşılık gelen birincil çatlak genişlik değerleri.



Şekil 4.26. C20 ve C30 betonarme kolonları için ΔA_s 'ye karşılık gelen birincil çatlak genişlik değerleri.

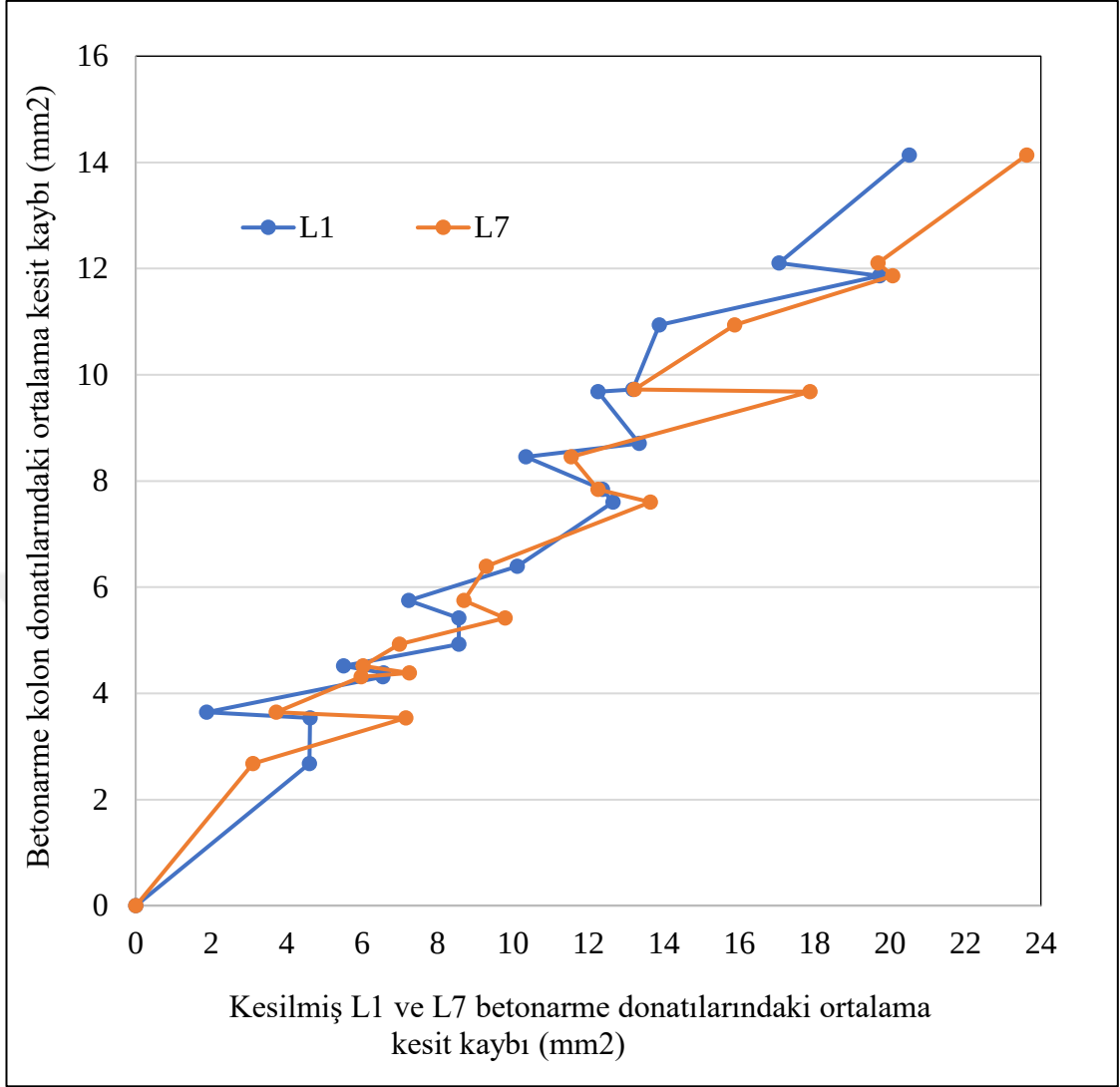
Yukarıda Şekil 4.25 ve 4.26’de görüldüğü üzere ortalama korozyon oranları ve bunlara karşılık gelen birincil çatlak genişlikler arasında bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişki C8 beton sınıfına sahip betonarme kolonlarında betonun malzeme özelliği olarak çekme dayanımını düşük olmasına bağlı olarak bu ilişki diğer beton sınıflarına göre C8 beton sınıfında biraz daha düşük seviyelerde kalmıştır. Deneyler öncesinde C8-C20-C30 sınıflarına sahip betonarme kolonlarından ölçülen çatlak genişlikleri kullanılarak doğrusal regresyon analizi sonucunda ortalama kesit kaybını hesaplamaya dayalı iki farklı ampirik model geliştirilmiştir.

$$\Delta A_{si} = \frac{W_{cr}}{-0.0079 + 0.19 \times W_{cr} - 0.17 \times W_{cr}^2} \quad \text{C8 için} \quad (4.1)$$

$$\Delta A_{sj} = \frac{W_{cr}}{-0.046 \times W_{cr} + 0.058} \quad \text{C20 ve C30 için} \quad (4.2)$$

Korozyona maruz kalmış bir yapı elemanındaki ortalama kütle kaybını hesaplamak isteyen inşaat mühendisinin yapması gereken tek şey çatlak genişliklerini ölçerek beton sınıfını tayin ettikten sonra Denklem 4.1 ve 4.2’den uygun olanını kullanması yeterli olacaktır. Elde edeceği ortalama çatlak genişliği sonucunda söz konusu çatlağa karşılık gelen ortalama korozyon oranı %97 seviyelerinde tahmin edilebilmektedir. Fakat Tablo 4.7’de gösterildiği gibi; kesilmiş betonarme boyuna donatıları L1 ve L7’deki gerçek korozyon oranları betonarme kolonlarındaki toplam ortalama korozyon oranlarından bir miktar fazladır. Bunun nedeni kesilmemiş çubuklarla karşılaştırıldığında daha az başlangıç kesme kütlesi ve betonarme kolonlarının negatif yükleme yönlerinde daha düşük korozyon seviyeleridir. Tersinir yükler altında bir betonarme kolonundaki toplam korozyon oranlarının etkisini yansıtmak için, bir bölgedeki korozyon seviyesi ile tek bir donatı çubuğu üzerindeki ortalama korozyon seviyeleri arasında bir ilişki kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.27’de görüldüğü gibi, kesilmiş donatılardan elde edilen ortalama korozyon oranı ile betonarme kolonundaki ortalama korozyon oranları arasında %96 oranında ilişki bulunmaktadır. Doğrusal regresyon analizi kullanarak, betonarme kolon donatılarındaki ortalama korozyon oranını Çatlak genişliğine bağlı olarak tahmin etmek için geliştirilen ampirik model Denklem 4.3 yardımı ile sağlanmıştır.

$$\Delta A_s \text{ kolon} = 0.55 \times \Delta A_{si,j} + 0.04 \quad (4.3)$$



Şekil 4.27. Betonarme kolon donatılarındaki ortalama kesit kaybına karşılık gelen kesilmiş donatılardaki ortalama kesit kaybı.

4.4. Paslandırılmış Betonarme Kolonların Sismik Performans Seviyeleri

Betonarme yapılarının sismik yapısal performans seviyeleri, çatı katı öteleme oranlarına göre tanımlanabilir. Bu tez kapsamında elde edilen ortalama korozyon oranları korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının sismik performanslarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Bunun için Tablo 4.8’de gösterildiği üzere betonarme yapıların tanımlanan çatı katı öteleme sınır ve hasar seviyeleri Vision 2000 (1995) göre göz önüne alınmıştır.

Tablo 4.8. Vision 2000 performans seviyeleri ve karşılık gelen hasar durumları (Vision 2000, 1995)

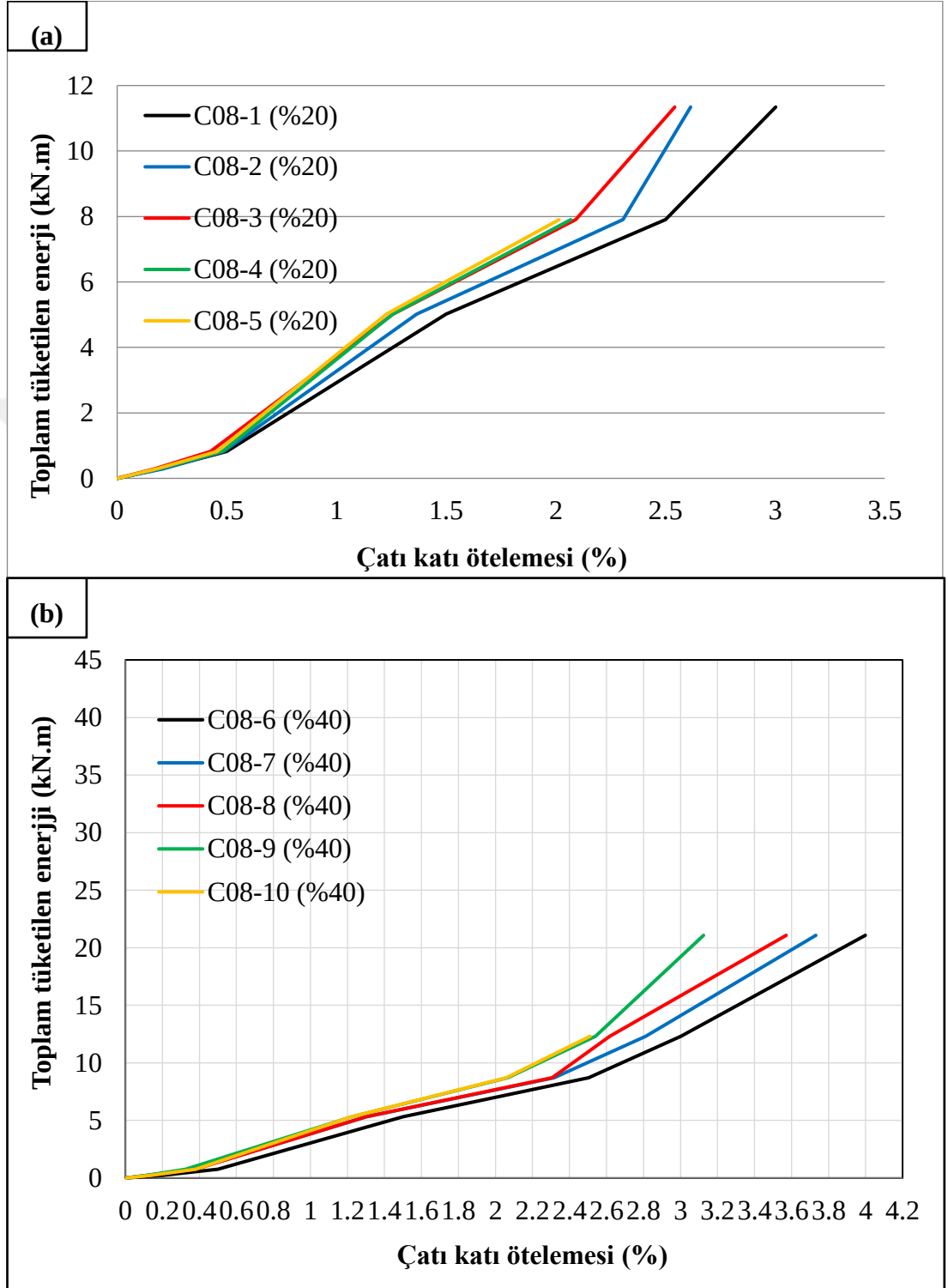
Performans Seviyeleri	Hasar Durumu	Ötelenme (%)
Hemen Kullanım (HK).	Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşılık gelmektedir.	<0.2
Sınırlı Hasar (SH).	Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.	<0.5
Kontrollü Hasar (KH).	Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.	<1.5
Göçme Önlenmesi (GÖ).	Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.	<2.5
Göçme (G).	-	>2.5

Betonarme kolonlarının sismik performanslarının karşılaştırılabilmesi için enerji bazlı hesap yöntemi kullanılmıştır. Her bir betonarme kolonun toplam enerji kapasiteleri Denklem 4.4 yardımı ile hesaplanmıştır. Burada E , her pozitif ve negatif histerik döngülerde harcanan enerji (E_i) ise bu değerlerin toplamıdır.

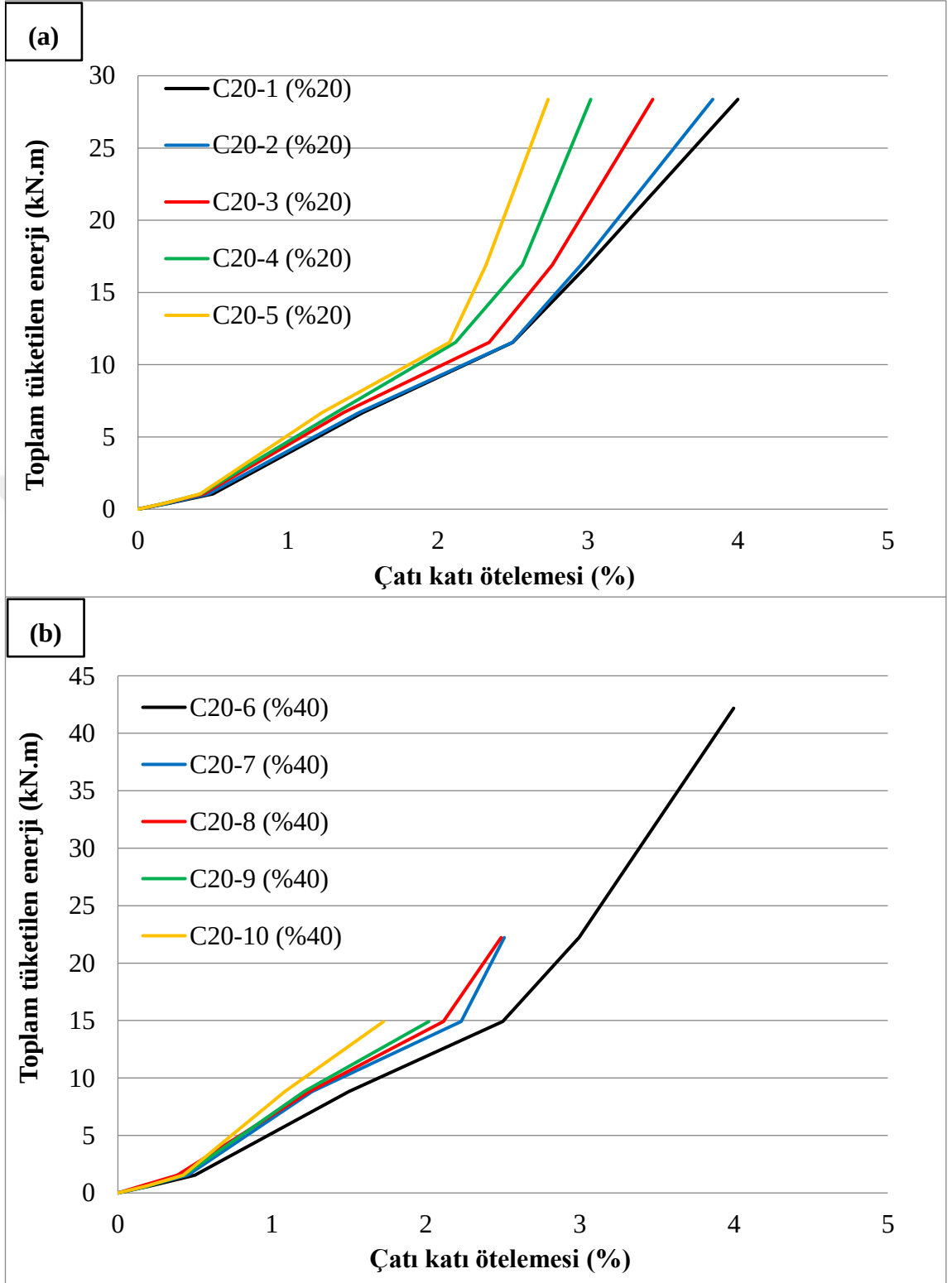
$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (4.4)$$

İlk aşamada, referans betonarme kolonlarının (C8₁, C8₆, C20₁, C20₆, C30₁) beş adet çatı katı ötelemesi (%0.2, %0.5, %1.5, %1.5, %1.5) seviyelerindeki tükettikleri toplam enerji kapasiteleri histerik döngülerden hesaplanmıştır. Referans kolonu göz önüne alınarak bu kolonun çatı katı ötelemesinde tükettiği enerji hesaplanarak; paslanmış betonarme kolonun tüketilen aynı enerji kapasitesi için çatı katı ötelemesi histerik döngüden pozitif veya negatif yükleme olduğuna bakılmaksızın işaretlenmiştir. Her bir betonarme kolonun

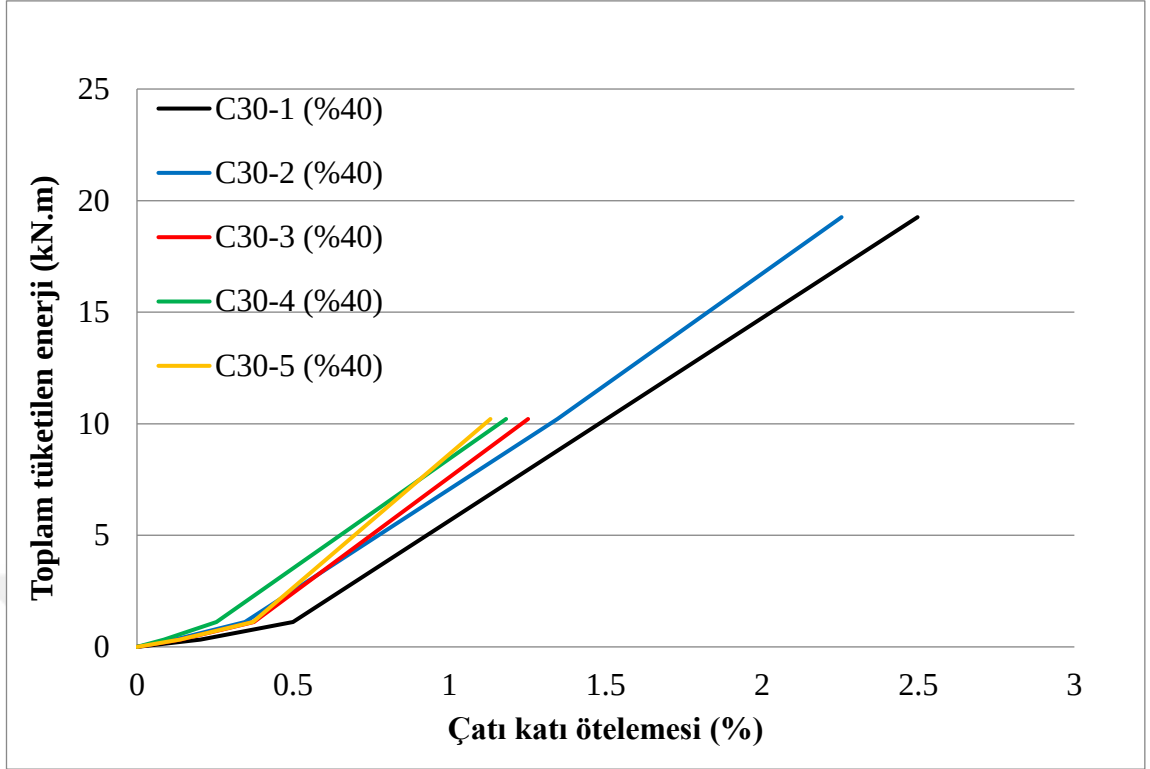
eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelemeleri Şekil 4.28-4.30’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.28. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelemeleri: (a) C8-%20, (b) C8-%40.



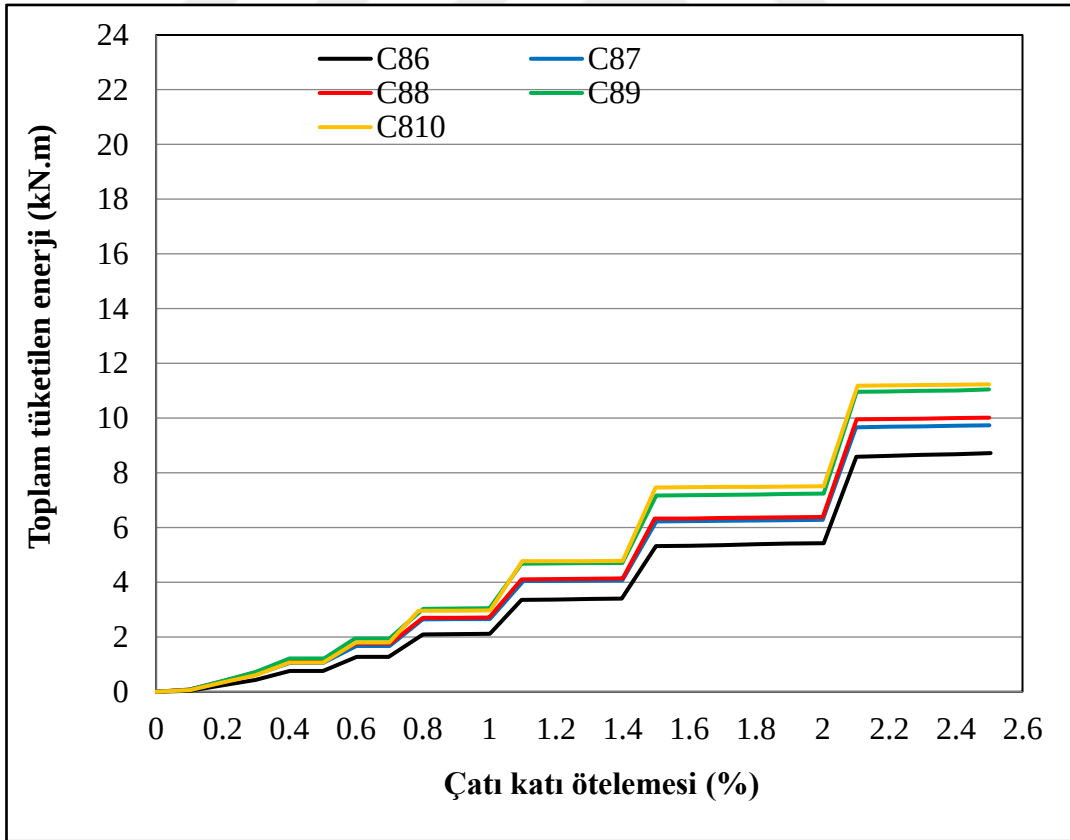
Şekil 4.29. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelenmeleri: (a) C20-%20, (b) C20-%40.



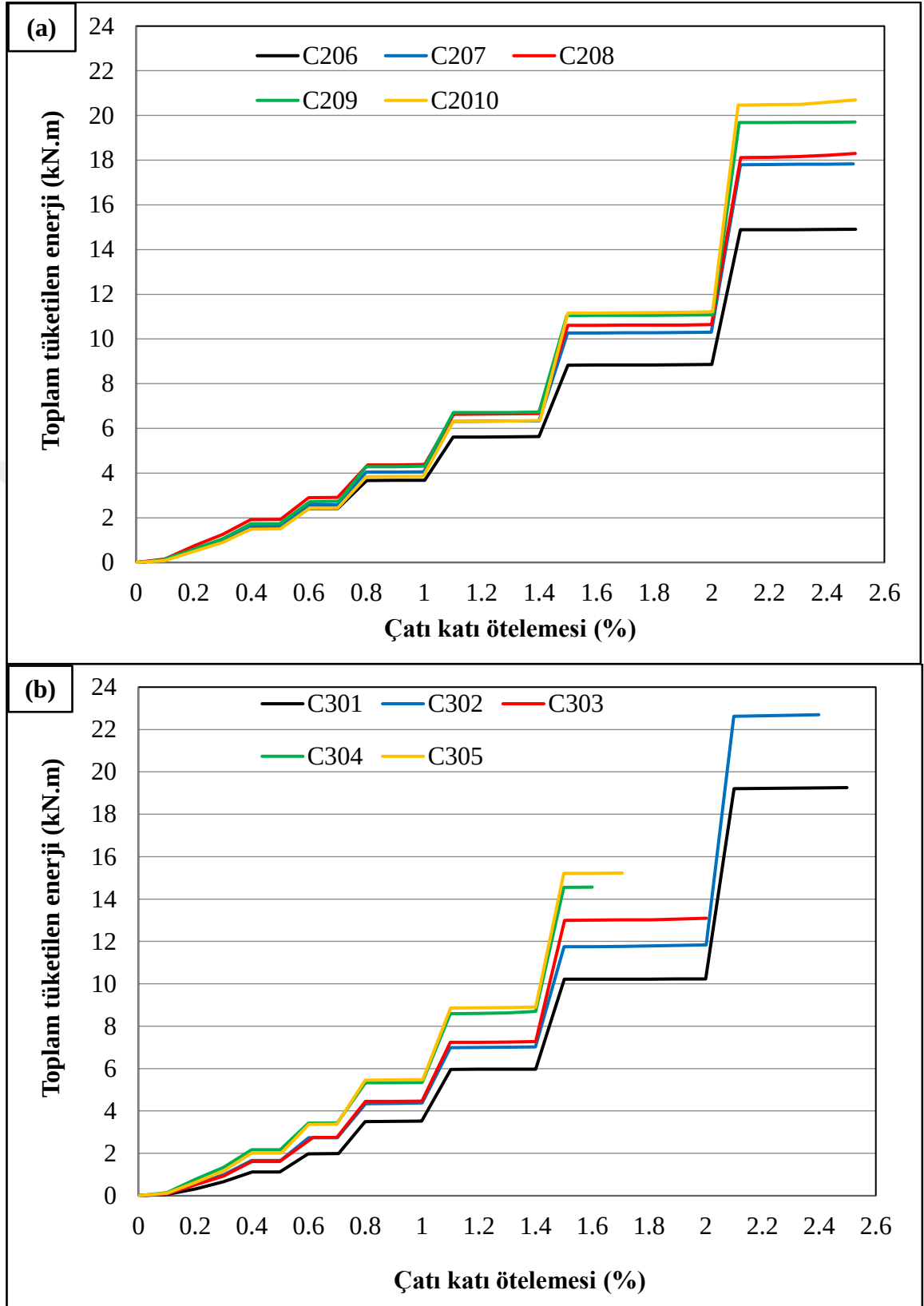
Şekil 4.30. Eşit enerji tüketimine karşı gelen çatı katı ötelenmeleri, C30-%40.

Şekil 4.28-4.30’de gösterildiği gibi aynı enerji tüketiminde paslanmış betonarme kolonlarının çatı katı ötelenmesi paslanmamış betonarme kolonlara göre azalmaktadır. Başka bir deyişle paslanmış betonarme kolonları paslanmamış betonarme referans kolonlarının yapmış olduğu yer değiştirmeye ulaşabilmeleri için daha fazla enerji tüketmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. El-Maaddawy vd. (2005) ve Malumbela vd. (2009b) yapılan çalışmada paslanmış betonarme kolonların süneklik oranlarının artması için çizilen sonuçların aksine, enerji-bazlı yöntem kullanılarak paslanmış betonarme kolonların süneklik oranlarındaki azalmaya göstermektedir. Bu nedenle, paslanmış betonarme kolonlarının deprem göstergelerinin enerji bazlı yöntemle göre (yer değiştirme süneklik oranı yerine enerji süneklik endeksi) belirlenmesi için daha ileri çalışmalar için şiddetle tavsiye edilir. Şekil 4.30’de C30₁ betonarme kolonun %1.5 çatı katı ötelemesinde tükettiği toplam enerji 10.21 kN.m’dir. Tüketilen eşit enerjide; korozyon oranının artması ile birlikte, C30₂, C30₃, C30₄ ve C30₅ çatı katı ötelemeleri sırasıyla %1.35, %1.25, %1.18 ve 1.13% olarak azalmıştır.

Böylelikle; paslanmış betonarme kolonları C30₁ betonarme kolunun sahip olduğu çatı katı ötelemesine ulaşabilmesi için prematüre olarak enerjilerini daha düşük çatı katı öteleme seviyelerinde tüketmiştir. Mevcut çalışmada en yüksek pas oranına sahip olan C20₅-L7 betonarme donatısındaki kesit alanındaki kayıp 23.63 mm²'dir. Böylelikle C20₅-L7 betonarme donatısının çapı 16 mm'den 15.03 mm'ye düşmüştür. Betonarme kolonlarındaki toplam kesit alanındaki azalmanın ihmal edilmesi durumunda ve C20₅-L7 betonarme donatısının çap azalmasındaki düşük seviye göz önüne alındığında; korozyondan dolayı oluşan birincil çatlakların yapısal performans üzerine etkisinin daha etkin ve belirgin olduğunu rahatlıkla söylenebilir. Birincil korozyon çatlak genişliklerine bağlı olarak korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının sismik performansların hasarsız bir yöntem ile tahmin edilmesi için; deneye tabi tutulan betonarme kolonlarının 0.1 aralık ile %0 çatı katı ötelemesinden %2.5 çatı katı ötelemesine kadar tükettikleri toplam enerjiler hesaplanmıştır. Betonarme kolonlarının her bir çatı katı ötelemesine karşı hesaplanan tükettikleri toplam enerjiler Şekil 4.31-4.32'de gösterildiği gibidir.

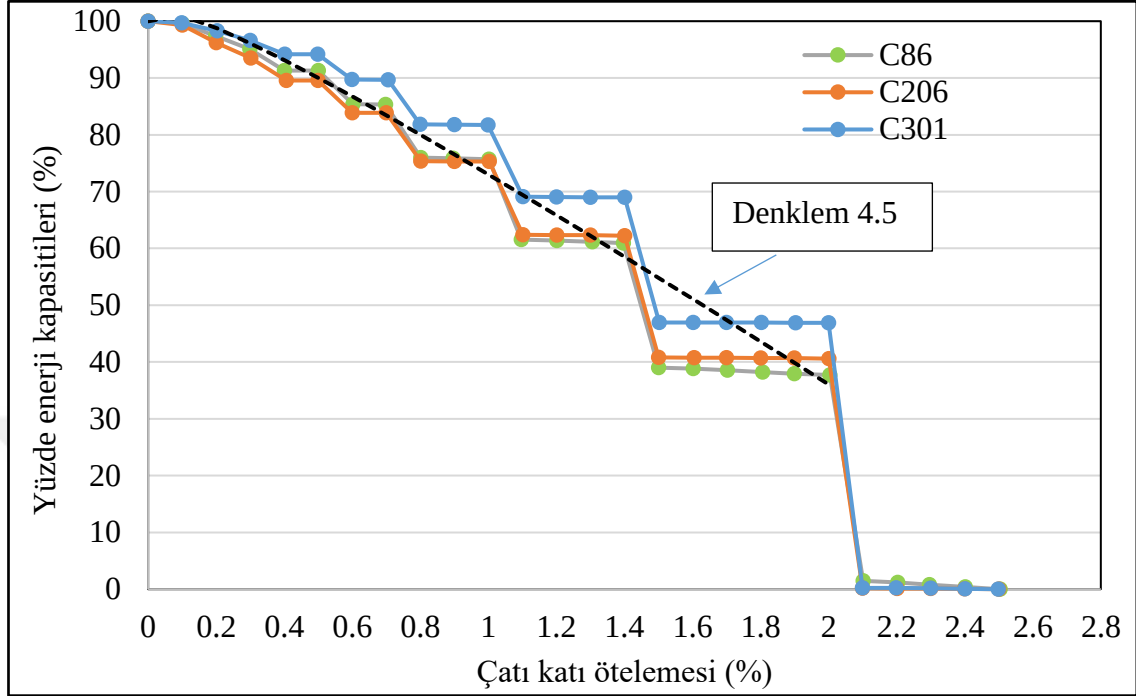


Şekil 4.31. Çatı katı ötelemesine karşı tüketilen toplam enerji, C8 betonarme kolonu.



Şekil 4.32. Çatı katı ötelemesine karşı tüketilen toplam enerji: (a) C20, (b) C30.

Şekil 4.33’da passız betonarme kolonlarının 0.40 eksenel yük etkisi altında %2.5 çatı katı ötelemesine göre yüzde enerji kapasiteleri gösterilmektedir.

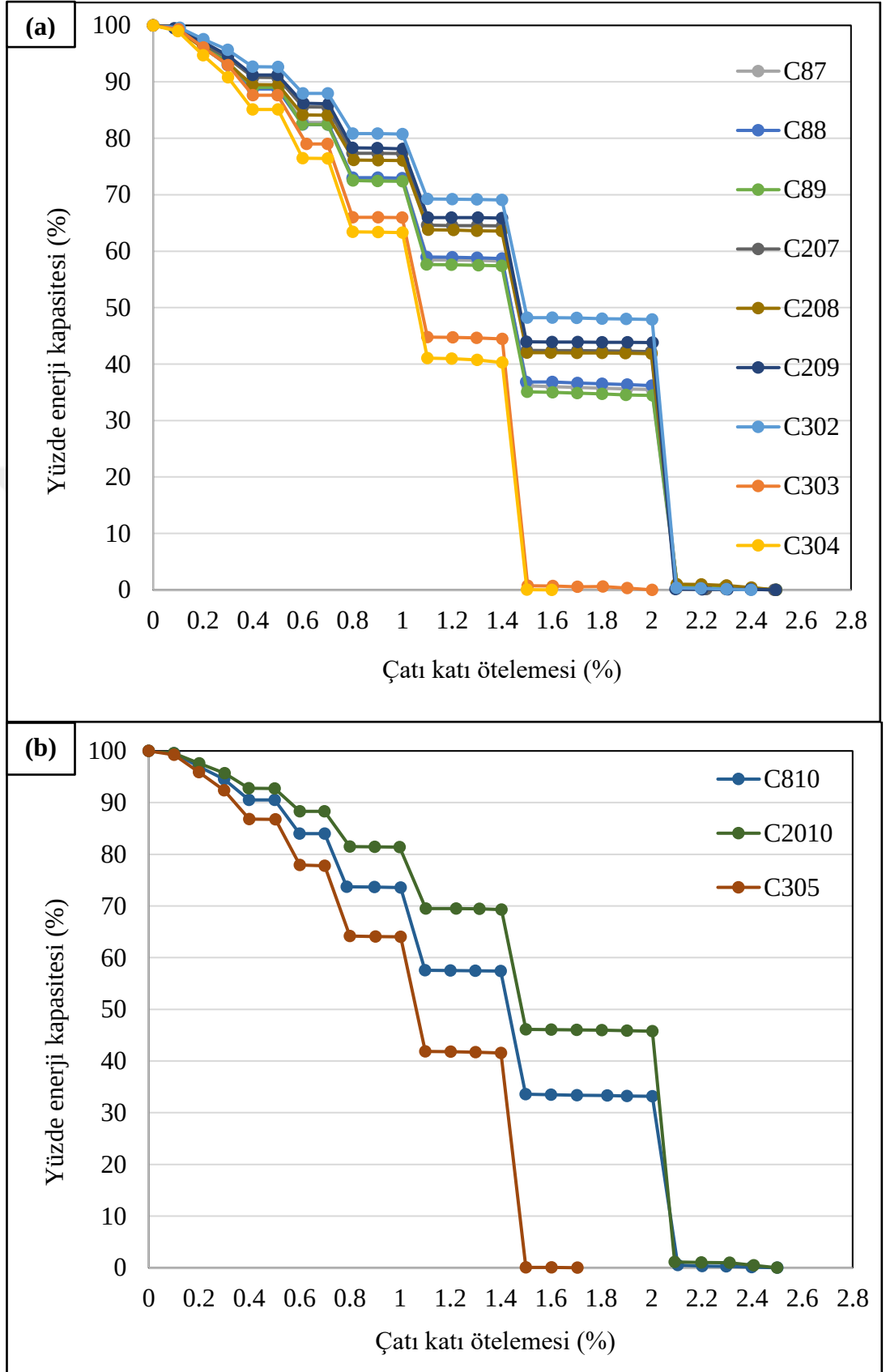


Şekil 4.33. Passız betonarme kolonlarının yüzde enerji kapasiteleri.

Şekil 4.33’da gösterildiği gibi, her bir beton dayanım gurubunda çatı katı öteleme oranı arttıkça paslanmamış betonarme kolonlarının enerji kapasitelerinin yüzdesi azalmıştır. Paslanmamış betonarme kolonlarının her bir çatı katı ötelemesine karşılık gereken yüzde enerji kapasiteleri birbirine yakınlık göstermiştir. Şekil 4.33’da gösterildiği gibi, %2 çatı katı ötelemesi önemli bir yere sahip olup; %2 çatı katı ötelemesinden sonra her bir betonarme sınıfında yer alan betonarme kolonların enerji kapasitelerinde ani bir düşüş sergilemiş ve toplam enerji kapasitelerini tüketmiştir. Paslanmamış betonarme kolonlarının yüzde enerji kapasitelerini plastik deformasyonun bir fonksiyonu olacak şekilde tahmin etmek için bir ampirik denklem geliştirilmiş olup Denklem 4.5’de sunulmuştur.

$$\text{Eğer } \delta \leq \%2 ; E_{\text{paslanmamış kolon}} (\%) = 100 - 44 \times \delta + 17 \times \delta^{0.5} \quad (4.5)$$

Korozyona maruz kalmış her bir betonarme kolonun yüzde enerji kapasitesi ise Şekil 4.34’de sunulmuştur.



Şekil 4. 34. Korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının yüzde enerji kapasiteleri: (a) C87-9, C207-9, C302-4, (b) C810, C2010, C305

Şekil 4.34(b)'de görüldüğü gibi; korozyonun farklı beton basınç dayanımları üzerinde etkisi aşikâr bir şekilde ortaya çıkmıştır. C20 betonuna göre daha düşük mukavemete sahip C8 betonarme kolonları daha düşük çatı katı ötelemelerinde enerjilerini tüketmektedir. C30 betonarme kolonları Yalciner vd. (2012) yapılan bir çalışmada araştırıldığı gibi, yüksek beton basınç dayanıma sahip betonarme elemanları korozyon ürününün neden olduğu radial basınç etkisi ile birlikte daha gevrek hale gelmiştir. Şekil 4.34(b)'de C8 ve C20 betonarme kolonları %2 çatı katı ötelemesinden sonra enerji kapasitelerini yitirirken; bu durum C30 betonarme kolonunda %1.4 çatı katı ötelemesinde gerçekleşmektedir. Korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının enerji tüketme kapasitelerinin tahmin edilebilmesine olanak sağlanacak modeller Denklem 4.6 ve 4.7 sunulduğu gibidir.

$$\text{Eğer } \delta \leq \%2 \text{ ve } 9 \leq f_c < 27 ; E_{korozyon} (\%) = 105 - 35 \times \delta + 0.045 \times f_c - 0.39 \times \Delta A_{sL} \quad (4.6)$$

$$\text{Eğer } \delta \leq \%1.4 \text{ ve } f_c > 27 ; E_{korozyon} (\%) = 115 - 40 \times \delta - 3.28 \times \Delta A_{sL} + 0.17 \times \Delta A_{sL}^2 \quad (4.7)$$

Denklem 4.3 yardımı ile ve tahribatsız olarak betonarme kolonundaki ortalama korozyon oranı birinci korozyon çatlak genişliğine bağlı olarak tahmin edilebilir. Ardından yapısal çözümleme sonucunda ve göz önüne alınan yük etkisi altında herhangi bir çatı katı ötelenmesine (δ) bağlı olarak betonarme kolonun sahip olduğu enerji yüzde kapasitesi Denklem 4.5, 4.6 ve 4.7 yardımı ile tahmin edilebilir. Elde edilecek enerji kapasitesi korozyona bağlı olarak paslanmış betonarme kolonlarının sismik performanslarının tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Paslanmış betonarme kolonlarının referans kolonuna göre normalize edilmiş enerji yüzde kapasiteleri hedeflenen çatı katı ötelemesine (δ_t) göre değerlendirilmesi yapılacak olan kolon için sismik performans seviyesini Denklem 4.8 yardımı ile hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

$$\text{performans seviyesi, Tablo 4.8} = \delta_t \times \frac{\text{hedeflenen çatı katı ötelemesi için } E_{paslanmamış \text{ kolon}} (\%)}{\text{hedeflenen çatı katı ötelemesi için } E_{korozyon} (\%)} \quad (4.8)$$

5. SONUÇLAR

Günümüzde yapıların sismik performans seviyelerini tahribatsız yöntemle kullanarak değerlendirmek büyük önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışma ile birlikte farklı korozyon oranları ve farklı beton basınç dayanımına sahip korozyona maruz kalmış betonarme yapıların sismik performans seviyelerini birincil korozyon çatlak genişliğine bağlı olarak geliştirilen ampirik modeller yardımıyla pratik bir değerlendirme sağlayabileceği düşünülmektedir. Mevcut çalışma için farklı beton basınç dayanımı ve farklı korozyon oranlarına sahip betonarme kolonlarında meydana gelen birincil çatlak genişliklerini karşılaştırabilmek için servis yükleri altında korozyona maruz bırakılması gerekmektedir. Fakat mevcut çalışmada numunelerin sayısı ve betonarme kolonların boyutları göz önünde bulundurularak; betonarme kolonları servis yükleri etkisi olmadan paslandırılmıştır.

Betonarme elemanlarının korozyon oranları sabit tutulduğunda, servis yükleri altında paslandırılan betonarme elemandaki çatlak genişliği servis yükleri bulunmadan paslandırılan elemandaki çatlak genişliğine göre daha büyük boyutlardadır. Malumbela vd. (2009) yapmış olduğu bir çalışmada servis yükleri altında ve servis yükleri bulunmadan paslandırılan betonarme elemanların çatlak genişliklerinde mevcut alan yazıda çelişkilerin bulunduğunu vurgulanmıştır. Servis yükleri etkisi altında paslandırılmış betonarme kolonlar üzerinde bugüne kadar hiçbir çalışma yapılmadığından, mevcut çalışma için elde edilen korozyon çatlak genişlikler daha önceden yapılan betonarme giriş modelleri ile karşılaştırması doğru olmadığı için karşılaştırılmamıştır.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen verilen ışığında ileride yapılacak olan çalışmalar için, servis yükleri etkisi altında paslandırılan betonarme kolonların çatlak genişlikleri ile bu çalışmadan elde edilen veriler kolayca ilişkilendirilebilir. Betonarme donatıların kesit alanlarındaki azalama aynı korozyon oranında yükleme tipine bağlı olarak değişmediğinden, servis yükleri etkisi altında ve servis yükleri bulunmadan elde edilen çatlak genişlikleri ile donatı kesit kaybı arasında bir ilişki oluşturarak daha ileri çalışmalar için kolaylıklı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

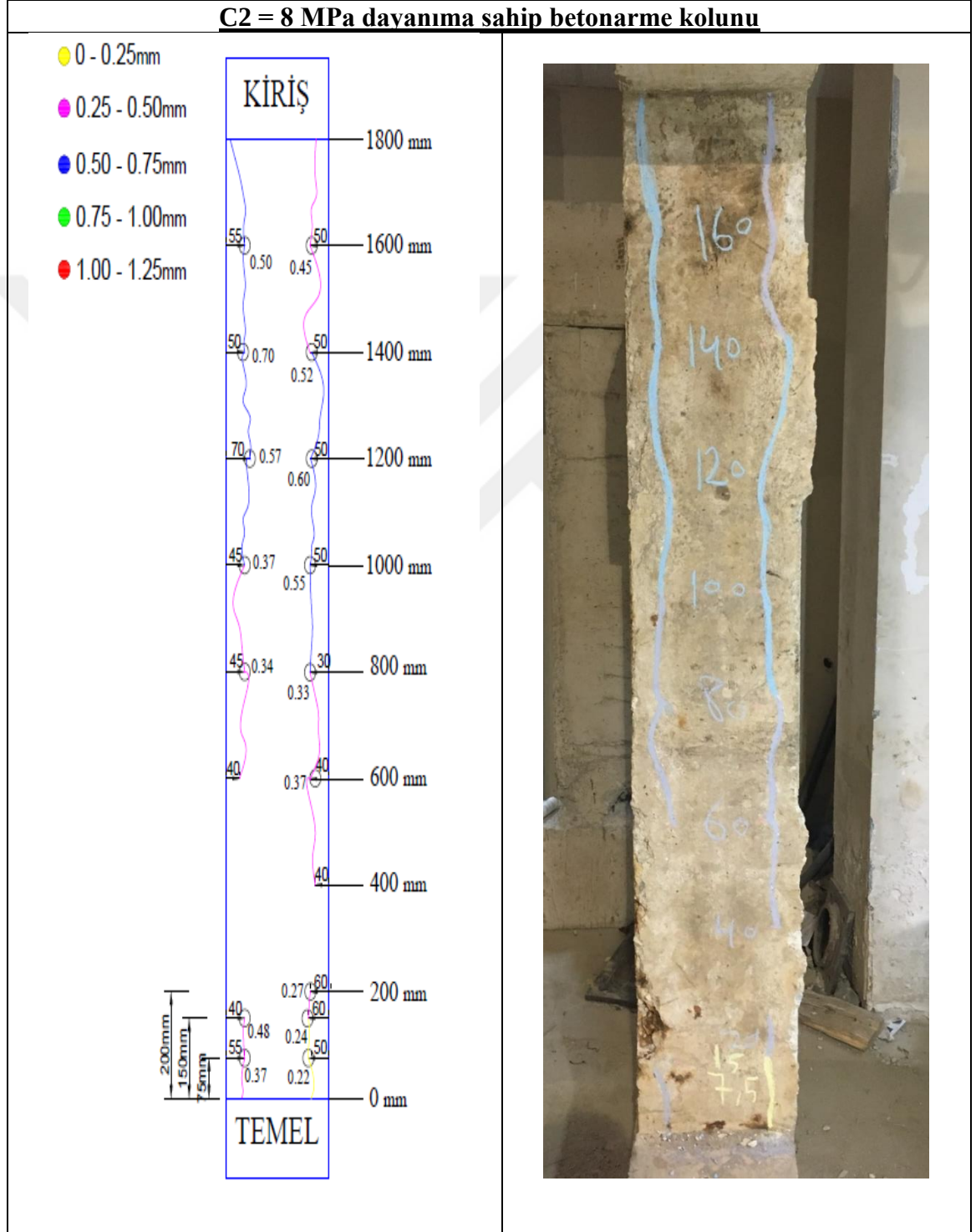
- ASTM (American Standards for Testing and Materials). (2003) “Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens” **G1-03**, *West Conshohocken*, PA, 1-9.
- Auyeung, Y., Balaguru, P. and Chung, L. (2000) “Bond behavior of corroded reinforcement bars”, **Materials Journal**, 97(2), 214-220.
- El Maaddawy, T., Chahrour, A. and Soudki, K. (2006) “Effect of fiber-reinforced polymer wraps on corrosion activity and concrete cracking in chloride-contaminated concrete cylinders”, **Journal of Composites for Construction**, 10(2), 139-147.
- El Maaddawy, T., Soudki, K. and Topper, T. (2005) “Long-term performance of corrosion-damaged reinforced concrete beams”, **American concrete institute Structural Journal**, 102(5), 649-56.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency). (2007) “Interim testing protocols for determining the seismic performance characteristics of structural and nonstructural components”, **FEMA-461**, Washington, DC, 1-113.
- Khan, I., François, R. and Castel, A. (2014) “Prediction of Reinforcement Corrosion Using Corrosion Induced Cracks Width in Corroded Reinforced Concrete Beams”, **Cement and Concrete Research**, Vol. 56, pp,84–96.
- Li, C.Q., and Melchers, R.E. (2006) “Time-Dependent Serviceability of Corrosion-Affected Concrete Structures”, **Magazine of Concrete Research**, 58(9), pp, 567–574.
- Li, C.Q. (2005) “Time Dependent Reliability Analysis of the Serviceability of Corrosion Affected Concrete Structures”, **International Journal of Materials and Structural Reliability**, Vol. 3, pp, 105–116.
- Malumbela, G., Alexander, M., and Moyo, P. (2009a) “Steel Corrosion on RC Structures under Sustained Service Loads—A Critical Review”, **Engineering Structures**, 31(11), 2518–2525.
- Malumbela, G., Moyo, P., and Alexander, M. (2009b) “Behaviour of RC Beams Corroded under Sustained Service Loads”, **Construction and Building Materials**, 23(11), 3346–3351.
- Malumbela, G., Alexander, M., and Moyo, P. (2010) “Interaction between Corrosion Crack Width and Steel Loss in RC Beams Corroded Under Load”, **Cement and Concrete Research**, 40(9), 1419–1428.
- Park, R., and Paulay, T. (1975) “Reinforced concrete structures”, **John Wiley and Sons**, 769 pages, New York, 1975.

- Paul, SC., Babafemi, AJ., Conradie, K., and van, Zijl, GPAG. (2016) “Applied voltage on corrosion mass loss and cracking behavior of steel-reinforced SHCC and mortar specimens” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(5), 1-9.
- TS500 (2000). “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS1247 (1948). “Beton Yapım, Döküm ve bakım kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN-206 (2000). “Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 50525-2-31 (2012). “Elektrik Kabloları - Alçak gerilim Enerji Kabloları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Vidal, T., Castel, A., and François, R. (2004) “Analyzing Crack Width to Predict Corrosion in Reinforced Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 34(1), 165–174.
- Vision (2000). “Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, *Structural Engineers Association of California*, Part 2. Conceptual Framework, 1995
- Yalciner, H., Sensoy, S., and Eren, O. 2012 “Effect of Corrosion Damage on the Performance Level of a 25-Year-Old Reinforced Concrete Building”, *Journal of Shock and Vibration*, 19, 1-12.
- Yalciner, H., Eren, O., and Sensoy, S. 2012 “An Experimental Study on the Bond Strength Between Reinforcement Bars and Concrete as a Function of Concrete Cover, Strength And Corrosion Level”, *Cement and Concrete Research*, 42(5), 643-655.
- Yalciner, H. (2017) “Paslanmaya maruz kalmış betonarme kirişlerde geo-grid kullanımının süneklik üzerindeki etkisi” *FBA-2016-330, Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*, 13 pp.
- Yang, SY., Song, XB., Jia, HX., Chen, X., and Liu, XL. (2016) “Experimental research on hysteretic behaviors of corroded reinforced concrete columns with different maximum amounts of corrosion of rebar”, *Construction and Building Materials*, 121, 319-327.
- Yu, L.W., François, R., Dang, V. H., L, Hostis, V., and Gagne, R. (2015) “Distribution of Corrosion and Pitting Factor of Steel in Corroded Beams”, *Construction and Building Materials*, Vol. 95, pp, 384–392
- Zhang, R., Castel, A., and Francois, R. (2010) “Concrete Cover Cracking with Reinforcement Corrosion of RC Beam During Chloride-Induced Corrosion Process”, *Cement and Concrete Research*, 40(3), 415–425.

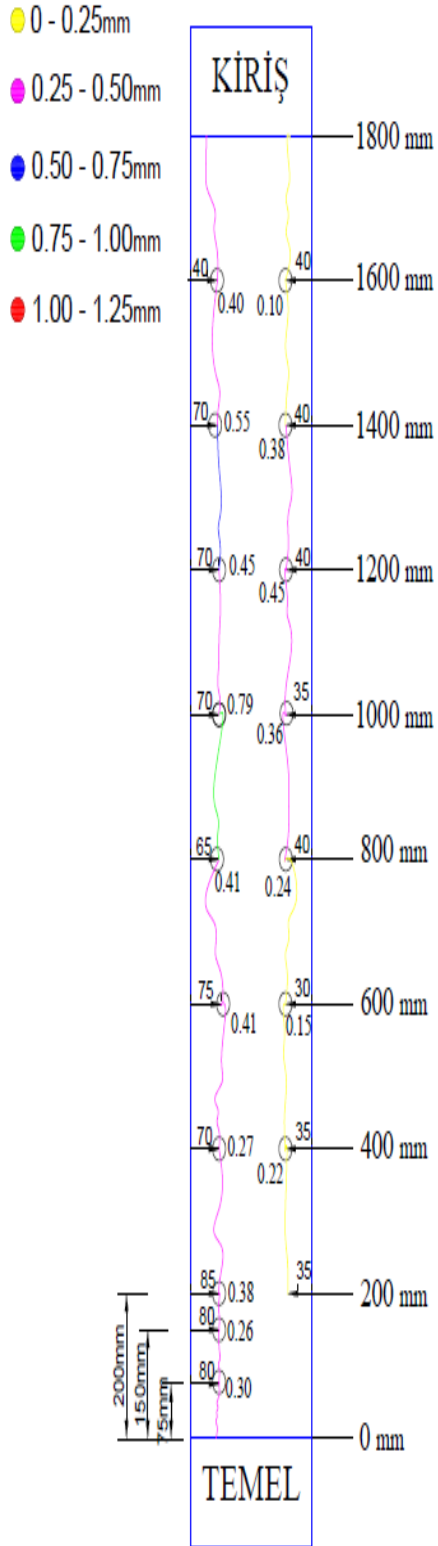
EKLER

EK.1: Betonarme kolonları için birincil çatlak haritaları

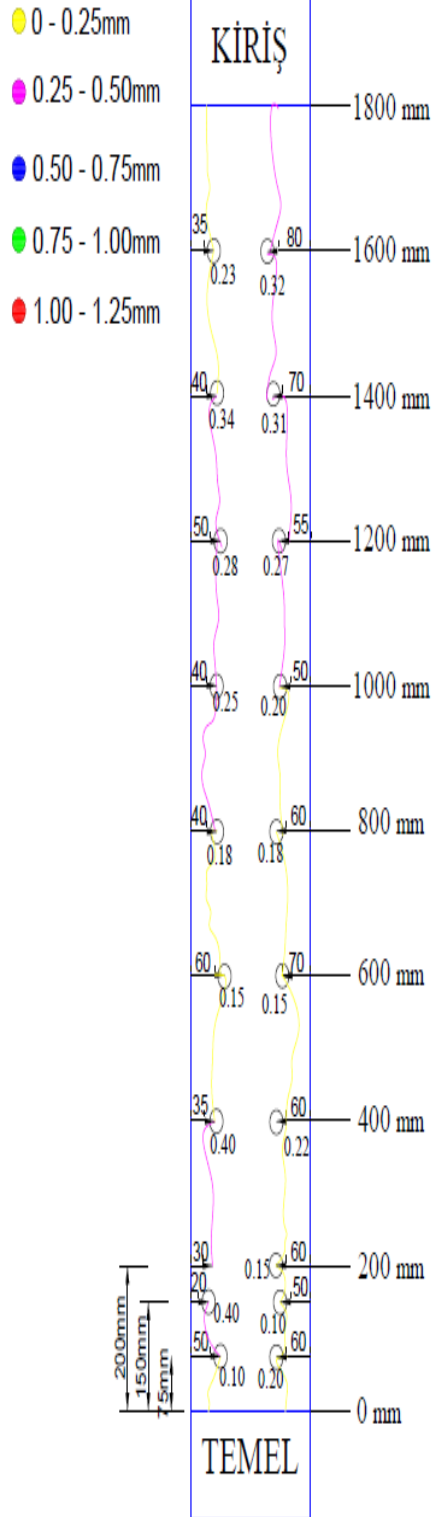
C8 betonarme kolonları



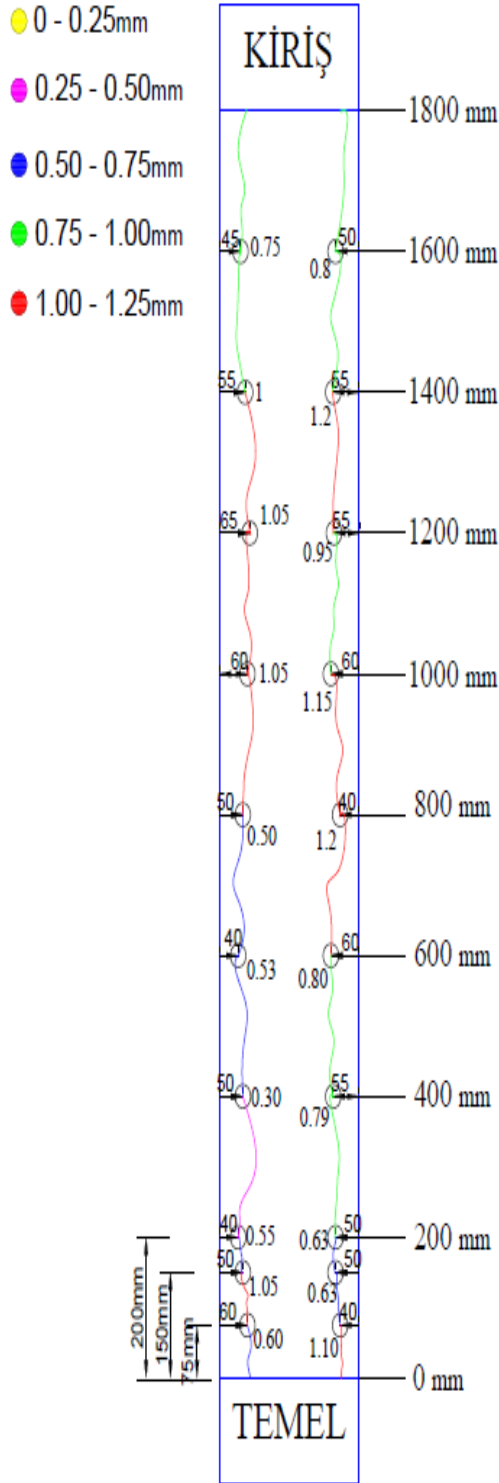
C3 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



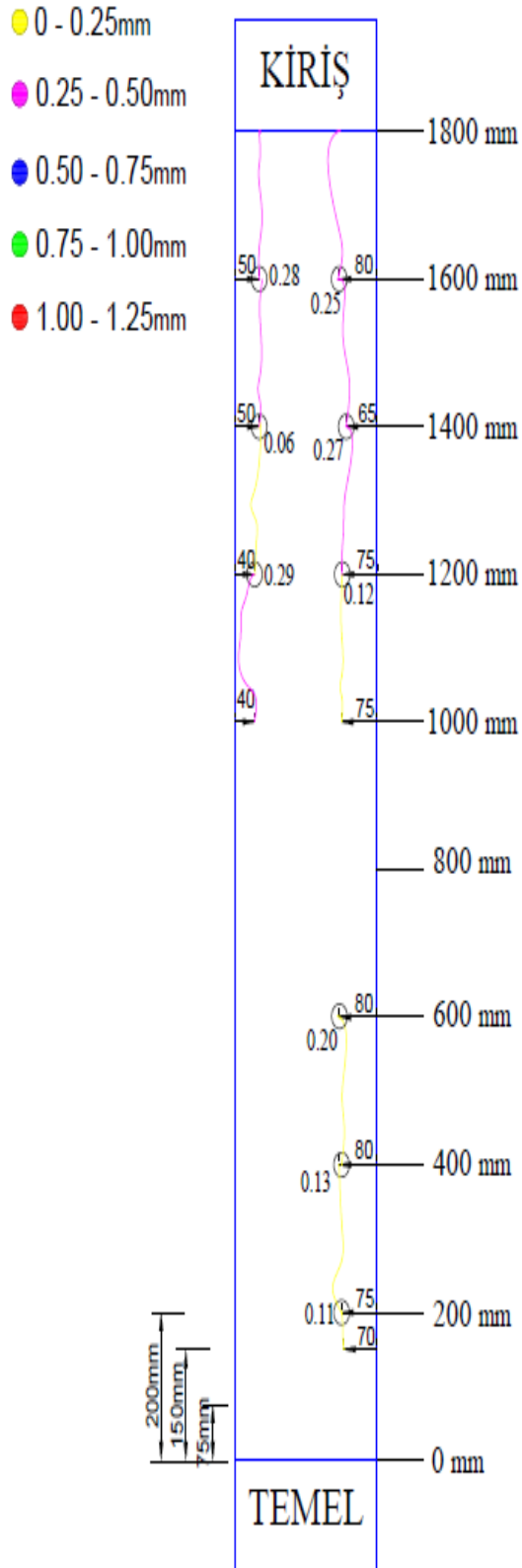
C4 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



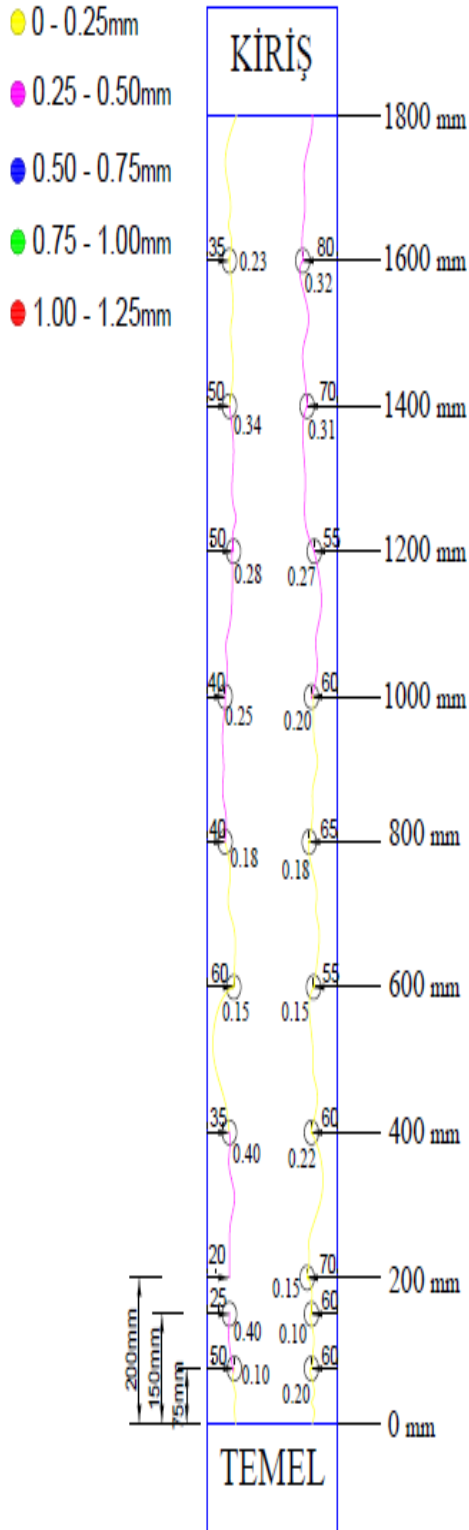
C5 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



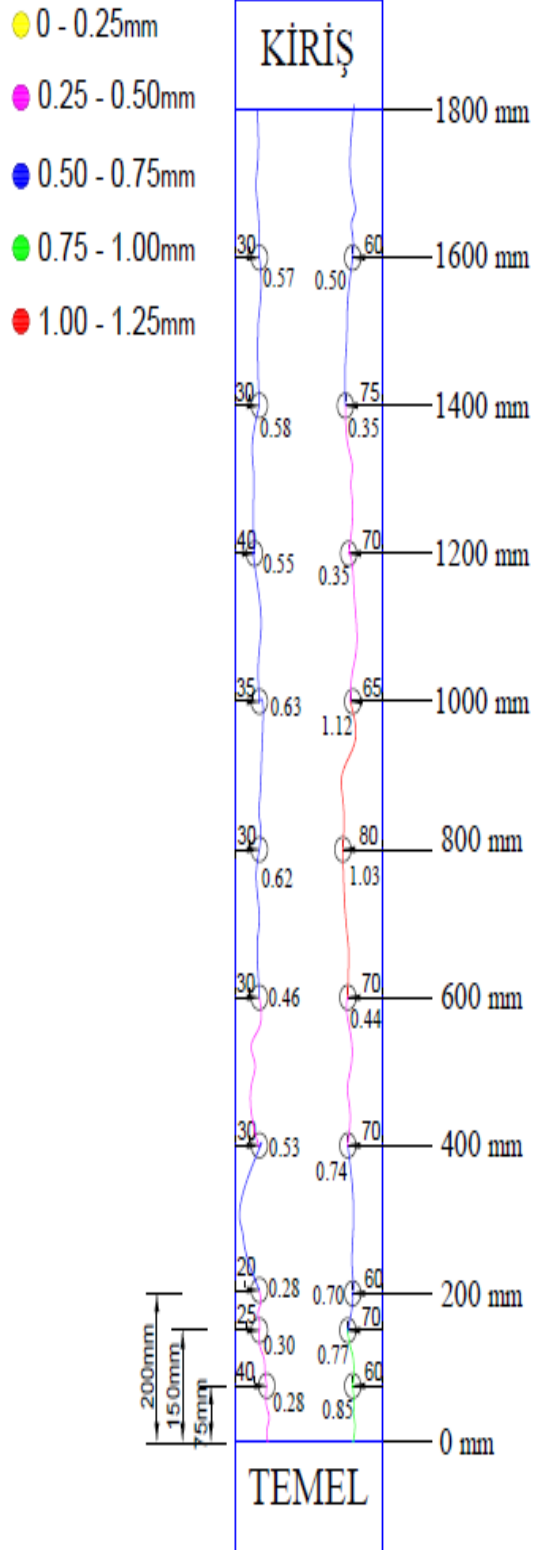
C7 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



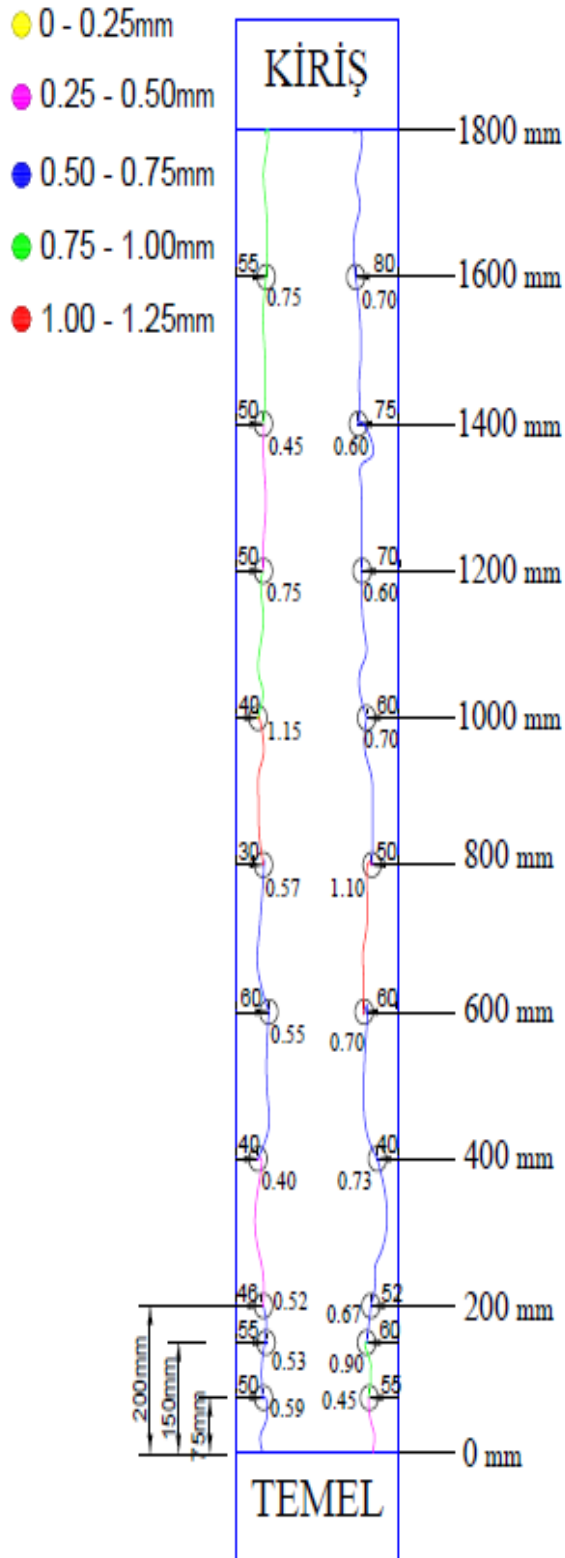
C8 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C9 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C10 = 8 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C20 betonarme kolonları

C12 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu

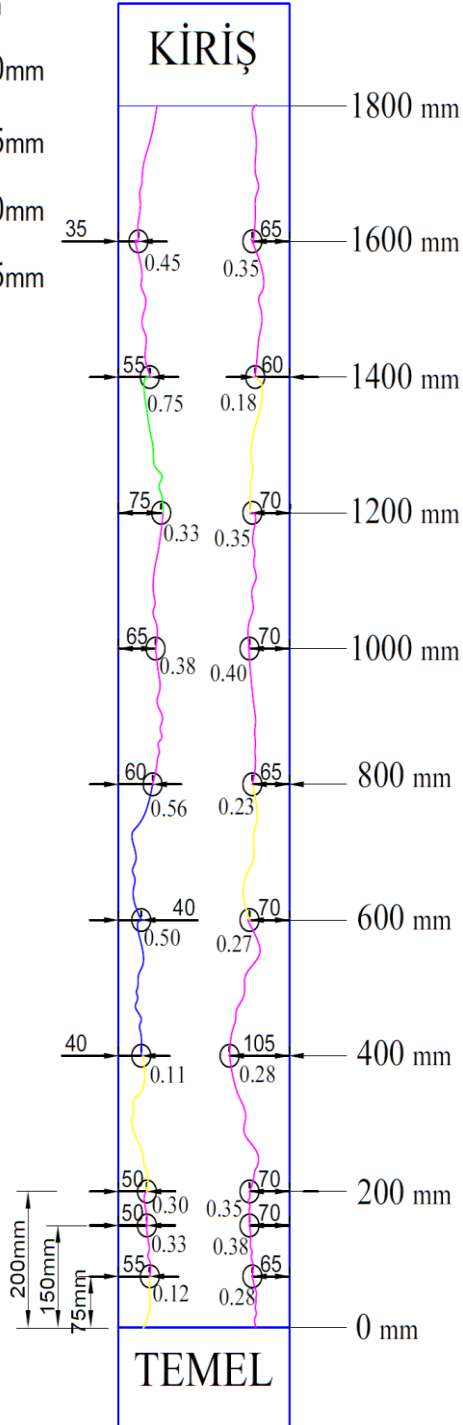
● 0 - 0.25mm

● 0.25 - 0.50mm

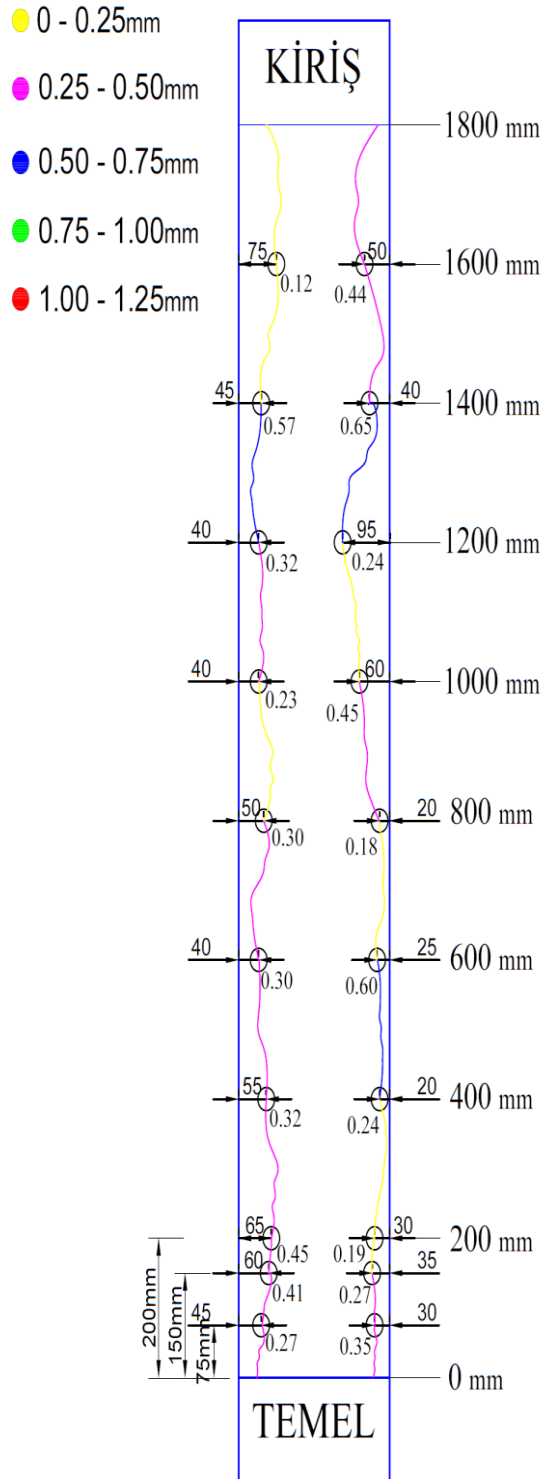
● 0.50 - 0.75mm

● 0.75 - 1.00mm

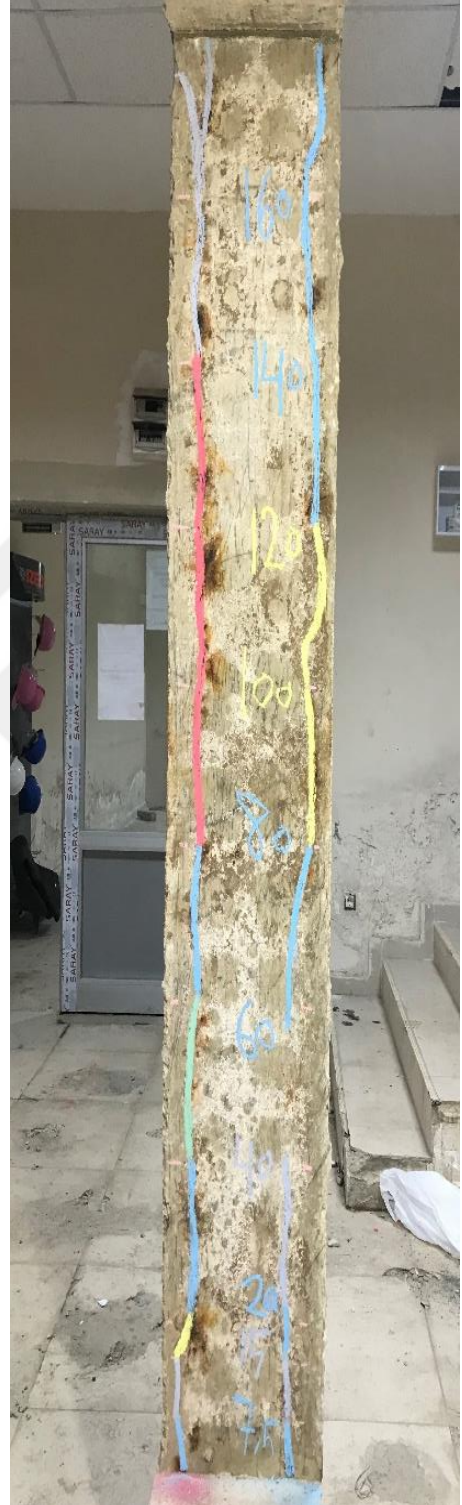
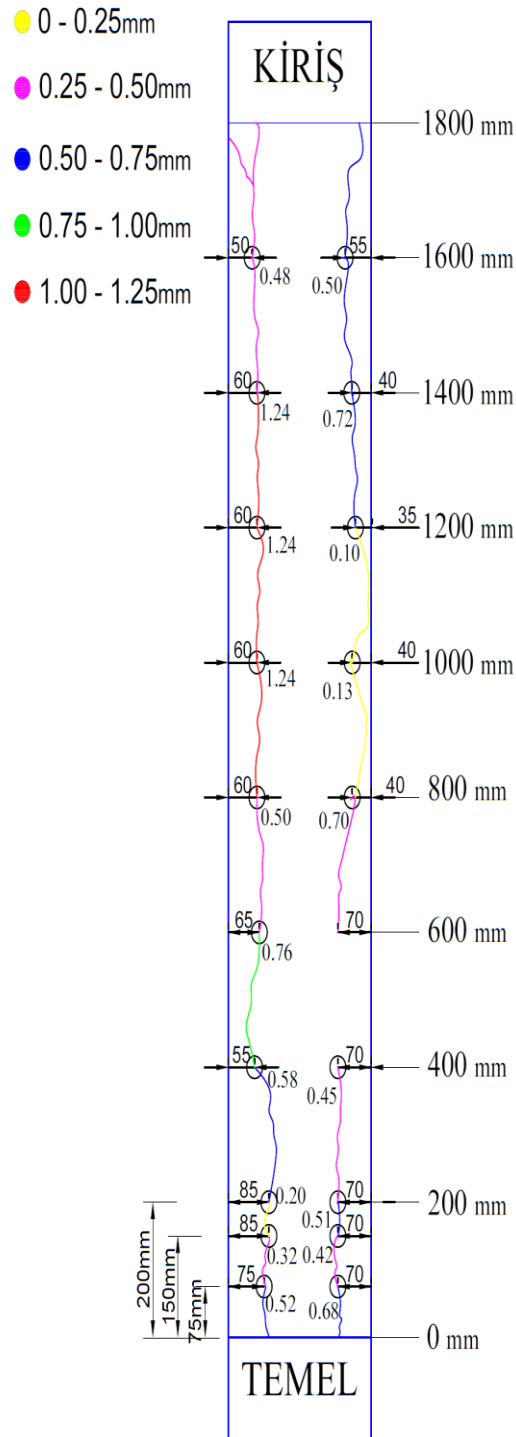
● 1.00 - 1.25mm



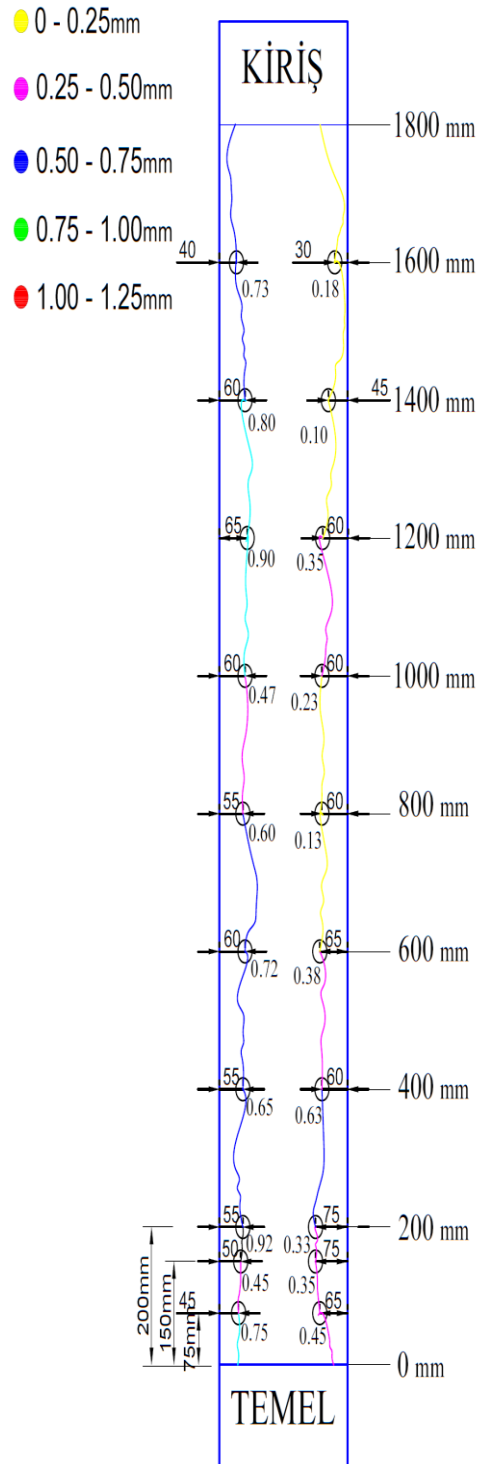
C13 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



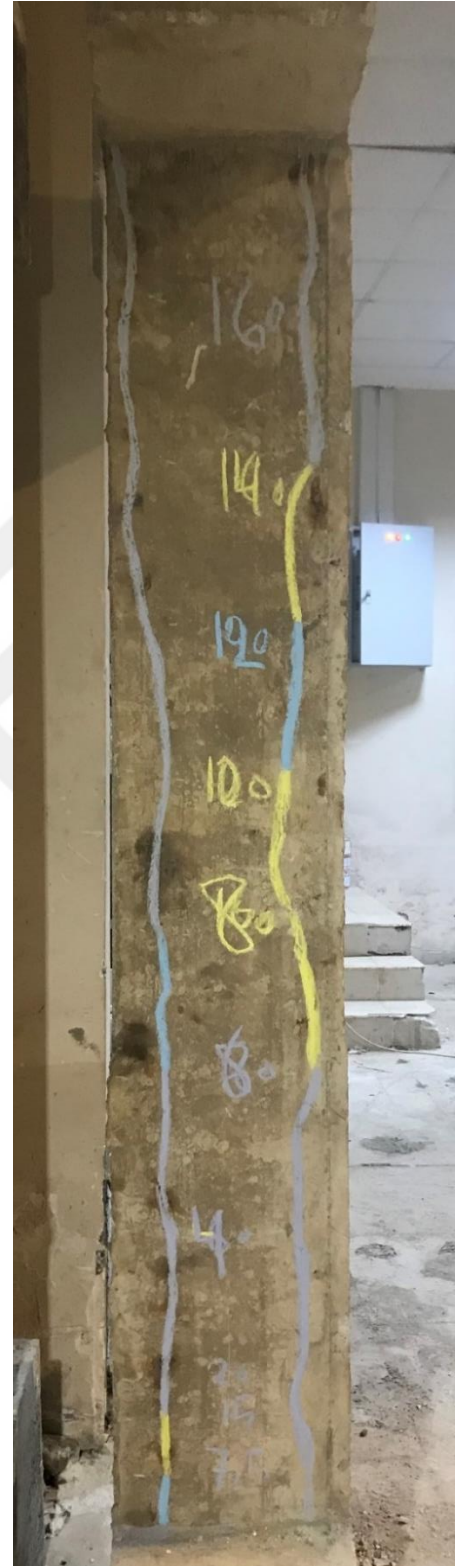
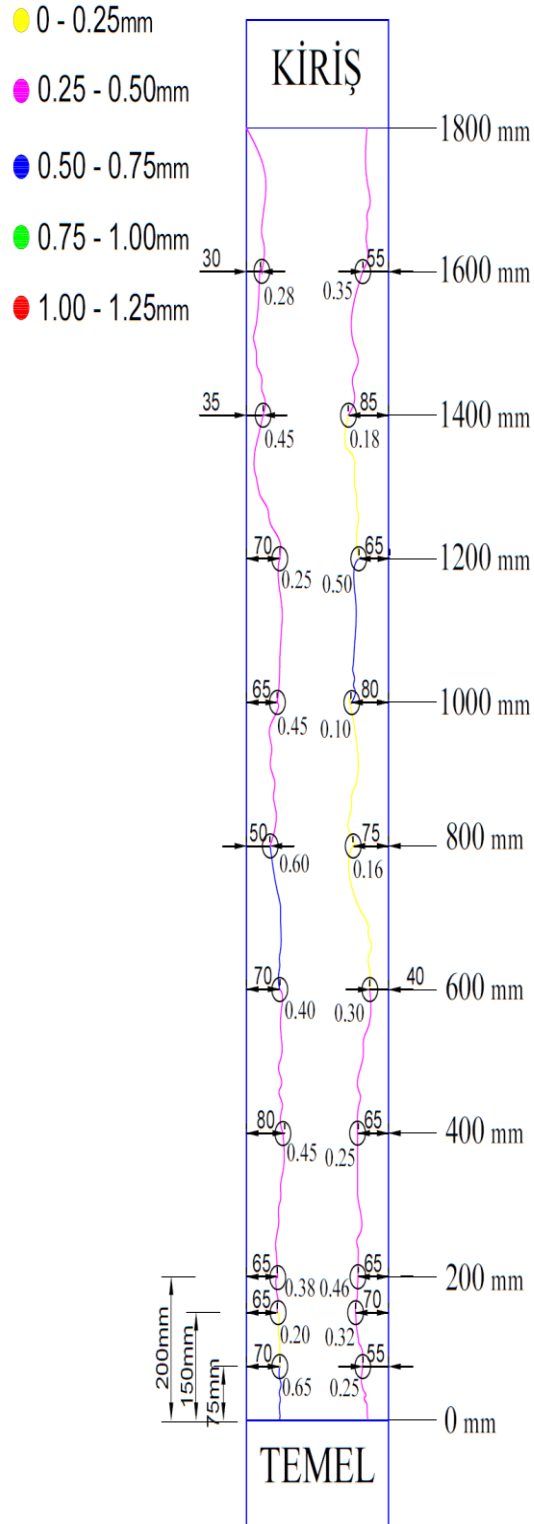
C14 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



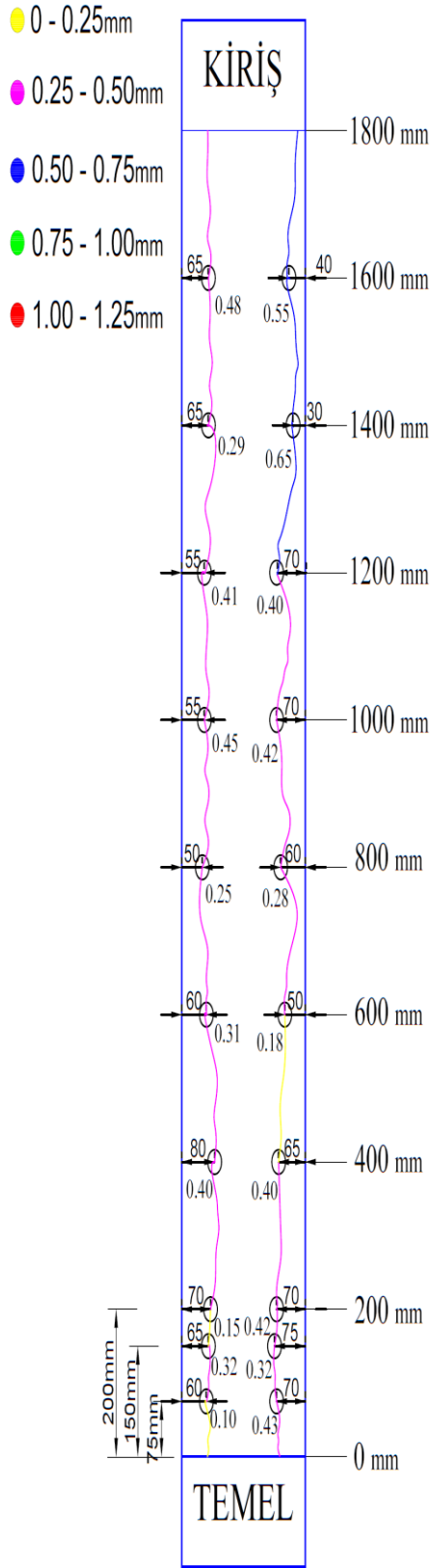
C15 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



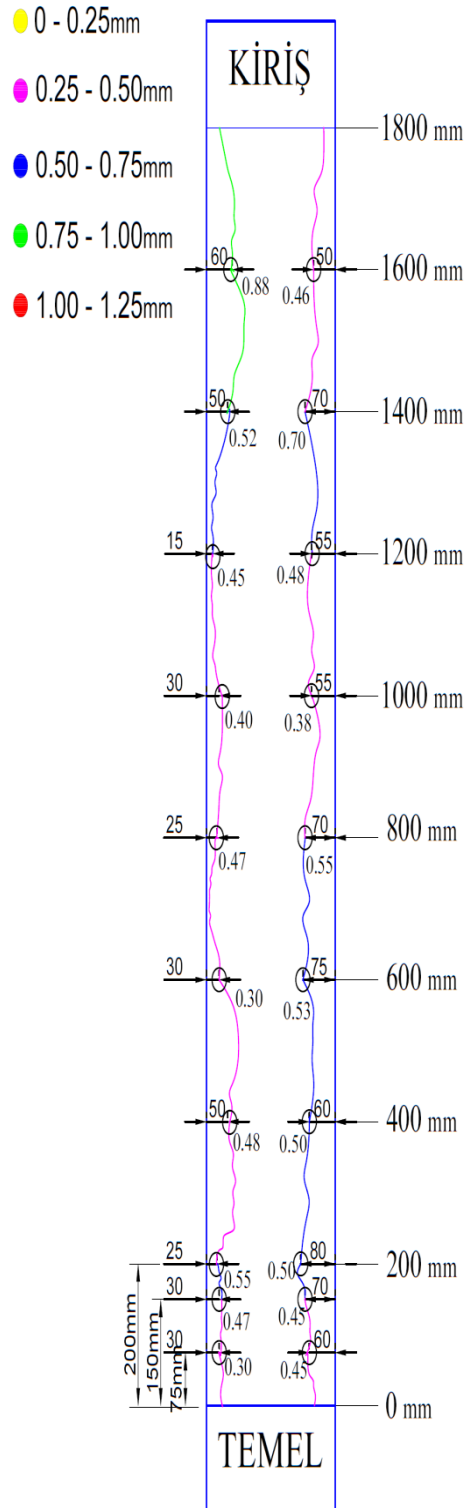
C17 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C18 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C19 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C20 = 20 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu

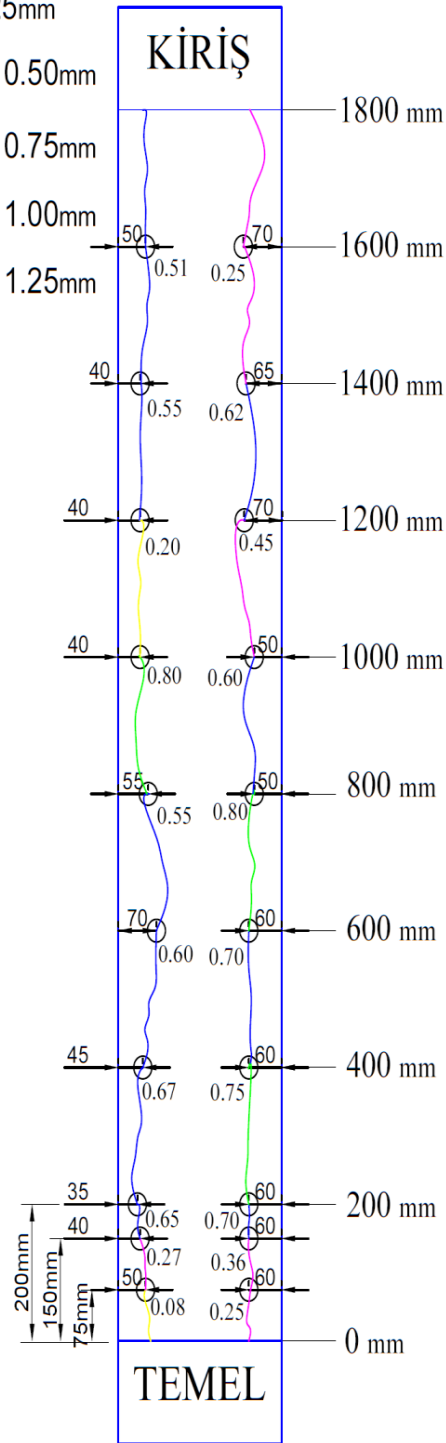
● 0 - 0.25mm

● 0.25 - 0.50mm

● 0.50 - 0.75mm

● 0.75 - 1.00mm

● 1.00 - 1.25mm



C30 betonarme kolonları

C22 = 30 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu

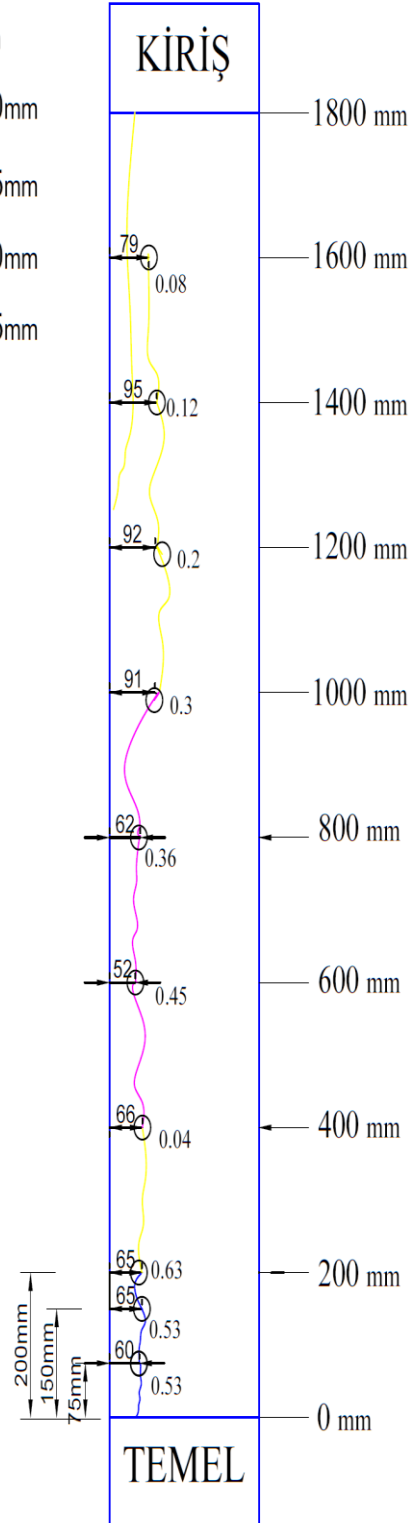
● 0 - 0.25mm

● 0.25 - 0.50mm

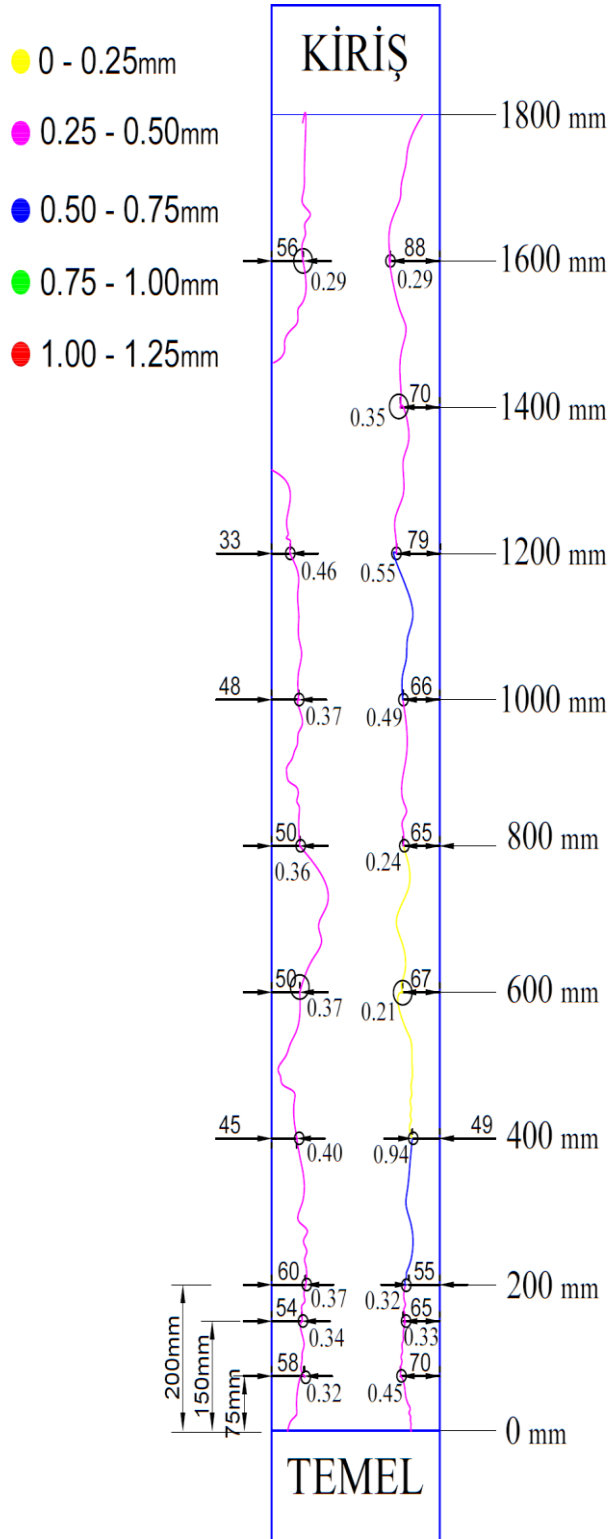
● 0.50 - 0.75mm

● 0.75 - 1.00mm

● 1.00 - 1.25mm



C23 = 30 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



C24 = 30 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu

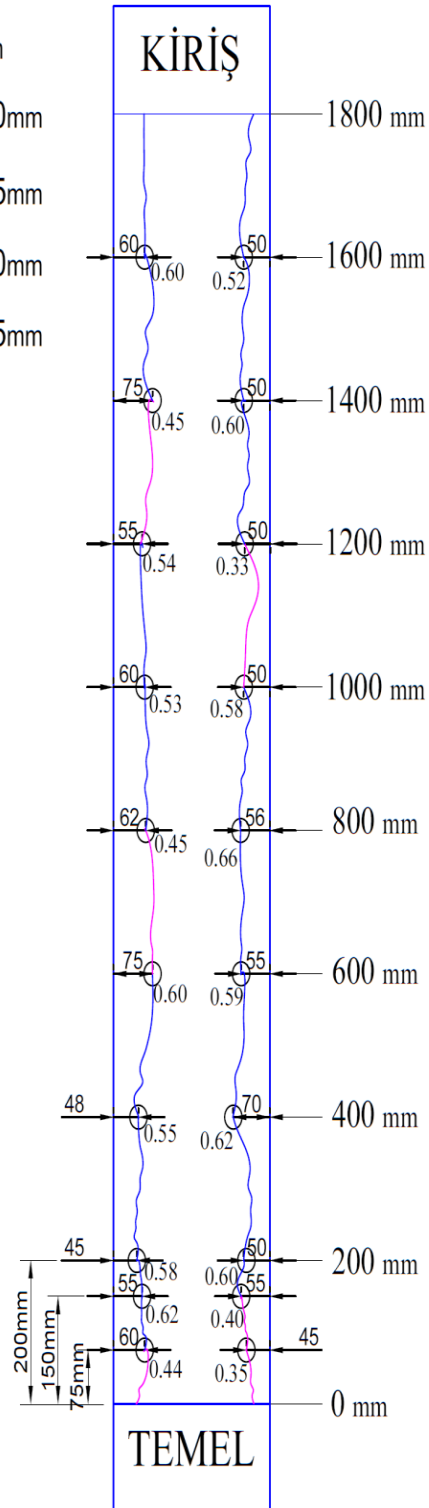
● 0 - 0.25mm

● 0.25 - 0.50mm

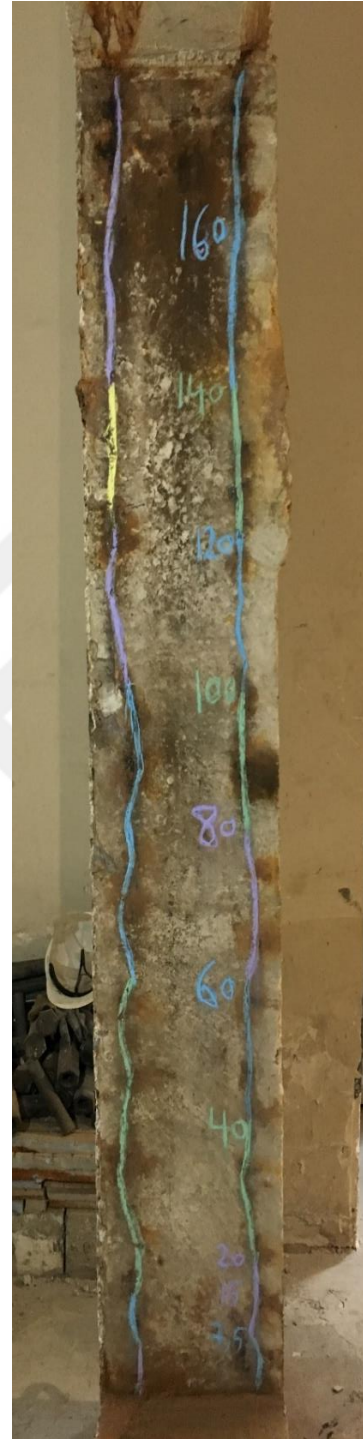
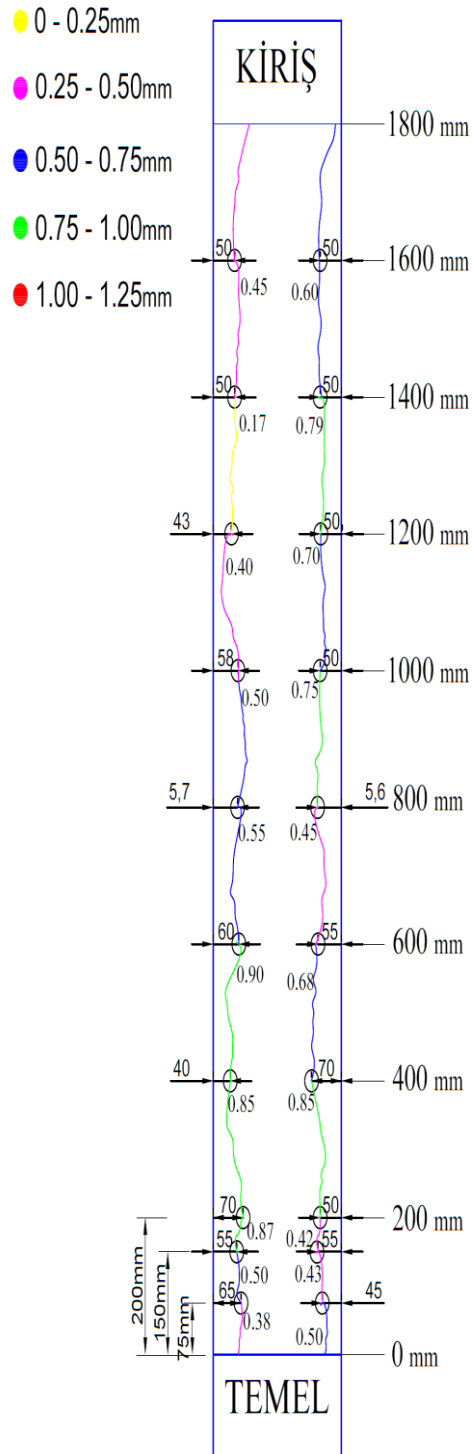
● 0.50 - 0.75mm

● 0.75 - 1.00mm

● 1.00 - 1.25mm



C25 = 30 MPa dayanıma sahip betonarme kolunu



Ek-2. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

- Mermit, M.F., Kohistani, R., Karimi, A., Yalciner, H., ve Kumbasaroglu, A. (2018) “Korozyona Maruz Kalmış Betonarme Kolonların Monotonik Yükleme Etkisindeki Davranışı”, **Ankara, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology**, 22-23 Kasım , Ankara / Türkiye. Poster sunumu.
- Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., and Karimi, A. (2019) “Prediction of Seismic Performance Levels of Reinforced Concrete Columns as a Function of Initial Corrosion Crack Widths”, **Journal of ASTM International**, pp.574-590, .
- Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., Mermit, M.F., Kohistani, R., ve Karimi, A. (2019) “Paslanmaya Maruz Kalmış Tam Ölçekli Betonarme Kolonların Monotonik Yükleme Etkisi Altında Yapısal Davranışlarının İncelenmesi: Korozyon Çalışmaları İçin Öneriler”, **Erzincan University Journal of Science and Technology**, .
- Yalciner, H. (2017) “Paslanmaya Maruz Kalmış Betonarme Kolonlarda Donatı Sıyrılma Hesabı için Deneye Dayalı bir Modelin Geliştirilmesi”, **TÜBİTAK 3501 (116M162)**. Bu projede tez sahibi bursiyer öğrenci olarak yer almıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Aqludin KARİMİ, 1994 yılında Afganistan'ın Parwan şehrinde doğdu. İlköğrenim ve lise eğitimini Aljahad Tutumdara Ulya Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında üniversiteye giriş sınavında kendi şehrinde derece yaparak Balkh Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. Aynı yılda Üniversite giriş sınavında yüksek puan alma durumu Afganistan devleti tarafından değerlendirerek burslu öğrenci olarak Türkiye'ye gönderildi. Türkçe dil eğitimi için bir yıl Ankara Üniversitesi TÖMER'de Türkçe eğitimini görüp TÖMER birincisi olarak tamamladı. Ana dili Farsça olup, iyi derecede Türkçe ve orta derecede İngilizce ve Peştuca bilmektedir. 2013 yılında İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başladı. 2017 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazanıp; TÜBİTAK 3501 (116M162) numaralı projesine dahil olmuş ve halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.