

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KOROZYONA MARUZ KALMIŞ BETONARME KOLONLARIN
MONOTONİK YÜKLEME ETKİSİ ALTINDA YAPISAL
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Rameen KOHİSTANİ

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2019
Her Hakkı Saklıdır.**

Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Hakan YALÇINER danışmanlığında, Rameen KOHİSTANİ tarafından hazırlanan bu çalışma 07/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

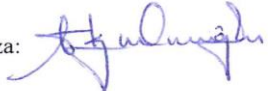
Başkan :Doç. Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN

İmza: 

Üye :Doç. Dr. Hakan YALÇINER

İmza: 

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 13 /12/2019 tarih ve 54/2..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Korozyona Maruz Kalmış Betonarme Kolonların Monotonik Y¼kleme Etkisi Altında Yapısal Davranışlarının İncelenmesi” isimli “Y¼ksek Lisans” tezime tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna g¼re tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahh¼t ederim.

Bu çalışmadaki t¼m bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın ¼z¼nde olmayan t¼m materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans g¼sterdięimi beyan ederim. 07/11/2019



Rameen KOHİSTANİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOROZYONA MARUZ KALMIŞ BETONARME KOLONLARIN MONOTONİK YÜKLEME ETKİSİ ALTINDA YAPISAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Rameen KOHİSTANİ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

Donatıda oluşan korozyon sonucu ortaya çıkan negatif etkiler korozyonun betonarme yapılarda araştırılmasının ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Paslanma ile birlikte betonarme yapı elemanları tasarım aşamasında öngörülen performans seviyelerinden uzaklaşmaktadır. Korozyon seviyesinin yapıda yüksek oranlara çıkmasıyla yapının servis ömrü kısalmakta ve ekonomik anlamda büyük zararlar oluşmaktadır. Korozyona uğrayan yapı elemanında sadece donatı kesit alanında azalma olmamakla birlikte oluşan pas ürününün birikmesi ile donatı çevresinde radyal basınçlar oluşturarak betonu çatlatmakta ve donatı-beton arasında aderans kuvveti azalmaktadır. Bu tez çalışması TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında üretilen C30 beton basınç dayanımına sahip 5 adet betonarme kolonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Betonarme kolonları tam ölçekli bakır kaplı paslandırma havuzunda hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak %0.00, %1.99, %2.79, %5.65 ve %8.52 oranlarında paslandırılmıştır. Tüm betonarme kolonları aynı yükleme ve ölçüm düzeyine tabi tutularak %20 oranında eksenel yük ve yanal yük uygulanarak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Betonarme kolonlarının gerçek korozyon oranlarının belirlenmesi amacıyla yükleme deneylerinden sonra betonarme kolonları kırılmış ve çıkartılan donatılara önce mekanik temizleme ardından kimyasal temizleme işlemleri uygulanmıştır. Tüm donatılar 0.05 gr hassasiyete sahip terazide tartılarak son kütleleri kayıt altına alınmış paslanma sürecinden önce kayıt altına alınan ilk kütleler de kullanılarak gerçek kütle kayıpları hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel veriler ile birlikte betonarme kolona ait süneklik oranları, enerji emme kapasiteleri ve nihai yük değerleri korozyon oranları ile ilişkilendirilerek iki ampirik model geliştirilmiştir. Geliştirilen ampirik model yardımıyla korozyona uğramış betonarme kolonlarının süneklik oranları ve enerji yutma kapasitelerinin hesaplanmasına olanak sağlayacaktır.

2019, 69 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Çelik donatı, Korozyon, Kolon, Monotonik yükleme

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS SUBJECTED TO CORROSION UNDER THE EFFECT OF MONOTONIC LOADING

Rameen KOHİSTANİ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan YALÇINER

The negative effects caused by the corrosion of the reinforcement show how important it is to investigate corrosion in RC structures. With the corrosion, the RC structural elements move away from the performance levels predicted during the design stage. Corrosion level increases to high levels in the structure, shortening the service life of the structure and causing great economic losses. Although there is not only a decrease in the cross-sectional area of the reinforcing structural element, with the accumulation of the rust product, it creates radial pressures around the reinforcement and fractures the concrete and the adherence strength between the RC decreases. This thesis was carried out by using Five RC columns with C30 concrete compressive strength produced within the scope of TUBITAK 3501 (116M162) project. RC columns were corroded in full-scale copper clad rusting pool using accelerated corrosion method at 0.00%, 1.99%, 2.79%, 5.65% and 8.52%. All RC columns were subjected to the same loading and measurement level and their experiments were carried out by applying 20% axial load and lateral load. In order to determine the actual corrosion rates of the RC columns, the RC columns were broken after the loading tests and the mechanical and then chemical cleaning processes were applied to the removed reinforcements. The actual mass losses were calculated by using the first masses recorded before the final rusting process by weighing all rebars on the balance with a sensitivity of 0.05 gr. Two empirical models have been developed by correlating the ductility ratios, energy absorption capacities and final load values of the RC columns with the corrosion rates. With the help of the developed empirical model, it will be possible to calculate ductility ratios and energy absorption capacities of corroded RC columns.

2019, 69 Pages

Keywords: Corrosion, Column, Monotonic loading, Reinforced Concrete, Steel Bar,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisan eğitimim boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım çok değerli bilim insan danışman hocam, Doç. Dr. Hakan YALÇINER'e Öğretim Üyesi Dr. Atilla KUMBASAROĞLU'na, çalışmam boyunca her aşamada bana destek çıkan, tezin yazımında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ahmet İhsan TURAN abime, sevgileriyle ve dualarıyla her zaman yanımda hissettiğim sevgili anneme, rahmetli babama ve tüm aileme' şükranlarımı sunarım.

Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli meslektaşlarım, başta Aqludin KARİMİ'ye Enis DOĞRU'ya, Mehmet Fırat MERMIT'e, Umytjan YANGİBAYEV'e, Said Mahmud SHİRZADİ'ye ve Arş. Gör. Alper ÇELİK'e, teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesinde finansal desteği Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK 3501 ve 116M162 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Aynı zamanda burslu öğrenci olarak çalıştığım TÜBİTAK kurumuna desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Rameen KOHİSTANİ

Aralık, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. KURAMSAL TEMELLER.....	8
3.1. Betonarme ve Korozyon	8
3.2. Korozyon Mekanizması	9
3.3. Korozyonu Etkileyen Temel Faktörler	10
3.4. Korozyon Çeşitleri	11
3.4.1. Homojen korozyon.....	11
3.4.2. Çukur korozyon.....	11
3.5. Betonarme Kolonların Moment-Eğrilik İlişkisi.....	11
3.6. Betonarme Yapı Elemanlarının Davranışları.....	14
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
4.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri	16
4.2. Donatıların Mekanik Özellikleri	18
4.3. Betonarme Donatı İşleri.....	20
4.4. Kalıp işleri.....	27
4.5. Beton Dökümü ve Beton Özellikleri.....	29
4.6. Hızlandırılmış Korozyon Deney Sistemi	32
4.7. Deney düzeneği ve ölçümler.....	36
4.8. Monotonik yükleme deneyi	43
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	44
5.1. Deney Sonuçları.....	44
5.1.1. Elde edilen gerçek korozyon oranları	44

5.2. Yük-deplasman sonuçları.....	53
6. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
EK.1: Betonarme kolonlarının yükleme deneylerinden sonra kırılarak donatıların ıkartılması.	61
EK.2: Betonarme kolonlarında kullanılan yükleme sistemi.....	63
EK.3: Betonarme kolonları yükleme sonrası hasar desenleri.....	64
EK.4: Tez alışması Süresince Yapılan Akademik alışmalar.....	69
ZGEMİş.....	70



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Eğilme ve eksenel yük etkisinde deforme olmuş betonarme elemanın dağılımı.	12
Şekil 3.2. Moment-eğriliş ilişkisi.	13
Şekil 4.1. Tam ölçekli betonarme kolonlarının temel-kiriş kesit özellikleri.	17
Şekil 4.2. Tam ölçekli betonarme kolonlarının kesit özellikleri.	18
Şekil 4.3. Donatıların mekanik özelliklerini belirlenmesi: (a) çekme cihazı; (b) gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.	19
Şekil 4.4. Betonarme donatılarının hazırlanması: (a) temel ve giriş donatılar, (b) boyuna donatılar ve etriyeler.	20
Şekil 4.5. Betonarme donatıların tartılma işlemi: (a) enine sargı donatılarının tartılması, (b) boyuna donatıların tartılması.	21
Şekil 4.6. Betonarme boyuna donatılarının renklendirilmesi: (a) hazırlanan renkli bakır kablolar, (b) renklendirilmiş donatılar için bakış planı, (c) renkli bakır kabloların boyuna donatılara bağlanması.	23
Şekil 4.7. Betonarme temel ve girişlerin yalıtım işleri: (a) plastik boruların temel ve giriş donatılarına yerleştirilmesi, (b) elektrik bantı ile plastik borularının sarımı.	24
Şekil 4.8. Montajı tamamlanan kafesler.	25
Şekil 4.9. Bakış açısına göre boyuna donatılarının bağlanması.	25
Şekil 4.10. Donatı montaj işlemleri: (a) sargı donatılarının bağlama öncesi kod numaralarına göre sıralandırılması, (b) boyuna donatıların kodlandırılması.	26
Şekil 4.11. Pozitif yüklemeyi sağlayacak olan bakır kabloların boyuna donatılara ve kolon boyunca sargı donatılarına bağlanması.	26
Şekil 4.12. Tek eksenel yükleme için montajı tamamlanan betonarme kolon donatıları.	27
Şekil 4.13. Betonarme kolonları için kalıp hazırlanması.	28
Şekil 4.14. Betonarme kolon donatı kafeslerin kalıba yerleştirilmesi.	28
Şekil 4.15. Betonarme kolonlarının beton dökümü: (a) beton döküm işlemleri, (b) betona vibratör kullanımı.	29
Şekil 4.16. Küp ve silindir numune alımı.	30
Şekil 4.17. Kalıptan çıkartılan betonarme kolonlar.	31
Şekil 4.18. Numunelerinin beton basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi.	31
Şekil 4.19. Betonarme kolonlarının paslandırma havuzuna taşınması.	32
Şekil 4.20. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için kullanılan paslandırma havuzu.	33

Şekil 4.21. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için şematik yan deney düzeneği.	33
Şekil 4.22. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için ön şematik deney düzeneği.	34
Şekil 4.23. Donatılara bağlanan bakır kablolar.	34
Şekil 4.24. Faraday Kanunu ile gerçek korozyon oranlarının karşılaştırılması (Yalciner vd. 2012).	35
Şekil 4.25. Ölçüm düzeneklerin kurulması.	36
Şekil 4.26. Deney düzeneğin kaynak işleri.	37
Şekil 4.27. Yanal yüklemeyi sağlayan hidrolik pistonun şematik çizimi.	37
Şekil 4.28. Eksenel yüklemeyi sağlayan hidrolik pistonların şematik çizime.	38
Şekil 4.29. Deney düzeneği (yan görünüş).	39
Şekil 4.30. Deney düzeneği (ön görünüş).	40
Şekil 4.31. Eğrilik ölçerin düzen ve konumu.	41
Şekil 4.32. Deneysel düzenek.	42
Şekil 5.1. Yükleme deneyleri sonrası betonarme kolonlarının kırılması.	44
Şekil 5.2. Betonarme donatılarına uygulanan temizleme işlemi: (a) donatılara uygulanan kimyasal temizleme işlemi, (b) donatılara uygulanan mekanik temizleme işlemi.	45
Şekil 5.3. Boyuna kolon donatılarından elde edilen korozyon oranların dağılımları.	46
Şekil 5.4. Etriye kolon donatılarından elde edilen korozyon oranların dağılımları.	47
Şekil 5.5. Her bir betonarme kolon için hesaplanan kolon yükseklik-eğrilik ilişkisi.	52
Şekil 5.6. Her bir betonarme kolon için oluşan yük-deplasman ilişkisi.	53
Şekil 5.7. Sezen (2000) idealize edilmiş yük-deplasman eğrisinin şematik gösterimi. ..	53

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Donatı çeliği malzeme özellikleri.....	20
Tablo 4.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında üretilen C30 beton basınç dayanımına sahip kolon donatılarının ilk kütleleri.....	22
Tablo 4.3. Betonarme numunelerinin beton basınç dayanım sonuçları.....	31
Tablo 5.1. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi dâhilinde üretilen C30 beton basınç dayanımına ait betonarme kolonlarına ait korozyon oranları.....	48
Tablo 5.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi dâhilinde üretilen C30 beton basınç dayanımına ait betonarme kolonlarına ait ilk ve son kütleler.....	49
Tablo 5.3. Deneysel sonuçları.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

$\%$	Yüzde
F_{y0}	Akma Kuvveti
F_{u0}	Nihai Kuvveti
μ	Süneklik Oranı
μ_c	Paslı Kolonların Süneklik Oranı
μ_0	Pasız Kolonların Süneklik Oranı
E	Enerji Yütme Kapasitesi
EI_e	Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliği
CL	Korozyon Oranı
CL_L	Boyuna Donatıların Ortalama Korozyon Oranı
CL_S	Sargı Donatıların Ortalama Korozyon Oranı
CL_T	İtme Yönündeki Ortalama Korozyon Oranı
M_u	Kesitin Kırıldığı Andaki Moment
M_y	Çekme Bölgesindeki Donatının Aktığı Andaki Moment
w_i	Donatıların İlk Kütlesi
w_f	Donatıların Son Kütlesi
ϕ	Erilik
ϕ_u	Donatının Aktığı Anda Kesite Oluşan Eğriliğe
ϕ_y	Çekme Bölgesindeki Donatının Aktığı Andaki Eğrilik
I	Sistemden Geçen Akım
ρ	Korozyon Oranının Yüzdesiz
ε	Birim Deformasyon
m	Kütle Kaybı
f_{ck}	Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı
t	Saniye Olarak Uygulanan Korozyon Süresi
Δ_Y	Akma Kuvvetine Karşılık Gelen Yer Değiştirme
Δ_U	Nihai Kuvveti Karşılık Gelen Yer Değiştirme

Kısaltmalar

A	Akım
ASTM	Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
C	Beton Sınıfı
GSKD	Gayri Safi Katma Değeri
FEMA	Federal Acil Durum Yönetim Kurumu
LVDT	Doğrusal Değişkenli Transformatör
TS	Türk Standartları
TS-EN	Türk Standartları Avrupa Normu
X	Paslandırılmamış Kolon



1. GİRİŞ

Betonarme bir yapıda donatıda oluşabilecek korozyon, yapının performans seviyesini servis ömrü tamamlanmadan azaltmakta ve ekonomik anlamda zarar vermektedir. Betonarme yapı elemanlarında korozyon oluşumunun başlaması ile donatı yüzeyini kaplayan koruyucu film tabakası zarar görmekte ve böylece donatıyı korozyona karşı savunmasız bir hale getirmektedir. Koruyucu tabakanın zarar görmesi ile oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda donatı yüzeyini kaplayan farklı türlerde korozyon ürünü oluşmaktadır. Kimyasal reaksiyon sürecinde korozyonun donatı ve beton üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler ile yapı hedeflenen performans seviyesinden uzaklaşmakta ve projelendirme aşamasında ön görülen yapısal davranıştan farklılık göstermektedir. Paslanma sonucu azalan donatı çapı ve biriken korozyon ürünü beton içerisinde radyal basınçlar meydana getirmekte ve betonun çatlamasına sebep olmaktadır. Donatının kesit kaybına uğraması ile birlikte donatının ilk hacim son hacmine göre yaklaşık olarak %30-40 oranında artmakta ve artmasıyla birlikte betonda çatlaklar oluşmaktadır (Bazant, 1979). Betonun çatlamasına sebep olan bu etkinin beton basınç mukavemeti, pas payı donatı çapı ve pas oranına bağlı olarak nasıl değiştiği Yalciner vd. (2012) tarafından yapılan deneysel çalışma ile ortaya konulmuştur. Beton ile donatı arasında tam bir kenetlenme kuvvetinin olduğu varsayımı betonarme yapıda korozyon oranının artmasına bağlı olarak yapıda görece kat ötelemelerinin artmasına ve sismik etkiler altında yapının hedeflenen performans seviyelerinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Betonarme donatısında oluşan paslanmanın herhangi bir sismik olay altında korozyona uğramış betonarme yapıların davranışının incelenmesine yönelik birçok deneysel ve teorik çalışmalar mevcuttur.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizleri gerçekleştirilen paslanmış betonarme yapıların korozyon sonucu beton ve donatının değişen mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik (Liu ve Weyers, 1998; Coronelli ve Gambarova, 2004; Hanjari vd., 2011) ile özellikle korozyon çalışmalarının oldukça zahmetli ve ağır işgücü gerektirmesinden dolayı ilk aşamada paslanmış betonarme kirişlerinin taşıma gücünün (Lee vd., 1999; Coronelli ve Gambarova, 2004; Jnaid ve Aboutaha, 2016) tahmin edilebilmesi mevcut literatürdeki çalışmaları detaylı bir şekilde yapılmıştır. Campione vd. (2017) tarafından yapılan teorik çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak

hasar almış korozyonlu elemanın paslanma ile birlikte ortaya çıkan karmaşık durumu incelenmiştir. Ülkemizde projelendirme ve tasarım aşamasında kullanılan bilgisayar yazılımları da dâhil olmak üzere yurtdışında da kullanılan birçok yazılım korozyon sonucu ortaya çıkan çoğu olumsuzluğu göz ardı etmektedir. Bu sebeple korozyona uğramış betonarme yapıların taşıma gücü kapasitelerini doğru bir yaklaşımla tahmin edilmesine yönelik teorik ve deneysel çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir. El Maaddawy vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 8 adet betonarme kirişleri hem servis yükleri altında hem de servis yükleri olmadan eğilme deneylerine tabii tutulmuştur. Yapılan çalışmada servis yükleri altında deneyleri gerçekleştirilen betonarme kirişlerinde birincil çatlaklar incelenmiştir yapılan bu çalışma bu açıdan büyük önem arz etmektedir. El Maaddawy vd. (2005) korozyon oranlarının donatının mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesi için betonarme kirişleri eğilme deneylerinden sonra kırılarak çıkarılan donatılara kupon deneyleri yapılmıştır. Korozyona uğramış betonarme kirişleri kullanılarak O'Flaherty vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kirişlerin artık moment kapasitelerinin tahmin edilmesine yönelik deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada paslanma oranları faraday kanunu kullanılarak elde edilmiştir. Faraday kanununa göre hesaplanan korozyon oranı her zaman gerçek korozyon oranından farklılık göstermektedir. Bunun temel sebebi ise betonun donatı üzerinde gösterdiği dirençtir. Bu durum literatürde yapılan birçok çalışma ile belirtilmiştir. Auyeung vd., 2000; Yalciner vd., 2012; El Maaddawy vd., 2006; Paul vd., 2016; Chung vd., 2004; Amleh ve Ghosh, 2006). Bicer vd 2018 tarafından gerçekleştirilen çalışmada servis yükleri olmadan hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak paslandırılan betonarme kirişlerinde gerçek korozyon oranları betonarme donatısının beton kırılarak içerisinden çıkartılıp tartılması sonucu elde edilmiştir. Yapıda oluşacak korozyon oranının servis yükünden bağımsız olması sebebiyle donatı çapındaki azalmanın da her iki durum için de benzer olması ile birlikte bu durumlar birbirleriyle ilişkilendirilebilir.

Mevcut literatürde korozyona maruz kalmış betonarme kirişlerin taşıma kapasitelerinin tahmin edilmesine yönelik yapılan birçok analitik ve deneysel çalışmalar ardından korozyona maruz kalmış betonarme kolonların sismik davranışlarını incelemeye yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Yang vd., (2016) yapmış oldukları çalışmada betonarme kolonların pas oranının artmasıyla süneklik değerlerinin azaldığı savunulurken

Ma vd., 2012 ve Guo vd., 2015 tarafından gerçekleştirilen çalışmada pas oranının artması ile birlikte betonarme kolonlarının suneklik oranlarının arttığı vurgulanmıştır. Korozyona uğramış betonarme kolonlar suneklik oranları için belirtilen bu farklılıklar kolonlardaki enerji yutma kapasiteleri içinde geçerlidir. Yapılan bu çalışmada korozyona uğramış betonarme kolonlarına ait suneklik değerleri enerji yutma kapasiteleri ve yük deplasman grafikleri elde edilerek literatürdeki bu belirsizlerdeki önüne geçirebilmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Mevcut literatür incelendiği zaman paslandırılmış kirişler üzerine yapılan çalışmalardan sonra, paslandırılmaya maruz bırakılmış kolonların yapısal davranışlarının incelenmek için yapılan çalışmalar oldukça yeni olup son yıllarda bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar giderek artmaktadır.

Ma vd. (2012) yapmış olduğu deneysel çalışmada dairesel kesit özelliklerine sahip 10 adet betonarme kolonları üretilmiştir. Kolon kesitleri 260 mm çapında ve 1000 mm boyunda olup beton basınç dayanımları ise 32.4 MPa'dır. Eksenel yük oranı %15 ile %90 arasında değişkenlik göstermiştir. Ma vd. (2012) tarafından yapılan bu deneysel çalışmada %4.1 korozyon oranına kadar paslanmaya maruz bırakılan betonarme kolonlarının süneklik oranı %15 oranında artmış olduğunu belirtmektedir. Mevcut literatür incelendiği zaman korozyona maruz kalmış betonarme kolonlar kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda kolonların enerji yutma kapasiteleri bakımından belirsiz durumlar olduğu ortaya çıkmaktadır. Ma vd. (2012) yapmış olduğu çalışmada %14 korozyon oranına sahip betonarme kolonlarında enerji yutma kapasitelerinde önce bir artış ardından azalış olduğunu belirtmektedir.

Kullanılan eksenel yük oranları pas oranlarının artırılması ile birlikte artmıştır. Gerçek korozyon oranları yükleme deneylerinden sonra elde edilmiştir. Elde edilen korozyon oranları %0 ile %15 arasında değişkenlik göstermiştir. Ma vd. (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, paslanmış betonarme kolonlarının akma dayanımları, nihai yük dayanımları ve süneklik oranlarının belirlenebilmesi için 3 adet ampirik model geliştirilmiştir. Ma vd. (2012) tarafından geliştirilen ampirik denklem (2.1) (2.2) ve (2.3)'de verilmiştir.

$$F_{yc} = F_{y0}(1 - 0.885\rho) \quad (2.1)$$

$$F_{uc} = F_{u0}(1 - 0.878\rho) \quad (2.2)$$

$$\mu_c = \mu_0(1 - 1.795\rho) \quad (2.3)$$

Denklem 2.1 ve 2.2' de verilen F_{y0} ve F_{u0} sırasıyla paslanmamış betonarme kolonlarının akma ve nihai dayanımlarını temsil etmektedir. Ma vd. (2012) tarafından geliştirilen

modellerde Denklem 2.4’de gösterildiği gibi korozyon oranının yüzdesiz olarak verildiğine belirtmiştir.

$$\rho = \frac{C_L}{100} \quad (2.4)$$

Meda vd. (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada paslandırılmış iki adet kare kesitli betonarme kolonlarının boyutları 1500 mm uzunluk 300 mm genişlik ve 300 mm yüksekliğe sahip numuneler kullanılmıştır. Yapılan çalışmada üretilen betonarme kolonların 20 MPa betona basınç dayanımını sahiptir. Tersinir yük altında ve %22 oranında tek eksenel yük sınıfına sahip deneysel süreç izlenmiştir. Meda vd. (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada etriyeler paslandırılmamış olup, boyuna donatılar ise kolon kesit yüksekliğinin yaklaşık olarak üçte biri kadar paslandırılmıştır. Yapılan paslandırma ile sargı itkisi aderans dayanımı ile birlikte aderans dayanımında oluşan kayıpların toplam yer dış termeleri olan katkısı etriye donatıların korozyondan korunmasıyla ihmal edilmiştir. Yapılan çalışmada boyuna donatılardaki teorik pas oranı %20’dir. Meda vd. (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada %20 korozyon oranına kadar enerji yutma kapasitelerinin arttığını belirtirmiştir. Meda vd. (2014) yapmış olduğu deneysel çalışmada korozyona maruz kalmış betonarme kolonlardaki yapısal davranışlarının belirlenmesine yönelik her hangi bir amprik model geliştirilmemiştir.

Guo vd. (2015) tarafından yapılan gerçekleştirilen çalışmada tersinir tekrarlı yük etkisi altında 3 adet 60 cm yükseklik 25 cm genişliğinde ve 250 cm boyunda betonarme kolon numuneler kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kolonlar tek bir eksenel yük kullanılarak deneyleri gerçekleştirilmiş ve uygulanan eksenel yük oranı ise %10’dur. Çalışmada deneyleri gerçekleştirilmiş olan betonarme kolonlarının ortalama beton basınç dayanımları 42.9 MPa’dır. Çalışmada pas oranları sırasıyla %5, %10 ve %15 olarak belirlenmiştir. Ma vd. (2012) ve Meda vd. (2014) tarafından gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan farklı olarak, Guo vd. (2015) tarafından yapmış çalışmada etriye ve boyuna donatıların gerçek pas oranları hesaplamıştır. Boyuna donatılardaki gerçek pas oranları %11.20 ve %30.19 arasında değişkenlik gösterirken, etriyelerde ki gerçek pas oranları %5.07 ile %15.24 arasında değişkenlik göstermiştir. Guo vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada korozyona uğramış betonarme kolonların yapısal davranışlarının belirlemeye yönelik bir model geliştirilmemiştir. Guo vd. (2015), Liu

vd. (2017), Yang vd. (2016), Yuan vd. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda korozyona uğramış betonarme kolonlarının enerji yutma kapasitelerinin korozyona uğramamış betonarme kolonlarına oranla azaldığı belirtilmektedir.

Yang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada betonarme kolonları %5, %10, %15 ve %20 oranlarında korozyona uğratılmıştır. Betonarme kolonları 210mm yükseklik 210 mm genişlik ve 1500 mm boyundadır. Yapılan bu çalışmada kolonların beton basınç dayanımları 46.4 MPa olarak elde edilmiştir. Üretilen betonarme kolonları tersinir yük etkisi altında ve eksenel yük oranı tüm numuneler için %18'dir. Yapılan deneysel çalışmada paslanmış kolonların süneklik oranlarını ve enerji yutma kapasitelerini belirleyebilmek için 2 adet model geliştirilmiştir. Yang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada paslanmış kolonlarının sünekliği pas oranına bağlı olarak azalırken, bu durum korozyonun sağlamış olduğu sargı etkisi ile birlikte diğer deneysel çalışmalarda farklı bir sonuç göstermiş ve paslandırmanın belirli korozyon oranlarında kolonların sinekliğini arttığını göstermiştir (Ma vd., 2012; Guo vd., 2015; Li vd., 2018). Yang vd. (2016) tarafından geliştirilen ampirik modelleri denklem 2.5 ve 2.6 sırasıyla verilmiştir.

$$\mu_c = \mu_o(1 - 0.019C_L) \quad (2.5)$$

$$E_c = E_o(1 - 0.027C_L) \quad (2.6)$$

Denklem 2.5'de μ_c paslı ve μ_o pasız kolonların süneklik oranlarını ve C_L boyuna donatı pas oranını belirtmektedir.

Denklem 2.6'de E_c paslı ve E_o pasız kolonların enerji emme kapasitesi ve C_L boyuna donatı pas oranını belirtmektedir.

Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada dört adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonları üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada betonarme kolonların beton basınç dayanımları 50.2 MPa olarak elde edilmiştir. Tersinir artımlı yük etkisi altında yükleme deneyleri yapılmıştır. Betonarme kolonları iki farklı eksenel yük oranları için deneye tabi tutulmuş olup eksenel yük oranları %10 ve %30 olarak göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmada aynı kolon için aynı oranlarda korozyona uğramamış boyuna donatıların etkisi korozyona uğramış betonarme kolonların sismik davranışları için

incelenmiştir. Li vd. (2018) tarafından yapılmış olan çalışmada korozyona uğramış kolonların yapısal davranışlarının belirlenmesi için bir model geliştirilmemiştir.

Mevcut literatürdeki paslanmış ve paslanmamış betonarme kolon numuneleri üzerinden gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda eksenel yük oranı, beton basınç dayanımı gibi bağımlı değişken sayılarının az olmasından dolayı paslandırılmış betonarme kolonların, süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri açısından çelişkiler bulunmaktadır. Tez sahibinin bursiyer olarak yer aldığı TÜBİTAK 3501 projesi kapsamında yapılan çalışmada bu çelişkilerin giderilmesi hedeflenmiş olup, toplamda otuz adet tam ölçekli betonarme kolonu üç farklı beton sınıfı (C8, C20 ve C30) ve iki eksenel yük (%20 ve %40) etkisi altında dört farklı korozyon oranı kullanılmıştır. Söz konusu otuz adet betonarme kolonları için yükleme programı tersinir-tekrarlanır, artırımlı ve yer değiştirme kontrollü olarak FEMA 461 (2007) yönetmenliğine göre gerçekleştirilmektedir. FEMA 461 yönetmenlik ile tersinir-tekrarlanır yükleme programının ve hasar seviyelerinin başlangıç noktasının tahmin edilmesinin monotonik yükleme sonuçlarına göre değerlendirilmesini önemle önermektedir. Yapılan çalışmada da FEMA 461 (2007) göz önüne alınarak ve bu çalışmaya konu olan beş adet betonarme kolon için monotonik yükleme deneyleri gerçekleştirilerek yükleme programı oluşturulmuştur. Korozyona maruz bırakılmış tam ölçekli beş adet betonarme kolon üzerinde gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesinin ve yukarıda sözü edilen çalışmalardaki çelişkilerin ortaya konularak ileriki çalışmalara ışık tutması amacı ile oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Betonarme ve Korozyon

Beton kum, agrega, çimento ve suyun homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen yapı malzemesidir. Beton malzemesinin mekanik özelliğine göre çekme dayanımı basınç dayanımından daha düşüktür. Taşıyıcı sistemlerde kullanılmak istendiğinde ise betonun belirtilen bu zayıf özelliği olan çekme dayanımının donatı gibi çekme dayanımı yüksek değerlerde olan bir malzeme ile birleştirilerek kompozit malzeme oluşturup kullanılması betonarmenin bu denli önemli noktalara gelmesinde büyük önemi vardır. Betonarme donatısında meydana gelen korozyon sadece donatının değil betonun da mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Betonarme yapı elemanında betonun dayanımına etki eden başlıca etmenler (karma suyu, çimento türü, betonarme yapının bulunduğu çevre vb.) doğrudan donatı korozyonunun oluşumuna da etki etmektedir.

Tasarım aşamasında betonarme elemanda oluşması öngörülmemen korozyon etkisi yapıda korozyon oluşumunun sebep olduğu bozulmalar ile birlikte yapıların sismik etkiler altında daha fazla hasar görmesine neden olabilmektedir.

Mevcut yapı stoğu incelendiği zaman yapıların performans seviyelerini etkileyen parametrelerin başında düşük beton basınç dayanımı kalitesiz malzeme kullanımı kötü işçilik kalitesi ve belirtilen bu olumsuzluklara ek olarak da yapı elemanında betonarme donatısının korozyona maruz kalmasıdır. Korozyon ve ortaya çıkardığı sonuçlarla ilgili çalışmalar son 30 yılda giderek artmaktadır. 1999 Marmara Depreminden sonra betonarme yapılar üzerinde yapılan incelemeler göstermiştir ki donatı korozyonu yapılarda birçok olumsuz sonuca sebep olmakta ilerleyen aşamalarında sismik hareket altında yapının yıkımına varan sonuçlara neden olmaktadır.

Betonarme yapıların yer aldığı her alanda korozyon oluşumu düşük oranda da olsa gözlemlenebilir. Paslanma ile birlikte mevcut mekanik özelliklerini yitiren metalik malzemeler sanayi sektöründe ekonomik anlamda büyük kayıplara sebep olmaktadır.

Korozyon üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen veriler ışığında Türkiye'nin korozyondan dolayı yıllık zararının Gayri Safi Katma Değerinin (GSKD) %4.26 oranlarında elde edildiği tespit edilmiştir.

Korozyon betonarme yapılarda oluşum mekanizması olarak ilk evrelerinde kimyasal bir süreç olarak gözükse de korozyon temel olarak donatının kesit alanındaki azalma sonucu ortaya çıkan pas ürününün birikerek betonda çatlama oluşturarak pas payı tabakasının donatıdan ayrılması olayının bütünüdür. Bu negatif etkilere ilave beton-donatı arasındaki aderans kuvvetindeki azalma ve donatıda oluşan ek sıyrılmaların meydana gelmesi gibi yapı performansın seviyesini düşürerek hedeflenen performans seviyelerinin çok uzağına çıkmaktadır.

3.2. Korozyon Mekanizması

Mevcut betonarme yapı stoğu incelendiği zaman çelik donatı normal şartlar altında atmosferik etkiler altında zarar görmektedir. Yalın halde olmayan çevresi beton ile sarılı donatı ise beton malzemesinin bazik özellik sergilemesinden dolayı korozyona karşı kısmen dayanıklı bir hal almış olacaktır.

Beton içine gömülü çeliğin su ile temas halinde olduğu ortamlarda paslanmaya uğraması elektrokimyasal bir sürecin sonucudur. Paslanma sürecinin oluşumunun başlaması veya devam etmesi için bir takım şartların oluşması gereklidir. Bu şartlar anodik - katodik reaksiyonlar ve elektron - iyon alışverişi olarak tanımlanabilir.

Korozyon olayında oluşan anod reaksiyonu:



Korozyon olayında oluşan katod reaksiyonu:



Korozyon olayında oluşan demir hidroksit reaksiyonu:



Betonun korozyona karşı gösterdiği elektrik direnci ve iyon oranı sürecin başlamasında etkilidir. İyon oranı korozyonu artıran elektrik direnci ise korozyon mekanizmasının oluşumunu yavaşlatan özelliklerdir.

Karbonatlaşma olayı betonarme elemanda betonun en dış tabakasından başlayarak elemanın içine nüfuz eden bir yapıdadır. Bu oluşumun mekanizması ise havadaki karbondioksitin ile çimentonun sulu ortamda kalsiyum hidroksit ürünü oluşturması ile gerçekleşir. Karbonatlaşma mekanizmasının oluşması için temel olarak nemli ortam altında kalsiyum hidroksit ile karbondioksit varlığına bağlıdır. Denklem 3.4’de karbonatlaşma reaksiyonu yer almaktadır.



Denklem 3.4’de görüldüğü üzere beton bünyesinde üretilen $Ca(OH)_2$ havada yer alan CO_2 tepkimeye girerek $CaCO_3$ ’ü üretmektedir. Bu tepkime ile birlikte betonun ph değeri azalmaktadır. Bu durum donatıda en zararlı süreç olan klorür iyonlarını harekete geçirmektedir. Böylelikle donatı üzerindeki koruyucu tabaka hasar görmektedir. Donatı ile klorür iyonlarının etkileşimi sonucu iyon transferi yoğunlaşır. Klorür iyonların ortamdaki varlığı ph seviyesinin daha da azalmasına sebep olur ve korozyon mekanizmasının ortamda devam etmesine sebep olur. Denklem 3.5’de klorür iyonları ile demirin birleşimiyle oluşan kimyasal tepkime yer almaktadır.



Donatıda meydana gelen çatlaklar sonucu klorür iyonları betonarme donatısıyla etkileşime girer. Beton üretiminde TS EN 206-1 standartlarına göre klorür seviyesinin tespit edilmesi paslanma sürecinin önlenmesi için büyük önem taşır.

3.3. Korozyonu Etkileyen Temel Faktörler

Betonarme elemanın bulunduğu ortamdaki nem oranı, ph seviyesi, betonun geçirimsizliği, akım kaçakları ve bazı bakteriler çeşitleri paslanma sürecine doğrudan etki eder. Mevcut ortam ısısının yükselmesi ile iyon hareketi hız kazanarak paslanma hızını artırır. Isının düşük olduğu ortamlarda iyon hızı ve paslanma hızı düşük seviyededir.

3.4. Korozyon Çeşitleri

Betonarme donatısında meydana gelen korozyon farklı tiplerde oluşum gösterebilmektedir. Mevcut literatürde bilinen en yaygın korozyon tipleri bu kısımda belirtilecektir.

3.4.1. Homojen korozyon

Betonarme yapılarda bilinen en yaygın korozyon tipi homojen korozyondur. Korozyonun en yaygın şeklidir. Oluşacak korozyonun betona gömülü donatının her yüzeyinde eşit hızda ilerlediği varsayılır. Homojen korozyon malzemenin tüm yüzeyinde eşit bir azalma ile kendini gösterir. Eşit dağılımın nedeni, anodik ve katodik çevrelerin sürekli olarak yer değiştirme sonucudur. Betonda genellikle homojen korozyon karbonatlaşma neticesinde klorür iyonu girişi ile gerçekleşir (Gulikers, 2005). Ancak bu tür korozyon en az korkulan korozyon olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü homojen korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile bulunmaktadır. Böylece saldırgan ortamlara terk edilen parça ve yapıların ömrüne ilişkin tutarlı tahminlere edilebilir.

3.4.2. Çukur korozyon

Paslanmanın dar yüzeylerde yoğun olarak etki göstermesi sonucu meydana gelen korozyon çeşididir. Donatı yüzeyinde meydana gelecek çukur miktarı yüzey boyunca farklılıklar göstermekle birlikte dalgalı bir görüntü sergiler. Korozyon sonucu oluşan çukurların genişliği, derinliği ve yoğunlukları ortama göre farklılıklar göstermektedir. Donatıda meydana gelen kayıp homojen korozyonda ortaya çıkan kayba göre daha düşük seviyelerdedir. Meydana geldiği elemanda zamanla elemanda delikler açarak elemanın kullanımını olanaksız hale getiren çukur korozyonu korozyon türleri arasında en tehlikelisidir. Çukur korozyon sonucu korozyonlu bölgelerde oluşacak mekanik gerilme yığılmaları da mevcut bölgenin dayanım kaybına uğramasına sebep olmaktadır.

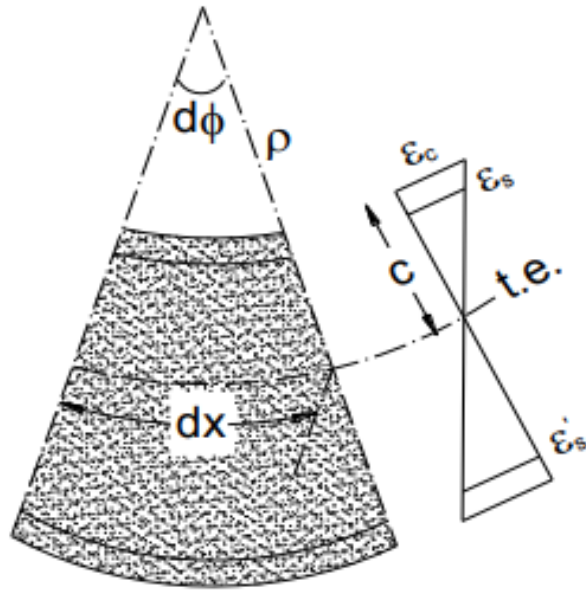
3.5. Betonarme Kolonların Moment-Eğrilik İlişkisi

Betonarme bir taşıyıcı sistem dizayn edilirken yapı elemanlarının yük etkisi altında davranışlarının tam anlamıyla bilinmesi gerekmektedir. Davranışın eleman bazında

anlaşılabilmesi için ise kesit davranışının doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Betonarme bir elemanın eğilme yükü altındaki davranışı incelenirken o elemanın kesitine ait moment – eğrilik grafiği elde edilerek davranışı hakkında çözüme ulaşılabilir. Buna ek olarak kesitte rijitlik, dayanımdaki değişim, süneklik oranı ve enerji emilimi gibi kavramlarda yine moment-eğrilik ilişkisi üzerinden izlenebilir (Ersoy ve Özcebe, 1988).

Birim dönme açısı eğrilik olarak adlandırılmaktadır. Elastik eğri üzerindeki iki nokta arasındaki açının bu iki komşu nokta arasındaki mesafeye bölünerek eğrilik elde edilmektedir.

Şekil 3.1’de eğilme ve eksenel yük durumu için betonarme bir elemana ait deformasyon dağılımı gösterilmektedir.



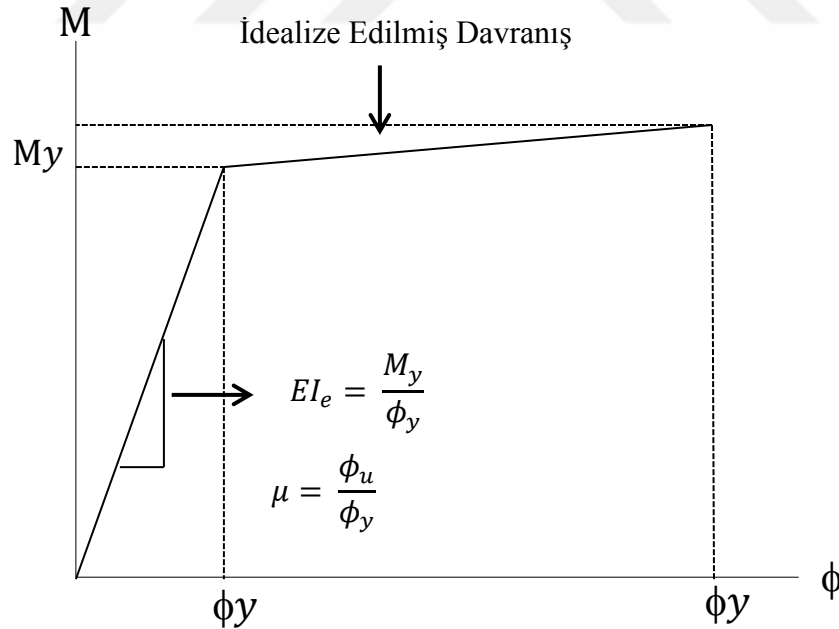
Şekil 3.1. Eğilme ve eksenel yük etkisinde deforme olmuş betonarme elemanın dağılımı.

Denklem 3.6’da eğrilik denklemi yer almaktadır.

$$\phi = \frac{d\phi}{dx} = \frac{1}{\rho} \quad (3.6)$$

Kompozit bir malzeme olan betonarme elemanında betonun doğrusal elastik olmayan davranışına karşın donatı elastik ötesi bir davranış sergiler. Donatının bu davranışından dolayı donatının çekme ve basınç gerilmeleri etkisinde benzer davranışlar sergilediği varsayılır. Doğrusal elastik olmayan davranış sergileyen betonda ise bu durum farklı olmakla birlikte çekme-basınç gerilmeleri etkisinde birbirlerinden oldukça farklı davranışlar sergilerler. Malzemenin gerçek davranışını simule ederek elde edilen moment-eğrilik grafikleri doğrusal olmayacaktır. Bu eğriler betonarme elemanın davranışı ile ilgili edinilmek istenen verilere(akma dayanımı, süneklik kapasitesi, eğilme rijitliği) ulaşmak için idealize edilmektedir.

Yönetmeliklerde yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde tasarım aşamasında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliklerinin kullanılması istenmektedir. Betonarme kesitlerde çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI_e), Moment-Eğrilik eğrilik ilişkisi Şekil 3.2’de göz önüne alınarak, akma momenti; M_y ve akma eğriliğine karşılık gelen ϕ_y oranı ile belirlenir ve ilk eğrinin eğimi olup Denklem 3.7 ile hesaplanabilmektedir (TDY, 2007).



Şekil 3.2. Moment-eğrilik ilişkisi.

$$EI_e = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (3.7)$$

Etkin kesit rijitliği belirlenirken kullanılan ϕ_y , akma eğriliğini, M_y ise akma eğriliğine denk gelen akma momentini ifade etmektedir. Beton basınç birim şekil değiştirme değerı 0.004 ve donatı birim şekil değiştirme değerı 0.1 alınarak, bu iki değerden hangisinin daha önce aşıldığı göz önüne alınmış ve bu şekilde kesitlere ait etki kesit rijitlikleri belirlenmiştir (İYBDY, 2008).

Betonarme elemanında bir kesiti inceleyecek olursak süneklik kavramı kesitin maksimum taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş yaşanmadan kesitin deformasyon yapabilme kapasitesi olarak tanımlanabilmektedir. Süneklik katsayısı kesitin maksimum dönme altındaki eğriliğin(ϕ_u), donatı aktığı anda kesite oluşan eğriliğe oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’da süneklik denklemi yer almaktadır.

3.6. Betonarme Yapı Elemanlarının Davranışları

Betonarme yapı elemanlarında meydana gelen deprem etkisinden dolayı oluşan enerjinin büyük bir bölümü tüketilmektedir. Bu enerji yutma kapasitesine süneklik denilmektedir. Buna karşılık gelen kesme kuvvetlerin altında eğik çekme gerilmeleri veya eğik basınç gerilmelerinin betonda yoğun olarak oluşturduğu enerji tükenmesi gevrek bir davranış meydana getirmektedir.

Monotonik yükleme de uygulanan yükün aşırı artmasında akma sınır değerine ulaşan kesitler plastik şekil değiştirmelerle enerji alırken, oluşan kuvvetlerin daha az zorlanmayla betonarme elemanda yükün uyum içinde kesitlere dağılması sağlanmaktadır. Aynı dayanıma sahip olan betonarme elemanların göstermiş olduğu davranış elastik ötesi bölgeye geçemiyorsa bu elemanın sünekliliğinden bahsetmek doğru değildir. Burada gevrek bir davranışın sergilenmektedir. Sünek bir davranış sergileyen betonarme elemanda yüklerin büyük kısmı sönümlenecektir.

Süneklilik kavramı doğrudan yapının veya yapı elemanın güvenliği ile ilgili olduğu için, inşaatı yapılan yapıların sünek bir davranışın sergilenmesi istenmektedir. Statikçe

belirsiz olan bir yapı sisteminde oluşan süneklik sayesinde, yapı elemanının zorlandığı kısımlar yeterli olan yükü taşımaya devam ederken meydana gelen şekil değiştirmeler ile birlikte daha az zorlanmaların olduğu kısımların yük taşımaya olan katkısı oldukça önemlidir. Yapı elemanlarıyla meydana gelen sünekliğin etkisi ile yapılan aşırı yüklemelerin sonucunda önemli oranlarda şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu oluşan şekil değiştirmeler ile birlikte yapıda veya yapı elemanında göçme tehlikesinin oluşacağı daha önceden haber verilerek buna karşın önlemlerin alınması sağlanacaktır.

Betonarme yapı elemanı eğer yüksek sünekliğe sahip ise donatılar akar, gevrek ise donatılarda akma oluşmaz ve yapıda kırılmalar oluşmaktadır.

Bir yapı sisteminin sünekliğinin artırılması için aşağıda belirtilen hususların sağlanmış olması gereklidir.

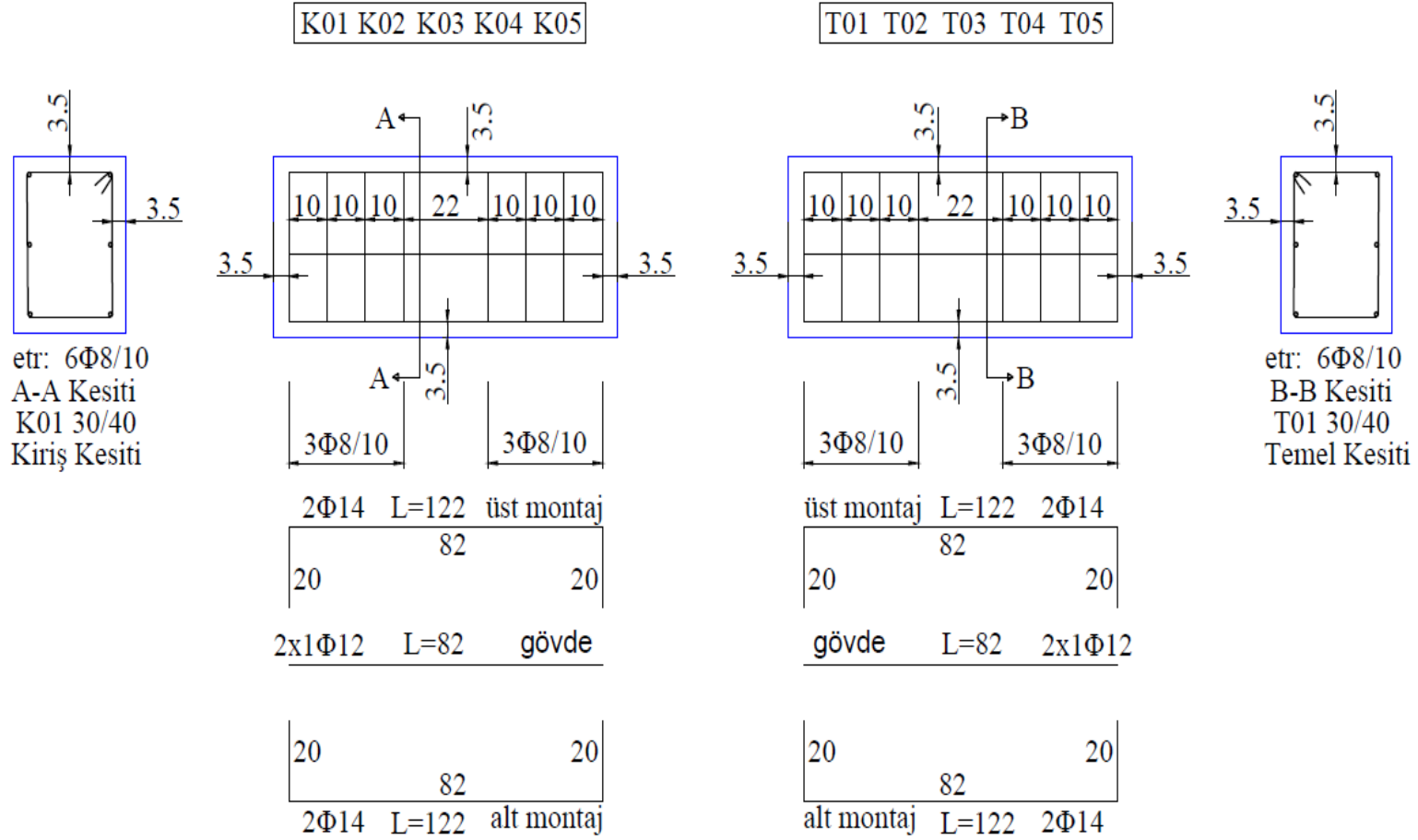
- Kolonlarda ve kirişlerde sıkı bir şekilde sargı donatıları kullanılarak, betonarme bir yapının hem sünekliği hem de beton dayanımını arttırılmalıdır. Mesela, oluşan depremin etkisinde zorlanan betonarme kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının yapılması.
- Betonarme yapı elemanlarında süneklik enerji tükenmesinin, gevrek davranıştan önce oluşabilmesi sağlanmalıdır. Örneğin, kolon ve kiriş gibi betonarme elemanların birleşim bölgelerinde gevrek enerji tüketimini ortaya çıkaran kesme kapasitesinin, sünek güç tükenmesi ortaya çıkaran eğilme kapasitesinden yüksek olması durumudur.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

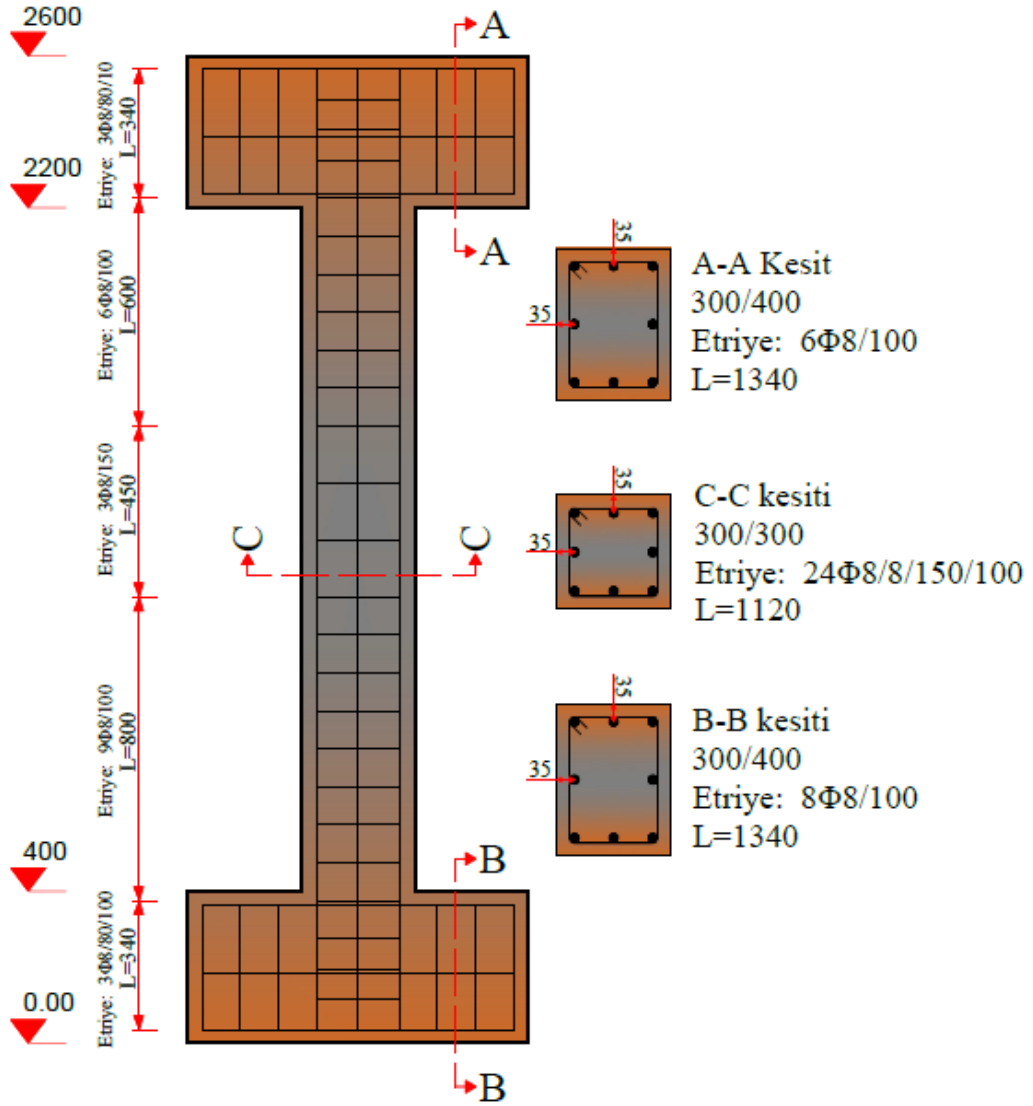
Tez sahibinin proje araştırmacısı olarak yer aldığı TÜBİTAK 3501 (116M162) çalışması kapsamında yapılan çalışmanın bu bölümünde üretilen olan numunelerin malzeme ve kesit özellikleri, gerçekleştirilen paslandırma yöntemleri, deneysel yükleme ve ölçüm düzeneği ile ilgili bilgiler ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

4.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri

Yapılan tez çalışmasında toplam 5 adet betonarme kolonu üretilmiştir. Betonarme kolonlarının hepsi özdeş olup C30 beton basınç dayanımına sahiptir. Tek eksenel yük oranı altında deneyleri gerçekleştirilen betonarme kolonlarının ortalama korozyon oranları sırasıyla %0.00, %1.99, %2.79, %5.65 ve %8.52'dir. Üretilmiş olan betonarme kolonlarının kesit özellikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Tam ölçekli betonarme kolonlar 180x30x30cm boyutlarındandır. Donatı kafesleri için TS 500 (2000) standartlarına uygun nervürlü betonarme donatıları kullanılmıştır. Her bir betonarme kolon için 8'er adet 16 mm çapında boyuna donatı ve 8mm çapında sargı donatıları kullanılarak donatı kafesleri hazırlanmıştır. Tüm betonarme kolonlarında kullanılan betonarme donatılarının mekanik özellikleri özdeşdir.



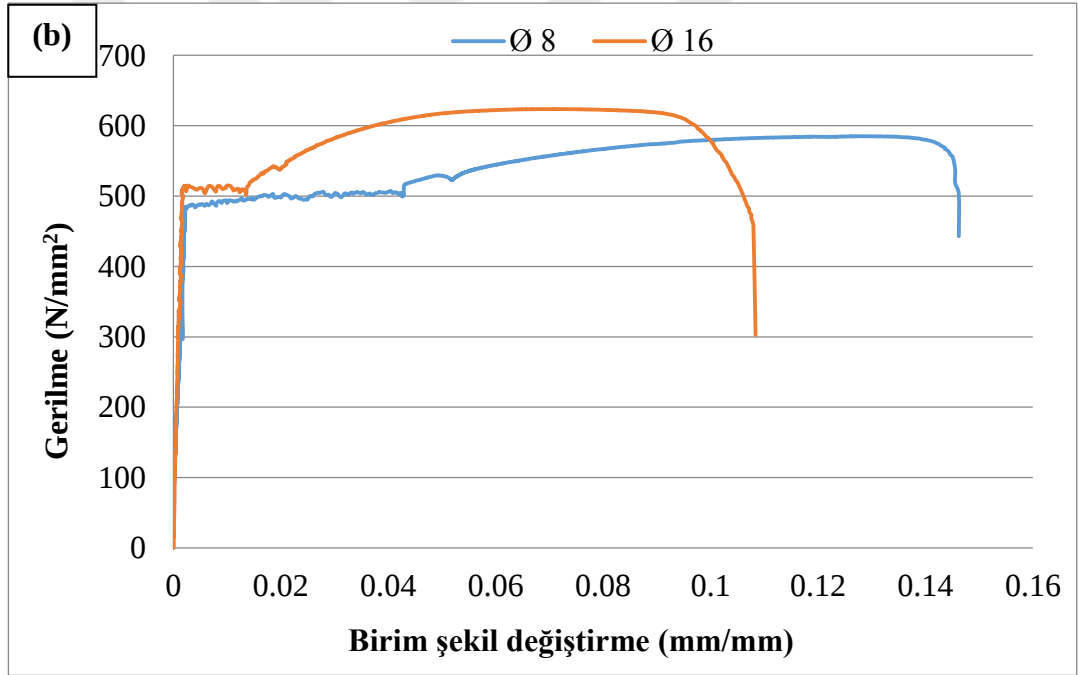
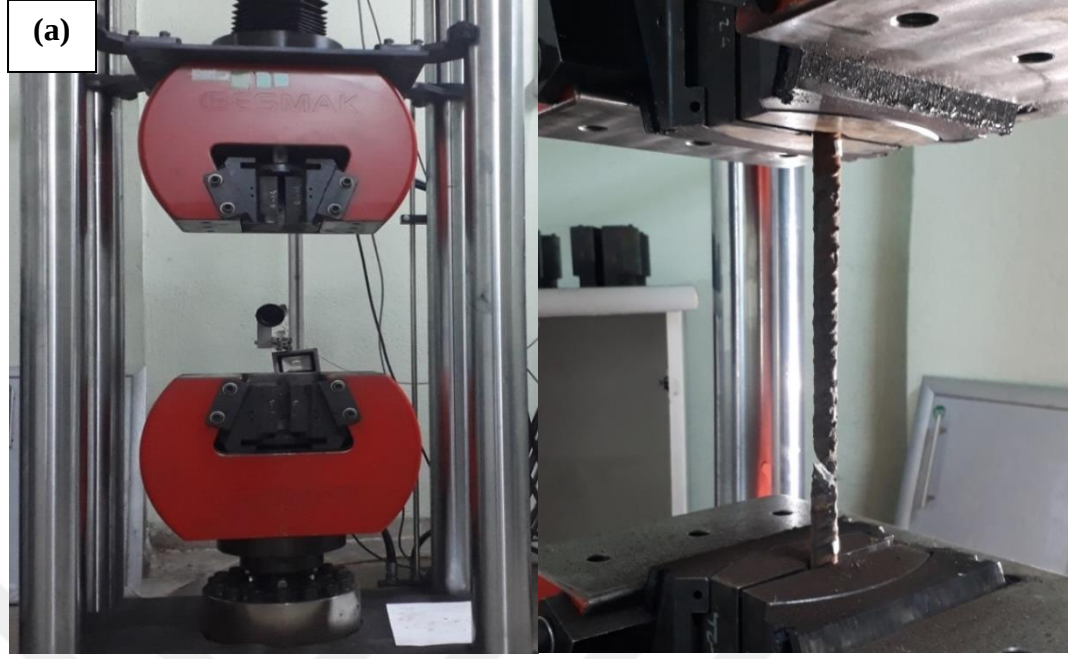
Şekil 4.1. Tam ölçekli betonarme kolonlarının temel-kiriş kesit özellikleri.



Şekil 4.2. Tam ölçekli betonarme kolonlarının kesit özellikleri.

4.2. Donatıların Mekanik Özellikleri

Tez kapsamında üretilmiş olan betonarme donatı işlerinde yönetmenliğe uygun çelik donatılar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan donatıların mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Donatı çekme deneyleri için lazer sistemli değişen her yük etkisi altında kesit alanındaki değişimi göz önüne alan 600 KN kapasiteli bir çekme makinesi kullanılmıştır. Şekil 4.3’de donatı mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için kullanılan çekme cihazı gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Donatıların mekanik özelliklerini belirlenmesi: (a) çekme cihazı; (b) gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.

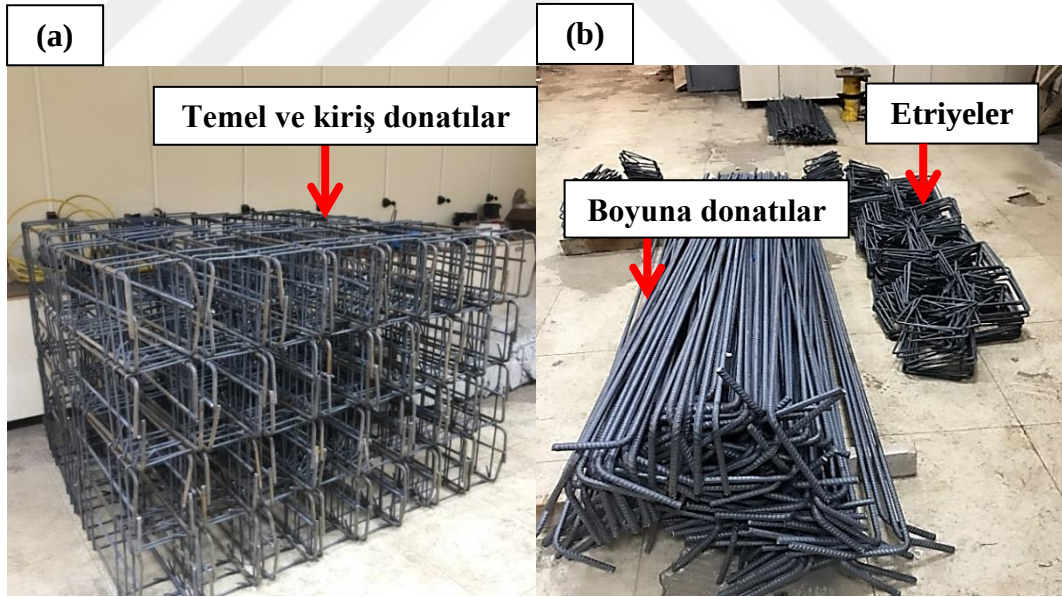
Tüm donatıların üzerinde çekme deneyleri ASTM A370 (ASTM 2008) standartlarına göre gerçekleştirilmiş olup; betonarme donatıları için elde edilen mekanik özellikleri Şekil 4.3’de verildiği gibidir. Tablo 4.1’de elde edilen ortalama donatı mekanik özellikleri özet olarak sunulmuştur.

Tablo 4.1 Donatı çeliği malzeme özellikleri.

Donatı	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	Kopma uzaması (%)	Elastisite Modülü (Mpa)
Ø16	515.18	623.78	19.88	189.441
Ø8	492.54	585.29	14.62	194.472

4.3. Betonarme Donatı İşleri

Yapılan çalışma kapsamında numunelerin montajında kullanılan donatılar TS 500 (2000) yönetmeliği göz önüne alınarak tasarım aşamasında planda belirtilen ölçülere uygun olarak kesilmiştir. Betonarme kolon donatılarının tasarım planına göre kesilmesinden sonra kesilen her bir betonarme donatısı için mekanik temizleme işlemi donatının nervürlerine zarar vermeyecek şekilde uygulanmıştır. Bu şekilde betonarme donatılarının ilk ağırlıklarını etkileyecek toz, toprak, demir parçası vb. malzemeler tel fırça yardımıyla hassas bir şekilde uygulanmıştır. Kesilen donatılar Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Betonarme donatılarının hazırlanması: (a) temel ve kiriş donatılar, (b) boyuna donatılar ve etriyeler.

Donatı kesim işleminin yapılmasından sonra donatılar hazır hale gelmeleri için temel, kiriş ve kolon donatılarının tartım öncesi sıralanmıştır. Mekanik temizleme ve sıralama işlemlerinin tamamlanması ardından betonarme donatılarında gerçek korozyon oranlarının hesaplanmasında kullanılacak olan donatı ilk kütlelerinin kayıt işlemlerine

geçilmiştir. Betonarme donatılarının ilk ve son kütlelerinin kayıt edilmesi için TÜBİTAK 3501 projesi kapsamında özel olarak imal edilen iki noktadan yük hücreli 0.5 gr hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır. Şekil 4.5’de çalışma kapsamında betonarme donatılarının kütlelerinin kayıt edilmesi için kullanılan hassas terazi gösterilmektedir.



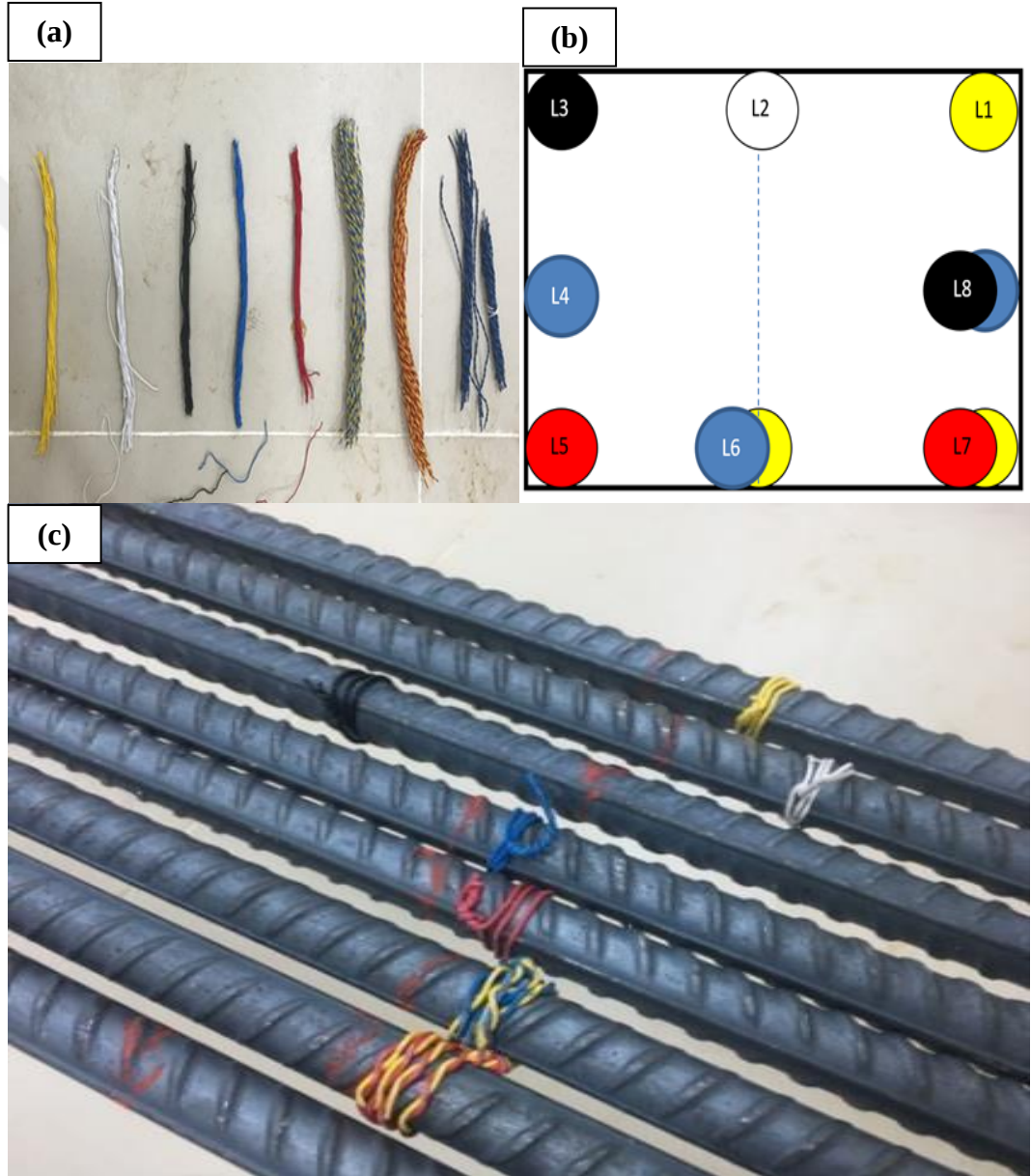
Şekil 4.5. Betonarme donatıların tartılma işlemi: (a) enine sargı donatılarının tartılması, (b) boyuna donatıların tartılması.

Tartım işleri tamamlandıktan sonra toplam 5 adet C30 sınıfını sahip betonarme kolon donatıları için yapılan korozyon işleminden önce elde edilen ilk ağırlıkları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi kapsamında üretilen C30 beton basınç dayanımına sahip kolon donatılarının ilk kütleleri.

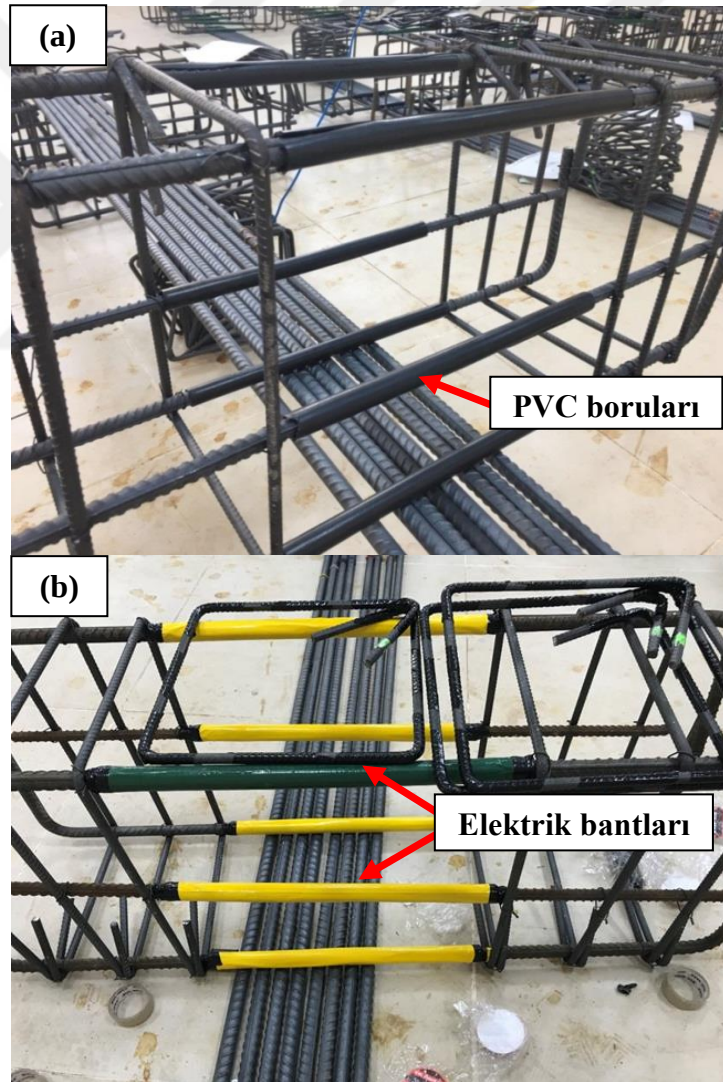
N/A _c .f _{ck} = %20					
Kod	C1	C2	C3	C4	C5
	CL %0	CL %2	CL %4	CL %6	CL %10
L1		4059.5	4022.0	4084.0	4142.0
L2		4060.0	4018.0	4027.5	4118.0
L3		4068.0	4072.0	4038.5	3997.0
L4		3984.0	4016.5	3988.0	4041.0
L5		4059.5	4057.5	4018.0	4009.0
L6		4117.5	4096.0	4112.0	3977.5
L7		4104.0	3959.5	4160.5	4108.5
L8		4036.0	4026.0	4043.0	4036.5
S1	PASLANDIRILMAMIŞ KOLON	446.5	4335	461.5	442.0
S2		443.5	448.5	449.5	429.0
S3		471.0	457.0	460.0	445.0
S4		453.5	461.0	451.0	449.0
S5		422.5	464.0	442.5	462.5
S6		448.0	444.5	444.5	437.5
S7		477.0	471.0	441.5	438.5
S8		491.0	460.0	441.5	460.0
S9		456.0	446.0	442.5	445.5
S10		419.5	448.0	446.5	443.5
S11		434.5	445.5	432.0	424.5
S12		451.5	460.0	431.0	442.5
S13		451.0	431.5	451.0	467.0
S14		464.0	445.5	437.0	440.5
S15		444.0	442.5	426.0	449.0
S16		443.0	467.0	442.0	439.0
S17		456.0	445.5	463.5	441.0
S18		452.0	428.5	449.0	488.5

Çalışma kapsamında kullanılan betonarme donatılarının sayıca fazla olmasından ötürü her bir donatı yapılan korozyon süreci öncesinde numaralandırılmıştır. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere her bir betonarme kolon için kullanılan renkli paslanmaz bakır kablolar kullanılmıştır. Bu şekilde deneysel yükleme ve korozyon süreci tamamlanan betonarme kolonlarının donatılarının betonun kırılarak içerisinden çıkarıldıktan sonra oluşabilecek herhangi bir karışmanın önüne geçilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.6. Betonarme boyuna donatılarının renklendirilmesi: (a) hazırlanan renkli bakır kablolar, (b) renklendirilmiş donatılar için bakış planı, (c) renkli bakır kabloların boyuna donatılara bağlanması.

Yapılan çalışmada numunelerin temel ve başlıkların paslanmamaları için betonarme kolonların boyuna donatılarının temel ve başlık kafeslerine temas ettiği bölgeler ve boyuna donatılarına en yakın etriyeler polivinil klorür borular ve izole bantlar ile sarılmıştır. Donatılara geçirilen boruların alt yüzeyleri yine elektrik akımının önlenmesi için parafin ile kaplatılmıştır. Beton döküm çalışmaları sırasında boruların içine girebilecek suyun önlenmesi için boruların üstü bir kez daha izole bant ile sarılarak izolasyon işleri tamamlanmıştır. Bu işlem betonarme kolonlar için oluşturulan temel ve başlıklar için uygulanmıştır. Şekil 4.7’de temel ve başlıklarına uygulanan izolasyon işleri ve Şekil 4.8’de montajı yapılmış donatı kafesleri gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Betonarme temel ve kirişlerin yalıtım işleri: (a) plastik boruların temel ve kiriş donatılarına yerleştirilmesi, (b) elektrik bantı ile plastik borularının sarılması.

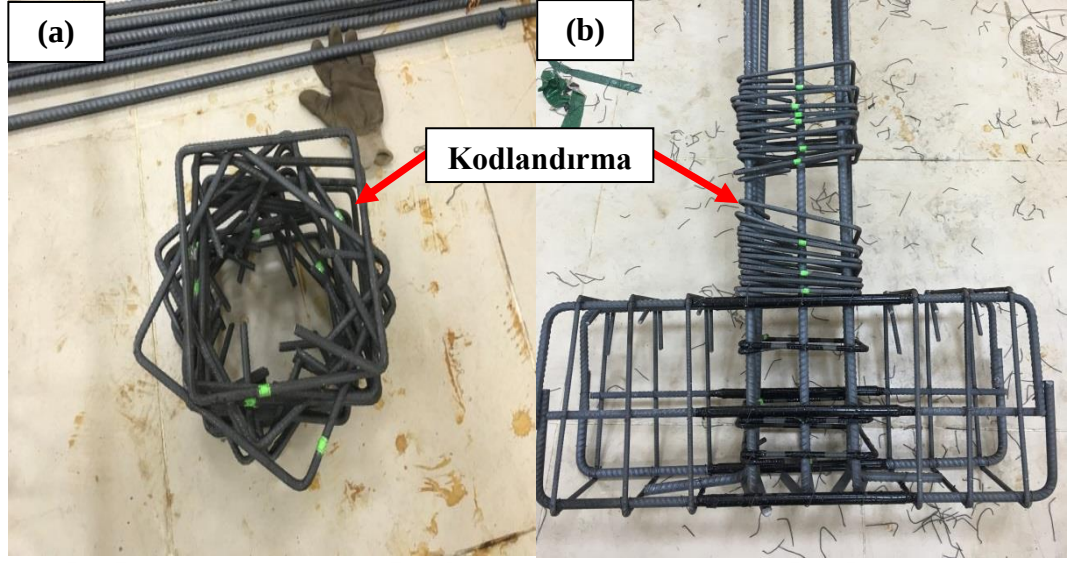


Şekil 4.8. Montajı tamamlanan kafesler.

Temel ve başlık yalıtım işlerinin ardından donatıların imalat ve montaj aşamalarına başlanmıştır. Yapılan çalışmanın bu bölümünde kolon donatıları önceden belirlenen sıralamalarda ve renk şekillerine göre yapılmıştır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’de verilen renk şekilleri ve ilk ağırlıkları kayıt altında alınan donatılar aynı şekilde yerleştirilmiştir. Böylece korozyon aşaması sonrasında kolon donatılarındaki gerçek korozyon oranlarının daha sağlıklı bir şekilde belirlenmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.9. Bakış açısına göre boyuna donatılarının bağlanması.



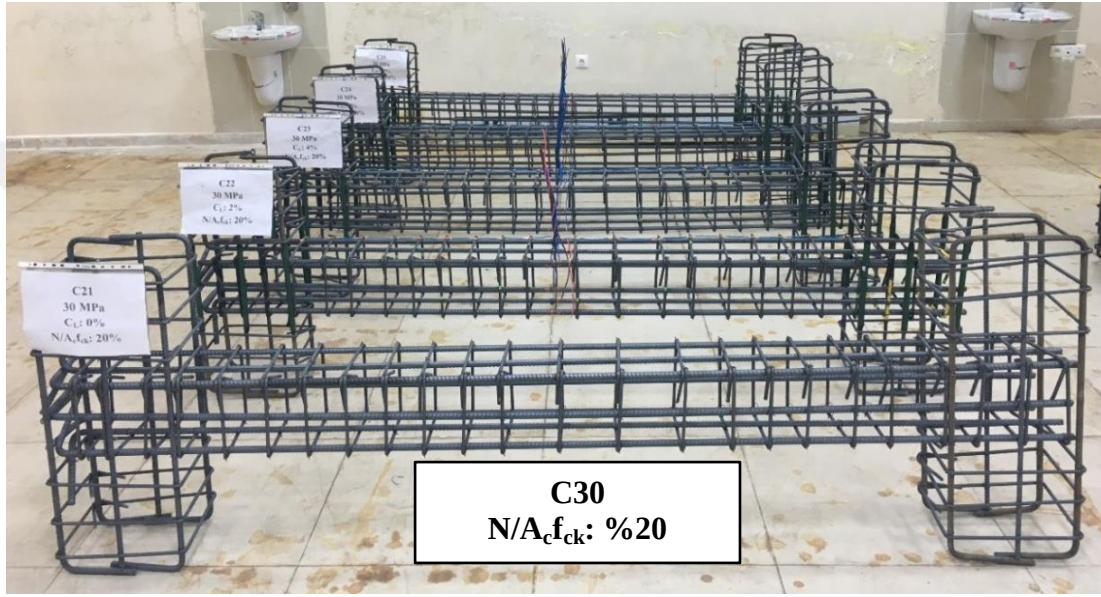
Şekil 4.10. Donatı montaj işlemleri: (a) sargı donatılarının bağlama öncesi kod numaralarına göre sıralandırılması, (b) boyuna donatıların kodlandırılması.

Donatıların montaj ve yalıtımlarının tamamlanmasından sonra korozyonun betonarme kolon içerisinden eşit bir dağılım sergilemesi için 4 mm çapında bakır kablolar tüm donatılardan temas ederek betonarme kolonun dışarısına çıkarılmıştır. Şekil 4.11’de gösterildiği gibi Akımın donatılardan iletimini sağlayan bakır kablolar her bir boyuna ve enine donatıya sıkıcı bağlanmıştır.



Şekil 4.11. Pozitif yüklemeyi sağlayacak olan bakır kabloların boyuna donatılara ve kolon boyunca sargı donatılarına bağlanması.

Şekil 4.11’de verildiği gibi kolon açıklığı boyunca etriye donatılarının tamamına bağlanan bakır kabloların iki etriye arasındaki kısımlar için bakır kablolar soyulmamıştır. İş gücü ve zaman bakımından oldukça emek isteyen bu bölümde; mümkün olduğunca iletilen akımın etriye den etriye ye geçmesi amaçlanmış ve izlenebilecek akımın betondan çıkışı önlenmeye çalışılmıştır. Donatı bağlama işlemlerinin ardından son kez renk kodlamaları kontrol edilerek kolon numuneler beton dökümü için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.12’de beton dökümüne hazır hale getirilen donatı kafesleri yer almaktadır.



Şekil 4.12. Tek eksenel yükleme için montajı tamamlanan betonarme kolon donatıları.

4.4. Kalıp işleri

Çalışma kapsamında üretilmiş olan betonarme kolon numunelerinin hazırlanması için gerekli olan kalıplar su geçirmez ply-wood kullanılarak hazırlanmıştır. Ply-wood kalıpları tasarımda gösterilen ölçülerde kesilerek imalatları tamamlanmıştır. Kalıp yapım aşaması tamamlandıktan sonra beton döküm işleminden önce kalıpların içleri temizlenip yağlanmıştır. Bu şekilde kolon numunelerinin kalıptan daha pürüzsüz çıkması sağlanmıştır. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de yapılan çalışma kapsamında kalıp montaj işlemi gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Betonarme kolonları için kalıp hazırlanması.



Şekil 4.14. Betonarme kolon donatı kafeslerin kalıba yerleştirilmesi.

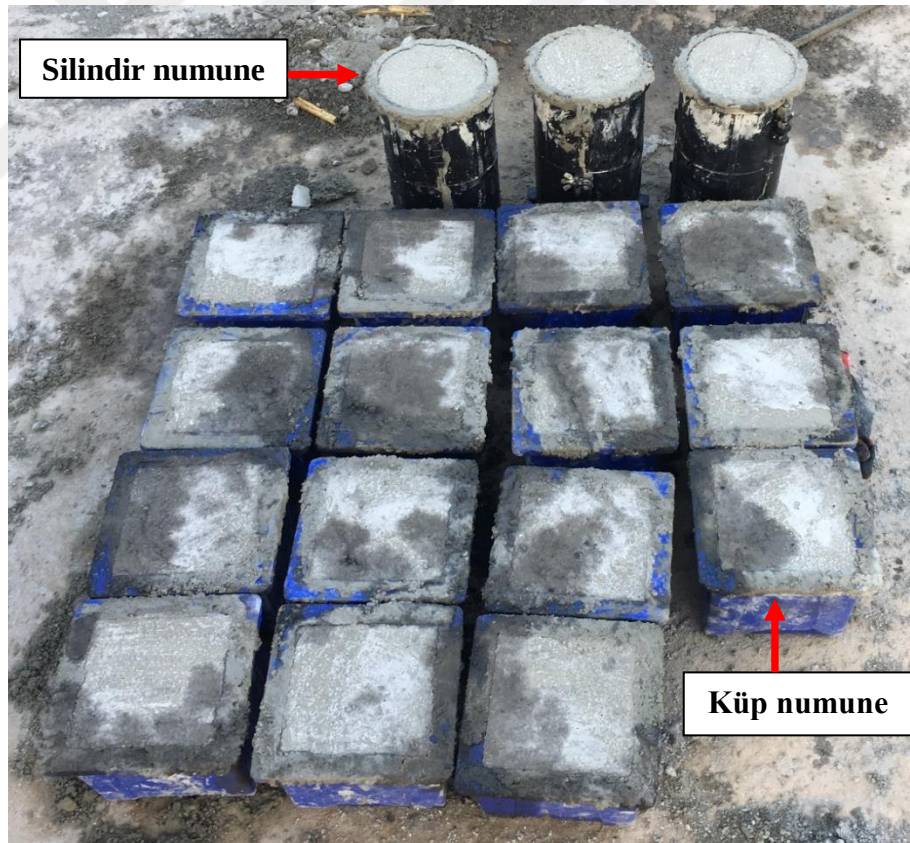
4.5. Beton Dökümü ve Beton Özellikleri

Gerçekleştirilen çalışmada C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Beton döküm işleri yönetmeliğe uygun şekilde yapılmıştır. Numunelerin beton dökümleri aynı gün içinde hazır beton kullanılarak yapılmıştır. Bu şekilde beton basınç dayanımlarında farklılığının önüne geçirilmiştir. Oluşacak Betonun kalıp içinde homojen bir dağılım sergilemesi ve oluşacak segregasyonların önüne geçebilmesi için TS1247 (1984) yönetmeliğinde belirtilen esas alınarak vibratör kullanılmıştır. Şekil 4.15’de betonarme kolon numuneleri için yapılan beton döküm işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Betonarme kolonlarının beton dökümü: (a) beton döküm işlemleri, (b) betona vibratör kullanımı.

Tez çalışmasında kullanılan betonarme kolon elemanlarının beton sınıfı belirlenmesi amacı ile beton döküm işleri sırasında TS EN-206 (2000) yönetmeliğine uygun şekilde küp ve silindir numuneleri alınmıştır. Alınan bu numuneler Şekil 4.16’da görülmektedir. Küp ve silindir numune alımı için kullanılan kalıplar su emmez özelliktedir. Numune kalıplarına iki parça halinde dökülen betonların yerleştirilmesi için nervür süz betonarme donatısı kullanılmıştır. Alınan küp numuneleri betonarme kolonlar ile aynı ortamda muhafaza edilerek olası bir beton basınç dayanım farklılıklarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Beton döküm işleminden sonra geçen süre içinde betonun hedeflenen mekanik özelliklerine ulaşabilmesi için kürleme işlemi yapılmıştır. Bu şekilde beton yüzeyinde oluşacak olan çatlakların önüne geçilmiştir. Beton yüzeyinde oluşacak olası bir çatlak o bölgede korozyon oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Beton döküm tarihin den 4 gün sonra Şekilde 4.17’de görüldüğü üzere betonarme kolonları kalıplarından çıkarılmıştır.

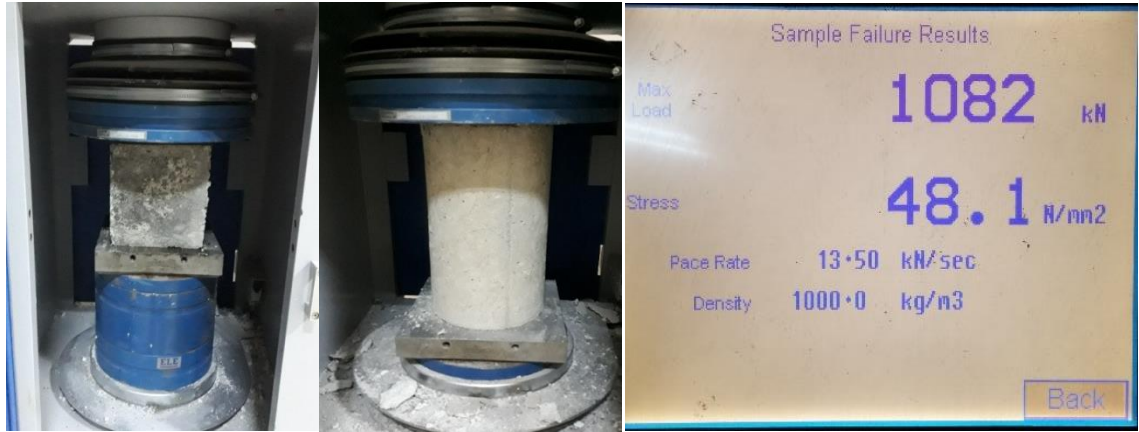


Şekil 4.16. Küp ve silindir numune alımı.



Şekil 4.17. Kalıptan çıkartılan betonarme kolonlar.

Paslandırma sürecinin uzun sürmesi nedeni ile betonarme elemanlarının karakteristik beton basınç dayanımları Şekil 4.18’de gösterildiği gibi yükleme deneylerinin yapıldığı gün tespit edilmiş ve C30 beton sınıfına ait beton silindir ortalama basınç dayanımları Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Numunelerinin beton basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi.

Tablo 4.3. Betonarme numunelerinin beton basınç dayanım sonuçları.

Beton sınıfı	Küp beton basınç dayanımı (MPa)
C ₁₋₅	37.46

Kürleme işlemleri tamamlanan betonarme kolonları belirlenen oranlarda paslandırılmaya maruz bırakılmaları için Şekil 4.19’da görüldüğü üzere vinç yardımıyla tam ölçekli bakır kaplı betonarme havuzuna taşınmıştır.

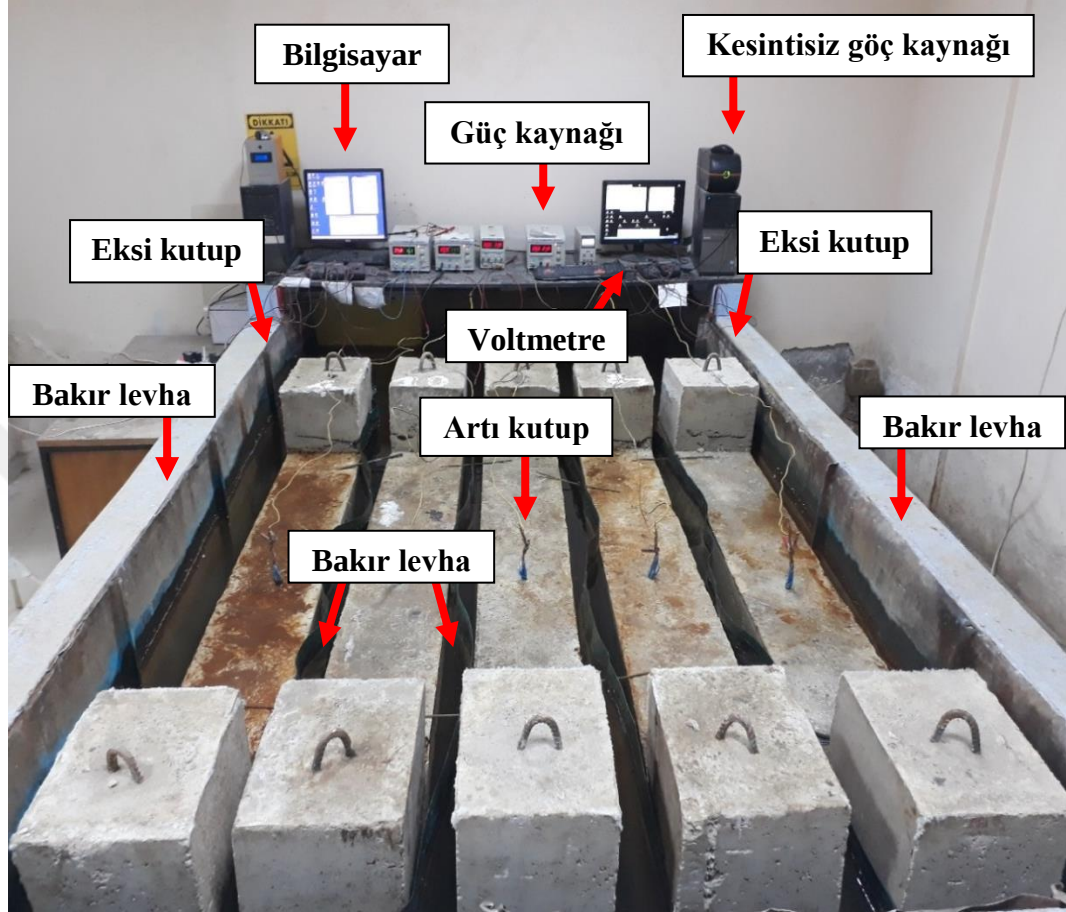


Şekil 4.19. Betonarme kolonlarının paslandırma havuzuna taşınması.

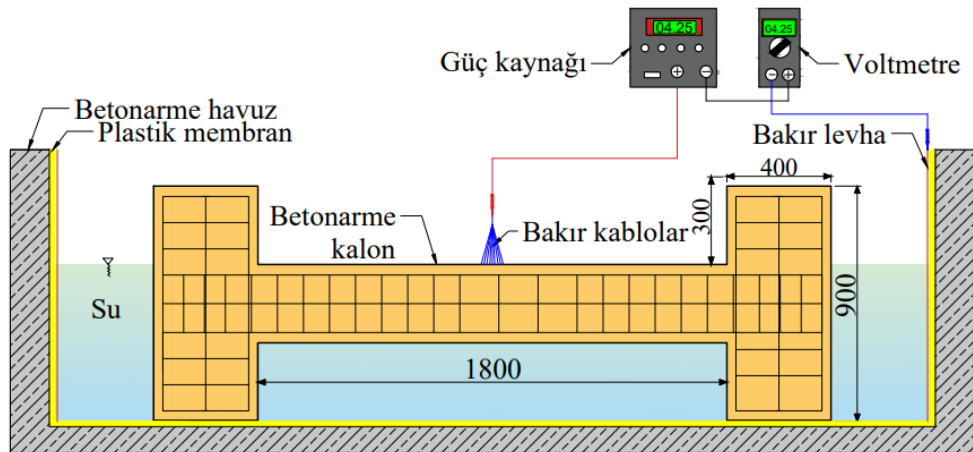
4.6. Hızlandırılmış Korozyon Deney Sistemi

Tez çalışması kapsamında üretilen tüm betonarme kolonlarında hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak farklı oranlarında paslandırılmıştır. Tam ölçekli bakır paslandırma havuzu Şekil 4.20 - 4.22’de gösterilmektedir. Paslandırma havuzu 1750 mm genişliğe 900 mm yüksekliği ve 3900 mm uzunluğa sahip olacak ölçülerde tasarlanmıştır. Deney esnasında betonarme kolonlarına uygulanan akımların devreden olası bir kaçak durumuna karşı tam ölçekli paslandırma havuzunun bütün iç yüzeyi plastik yalıtımlı kaplama ile kaplanmıştır. Hızlandırılmış korozyon yöntemine kullanılacak devre elemanları 60 volt 10 amper değerinde ayarlanabilir güç kaynaklarından devreden her 60 saniyede bir geçen akımın kayıt altına alınabilmesi için gerekli olan voltmetreler ve voltmetrelerin bilgisayar ile çoklu bağlantısını sağlaması için gerekli RS232 ara bağlantı kablosundan oluşmaktadır. Devrenin tamamlanabilmesi için ayarlanabilir güç kaynaklarının artı kutbu betonarme kolonlarının donatılarına çevreleyen ve kolon orta bölgesinden beton yüzeyine çıkan bakır kablolarla bağlanması gerekmektedir. Güç

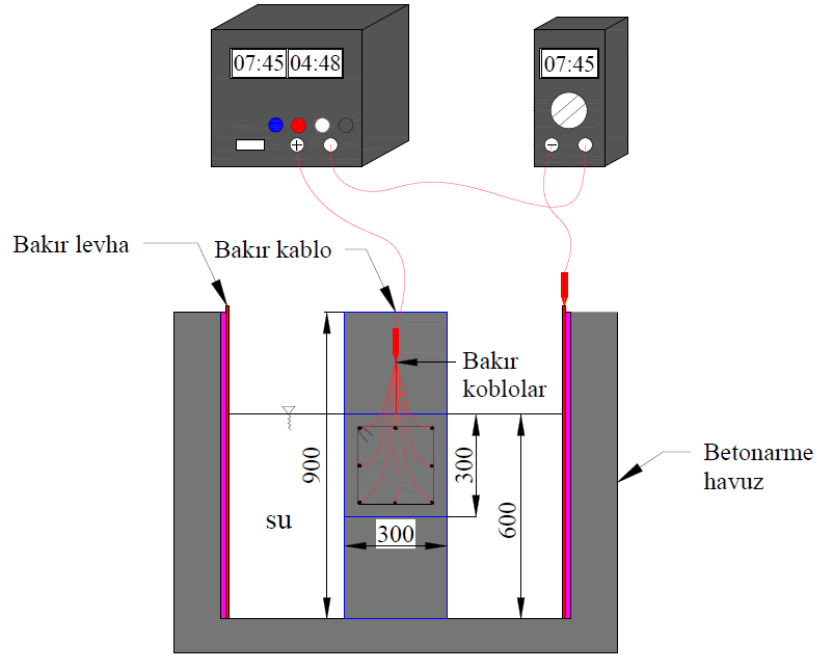
kaynağının eksi kutbu ise paslandırma havuzu çevreleyen bakır plakaya bağlanacaktır. Bu şekilde devre düzeneği tamamlanmış olacaktır.



Şekil 4.20. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için kullanılan paslandırma havuzu.

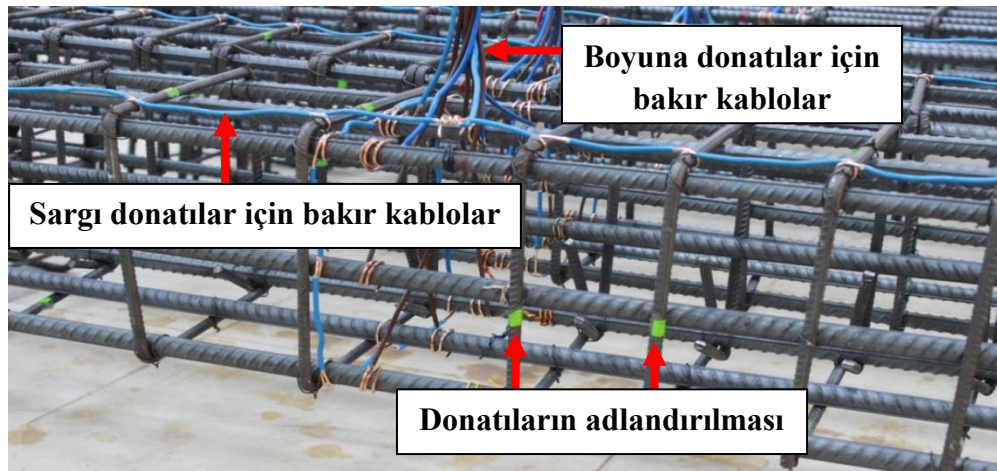


Şekil 4.21. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için şematik yan deney düzeneği.



Şekil 4.22. Hızlandırılmış korozyon yöntemi için ön şematik deney düzeneği.

Betonarme kolon donatılarında homojen bir korozyon dağılımına ulaşmak amacıyla Yalciner vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada kullanmış olduğu yöntem referans alınmış ve şekil 4.23’de görüldüğü gibi tüm kolon donatılarına 4mm kalınlığında bakır kablo sarılmıştır. Böylelikle uygulanan akımın tüm donatı boyunca düzgün bir şekilde ilerlemesi sağlanmıştır. TS EN 50525-2-31 (2012) yönetmenliğine göre bakır kablolar kullanılmıştır. Bağlı bakır kablo tüm donatı boyunca tek parça şeklinde kullanılmıştır. Tüm betonarme donatıların birleşim yerlerine bakır kablo bağlanmıştır.

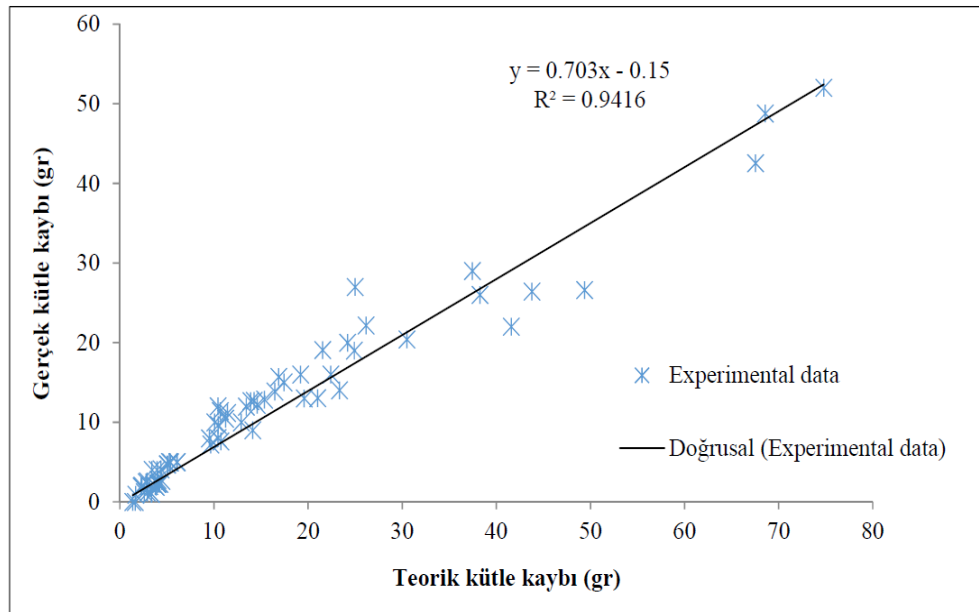


Şekil 4.23. Donatılara bağlanan bakır kablolar.

Belirtilen hızlandırılmış korozyon yöntemlerin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için Faraday kanunu kullanılarak kütle kaybı hesaplanmıştır.

$$m = \frac{t(s) \times (A) \times 55.847}{2 \times 96.487} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de gösterilen I sistemden geçen akımı t saniyeyi n üretilen veya harcama elek torun miktarına 96.487 Faraday sabitini 55.847 değeri ise metalin atomik kütlesini temsil etmektedir. Deneylerin kontrolü bir şekilde gerçekleşmesi için gerekli teorik gerekli korozyon hesaplarında kullanılan Faraday kanunu donatılara yalın şeklinde akım uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Beton içerisinde bulunan çelik donatılarında korozyon sürecinin hemen başlayamaması betonun malzeme özelliği olarak donatıyı koruyucu etkisi sebebiyle korozyon sürecinin başlayabilmesi için belirli bir enerji gereksinim vardır. Teorik olarak elde edilen korozyon değerleri gerçek değerlerden düşük olması da belirtilen bu sebeplerden kaynaklanmaktadır. Yalciner vd. (2012) yaptığı deneysel çalışma sonucunda Faraday kanununa göre hesaplamış olduğu teorik kütle kaybı değerleri ile gerçek kütle kaybı değerlerini karşılaştırmış ve hedeflenen korozyon seviyelerine daha yakın değerler veren bir model sunmuştur. Faraday kanunu kullanılarak elde edilen korozyon oranları için gerekli olan ilişki Şekil 4.24’te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Faraday Kanunu ile gerçek korozyon oranlarının karşılaştırılması (Yalciner vd. 2012).

Gerçek korozyonlarını yapılan yükleme deneyleri sonrasında betonarme kolonların kırılarak içerisinde donatıların çıkarılması sonucu elde edilmiştir.

$$C_L = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\% \quad (4.2)$$

Yukarda verilen Denklem 4.2’de kullanılarak gerçek korozyon oranları hesaplanmıştır. Verilen denklemde C_L korozyon oranını W_i donatılarının ilk kütlesini W_f ise donatıların son kütlesini belirtmektedir.

4.7. Deney düzeneği ve ölçümler

Gerçekleştirilen bu çalışmada kolon numunelerine sabit eksenel yük, yanal yükün ve tüm deney düzeneğinin proje ekibi tarafından baştan yapılarak gerçekleştirilmiştir. Betonarme kolon numuneleri için yapılan ölçüm ve yükleme düzenekleri bütün kolonlar için aynı deney düzeneği kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da ölçüm ve yükleme düzeneği yapılan kurulum aşamasında gösterilmektedir.

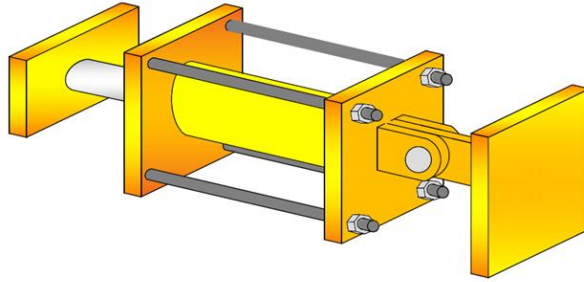


Şekil 4.25. Ölçüm düzeneklerin kurulması.

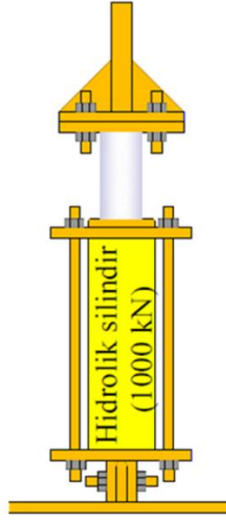


Şekil 4.26. Deney düzeneğın kaynak işleri.

Deneyisel çalışmada yüklerin ve buna bağılı olarak numune sınır koşullarının mümkün olduğunca gerçeğe yakın olarak benzeştirilebilmesi için eksenel yükün, yanal yükün bir fonksiyonu olacak şekilde, yer değıştirme kontrollü hidrolik silindirler kullanılmıştır. Sabit eksenel yük için iki adet 100 ton kapasiteli hidrolik silindir kullanılırken, yanal yüklemde ise 60 ton kapasiteli bir adet hidrolik silindir kullanılmıştır. Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 'de eksenel ve yanal yüklemde kullanılan hidrolik silindirler gösterilmektedir.



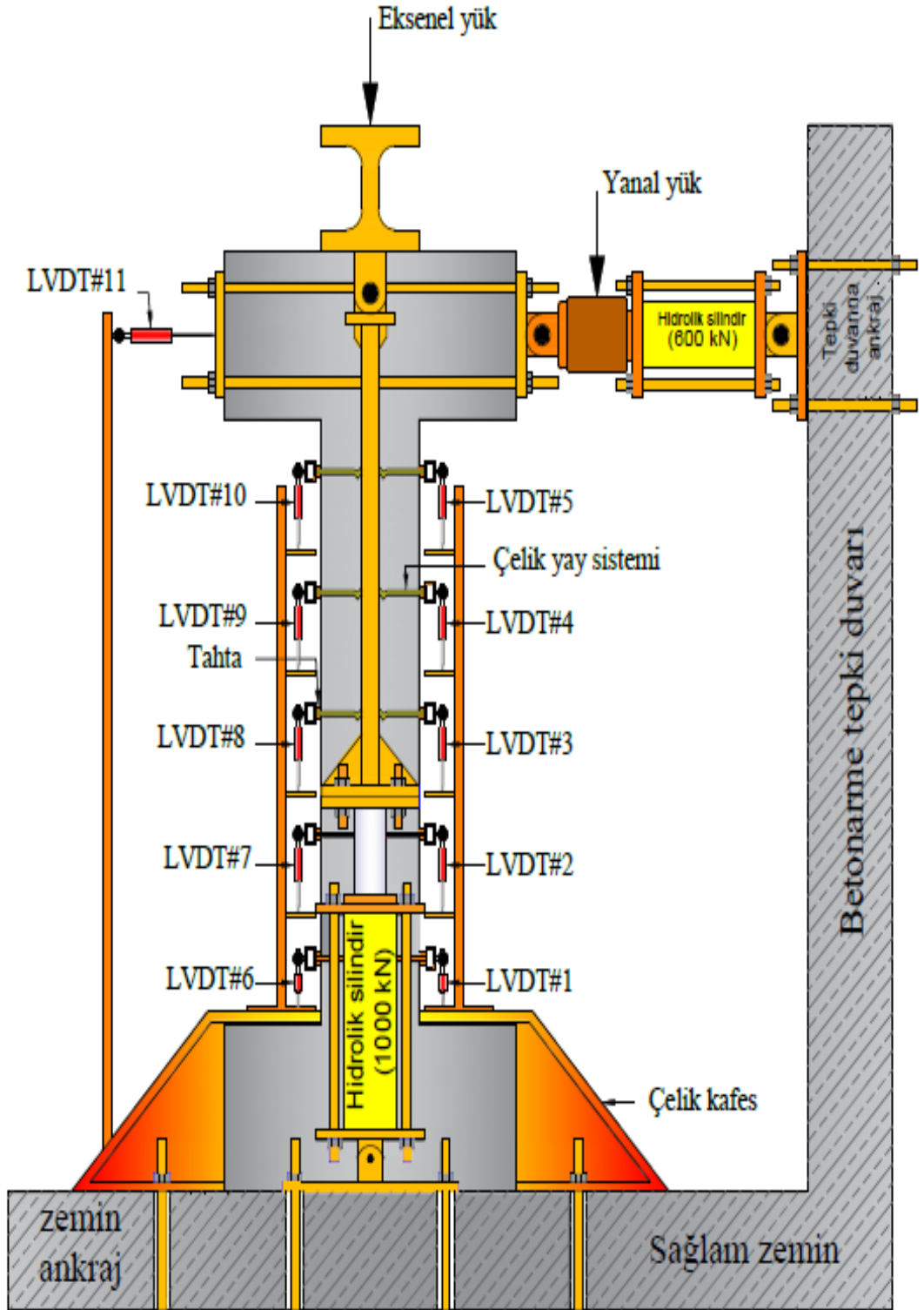
Şekil 4.27. Yanal yüklemeyi sağlayan hidrolik pistonun şematik çizimi.



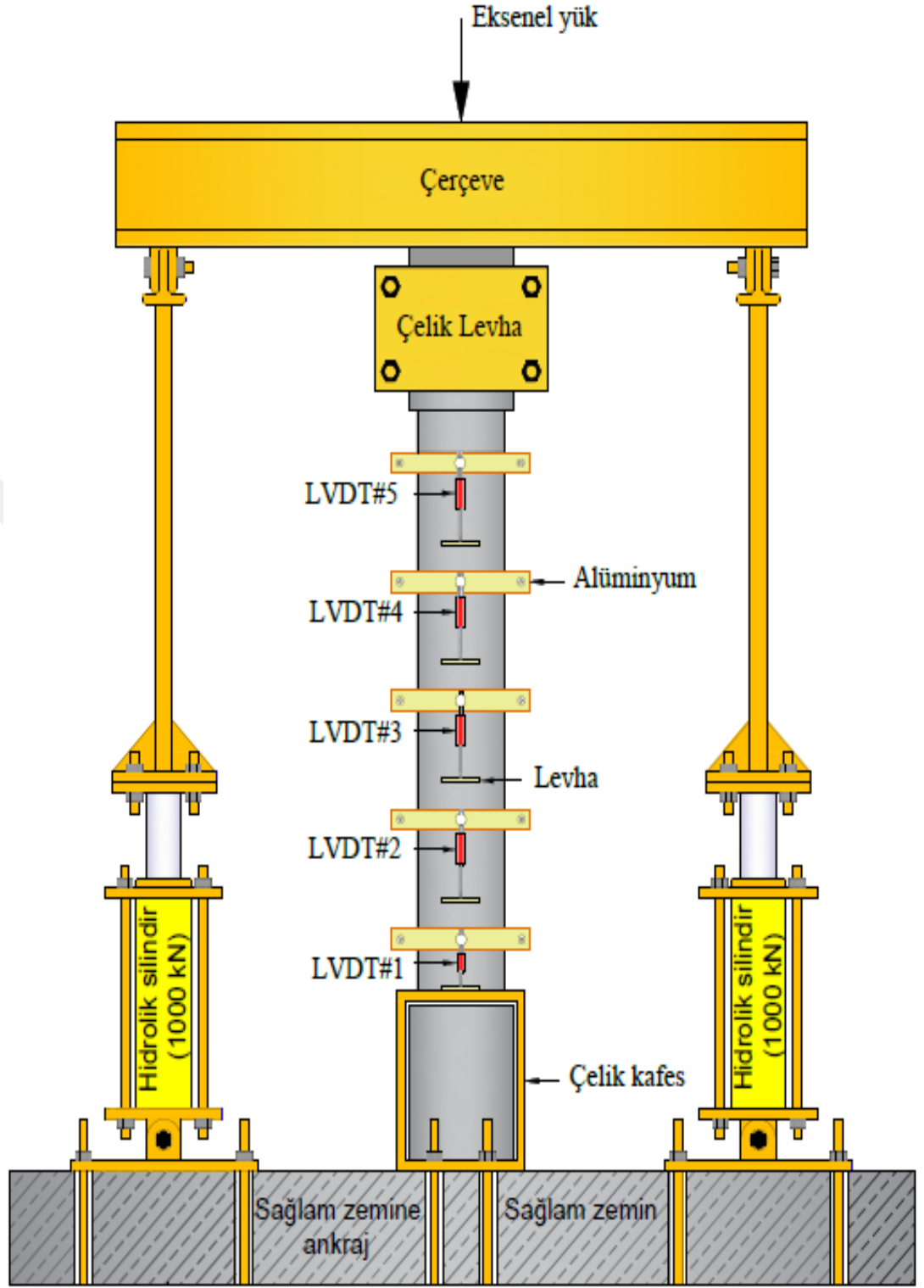
Şekil 4.28. Eksenel yüklemeyi sağlayan hidrolik pistonların şematik çizime.

Eksenel yükün iletimini sağlayan silindirler laboratuvar zeminine mont edilirken, yanal yük sağlayan silindir ise reaksiyon duvarına monta edilmiştir. Hidrolik silindirler yapılan çalışmada yer değiştirme kontrollü olarak kullanılmıştır. Yatay yönde uygulanan yükleme, numune göçme moduna ulaşınca kadar monotonik olarak artırılmıştır. Düşey yükler ise belirlenen eksenel yük oranlarında deney sonuna kadar sabit tutulmuştur. Her deneyde eksenel yüklemelerde yükün doğru bir şekilde uygulanması için iki adet manometre kullanırken, yanal yükleme için bir adet yük hücresi kullanılmıştır. Deney numunesinin tamamını temsil edecek şekilde, farklı oranlarda yanal yer değiştirmelerin ölçülmesi için 10 cm kapasitede karşılıklı olarak toplam on adet yer değiştirme ölçerler kullanılmıştır. Potansiyometreler direk olarak deney numunesine monte edilmemiştir. Ölçüm cihazları kutu profil üzerine vidalanmıştır. Kutular ise kolon yüzeyine yapıştırılmış olan 45x45 mm tahtalara sabitlenmiştir. Kutular deney sırasında karşılıklı olarak yaylı bir sistem ile birbirine bağlanmıştır.

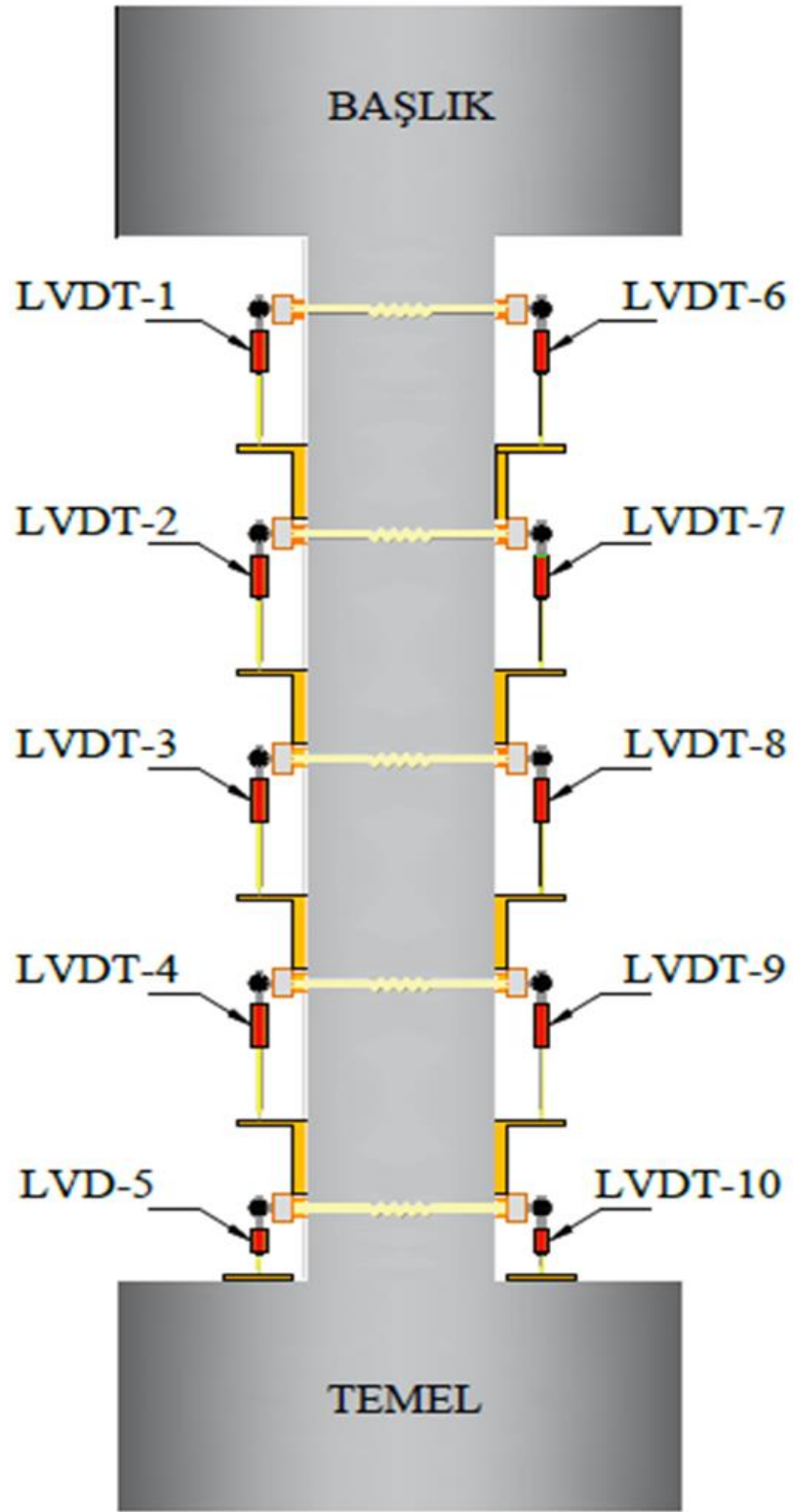
Deney numunelerin yanal deplasmanlarının ölçülmesi için betonarme kolonun üst başlık orta bölgesinde bir adet 20 cm kapasiteli potansiyometre kullanılmıştır. Deney sürecinde elde edilen tüm veriler data logger yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Betonarme kolonlara monte edilen tüm ölçüm cihazlarına ait detay çizimleri Şekil 4.29-4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Deney düzeneği (yan görünüş).



Şekil 4.30. Deney düzeneği (ön görünüş).



Şekil 4.31. Eğrilik ölçerin düzen ve konumu.

Betonarme numunelerin tamamına aynı deney düzeneği kullanılmıştır. Tüm kolon numuneler için (C1, C2, C3, C4 ve C5) eksenel yük değeri karakteristik beton basınç mukavemetleri referans alınarak taşıma kapasitelerinin %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır. Böylelikle C30 beton basınç mukavemetine sahip tüm kolonlar için uygulanan eksenel yük değeri 674 KN olarak belirlenmiştir.

4.8. Monotonik yükleme deneyi

Monotonik yükleme taşıyıcı yapı elemanlarında belirli bir eksen boyunca yüklemenin artarak uygulanması. Paslandırılmaya maruz bırakılmış betonarme kolonlarına tek yönde artan yanıl yükler uygulanmıştır. Kolonlara uygulanan monotonik yükleme ile betonarme elemanlar üzerinde herhangi bir sismik etki altında oluşacak enerji değişimleri ve bu değişimlerin kolonların davranışlarında meydana getireceği etkiler incelenmiştir. Betonarme kolonlarda çekme bölgesini ele alarak maksimum deplasman değerine kadarki yükleme süreci için yapısal davranış tersinir yükleme ve monotonik yükleme ile yaklaşık olarak aynıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Deney Sonuçları

5.1.1. Elde edilen gerçek korozyon oranları

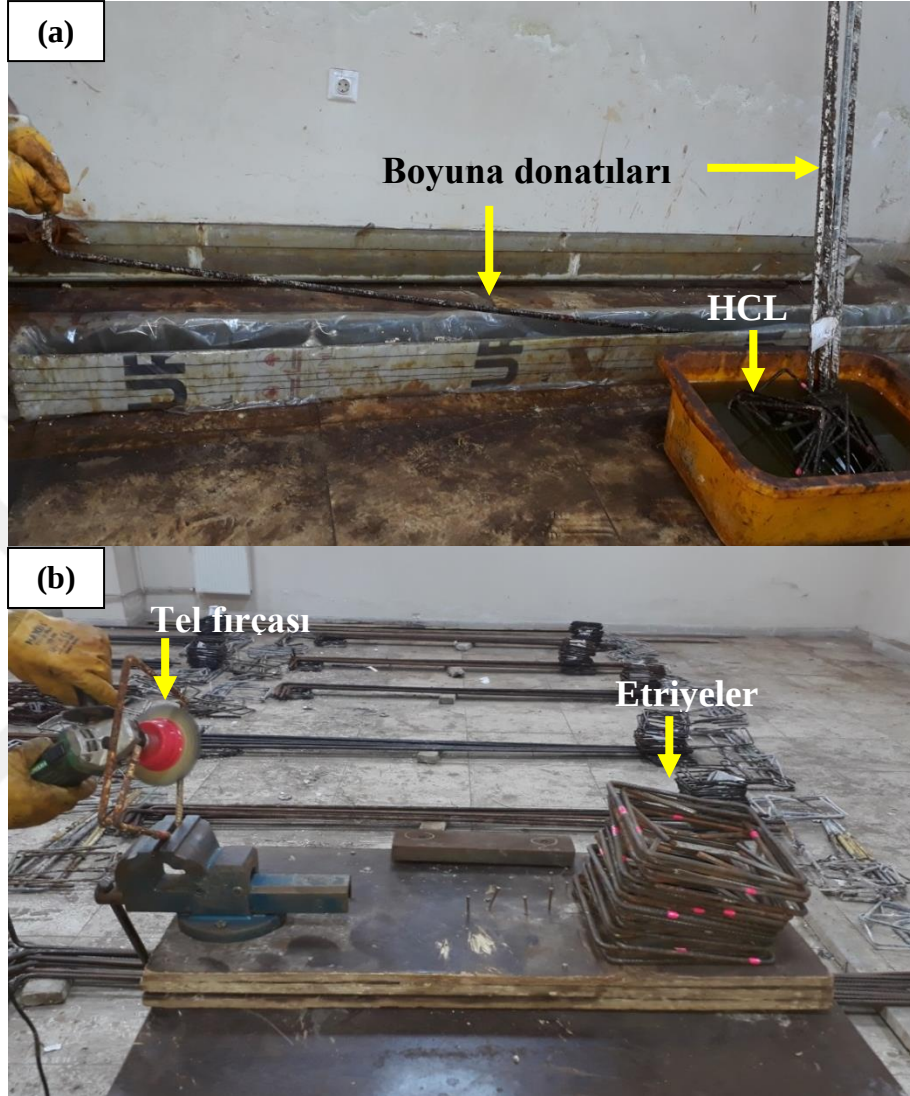
Yapılan monotonik yükleme deneylerinden sonra tüm kolonlarının gerçek pas oranlarının bulabilmek için betonarme kolonlar hilti yardımıyla kırılarak kolonların tüm etriye ve boyuna donatıları daha önceden yapılan sıralamaya göre beton içerisinden çıkartılmıştır. Şekil 5.1’de yükleme deneyleri sonrası kırılan betonarme kolonlar gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Yükleme deneyleri sonrası betonarme kolonlarının kırılması.

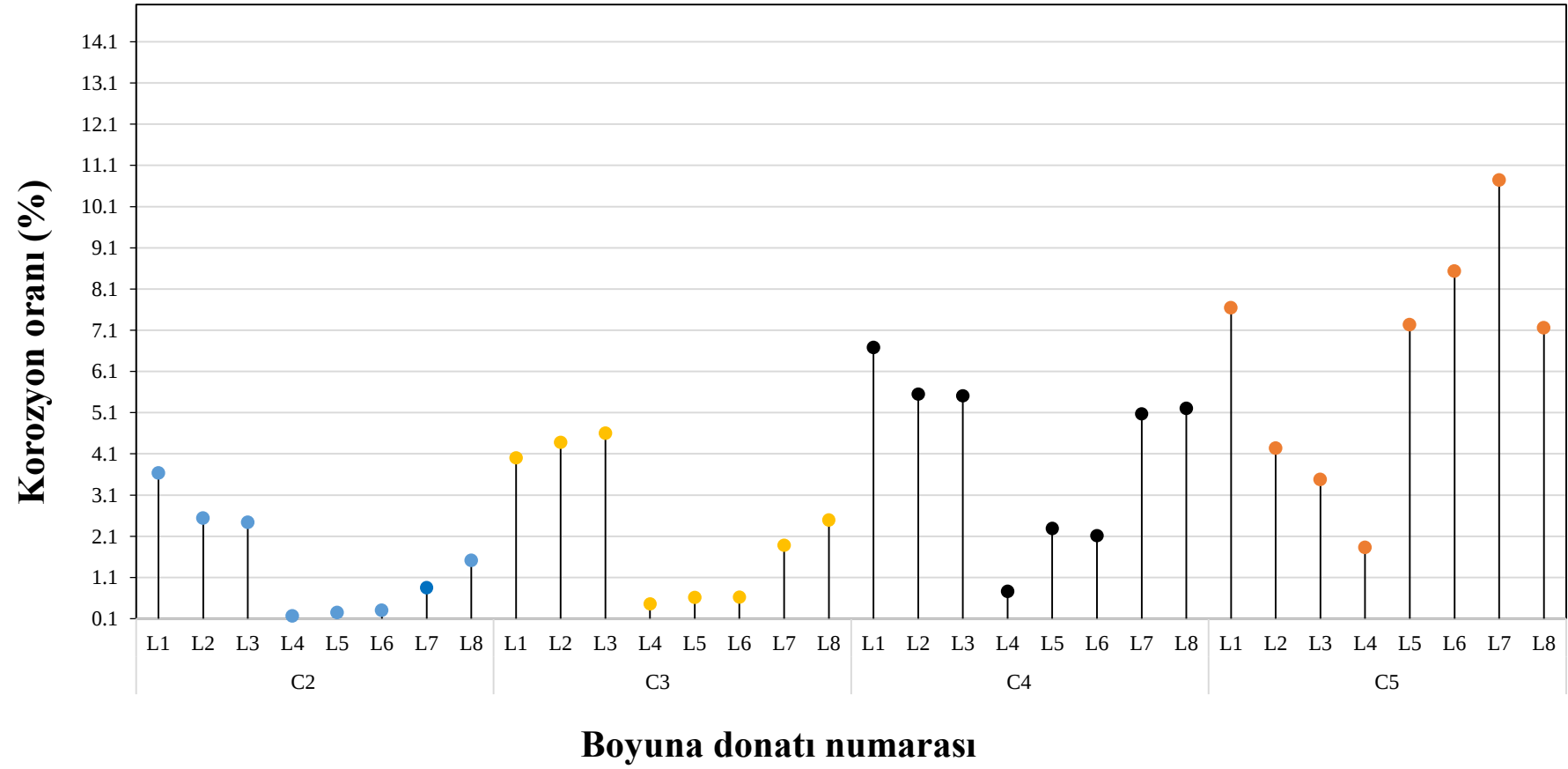
Betonun kırılması ile çıkartılan betonarme kolonların tüm boyuna ve etriye donatılarının son tartım işlemi için hazırlanmıştır. Çıkartılmış olan betonarme kolonun donatılarına ASTM G1-03 (2003) standardına göre hem kimyasal ve hem de mekanik temizleme işlemleri yapılmıştır. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, beton içerisinden çıkartılan betonarme donatıları tüm aşamaları ile birlikte kimyasal temizlemesi kapsamında alüminyum bir havuz yapılmıştır. Havuz suyuna su miktarının yaklaşık olarak %5’ oranına kadar hidroklorik asit eklenerek 30 dakika süre ile donatılar havuz içerisinde bırakılmıştır. Kimyasal temizleme sürecinin tamamlanması itibariyle mekanik

temizleme işlemine geçilmiştir. Mekanik temizleme işlemleri sonucunda donatı yüzeyindeki tüm pas ve beton artıkları donatı dan uzaklaştırılmış olacaktır.

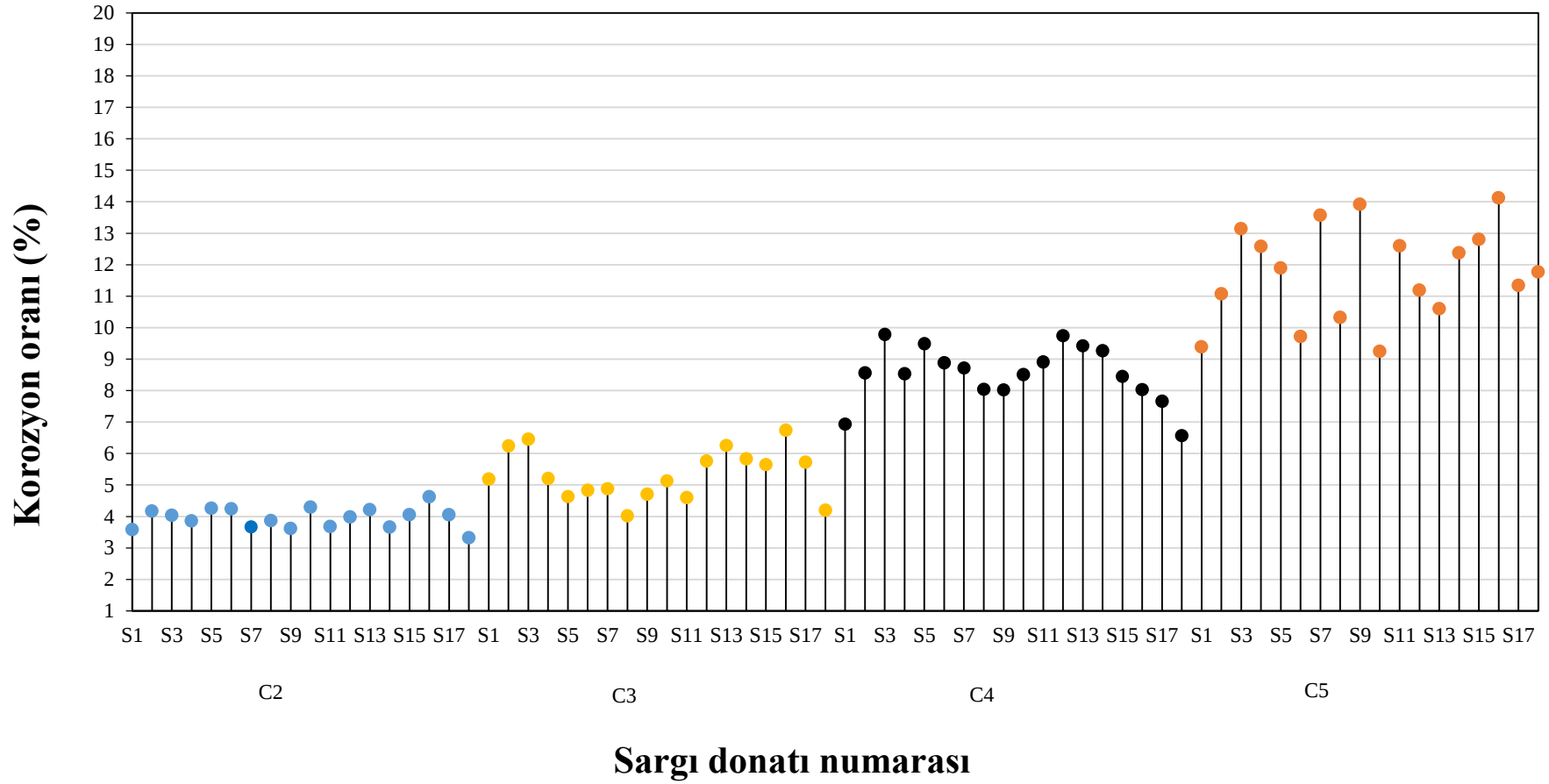


Şekil 5.2. Betonarme donatılarına uygulanan temizleme işlemi: (a) donatılara uygulanan kimyasal temizleme işlemi, (b) donatılara uygulanan mekanik temizleme işlemi.

Kimyasal ve mekanik donatı temizleme işlemlerinden sonra her bir donatının gerçek korozyon oranlarının belirlenmesi amacıyla tüm boyuna ve sargı donatılarının kütleleri tekrar tartılarak, kolon için elde edilen pas oranları Şekil 5.3 ve 5.4’de gösterilmektedir. Betonarme kolonuna ait etriye ve boyuna donatılarının gravimetrik sonuçları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Boyuna kolon donatılarından elde edilen korozyon oranların dağılımları.



Şekil 5.4. Etriye kolon donatılarından elde edilen korozyon oranlarının dağılımları.

Tablo 5.1. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi dâhilinde üretilen C30 beton basınç dayanımına ait betonarme kolonlarına ait korozyon oranları.

Kolonlar	N/A _c .f _{ck} (%)	İlk ağırlıkları (g)		Faraday kütle kaybı (g)	Gerçek kütle kaybı (g)		Faraday Pas oranı (%)	Gerçek korozyon oranı (%)		Uygulanan akım-saat (A.h)
		L	S		L	S		L	S	
C1	20	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C2	20	32488.5	8124.5	2639.1	474.5	321.0	6.50	1.46	3.95	2533.1
		Toplam: 40613.0			Ortalama: 795.5			Ortalama: 1.97		
C3	20	32267.5	8099.5	3234.5	768.5	432.5	8.01	2.38	5.34	3104.6
		Toplam: 40367.0			Ortalama: 120.0			Ortalama: 2.98		
C4	20	32471.5	8012.5	4859.0	1350.0	683.0	12.00	4.16	8.52	4663.9
		Toplam: 40484.0			Ortalama: 2033.0			Ortalama: 5.02		
C5	20	32429.5	8044.5	6881.8	2064.0	945.5	17.00	6.36	11.75	6604.4
		Toplam: 40474.0			Ortalama: 3009.5			Ortalama: 7.44		

L; 8 adet boyuna donatıya ait toplam kütle, S; 18 adet sargı donatısına ait toplam kütle.

Tablo 5.2. TÜBİTAK 3501 (116M162) projesi dâhilinde üretilen C30 beton basınç dayanımına ait betonarme kolonlarına ait ilk ve son kütleler.

Kolonlar	N/A _c .f _{ck} (%)	Boyuna donatılarının toplam ilk ağırlıkları (g)	Boyuna donatılarının toplam son ağırlıkları (g)	Etriye donatılarının toplam ilk ağırlıkları (g)	Etriye donatılarının toplam son ağırlıkları (g)	Uygulanan akım-saat (A.h)
		L	L	S	S	
C1	20	X	X	X	X	X
C2	20	32488.5	32014.0	8124.5	7803.5	2533.1
		C _{LL} (%): 1.46		C _{LS} (%): 3.95		
C3	20	32267.5	31499.0	8099.5	7667.0	3104.6
		C _{LL} (%): 2.38		C _{LS} (%): 5.34		
C4	20	32471.5	31121.5	8012.5	7329.5	4663.9
		C _{LL} (%): 4.16		C _{LS} (%): 8.52		
C5	20	32429.5	30365.5	8044.5	7099.0	6604.4
		C _{LL} (%): 6.36		C _{LS} (%): 11.75		

C_{LL}; Kolon boyuna donatıların gerçek korozyon oranı, C_{LS}; Kolon etriye donatıların gerçek korozyon oranı.

Tablo 5.1 ve 5.2’de görüldüğü üzere hızlandırılmış korozyon yöntemiyle paslanmaya maruz bırakılmış betonarme elemanlarda teorik korozyon oranıyla gerçek korozyon oranı arasında fark olmakla birlikte gerçek korozyon oranı daha düşük seviyelerdedir. Bu fark faraday yasasına göre hesaplanan teorik korozyon oranının yalın halde olan donatı için geliştirilmesinden kaynaklanmıştır. Yalciner (2017) ve Bicer vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada betonarme elemanlarının paslandırma sürecinin ancak Faraday Kanununa göre %5 pas oranına ulaşmasıyla korozyon sürecinin başladığı belirlenmiş ve yapılan tez çalışma ile ayrıca göz önünde bulunmuştur. Bu sebepten tam ölçekli betonarme elemanlarında hedeflenen korozyon oranına erişmek için Faraday kanununa göre hesaplanan korozyon oranları göz önünde bulundurulmalıdır. Tablo 5.1’de görelî değerlerden etriyelerin ilk kütlerinin boyuna donatılara oranla daha az olması sebebiyle, uygulanan aynı pas süresi ve akım büyüklüğü için elde edilen pas oranları etriyeler için fazladır. Burada, etriye donatıları ile boyuna donatılarda oluşan pas oranlarının birbirlerine yakınlığı göz önüne alınmasında gelecekteki çalışmalar için faydalı sağlayacağı düşünülmektedir. Tablo 5.2’de etriye donatılarından elde edilen pas oranlarının boyuna donatılardan elde edilen pas oranlarına oranı tüm kolonlar için mümkün olduğunca yakındır. Paslanmış kolonlar için yapılan çalışmalarda ve geliştirilen modellerde (Ma vd., 2012; Yang vd., 2016) bu durumun ihmal edilmesi sonucunda geliştirilen modeller arasında özellikle paslanmış numunelerin sünekliği bakımından farklı birçok sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Paslanmış numunelerin yapısal davranışlarını belirlemek için geliştirilen bu modeller, genellikle boyuna donatıda ya ortalama korozyon oranının ya da en yüksek korozyon oranının kullanılması ile yapılan modellerdir. Buna ek olarak doğrusal olmayan yapısal davranış dikkate alındığında enine donatıların yer değiştirmeye katkısı aynı korozyon oranına sahip boyuna donatının yer değiştirmeye göre katkısı ile karşılaştırıldığında farklı davranışlar olacağı göz önüne alınmalıdır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada bütün paslanmış kolonların sünekliği referans kolonuna göre artarken, Yang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada süneklikte azalma olmuş, Ma vd. (2012)’da ise belirli bir pas oranına kadar artış gözlemlenmiştir. Bundan dolayı hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak paslandırılmış betonarme elemanları için donatı pas oranlarının etriye ve boyuna donatı üzerinde dağılımının etkisi göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

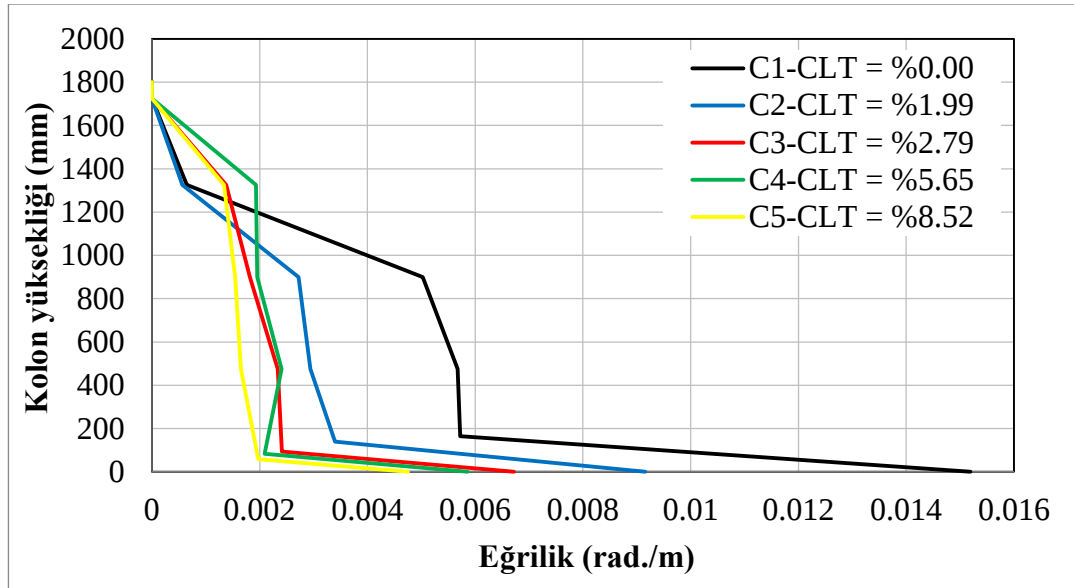
Tablo 5.1’de ve 5.2’de görüldüğü gibi dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise çekme ve basınç bölgesinde oluşan pas oranlarının bursiyeler tarafından dikkatle değerlendirilmesidir. Yapılan çalışmanın monotonik yüklemeye sahip olmasına karşın, gerekli olan korozyon oranları çekme ve basınç bölgesi için ayrı olarak elde etmişlerdir. Giriş bölümünde verilen ve mevcut literatürde geliştirilen modellerin tersinir - artımlı ve yer değiştirme kontrollü yükleme sonucunda elde edilmesi bu durumu çok daha önem kazanır hale getirmektedir. Kolonun tek bir yüzeyinden elde edilen pas oranlarının kullanılması ile yapılan modellerin korozyonun tersinir yük etkisi altında tüm yapı sistemini temsil edebilecek değerlerden uzaklaşılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle; yapılacak yükleme tipi ile ilgili olarak geliştirilecek modellerde hangi pas oranlarının göz önüne alınmasına iyi bir şekilde karar verilmeli ve tekrarlanır yükleme deney programları için numunelerin her iki doğrultudaki pas oranlarının donatı kupon testleri ile belirlenmesi gereklidir.

Monotonik yükleme ile betonarme kolonun basınç bölgesindeki betonun nihai birim kısılma değerini aşması ile göçme modu oluşmuştur. Çekme çatlakları kolon net açıklığı boyunca boyuna donatılarla aynı yönde meydana gelirken kesme çatlakları plastik mafsallık bölgesinde kolonların mesnetlenme türüne bağlı olarak temelden kolon yüksekliği boyunun yaklaşık kolonun yarısına kadar mesafede oluşmuştur. Paslandırılmış betonarme elemanlarının deprem performanslarının analitik yaklaşımlar ile tahmin edilebilmesine olanak sağlayan en yaygın yöntemlerden biri olan kesitteki plastik mafsallık özelliklerinin pas etkisi ile birlikte değiştirilmesidir.

Yalciner vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada paslanmış bir betonarme binasının zamana bağlı deprem performansının tahmin edilmesi için gerçekleştirilen çalışmada, korozyonun donatı mekanik özellikleri, aderans ve donatı sıyrılması neticesinde kesitteki ek dönme miktarı ve beton basınç dayanımındaki azalmalar göz önüne alınarak kesit plastik mafsalların değiştirilerek zaman tanım analizinin kullanılması ile deprem performansının belirlendiği bir çalışmadır. Mevcut literatürde paslandırılmış betonarme kolonların plastik mafsallık boylarındaki değişkenliğin betonarme donatısındaki korozyonun bir fonksiyonu olarak belirlenmesi için ampirik bir model olmadığından dolayı, yapılan çalışmada teorik olarak elde hesaplanan plastik mafsallık boyu kullanılmıştır. Monotonik yüklemenin plastik mafsallık oluşumu üzerine olan etkisi düşük

düzeylerdedir. Ancak tersinir yükleme programı ile sadece plastik mafsallık boyu değil plastik mafsallık bölgesinin de değerlendirilmesine daha doğru sonuçların elde edilmesinde katkı sağlayacaktır. Gelecekteki çalışmalara referans olması amacıyla kolonların güçlendirilmesi için yapılacak çalışmalarda sadece plastik mafsallık bölgesine odaklanmanın da doğru sonuçlar oluşturabileceği önerisinde bulunulabilir. Korozyonun betonarme kolonda çatlakların oluşumu üzerine en önemli etkenlerinden biride, yükün artmasıyla beraber paslandırma sırasında oluşan birincil pas çatlaklarının betonun çekme bölgesinde devam ederek genişlemesidir. Plastik mafsallık bölgesinde oluşan ve kolon boyunca donatıya paralel olarak meydana gelen çekme çatlakları, korozyon oranının artması ile birlikte yükün uygulandığı bölgeye doğru oluşmaya başlamıştır. Paslandırılmış kolonların hasar seviyeleri artan korozyon oranı ile giderek artmıştır.

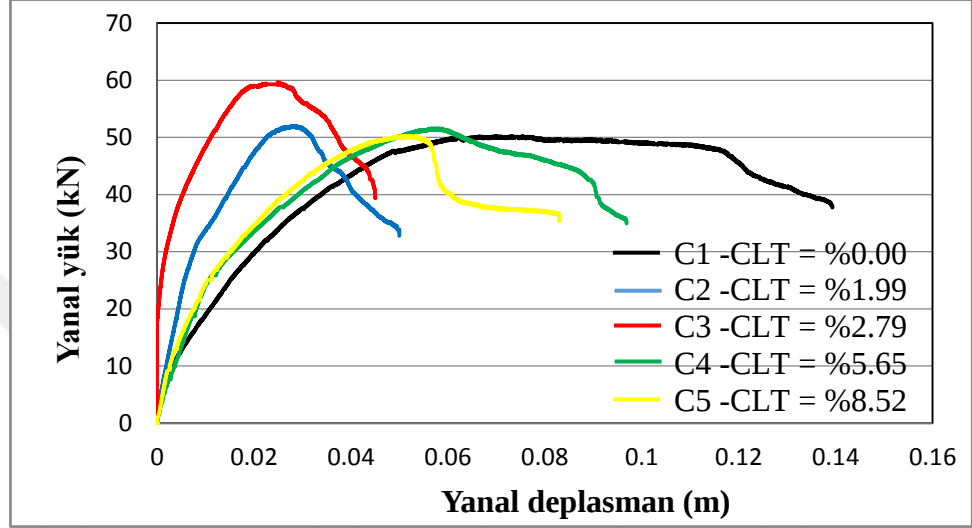
Betonarme kolonda uygulanan yanal maksimum yanal yük değerinin %85'ine karşılık gelen dönme açıları ve bu dönme açılarından elde edilen eğrilik sonuçları Şekil 5.5'de görülmektedir. Şekil 5.5'de görüldüğü üzere plastik mafsallık boyunun artan korozyon oranı ile birlikte azaldığı anlaşılmaktadır. Korozyona uğramamış C1 kolonu için hesaplanan plastik mafsallık boyu değeri 164.63 mm değerinde olup C2 , C3, C4 , ve C5 kolonlarında ise bu değer sırasıyla 139.42 94.18 82.95 ve 58.65 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Her bir betonarme kolon için hesaplanan kolon yükseklik-eğrilik ilişkisi.

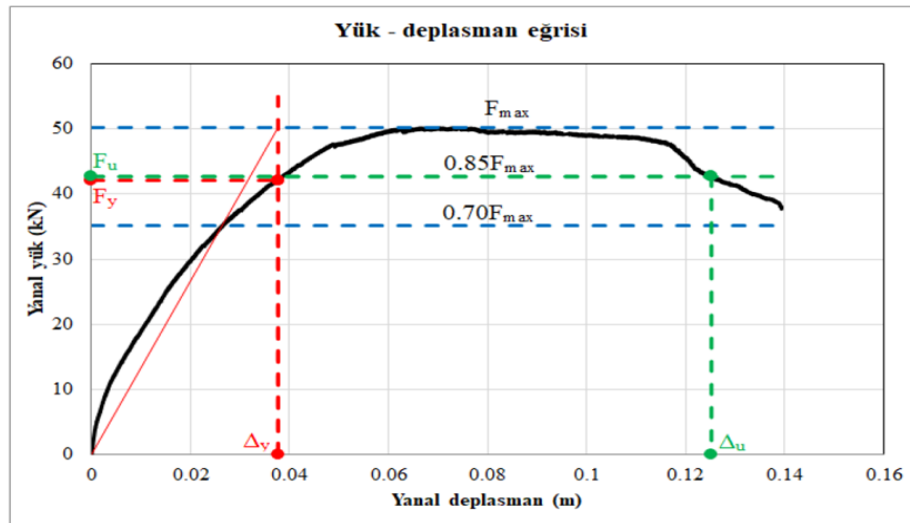
5.2. Yük-deplasman sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde deneylerin tamamlanmasıyla birlikte elde edilen değerler incelenmiştir. Yapılan monotonik yükleme deneylerinden sonra elde edilen kolon elemanlarının yük-deplasman ilişkileri beş adet betonarme kolonu için Şekil 5.6'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Her bir betonarme kolon için oluşan yük-deplasman ilişkisi.

Kolonların akma ve nihai yük dayanımları ve karşılık gelen yer değiştirmeler ölçülen yük-deplasman eğrilerinin ölçeklendirilmesi ile hesaplanmıştır (Sezen, 2000). Şekil 5.7' de sezen (2000) tarafından yapılan yük-deplasman modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Sezen (2000) idealize edilmiş yük-deplasman eğrisinin şematik gösterimi.

Bunun için yük-deplasman eğrisinin orijinden maksimum yanal yükün %70'ine karşılık gelen ve yük -deplasman eğrisini kesen ikincil bir çizgi çizilmiştir. Bu çizgi, aynı rijitliği sahip olarak maksimum yüke karşılık gelen yatay çizgi ile kesişme noktasına uzatılmış ve daha sonra akma noktasını elde etmek için kesişme noktası yatay eksen üzerine konulmuştur. Nihai yer değiştirmeler ise yanal yükün uygulanan en büyük yükün %85'ine karşılık ölçülen en fazla yer değiştirme olarak belirlenmiştir. Bu yöntem kullanılarak hesaplanan kuvvet-deplasman ve süneklik oranları Tablo 5.3'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 5.3. Deneysel sonuçları.

Kolon	F_y (kN)	F_u (kN)	Δ_y (m)	Δ_u (m)	μ	E (joule)	CL_L (%)	CL_S (%)	CL_T (%)
C1	42.10	42.71	0.04	0.13	3.32	5239.63	-	-	-
C2	44.05	44.19	0.02	0.04	2.14	1465.00	1.46	3.95	1.99
C3	46.14	59.65	0.01	0.02	2.88	1218.71	2.38	5.34	2.78
C4	42.61	49.06	0.03	0.07	1.98	2506.77	4.16	8.52	5.65
C5	42.03	50.31	0.03	0.05	1.67	1749.64	6.36	11.75	8.52

Şekil 5.6'de ve deney sonuçlarının özet olarak sunulduğu Tablo 5.3'de gösterildiği gibi, pas ürününün donatıda oluşturduğu gerilmeler sebebi ile belirli bir pas oranına kadar akma ve yük dayanımlarında artmaların olduğu gözlenmektedir. Bu artışlar aderans ile donatı sıyrılmasının toplam yer değiştirmeye olan katkısından dolayıdır. Deney sonucunda elde edilen veriler süneklik açısından bakıldığında ise artan pas oranı ile birlikte paslanmış kolonlarının süneklikleri azalmıştır. Belirli bir pas oranına kadar aderansın artmasına bağlı olarak paslanmış kolonların sünekliklerinde artmaların olması beklenmektedir. Ancak korozyonun oluşturduğu etkiler monotonik yükleme deneyleri sonucunda elde edilen grafiklerde görülmemektedir. Bu durumun sebebi ise betonarme kolonunun çekme bölgesinde oluşan birincil korozyon çatlaklarının yük artışı ile genişleyerek ilerlemesidir. Monotonik yükleme deneyleri sonucunda korozyona maruz kalmış betonarme kolonların süneklik oranlarının belirlenmesi için çalışma kapsamında yapılan model Denklem 5.1'de verilmiştir.

$$\frac{\mu_c}{\mu_o} = (1 + 0.046 \times CL_T - 0.29 \times CL_T^{0.5}) \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de μ_c paslı ve μ_o pasız kolonların süneklik oranlarını ve CL_T itme yönündeki donatı pas oranını belirtmektedir. Tablo 5.3’de görüldüğü üzere, korozyona maruz kalmış betonarme kolonların enerji emme kapasiteleri incelendiği zaman paslanmanın yapısal davranış üzerine etkisi açıkça görülmektedir. Düşük korozyon oranlarına kadar, toplam enerji yutma kapasitesinin arttığı ve yüksek korozyon oranları için azaldığı göz önüne alındığında, korozyonun yapısal davranış üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için yükleme programından elde edilecek hasar seviyelerinin belirlenmesi açısından faydalı sağlayacağı önerilmektedir. Korozyon oranına bağlı olarak azalan süneklik oranları ile C3 kolonuna ait elde edilen bu artışlar eşdeğer enerji yöntemi ile elde edilen bu farklılıklar kolonların rijitlik değerlerinden kaynaklanmaktadır. Monotonik yükleme deneyleri gerçekleştirilen kolonlardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmesi paslanmış kolonların enerji yutma kapasitelerinin belirlenebilmesi için Denklem 5.2’de verilen model yapılan çalışma kapsamında önerilmektedir.

$$\frac{E_c}{E_o} = (1 + 0.18 \times CL_T - 0.77 \times CL_T^{0.5}) \quad (5.2)$$

Denklem 5.2’de E_c paslı ve E_o pasız kolonların enerji emme kapasitelerini ve CL_T itme yönündeki donatı pas oranını belirtmektedir.

6. SONUÇLAR

Tam ölçekli bakır ile çevrelenmiş betonarme havuz kullanılarak korozyona maruz bırakılmış betonarme kolonlarının yapısal davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir. Paslandırma sürecinde elemanda servis yüklerinin varlığı donatı kesit kaybında fazladan bir değişime neden olmamaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmada servis yükü uygulanmadan korozyona maruz bırakılan numuneler için elde edilen değerler servis yükleri etkisi altında elde edilen veriler ile ilişkilendirilebilir.

Betonarme elemanlarının paslandırılmasına ilişkin yapılacak deneysel çalışmalarda Faraday Kanununa göre hesaplanan teorik korozyon oranının seviyesinin en az %5 olması durumunda betonarme elemanda paslanma sürecinin başlayacağı vurgulanmıştır. Betonarme yapılarda kesme kuvvetinin yanıl ötelenmeye etkisinin dikkate alınması veya ihmalini gerektiren durumlar için boyuna donatı ve etriyelerde meydana gelen korozyon oranlarının hassas bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Geliştirilecek modellerde boyuna donatılardaki korozyon oranları ile etriyelerdeki korozyon oranlarının kendi aralarında ilişkili olmaları gereklidir. Yalnızca boyuna donatılarda meydana gelen korozyon oranlarının dikkate alınması ile geliştirilecek modeller de, boyuna donatılarda ki ortalama korozyon oranı ile etriyelerdeki ortalama korozyon oranlarının ilişkili olması gerekmektedir. Yükleme türüne bağılı olarak numuneler de çekme ve basınç bölgeleri için ayrı ayrı belirlenebilecek korozyon oranlarının, geliştirilecek modellerde dikkate alınmasının önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Korozyon sonucu deprem parametrelerinde oluşun artma ve azalmaların eğilimleri göz önüne alındığında, hasar parametrelerine dayalı olarak betonarme yapıların performans seviyelerinde yapılacak değerlendirmelerin daha sağlıklı sonuçlar vereceğı düşünülmektedir. Kolon numuneler için devam eden çelişkili durumlara karşılık, başarılı olarak sonuçlandırılan kiriş modellerin mühendislerin kullanımına sunulması amacı ile deprem yönetmeliğine söz konusu çalışmaların ilave edilmesi önemle belirtilmektedir.

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.
- ASTM (American Standards for Testing and Materials). (2008) “Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products”, **A370-08a**, **West Conshohocken**, PA.
- Amleh, L., and Ghosh, A. (2006) “Modeling the effect of corrosion on bond strength at the steel-concrete interface with finite-element analysis”, **Canadian Journal of Civil Engineering**, 33(6), 673-682.
- Auyeung, Y., Balaguru, P. and Chung, L. (2000). “Bond behavior of corroded reinforcement bars”, **Materials Journal**, 97(2), 214-220.
- Bazant, Z. P. (1979) “Physical Model for Steel Corrosion in Sea Structures Theory”, **Journal of the Structural Division**, PP. 1137-1153.
- Bicer, K., Yalciner, H., Pekrioglu, BA., and Kumbasaroglu, A (2018) “Effect of corrosion on flexural strength of reinforced concrete beams with polypropylene fibers”, **Construction and Building Materials**, 185, 574-588.
- Campione, G., Cannella, F., and Cavaleri, L. (2017) “Shear and flexural strength prediction of corroded RC beams”, **Construction and Building Materials**, 149, 395-405.
- Chung, L., Cho, SH., Kim, JHJ., and Yi, ST. (2004) “Correction factor suggestion for ACI development length provisions based on flexural testing of RC slabs with various levels of corroded reinforcing bars”, **Engineering Structures**, 26(8), 1013-1026.
- Coronelli, D., and Gambarova, P. (2004) “Structural assessment of corroded reinforced concrete beams: modeling guidelines”, **Journal of Structural Engineering**, 130(8), 1214-1224.

- 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.
- 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.
- Ersoy, U., ve Özcebe, G. (1998) “Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme”, *İMO Teknik Dergi*, pp. 1799-1827.
- 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.
- Guo, A., Li, H., Ba, X., Guan, X., and Li, H. (2015) “Experimental investigation on the cyclic performance of reinforced concrete piers with chloride-induced corrosion in marine environment”, *Engineering Structures*, 105, 1-11.
- Gulikers, J., 2005 “Theoretical considerations on the supposed linear relationship between concrete resistivity and corrosion rate of steel Reinforcement”, *Materials and Corrosion*, 56, No.6.
- Hanjari, KZ., Kettil, P., and Lundgren, K. (2011) “Analysis of mechanical behavior of corroded reinforced concrete structures”, *American concrete institute Structural Journal*, 108(5), 532-541.
- İYBDY Versiyon-IV. (2008) “İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği”, *Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İBB İmar Müdürlüğü, İstanbul*.
- Jnaid, F., and Aboutaha, RS. (2016) “Residual flexural strength of corroded reinforced concrete beams”, *Engineering Structures*, 119, 198-216.
- Lee, HS., Kage, T., Noguchi, T., and Tomosawa, F. (1999) “The evaluation of flexural strength of RC beams damaged by rebar corrosion”, *Proceeding of 8th International Conference, Durability of Building Materials and Components, Ottawa, Canada*, 321-330.

- Li, D., Wei, R., Xing, F., Sui, L., Zhou, Y., and Wang, W. (2018) "Influence of Non-uniform corrosion of steel bars on the seismic behavior of reinforced concrete columns", *Construction and Building Materials*, 167, 20-32.
- Liu, Y., and Weyers, RE. (1998) "Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures", *American concrete institute Structural Journal*, 95(6), 675-680.
- Ma, Y., Che, Y., and Gong, J. (2012) "Behavior of corrosion damaged circular reinforced concrete columns under cyclic loading", *Construction and Building Materials*, 29, 548-556.
- Meda, A., Mostosi, S., Rinaldi, Z., and Riva, P. (2014) "Experimental evaluation of the corrosion influence on the cyclic behaviour of RC columns", *Engineering Structures*, 76:112-23.
- O'Flaherty, FJ., Mangart, PS., Lambert, P., and Browne, EH. (2008) "Effect of under reinforcement on the flexural behaviour of corroded beams", *Materials and Structures*, 41(2), 311-321.
- Paul, SC., Babafemi, AJ., Conradie, K., and 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.
- Sezen, H. (2000) "Seismic behavior and modeling of reinforced concrete building columns", Doctor of Philosophy, *Engineering - Civil and Environmental Engineering*, University of California, Berkeley, 1-336.
- TDY (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- TS EN 206-1 (2002) "Beton-Bölüm 1: Özellik. Performans. İmalat ve Uygunluk", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS500 (2000). "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 1247. (1985) "Mixing. Placing and Curing of Concrete. Turkish Standards", *Turkish Institution*, Ankara, Normal weather conditions.

- 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., Sensoy, S., and Eren, O. (2015) “Seismic performance assessment of a corroded 50-year-old reinforced concrete building”, ***Journal of Structural Engineering*** 141(12), 1-11.
- 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”, ***Journal of Structural Engineering***, 121, 319-327.
- Yuan, Y., Zhihua, C., Zhongwei, Z. and Xiaoke, L. (2017) “Axial compression performance of steel box columns with different strengthening schemes”, ***International Journal of Steel Structures***, 17, pp 367-378.

EKLER

EK.1: Betonarme kolonlarının yükleme deneylerinden sonra kırılarak donatıların ıkartılması.

C30 Betonarme kolonları

C2



C3



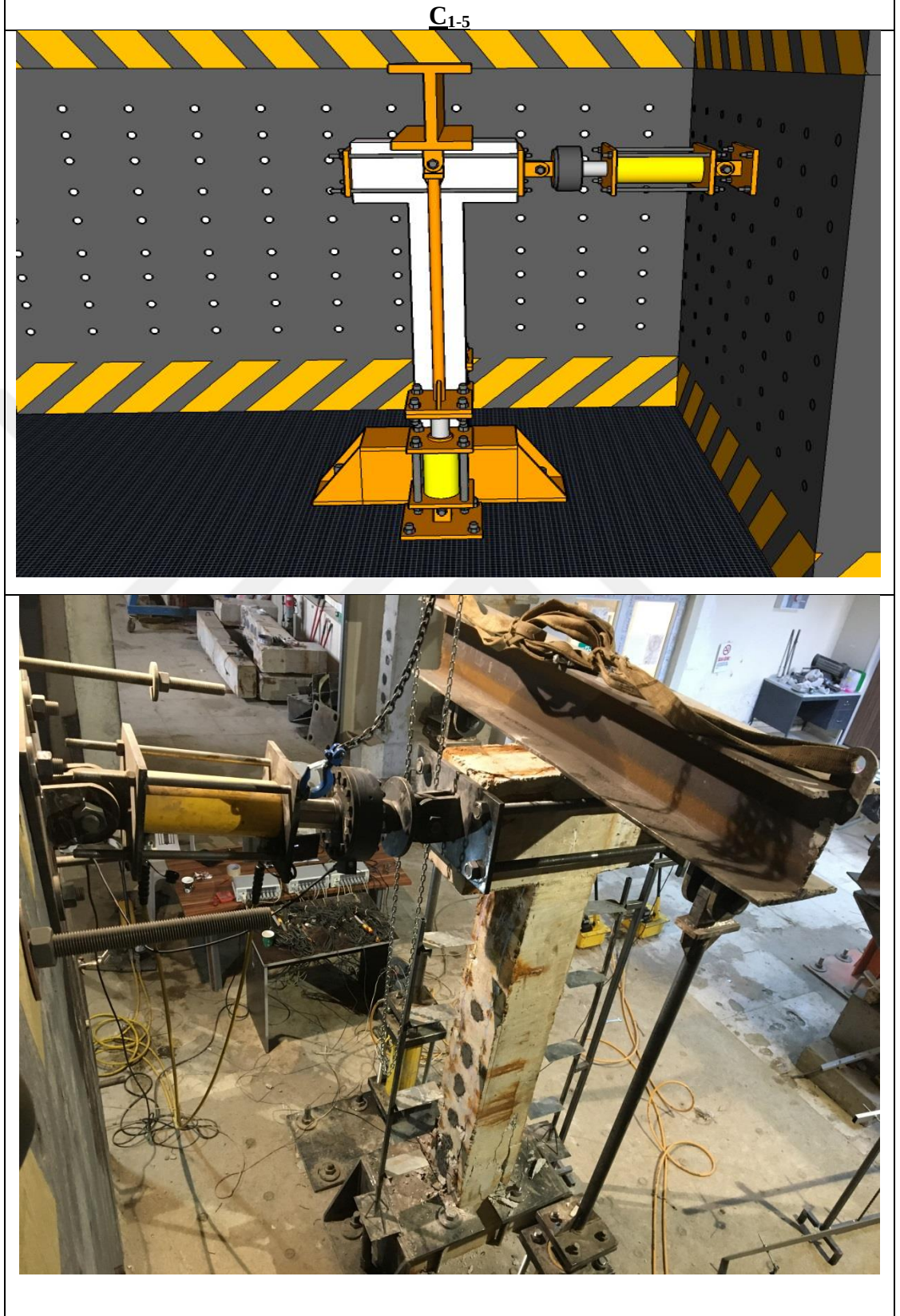
C4



C5



EK.2: Betonarme kolonlarında kullanılan yükleme sistemi.



EK.3: Betonarme kolonları yükleme sonrası hasar desenleri.

C30 Betonarme kolonları

C1 ($N/A_c \cdot f_{ck} = \%20$, $CL = \%0$)	
İtme Yönü	Çekme Yönü
	
Kolon Sol Yan Yüzeyi	Kolon Sağ Yan Yüzeyi
	

C2 ($N/A_{c.f_{ck}} = \%20$, $CL_L: \%1.47$, $CL_S: \%3.95$)	
İtme Yönü	Çekme Yönü
	
Kolon Sol Yan Yüzeyi	Kolon Sağ Yan Yüzeyi
	

C3 ($N/A_c \cdot f_{ck} = \%20$, $CL = CL_L: \%2.38$, $CL_S: \%5.34$)	
İtme Yönü	Çekme Yönü
	
Kolon Sol Yan Yüzeyi	Kolon Sağ Yan Yüzeyi
	

C4 ($N/A_c \cdot f_{ck} = \%20$, $CL_L: \%4.16$, $CL_S: \%8.52$)	
İtme Yönü	Çekme Yönü
	
Kolon Sol Yan Yüzeyi	Kolon Sağ Yan Yüzeyi
	

C5 ($N/A_c \cdot f_{ck} = \%20$, $CL_L: \%6.36$, $CL_S: \%11.75$)	
İtme Yönü	Çekme Yönü
	
Kolon Sol Yan Yüzeyi	Kolon Sağ Yan Yüzeyi
	

EK.4: 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., 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**, 12(2), 695-713.
- 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

Rameen KOHİSTANİ, 1989 yılında Afganistan'ın Kapisa şehrinde doğdu. İlköğrenimini Deh kepak ilköğretim okulunda, lise eğitimini Naderia Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında üniversiteye giriş sınavında kendi şehrinde derece yaparak Kabul Üniversitesi İktisat bölümünü kazanmış bir sene bu bölümü eğitim hayatını sürdürmüş. Aynı yılda Üniversite giriş sınavında yüksek puan alma durumu olduğu için Türkiye devleti tarafından değerlendirilerek burslu öğrenci olarak Türkiye'ye gelmiştir. 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. 2012 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı sene Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yüksek lisans eğitiminin sürecinde TÜBİTAK 3501 (116M162) numaralı projesine dâhil olmuş ve halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.