

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PASLANMAYA MARUZ KALMIŞ BETONARME KİRİŞLERDE  
GEOGRİD KULLANIMININ SÜNEKLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

**İbrahim ERTUÇ**

**Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER**

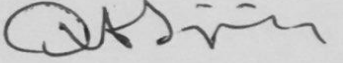
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN  
2019  
Her Hakkı Saklıdır.**

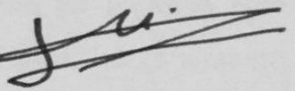
## Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Hakan YALÇINER danışmanlığında, İbrahim ERTUÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 26.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği (3) ile kabul edilmiştir.

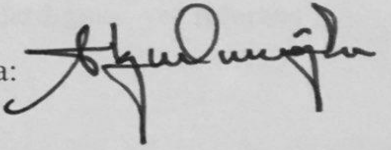
Başkan : Doç. Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN

İmza: 

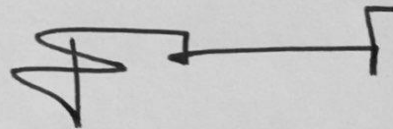
Üye : Doç. Dr. Hakan YALÇINER

İmza: 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 09 / 2019 tarih ve 36 / 6 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



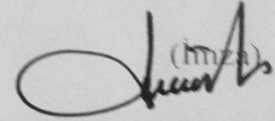
**Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY**  
Enstitü Müdürü

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

## Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“PASLANMAYA MARUZ KALMIŞ BETONARME KİRİŞLERDE GEOGRİD KULLANIMININ SÜNEKLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 25/06/2019



İbrahim ERTUÇ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **PASLANMAYA MARUZ KALMIŞ BETONARME KİRİŞLERDE GEOGRİD KULLANIMININ SÜNEKLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

İbrahim ERTUÇ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

Geo-grid sargılama tekniğinin etkileri paslanmış ve paslanmamış betonarme kirişlerinde deneysel bir çalışma ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın başlıca amacı geo-grid'in aderans-kayma ilişkisi, eğilme dayanımı, yük-deplasman ve çatlak desenleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Geo-grid sargılama tekniği her bir parametre için paslanmış ve paslanmamış geleneksel sargı tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel program on adet betonarme kirişinin iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı farklı pas oranları ile oluşturulmuştur. Betonarme donatılarının paslandırılması için deney numuneleri hızlandırılmış korozyon yöntemine maruz bırakılmıştır. Bunun için tam ölçekli bir paslandırma havuzu inşa edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise geo-grid sargılama tekniğinden farklı olarak; paslandırılmış geleneksel betonarme elemanlarının davranışları sargı ve boyuna donatılarındaki gerçek pas oranlarının katkısı göz önüne alınarak tartışılması amaçlanmıştır. Sargı ve boyuna donatılardaki gerçek pas oranlarının hesaplanabilmesi için tüm betonarme kirişleri yüklemeye kadar kırılarak beton içerisinden betonarme donatıları çıkartılmış ve gerçek pas oranları hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçları geo-grid malzemesinin paslanmış geleneksel donatılarla dahi karşılaştırıldığında performanslarının çok düşük olduğunu göstermiştir. Mevcut literatürde geo-grid malzemesinin alternatif bir sargı donatısı olarak kullanılabilmesine ilişkin önerilerin deneyi gerçekleştirilen numunelerin ölçekli olması ve bundan dolayı eğilme kapasitelerinin sınırlı olması ve deney numunelerinin donatısız betonarme elemanları ile karşılaştırılması ile sınırlı olduğu bulunmuştur.

**2019, 56 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme kirişleri, sargılama etkisi, pas.

## ABSTRACT

Master Thesis

### CONFINEMENT EFFECT OF GEO-GRID AND CONVENTIONAL SHEAR REINFORCEMENT BARS SUBJECTED TO CORROSION

İbrahim ERTUÇ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan YALÇINER

An experimental study was performed to examine the effect of geo-grid as a confinement for both corroded and non-corroded reinforced concrete beams. The main aim of the present study was to investigate the effect of geo-grid on bond-slip relationships, flexure strength, load-deflection and crack patterns for non-corroded and corroded reinforced concrete beams. For each parameter, geo-grid confining technique was compared with conventional confining technique used in the case of non-corroded and corroded reinforced concrete beams. The experimental program consisted of testing ten reinforced concrete beams for two different confinement techniques used with different levels of corrosion. Test specimens subjected to accelerated corrosion method to corrode the reinforcement bars. For doing this a full scaled of an accelerated corrosion pool was constructed. At the second stage of the study; different than confinement techniques provided by geo-grid, the contribution of the total achieved amount of corrosion levels from shear and longitudinal reinforcement bars of conventional designed reinforced concrete beams on the structural behavior was aimed to be discussed. All reinforced concrete beams were crushed after loading to calculate the actual corrosion levels at shear and longitudinal reinforcement bars by extracting the reinforcement bars from concrete. Obtained results indicated that the performance of the geo-grid materials was very low compared to conventional used reinforcement bars even at the stage of corrosion. It has been found that the suggestion of using geo-grid as an alternative material as a confinement material in the available literature was limited with the limited bending capacities of tested specimens due to scaled specimens and comparisons of geo-grid which was made based on plain concrete.

**2019, 56 Pages**

**Keywords:** Reinforced concrete beams, confinement effect, corrosion.

## TEŞEKKÜR

Başta Rektörümüz Prof. Dr. Akın LEVENT'e Dekanımız Prof. Dr. AHMET BARAN'a çok değerli bilim insanı yüksek lisans tez danışmanı hocam, Sayın Doç. Dr. Hakan YALÇINER'e Sayın Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU'na, çalışmalarım da manevi desteğini hiç bir zaman esirgemeyen müstakbel hayat arkadaşım Zehra ERTUÇ'a , deneylerim esnasında yardımlarını esirgemeyen meslektaşlarım Arş. Gör. Mesut KÜÇÜK'e , Ahmet İhsan TURAN'a ve yakın arkadaşım Adem ÖZDEMİR'e şükranlarımı sunarım.

İbrahim ERTUÇ

Temmuz, 2019

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1. Geo- Grid Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	3
2.2. Korozyon Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar .....	4
<b>3. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>8</b>
3.1. Süneklik.....	8
3.2. Geo-Grid ve Kullanım Alanları .....	8
3.3. Korozyon.....	9
3.3.1. Hızlandırılmış korozyon.....	13
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>15</b>
4.1. Materyal .....	15
4.2. Yöntem.....	16
4.2.1. Eğilme deney düzeneği .....	26
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>29</b>
5.1. Elde Edilen Korozyon Oranları .....	29
5.2. Yük-Deplasman Sonuçları .....	34
5.3. Aderans-Sıyrılma ve Deney Sonuçları.....	41
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>56</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>57</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Korozyon Hücrelerinde Anot Ve Katot Reaksiyonları.....	10
Şekil 3.2. Demirin Sulu Ortamlardaki Korozyonu: (a) Asidik Ortamlarda Korozyon (b) Çözünmüş Oksijenin Oluşturduğu Korozyon.....	11
Şekil 3.3. Çukur Tipi Korozyon Hücresinin Oluşumu.....	12
Şekil 4.1. Tek Eksenli-Geo-Grid.....	15
Şekil 4.2. Kesit Özellikleri: (a) Geleneksel Betonarme Kirişi (b) Geo-Grid Sargılı Betonarme Kirişi.....	17
Şekil 4.3. Donatı Temizleme İşleri: (a) Bakır Temizleme Teli (b) Donatıların Bakır Tel İle Temizlenme İşlemi.....	18
Şekil 4.4. Donatıların Gruplandırılması Ve İsimlendirilmesi.....	19
Şekil 4.5. Kiriş Donatılarının Tartılması.....	19
Şekil 4.6. Bağlanan Kiriş Donatıları Ve Taşıma Kancası.....	20
Şekil 4.7. Uzun Bırakılan Akım Verilecek Donatı, Bakır Tel Ve PVC Boru.....	20
Şekil 4.8. Betonarme Kirişler İçin Hazırlanan Kalıplar.....	21
Şekil 4.9. Betonarme Kirişlerin Beton Dökümü.....	21
Şekil 4.10. Betonarme Kirişlerde Paspayı Kullanımı.....	22
Şekil 4.11. Beton Prizi Ve Numunelerin Alımı.....	22
Şekil 4.12. Betonarme Kirişlerinin Kürlenmesi.....	23
Şekil 4.13. Paslandırma Düzeneği.....	24
Şekil 4.14. Gerinim Ölçerlerin Yerleştirilmesi.....	25
Şekil 4.15. Yerleştirilen Gerinim Ölçerlerin Tamir Harcı İle Kapatılması.....	26
Şekil 4.16. Yükleme Düzeneği.....	27
Şekil 4.17. Potansiyometrenin Yerleştirilmesi İçin Ahşap Plaka.....	28
Şekil 4.18. Potansiyometre Ve Gerinim Ölçer Şematik Görünüm.....	28
Şekil 5.1. Paslandırılmış Kirişlerinden Çıkarılan Donatılar.....	29
Şekil 5.2. Paslandırılmış Kirişlerden Çıkan Sargı Donatıları.....	30
Şekil 5.3. Donatı Temizleme İşleri: (a) Beton Kırım İşleri (b) Çıkarılan Örnek Donatı (c) Mekanik Temizleme İşleri (d) Kimyasal Temizleme İşleri.....	30
Şekil 5.4. Gerçek Ve Tahmini (Faraday) Korozyon Kütle Kayıplarının Karşılaştırılması.....	32



Şekil 5.5. Korozyon Dağılım Oranları: (a) Sargı donatıları (b) Boyuna Donatılar.....	32
Şekil 5.6. Paslanmamış Betonarme Kirişleri İçin Yük-Deplasman İlişkisi (Geo-Grid Ve Geleneksel Sargılama).....	35
Şekil 5.7. C1 ve G1 Betonarme Kirişleri İçin Çatlak Desenleri.....	35
Şekil 5.8. Grup C İçin Yük-Deplasman İlişkileri.....	36
Şekil 5.9. Grup G için Yük-Deplasman İlişkileri.....	38
Şekil 5.10. Yükleme Sonrası Hidrolik Pistonun Kaldırılmadığı C <sub>3</sub> , G <sub>3</sub> , ve C <sub>4</sub> Betonarme Kirişleri.....	40
Şekil 5.11. Yükleme Sonrası G <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> ve C <sub>4</sub> Betonarme Kirişleri.....	41
Şekil 5.12. Aderans-Sıyrılma İlişkisi.....	43
Şekil 5.13. Paslandırılan G <sub>4</sub> , C <sub>5</sub> ve C <sub>6</sub> Kirişlerindeki Çatlaklar.....	44
Şekil 5.14. Moment-Eğrilik İlişkileri.....	45
Şekil 5.15. G1 ve C1 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri.....	46
Şekil 5.16. G2 ve C2 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri.....	46
Şekil 5.17. G3 ve C3 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri.....	47
Şekil 5.18. G3 Detaylı Çatlak Desenleri.....	47
Şekil 5.19. G4 ve C4 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri.....	48
Şekil 5.20. C4 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri.....	48
Şekil 5.21. G5 ve C5 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri.....	49
Şekil 5.22. G5 ve C5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri.....	49
Şekil 5.23. C5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri.....	50
Şekil 5.24. G5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri.....	50

## TABLÖLAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 5.1. Gravimetrik Test Sonuçları.....	30



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

$\gamma_{st}$	Donatı Yoğunluğu
$a$	Metal Kayıp Faktörü
$C_L$	Korozyon Oranı
$D'$	Paslanmadan Sonraki Donatı Çapı
$D$	Donatı Çapı
$F$	Faraday Katsayısı
$I$	Akım Miktarı
$L$	Donatı Boyu
$I_{corr}$	Korozyon Akım Yoğunluğu
$P_r$	Penetrasyon Değeri
$t$	Saniye
$T$	Uygulanan Korozyon Süresi
$W_f$	Donatıların Paslanmadan Sonraki Ağırlığı
$W_i$	Donatıların Paslanmadan Önceki Ağırlığı

### Kisaltmalar

ASTM	Amerikan Test Ve Malzeme Kurumu
TS500	Türk Standartları Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılda uygulama alanı ve geliştirme alanı oldukça fazla olan betonarme, yeterli ölçüde planlanıp uygulandığında ekonomik açıdan, dayanıklı, yeterli dayanıma sahip ve istenilen şekilde üretilebilen en uygun yapı malzemesidir. Beton, servis ömrü boyunca gerek mekanik, gerekse de fiziksel ya da kimyasal yollarla hasar görür. Kullanım ömrü süresinde, betonun geçirgenliği sayesinde sıvı veya gaz girişi sonucu meydana gelen fiziksel ve kimyasal hasarlara karşı dirence betonun dayanıklılığı adı verilir. Diğer bir deyişle donma, çözülme, asit, sülfat, alkali agrega reaksiyonu ve klorür ya da karbonatlaşma etkisi ile korozyon gibi hasar mekanizmaları beton ve betonarme üzerinde etkilidir.

Deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümü betonarme yapı ve elemanlarının kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğini süneklik ile sağlamaktadır. Yapıda süneklik sayesinde yapının çok zorlanan kısımları yük taşımaya devam ederken meydana gelen şekil değiştirmelerle, daha az zorlanan kısımların yük taşımaya katkıda bulunması hedeflenmektedir. Etriye kullanımı betonarme yapılarda sünekliliğin sağlanması için gerekli olan en temel bilgilerden biridir.

Betonarme elemanlarının çekirdek alanının dayanımı sargı donatısının kullanımı ile artmaktadır. Kesme kuvvetlerini beton ile karşılamakta, teoride yansıtılmayan fakat gerçekte eğilme taşıma kapasitesinin artışına da katkı sağlamak ve eksenel yük altında betonun poisson etkisi ile oluşacak yanal deformasyonun kısıtlanması gibi önemli katkıları sargı donatıları için sıralanabilir. Bu parametreler dışında deprem etkisi ile oluşacak olan iç kuvvetler nedeniyle betonun katkısı dışında aderans dayanımına katkı sağlamaktır. Böylece donatı sıyrılma nedenleri ve buna bağlı olarak meydana gelecek ek yanal deplasmanların azalmasına katkı sağlaması açısından kesme donatısı kullanımı çok önemlidir.

Olası boyuna ya da kesme donatılarının paslanması ile parametreler olumsuz etkilenir. Yapı hedeflenen performans seviyesinden uzaklaşmasına ve yapının ön görülen servis süresinden önce yıkımına neden olabilmektedir. Aynı zamanda onarım/güçlendirilmesine neden olmaktadır. Kesme donatılarında yüksek pas oranının oluşması yapı elemanlarında gevrek kırılmaya neden olabilmektedir. Korozyon, beton ve çelik çubukların mekanik

özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin bir sonucudur. Betonarme yapılarda korozyon ile ilgili araştırmalar son yıllarda ekonomik ve sosyal açıdan büyük önem kazanmıştır. İnşaat sektöründe yeni malzeme ve tekniklerin kullanılmasına ilişkin araştırmalar geleneksel donatıların paslanmaya karşı dirençlerinin düşük olması sebebi ile artmıştır. Betonarme elemanlarında kullanımı yaygınlaşan geo-grid, bu malzemelerden biridir. Geo-grid malzemesinin kullanılmasına yönelik ilk çalışmalar bu malzemenin yapı temellerinde, istinat duvarında, kaldırımlarda ya da asfaltta kullanılması ile ortaya çıktığı mevcut literatürde gösterilmektedir. Ling ve Liu (2001) geo-sentetik malzemelerin asfalt katmanlarında kullanılarak çatlakların azaltılmasını; Shin ve Das (2000) yılında sürekli temellerde taşıma kapasitesinin geo-grid ile artırılması çalışması; Raymond ve Ismail (2003) yılında geo-grid'in bağlanmamış agregalar üzerine olan çalışması; Tang vd. (2008)'un zayıf kaldırımların geo-grid kullanımı ile güçlendirilmesi çalışması geo-grid'in kullanılması ile gerçekleştirilen mevcut çalışmalar olarak sıralanabilir. Geo-grid'in genellikle kaldırım ve asfalt elemanlarında kullanılmasının ardından bu malzemenin betonarme yapı elemanlarında kullanılması da ilgi odağı olmaya başlamıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Geo- Grid Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Itani vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada 150 mm genişliğinde, 50 mm kalınlığında ve 380 mm uzunluğunda betonarme kirişlerinde geo-grid malzemesinin çekme donatısı olarak kullanılmasına yönelik örnek çalışmalardan bir tanesidir. Yapılan çalışmadaki deney sonuçları donatısız betonarme döşemeleri ile karşılaştırılmıştır. Diğer bir çalışma Chidambaram ve Agarwal (2014) tarafından geo-grid'in çelik lifler ile kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarıdır. Yapılan çalışmada iki farklı geo-grid katmanı kullanılarak 100 mm genişlik ve yüksekliğe sahip; uzunluğu ise 500 mm olan 12 betonarme kiriş üzerinde geo-grid malzemesi çekme donatısı olarak kullanılmıştır. Itani vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi; Chidambaram ve Agarwal (2014) tarafından yapılan çalışmada da deney sonuçlarının donatısız elemanlar ile karşılaştırılması sebebi ile deney sonuçları geo-grid açısından oldukça olumlu yöndedir. Öyle ki; Chidambaram ve Agarwal (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada geo-grid kullanımı ile tasarlanan betonarme kirişlerinin enerji emilim değerleri donatısız kirişlere göre 10 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ancak deney sonuçlarının donatısız elemanlar ile karşılaştırılması sebebi ile birtakım soru işaretlerini de beraberinde getirmektedir. El Meski ve Chehab (2014) geo-grid kullanımının betonarme kirişlerinin eğilme taşıma gücünün saptanmasına yönelik çalışmalarında farklı desenli geo-gridler çekme donatısı olarak kullanılmıştır. Toplamda 21 adet betonarme kirişi üzerinde yapılan çalışmada betonarme kirişlerinin boyutları 150x150x530 mm olarak ele alınmış ve deney sonuçları diğer çalışmalarda olduğu gibi donatısız elemanlar ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut literatürde geo-grid'in yapı elemanlarında kullanılmasına yönelik öneriler daha önce çalışılmamış bir parametrenin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Geleneksel olarak kullanılan sargı donatıları kesme kuvvetlerini beton ile karşılamasının yanında özellikle donatı sıyrılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda bu parametre göz ardı edilmiş ve elde edilen sonuçlar donatısız elemanlar ile karşılaştırılmıştır. Chidambaram ve Agarwal 2015 yılında yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise geleneksel sargı donatısı yerine geo-gridin çelik fiber ile kullanılmasına dayalı deneysel bir çalışmadır. Yapılan deneysel çalışmada 100 x 150 x 1000 mm boyutlarında 24 adet betonarme kirişi eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan

çalışmada geo-grid'in çelik lif ile kullanılması ile birlikte göçme mekanizmasının gevrek davranış dan sünek davranışa dönüştüğü şeklinde vurgulanmıştır. Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından yapılan çalışmada salt geo-gridlerin sargı donatısı olarak kullanılmasına yönelik bir sonuç bulunmamaktadır. Yukarıda bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından yapılan çalışmada da aderans-kayma, moment-eğrilik ilişkileri çelik lifli ve çelik lifsiz geo-grid sargı donatıları için değerlendirilmemiştir.

Literatürdeki mevcut çalışmalarda geo-gridin aderans kuvveti ve donatı sıyrılması üzerine etkisi henüz araştırılmadığından dolayı geo-grid sargılama malzemesi olarak kullanılmasına yönelik eksiklik devam etmektedir. Bundan dolayı geo-grid malzemesinin kullanıma yönelik öneriler özellikle deprem etkisi altındaki betonarme elemanlarının davranışlarının tanımlanmasında birtakım eksikleri beraberinde getirmektedir. Bunlara ek olarak geo-grid malzemesinin kullanımı ile gerçekleştirilen çalışmalarda çatlak desenleri hakkında çelişkiler yer almaktadır (örneğin: Itani vd., (2016), Chidambaram ve Agarwal (2014)). Ayrıca bugüne kadar yapılan deneysel çalışmalardaki deney numunelerinin oldukça küçük olması ve buna bağlı olarak eğilme davranışlarının kısıtlı kalması sebebi ile gerçek yapı stoğunu yansıtamaması da ek bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

## **2.2. Korozyon Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar**

Bazant (1979) yaptığı çalışma ile korozyon pas hacminin, korozyonsuz donatı çubuklarının hacminden 2 ile 4 kat daha büyük olduğunu göstermiştir. Korozyon pas hacmi betonun çatlamasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda korozyon, betonarme yapıların süneklik oranında, yük taşıma kapasitesinde, aderans ve kayma mukavemetinde kayıplara neden olabilmektedir. Aderansda meydana gelen kayıp sonucunda, donatının gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile uyumlu olmamaktadır. Bu durum betonarme elemanın geleneksel tasarımı için şartnamelerde kullanılan kesit analizi geçerliliğini koruyamamasını göstermektedir. Betonarme donatısı korozyona bağlı kaldığı için beton yüzeyinde korozyon ürünleri basınç oluşturur. Bu radyal basınç kuvvetlerinden dolayı ise betonarme elemanın en-kesitinin özellikle pas payı kısmında korozyon çatlakları oluşmaktadır. Bu çatlakların ölçülmesi betonarme yapılarında yanıl deformasyon kapasitesi değerlendirmeleri açısından önemlidir. Bu

yaklaşım, yapının hizmet ömrü kaybının, korozyon seviyesinin ve buna bağlı eğilme kapasitesinin değerlendirilmesinde yaygın şekilde kullanılan bir mühendislik modelidir (Vidal vd., 2004; Torres- Acosta vd., 2007). Eksenel deformasyon kapasitesi değerlendirmeleri açısından ölçülen düşey deplasmanlar ve eğrilikler, korozyona maruz kalmış betonarme yapıların süneklik kaybını belirtmek için bazı araştırmacılar tarafından kullanılan başka bir modeldir (Capozucca ve Cerri, 2000; El Maaddawy vd. 2005; Malumbela vd., 2009). Korozyona uğramış betonarme kirişlerin yapısal dayanımını araştırmak için mevcut literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır. El Maaddawy vd. (2006) korozyonun; betonarme kirişlerinin nihai dayanımının azalmasına neden olduğunu ve bu azalmanın donatı kesit alanındaki azalmayla orantılı olduğu sonucuna deneysel çalışmaları sonucunda varmıştır.

Du vd. (2007) korozyonun; kiriş eğilme direncini azaltmasının yanında göçme modunu da değiştirdiğini belirtmiştir. Korozyona maruz kalmış betonarme kirişlerinin davranışları, deneysel çalışmalardan farklı olarak deneysel verilere dayanan farklı yöntem yaklaşımları (sonlu elemanlar yöntemi) ile incelenmeye başlanmıştır (Dekoster vd., 2003; Xiaoming ve Hongqian, 2012; Saether ve Sand, 2012). Aynı zamanda korozyona maruz kalmış betonarme donatılarının mekanik özellikleri de deneysel olarak araştırılmıştır (Saifullah, 1994; Palsson ve Mirza, 2002; Du vd., 2005).

El Maaddawy vd., 2005; Ahmad S. 2017; korozyona uğramış betonarme kirişlerinin taşıma gücü kapasitelerinin tahmin edilebilmesi için etriye donatısında oluşan korozyon oranını göz önünde bulundurarak geliştirilmiştir. Bu ampirik model korozyon akım yoğunluğuna bağlı olarak geliştirilmiştir. Fakat bunun yanı sıra sargı donatılarının korozyon etkisi altında taşıma gücü kapasitesine etkisi bulunmaktadır.

Korozyona uğramış betonarme kolonlarının sismik davranışlarının incelenmesi ve güçlendirme yöntemlerine yönelik çalışmalar son yıllarda üzerinde durulan güncel çalışmalardandır. Yapılan benzer çalışmalardan Ma vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada on adet daire kesitli paslandırılmış betonarme kolonlarının deneyleri tersinir yükleme etkisi altında gerçekleştirilmiştir. 0,15 ile 0,90 arasında değişkenlik gösteren eksenel yük oranı korozyon oranının artması ile artırılmıştır. Yükleme deneylerinden sonra elde edilen %0 ile %15,1 arasında değişkenlik gösteren gerçek korozyon oranları ortalama olarak elde edilmiştir. Ma vd. (2012)'ın yaptığı çalışmada üç adet ampirik model



geliştirilmiştir ve süneklik oranlarının ayrıca paslanmış betonarme kolonlarının akma ve nihai yük dayanımlarının tahmini için bu modeller kullanılmıştır.

Meda vd. (2014) tarafından paslanmış betonarme kolonları üzerine başkaca bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada etriyeler paslandırılmamıştır. Boyuna betonarme donatıları ise kolon boyunun üçte biri oranında paslandırılmıştır. Bu sayede sargılama etkisinin aderans dayanımına ve sonucunda aderans dayanımındaki kaybın toplamda yanıl yer değiştirmeye katkısı etriyelerin korunması ile birlikte ihmal edilmiştir. Faraday Kanununa göre teorik olarak hesaplanan korozyon oranı kolon boyuna %20 oranında olmaktadır.

Paslanmış betonarme kolonları üzerine gerçekleştirilen diğler bir çalışma ise Guo vd. (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmadır. Üç adet betonarme kolonu için yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eksenel yük oranı 0.10 olarak tespit edilmiştir ve betonarme kolonları tek eksenel yük için deneye tabi tutulmuştur. Korozyon oranları sırasıyla %5, %10 ve %15 olarak tasarlanmıştır. Guo vd. (2015) boyuna ve sargı donatılarındaki gerçek korozyon oranlarını hesaplayarak Ma vd. (2012) ve Meda vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalarından farklı bir çalışma ortaya koymuştur. Ortalama gerçek korozyon oranları %5,07 ve %15,24 arasında boyuna donatılarda; %11,20 ile %30,19 arasında etriyelerde değışkenlik göstermiştir.

Korozyon oranları %5, %10, %15 ve %20 olan 210×210×1500 mm boyutlarına sahip betonarme kolonları Yang vd. (2016) tarafından yük uygulanarak deneye tabi tutulmuştur. Betonarme kolonlarının 28 günlük beton basınç dayanımları 46,4 MPa olarak verilmiştir. Tek eksenel yük için deneye tabi tutulan betonarme kolonlarının eksenel yük oranı 0,18'dir. Yang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada iki ampirik model geliştirilmiş ve korozyon oranına göre paslanmış betonarme kolonlarının sünekliğı azalmış, belirli korozyon oranlarına kadar paslanmış betonarme kolonlarının sünekliğinin arttığı gözlenmiştir. Korozyonun sağladığı sargı etkisi ile diğler çalışmalarda farklılık göstermiştir. Ma vd., 2012; Guo vd., 2015; Li vd., 2018.

Li vd. (2018) tarafından korozyona maruz kalmış betonarme kolonlarının yapısal davranışlarının incelenmesi çalışması mevcut literatürde bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmada aynı kolonda paslandırılmış betonarme kolonların sismik davranışları için eşit oranlarda paslandırılmamış boyuna donatıların etkisi incelenmiştir. Tersinir artımlı yük etkisi altında dört adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonu için yükleme deneyleri

yapılmıştır. Kolonların 28 günlük küp beton basınç dayanımları 50,2 MPa olarak çalışmada verilmiştir. Eksenel yük oranları deney sonucunda 0,10 ve 0,30 olarak göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmada paslanmış betonarme kolonların yapısal davranışlarını tahmin etmeye yönelik bir model geliştirilmemiştir. Çalışmada deneye tabi tutulan her bir betonarme kolonunun süneklik oranları korozyon oranının artması ile birlikte artmıştır. Süneklik oranlarının deplasman bazlı bir yöntem ile hesaplanması buna neden olmuştur.



### **3. KURAMSAL TEMELLER**

#### **3.1. Süneklik**

Deprem etkisine maruz kalmış bir yapıda, depremin yapıya uyguladığı enerji ile yapının bu enerji gösterdiği tepki enerjisi yapının deprem etkisindeki davranışını belirler. Başka bir ifadeyle depremin yapıya gösterdiği enerjii sönmlemek için yapı davranışında birtakım kriterler yer alır. Yapının kinetik enerjisi, geri dönen elastik şekil değiştirme enerjisi, viskoz sönm enerjisi, geri dönmeyen histerik enerji. Bu kriterler yapının depreme karşı sistem davranışını belirlemektedir.

Yapıdaki sönm enerjisi, deprem etkisiyle gelen enerjiden büyükse, bu enerji, sönmle dengelenmektedir. Sönm enerjisinin deprem etkisi ile gelen enerjiden küçük olması durumunda ise aradaki fark histerik enerji ile dengelenir. Bu fark yapının sünekligi olarak tanımlanmaktadır.

#### **3.2. Geo-Grid ve Kullanım Alanları**

Geo-grid, geotekstilin alt ürünüdür. Ham maddesi petrol olan polyster bir üründür. Ürünün ana özellikleri yüksek çekme dayanımı ve düşük sünmesidir. Kare ya da dikdörtgen boşluklar oluşturularak örgü tipini andıran bir görünüme sahiptirler.

Geo-grid çift eksenli ve tek eksenli (uni-axial) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Çift eksenli geo-grid, her iki eksene de eşit özelliklere (çekme dayanımı) sahip olan türdür. Tek eksenli geo-grid (uni-axial) ise tek yönde ana hat, asıl çekme dayanımı sağlayan eksen olup; diğer yönde bağlayıcı görevini gören daha düşük çekme dayanımına sahip geotekstilden oluşmaktadır.

Geo-grid'in en yaygın kullanım alanı karayolu alt temelinde en iyi zemin iyileştirme yöntemi olmasıdır. Sürekli temellerde zemin taşıma gücünü etkileyen rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra zemin taşıma gücünü etkilediğinden en yaygın kullanılan alanlar havaalanı pistleri ve heyelan tehlikesi bulunan toprak tiplerine bohçalama yapılmasıdır. Ayrıca yine heyelan riski taşıyan bölgelerde yüzeye serilerek püskürtme beton yardımıyla istinat duvarı donatısı görevi görmektedir.

### 3.3. Korozyon

Korozyon olayı, metallerin çevresiyle kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyona girmesi sonunda özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Metaller doğada en serbest hal olan düşük enerji seviyesinde oksit ve sülfür bileşikleri olarak bulunur. Mineraller yüksek enerji verilmesi durumunda metal haline dönüşebilmektedir. Fakat bunun sonucunda aldıkları yüksek enerjiyi doğal hallerine dönebilmek için verme eğilimi göstermektedirler. Elektrokimyasal olaylarla gerçekleşen korozyon reaksiyonları metal-elektrolit ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Doğal sular, iyonik iletkenliğe sahip olan çözeltiler, zeminler ve beton elektrolit olarak korozyona neden olabilmektedirler. İçinde su buharı bulunan rutubetli hava da metal yüzeyinde yoğunlaşarak korozyona ortam oluşabilmektedir. Bu yüzden atmosferde meydana gelen korozyon olayları elektrokimyasal reaksiyonlar ile gerçekleşir. Aynı anda anotta oksidasyon, katotta redüksiyon halinde yürüyen iki reaksiyon korozyon olayını oluşturur. Metal oksidasyonu ile anotta meydana gelen korozyon olayında metal elektron vererek iyon halinde çözeltiliye geçer.



Korozyon olaylarında metal redüksiyon reaksiyonları bulunduğu ortamın koşuluna bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir. Doğal elektrolitler içinde yürüyen korozyon olaylarında katotta aşağıdaki reaksiyonlardan biri söz konusu olmaktadır. Asidik ortamlarda katot reaksiyonu hidrojen iyonu redüksiyonu ile gerçekleşir. Elektrolit pH derecesinin küçük olması hidrojen çıkışı için gereklidir.



Nötral ve çözülmüş oksijenin bulunduğu ortamlarda katot reaksiyonu su içinde çözülmüş olan oksijenin hidroksil iyonu haline dönüşmesi ile gerçekleşir.

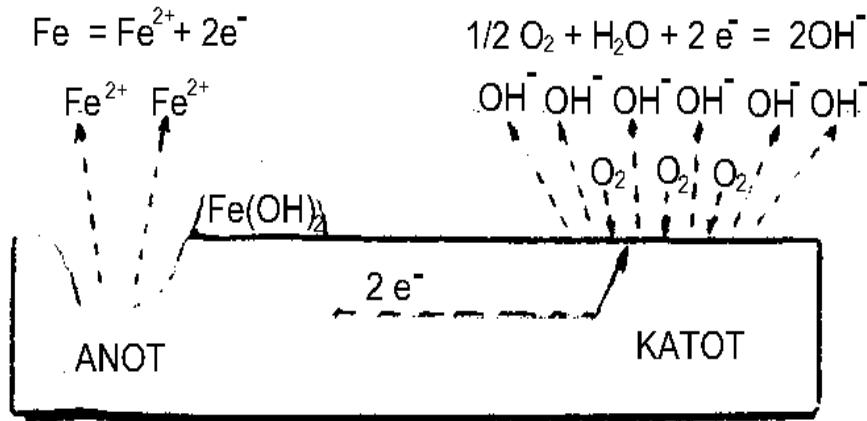


Genellikle pH 7'den yüksek olduğu için doğal sulardaki korozyon olayı (3.3) olduğu gibi oksijen redüksiyonu ile yürür. Doğal sular içinde çözülmüş iyonlar elektrolit rolü oynar. Metalin suyla temas eden yüzeylerinden bazı bölgeleri anot, bazı bölgeleri katot gibi davranır. Bu sayede büyüklükleri mikro ve makro olan korozyon hücreleri oluşur. Metal

bilişiminde safsızlık veya yüzey temizleme işlemleri ile oluşan çapak, kabuk veya çatlak bulunması korozyon hücrelerinin oluşması için yeterlidir. Elektrolitlerden yahut da metalden kaynaklanan heterojen yapı metal üzerinde bir potansiyel farkının oluşmasını sağlar. Korozyon hızının fazla olması anot ve katot arasındaki potansiyel farkının büyüklüğüne bağlıdır. Anot ve katotta ki reaksiyonlar Şekil 3.1.'de görülmektedir. İyon halinde anotta çözültüye geçen metal demir ise reaksiyon şu şekildedir:



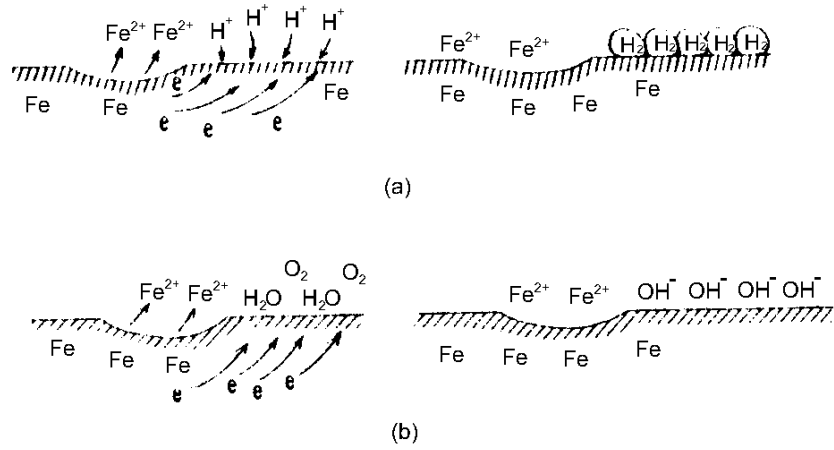
Katota aktarılan elektronlar indirgeme reaksiyonu ile kullanılır. Bu durum korozyon olayının devamını sağlar.



**Şekil 3.1.** Korozyon Hücrelerinde Anot Ve Katot Reaksiyonları

(<http://w3.gazi.edu.tr/~balbasi/page8.html>)

Fe<sup>2+</sup> iyonları asidik ortamlardaki korozyon olayında çözültüye geçer. Katotta ise hidrojen atomları H<sub>2</sub> molekülü halinde uzaklaşmaya çalışır.

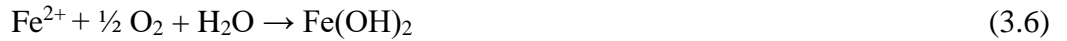


**Şekil 3.2.** Demirin Sulu Ortamlardaki Korozyonu (a)Asidik ortamlarda korozyon, (b) Çözünmüş oksijenin oluşturduğu korozyon (<http://w3.gazi.edu.tr/~balbasi/page8.html>)

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi çözünmüş oksijene sahip çözeltilerin anotunda iyonları açığa çıkar, katotunda hidroksil iyonları oluşur. Fe yüzeyinin yakınında birleşen iyonlar demir hidroksit halinde çökeler.



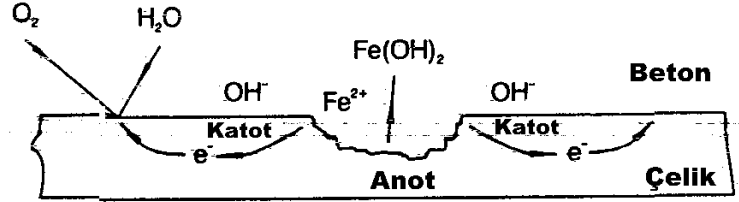
Oksijenli ortamda toplam korozyon reaksiyonu;



şeklinde olabilir.

Denklemlerde görüldüğü gibi korozyon olayının olabilmesi doğal sularda çözünmüş oksijen bulunması gerekmektedir. Anot ve katotta bulunan Fe<sup>2+</sup> ile (OH)<sup>-</sup> iyonları birleşir ve Fe(OH)<sub>2</sub> oluşarak metal yüzeyinde çökeler. Anot ve katot birbirine yakınsa oluşan çökelti yüzeyde kabuk oluşturur. Ve katot reaksiyonunun ayarladığı korozyon hızı bundan etkilenir yavaşlar, tamamen de durabilir. Oluşan kabuk korozyonun önlenmesi açısından önemlidir. Korozyon hızını metal yüzeyinde ince tabaka oluşturan kalsiyum karbonat da azaltıcı etki yapar. Metalin yüzeyindeki bölgelere oksijen aynı oranda temas etmeyebilir. Bölge oksijen oranı bakımından zenginse katot durumunda, oksijence fakirse anot durumunda olur. Bu sayede iki bölge arasında konsantrasyon pilini andıran korozyon hücresi oluşur. Bu hücrenin anotunda metal iyon haline geçerek korozyona uğrar. Katot bölgesinde ise korozyon olmaz, çünkü sadece redüksiyon reaksiyonları

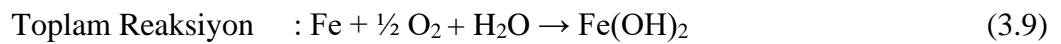
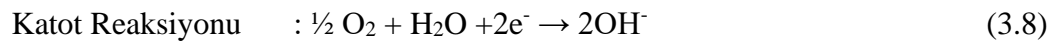
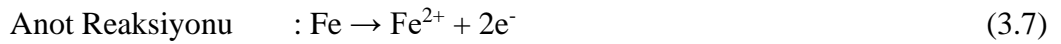
gerçekleşmektedir. İyonik iletkenlikleri zayıf olan ortamlarda mikro korozyon hücreleri kolayca oluşur. Buna ek olarak klorür iyonunun olması çukur tipi korozyon olayını oluşturur.



**Şekil 3.3.** Çukur Tipi Korozyon Hücresinin Oluşumu  
(<http://w3.gazi.edu.tr/~balbasi/page8.html>)

Çukur tipi korozyon hücresinde Şekil 3.3.' de görüldüğü gibi bir bölgenin anot olması yanındaki bölgelerin katot olması mikro korozyon hücresini oluşturur. Elektronlar anotta oluşarak katot bölgelerine taşınır. Demir, korozyonun olduğu anotta çözünerek demir iyonu haline gelir. Demir iyonu beton içindeki kalemli ortamdan dolayı hidroksit haline dönüşür. Ve metal üzerinde bir kabuk oluşturur. Ortamda klorür iyonu bulunmazsa demir hidroksit çözeltisi çukuru doldurur, korozyonun fazlalaşmasını engeller ve betonarme demirleri pasifleştir. Pasifleşme nedeniyle betonarme demirlerinde korozyon yavaşır.

Anot ve katotta eşdeğer zamanlarda oluşan yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları korozyon olaylarında korozyon hücrelerinin yürümesini sağlar. Elektrolitler doğal ortamlara aitse genellikle oksijen içermektedir. Bu durumda demir korozyona uğrar şu kimyasal reaksiyonlar ile pası oluşturur.



Korozyon sonucunda meydana gelen demir-2 hidroksit yeterli oksijen bulunması halinde oksitlenir ve demir-3 hidroksit denilen pas durumuna geçer.



Oluşan demir-3 hidroksit uygun koşullarda  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> halinde yüzeye yapışır ve demirin pasifleşmesini sağlar.

Reaksiyonlardan anlaşılacağı gibi doğal ortamda oksijen ve su korozyon olayları için gereklidir. Bunun yanı sıra anot ve katotta aynı anda gerçekleşen bir bağ olmalıdır. Anot ve katot reaksiyonlarından herhangi birinin engellenmesi korozyon olayının durmasına sebep olur.

### 3.3.1. Hızlandırılmış korozyon

Faraday Kanunu'na göre; Denklem 3.11'de t saniyeyi, I ise sistemden geçen akımı göstermektedir.

$$m = \frac{t(s) \times I(A) \times 55.847}{2 \times 96.487} \quad (3.11)$$

Sistemden geçen her bir saniyedeki akımın kayıt edilmesi ile birlikte hedeflenen kütle kaybı ve buna bağlı olarak tasarlanan paslandırma oranları elde edilebilmektedir. Her saniyede sistemden geçen akım, betonun heterojen yapısından dolayı aynı beton sınıfına sahip numuneler için eşit olmayabilir. Bu duruma karşılık, Faraday Kanunu'na göre sistemden geçen akımlar her 60 saniye için kaydedilip, hedeflenen pas oranına ulaşılması için gerekli süre hesaplandıktan sonra geçen süreç de dikkate alınarak sistemin belirlenen zamanında sonlandırılması şeklinde bir yol izlenmiştir. Paslanma oranının hesaplanmasında kullanılan Faraday Kanunu, çelik donatıların doğrudan elektrik akımına tabi tutularak geliştirildiği bir modeldir. Geliştirilen modelde çelik donatılar beton içerisinde olmadığından ve elektrik akımının verilmeye başlandığı andan itibaren paslanma meydana geldiğinden dolayı kütle kaybı doğru olarak ölçülebilmektedir. Ancak donatıların beton içerisinde olması durumunda, paslanmanın başlayabilmesi için belirli bir miktar enerji potansiyeline ve süreye ihtiyaç vardır. Bundan dolayı Faraday Kanunu'na göre teorik olarak hesaplanan pas oranları gerçek pas oranlarından her zaman daha fazladır.



Hedeflenen korozyon oranlarına daha yakın korozyon oranları elde etmek için Faraday Kanunu'na göre teorik olarak hesaplanan korozyon oranları daha önce Yalciner vd. (2012) tarafından geliştirilen ampirik model ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma kapsamında betonarme kirişlerindeki gerçek pas oranları, deneye tabi tutulan betonarme kirişlerinin eğilme deneylerinden sonra betonun kırılarak içerisindeki boyuna donatıların ve etriyelerin çıkartılıp kütlelerinin ikinci kez tartılarak hesaplanmasıyla elde edilmiştir. ASTM G1- 03 (2003) standardında belirtilen hem mekanik hem de kimyasal temizleme yöntemleri uygulanarak donatı yüzeyindeki pas ürünü kaldırılmış ve tüm donatılar ikinci kez tartılarak gerçek pas oranları elde edilen kütle kayıplarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Gerçek pas oranlarının hesaplanması için Denklem 3.12 kullanılmıştır:

$$Cl = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100 \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'de  $Cl$  korozyon oranını,  $W_i$  betonarme donatılarının paslanmadan önceki kütlesini,  $W_f$  ise paslanmış ve ardından pas ürünün kaldırılarak ikinci kez tartım ile elde edilen donatıların son kütlelerini ifade etmektedir.

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1. Materyal

Tez kapsamında donatı kafeslerini oluşturmak üzere TS500 (2000) standartlarına uygun S420 çelik donatıları kullanılmıştır. Kullanılacak donatılar tek seferde ayrıca bir üretimden temin edilmiştir. Deneylere başlamadan önce betonarme donatıları laboratuvar ortamında çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda mekanik özellikleri belirlenmiştir. Tez kapsamında kullanılan betonarme donatılarının mekanik özellikleri; akma dayanımı 490 MPa, kopma dayanımı 600 MPa, akma ve kopmadaki gerinim değerleri 0.00245 ve 0.0115 olarak hesaplanmıştır. Donatıların elastik modülü  $2 \times 10^5$  MPa olarak hesaplanmıştır. Tez kapsamında geleneksel sargı donatısı yerine kullanılan örnek geo-grid Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



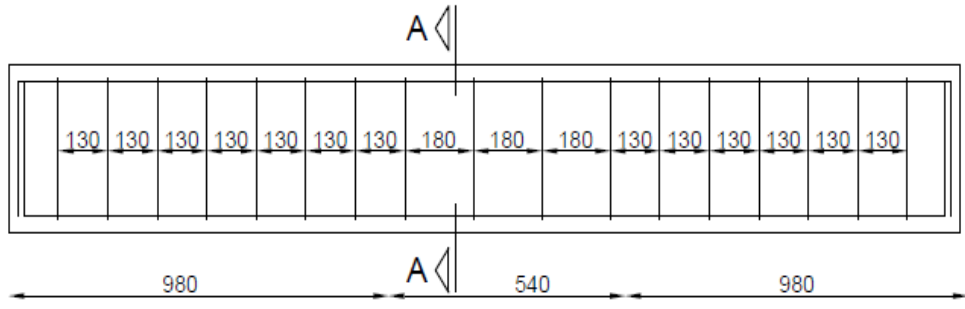
Şekil 4.1. Tek Eksenli Geo-Grid

Kullanılan geo-grid tek eksenlidir.(uni-axial geo-grid). Geo-gridlerin makine yönündeki çekme mukavemeti 110 kN/m dir. Yanal ötelemeyi önleyecek diğer yöndeki geo-gridlerin çekme mukavemeti 30 kN/m dir. Tez kapsamında kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri literatürde yer alan ve daha önce yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermesine dikkat edilmiştir. Geleneksel sargı donatısı yerine kullanılan geo-gridler bir adet geleneksel sargı donatısının kopma dayanımı karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Su yalıtımlı ply-wood kalıpları çalışma kapsamında kullanılmıştır. Beton döküm işleri aynı

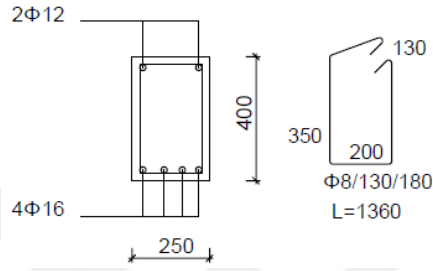
gün üretilmiştir. Ve aynı beton basınç dayanıma sahip C20 betondan üretilmiştir. Beton döküm işleri sırasında her bir betonarme kirişi için 6'şar adet 15x15x15 cm küp numuneleri alınmıştır. Bu numuneler betonarme kirişleri ile aynı ortamda muhafaza edilmişlerdir. Toplamda ise 90 adet küp numunelerinden 6 adeti 28 günlük beton basınç dayanımının tespiti için kullanılmış ve 25 MPa olarak hesaplanmıştır.

#### **4.2. Yöntem**

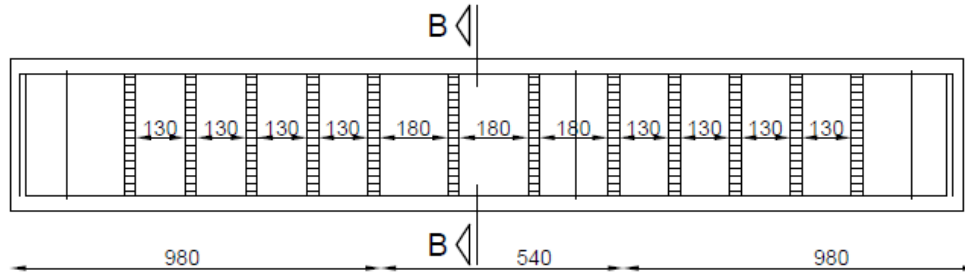
Tez kapsamında tüm betonarme kirişleri 94 kN.m eğilme momenti taşıma kapasitesine göre tasarlanmıştır. Şekil 4.2 'de geleneksel sargı donatısına ve geleneksel sargı donatısı yerine kullanılan geo-grid sarımlı betonarme kirişlerinin kesit özellikleri gösterilmektedir. Şekil 4.2'de betonarme kirişlerinin net açıklığı 2500 mm dir. Mesnet genişlikleri 30 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme kirişlerinin yüksekliği ve genişliği sırasıyla 400 mm ve 250 mm dir. Beton paspayı 25 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme kirişlerinde 4 adet nervürlü 16 mm çapında çekme donatısı ve 12 mm çapında iki adet basınç donatısı kullanılmıştır. Kesme donatılarının hesabı için TS 500 (2000) göz önüne alınarak, beton tarafından karşılanacak kesme dayanımı betonun çatlamaadaki kesme dayanımının 0.65'i kadar alınmıştır. Sürtünmenin kesme dayanımına katkısı mevcut çalışmada sargı donatılarının hesabında göz önüne alınmamıştır. Geleneksel sargı donatıları için 8 mm çapında iki kollu nervürlü etriyeler kullanılmıştır. Böylece sıklaştırma bölgesi için etriye aralığı 130 mm, açıklık bölgesi için 180 mm olarak hesaplanmıştır.



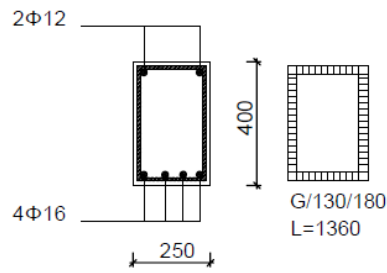
(a)



Kesit A-A



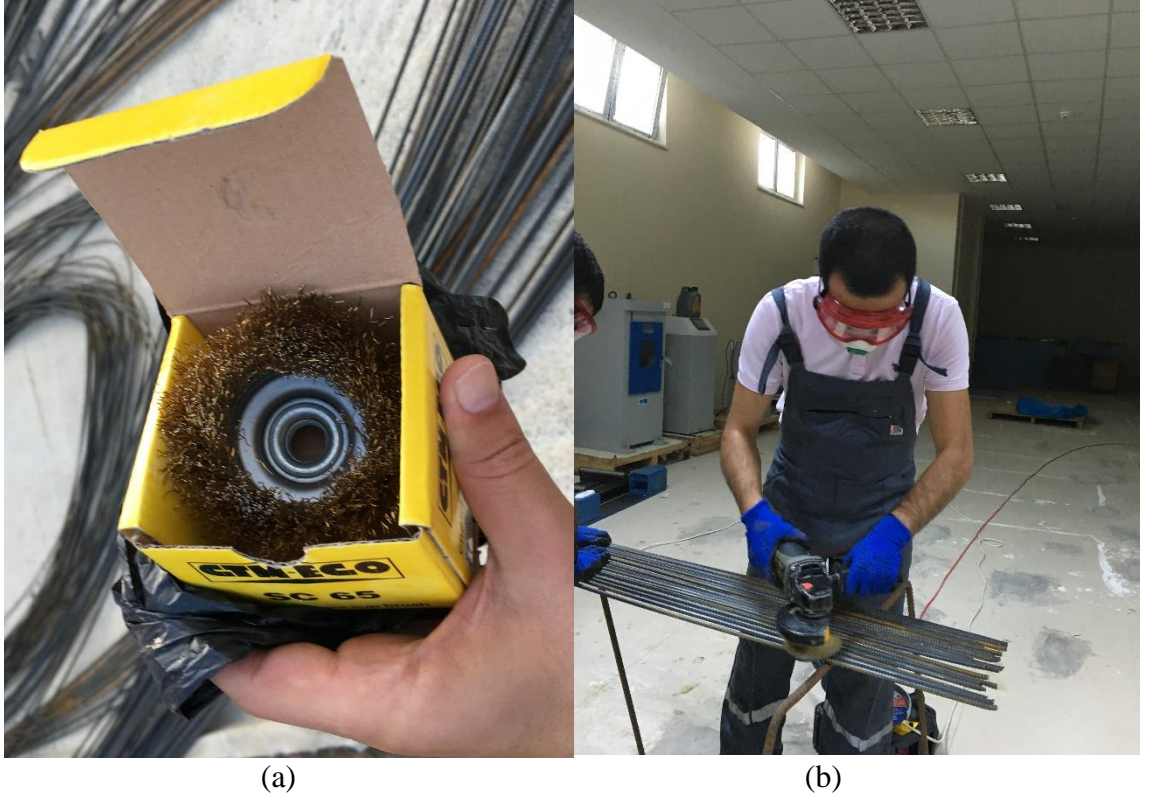
(b)



Kesit B-B

**Şekil 4.2.** Kesit Özellikleri: (a) Geleneksel Betonarme Kirişi (b) Geo-Grid Sargılı Betonarme Kirişi

Tasarlanan kirişlerin donatıları bağlanmak üzere hazırlıkları yapılmıştır. Ancak fabrika çıkışlı üzerinde pas tozları ve demir çentikleri görüldüğünden, paslandırma sürecinde yanlış veri elde etmemize sebep olacağından donatıları bakır tel fırça ile temizleme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.4 te görüldüğü gibi donatıların her biri üzerindeki tozdan ve pastan arındırılarak temiz bir şekilde donatıların bağlama işlemine geçilmiştir.



**Şekil 4.3.** Donatı Temizleme İşleri: (a) Bakır Temizleme Teli (a) Donatıların Bakır Tel İle Temizlenme İşlemi

Bağlanacak kirişlerin donatıları gruplandırılarak tartıma hazır hale getirilmiştir. Gruplandırılan kiriş donatıları her bir donatısına da sırasıyla isimlendirilerek kırımdan sonra tanınması için kolay hale getirilmiştir.



**Şekil 4.4.** Donatıların Gruplandırılması Ve İsimlendirilmesi

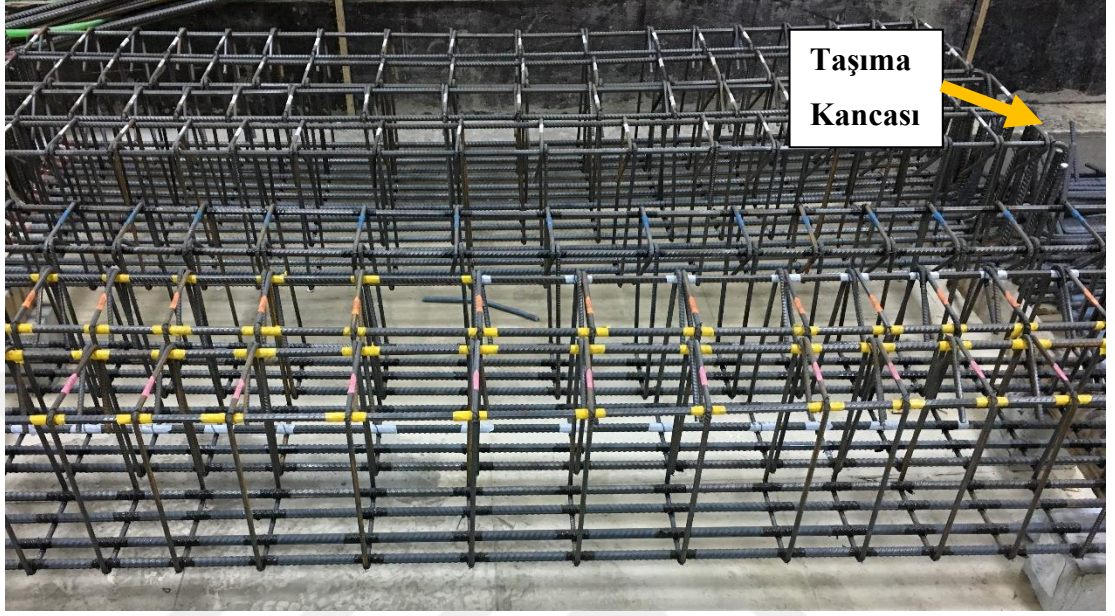
Tüm donatılar isimlendirildikten sonra iki yük hücreli 0.05 gr hassas terazide ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Kirişler hızlandırılmış korozyona maruz bırakıldıktan sonra donatılar tekrar tartılarak aradaki farkı çıkarmak amacıyla tartılmıştır.



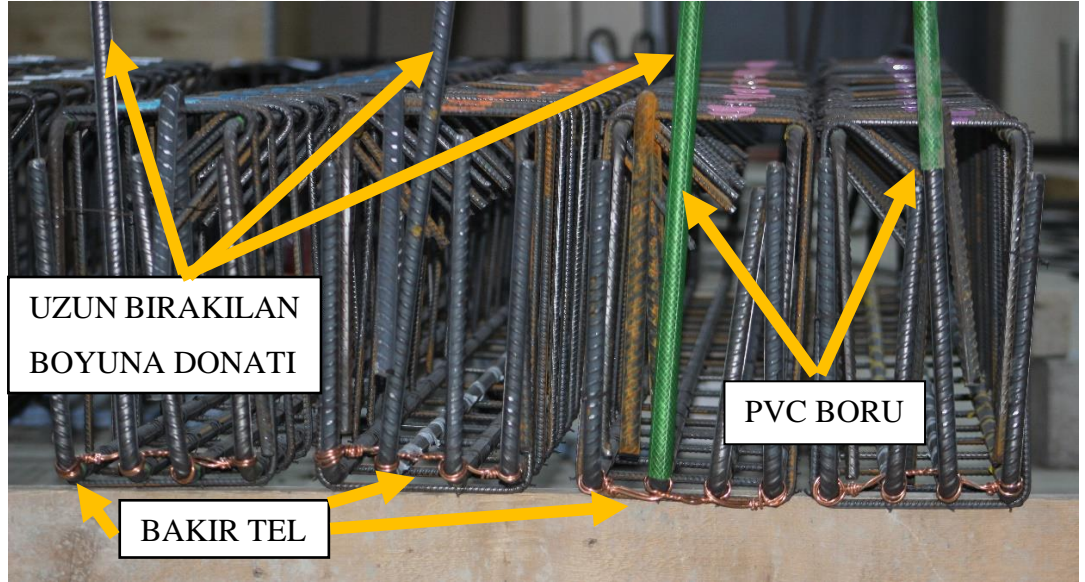
**Şekil 4.5.** Kiriş Donatılarının Tartılması

Mekanik temizlenmesi yapıldıktan sonra tartılarak kayıt altına alınan kirişler, düzenli bir şekilde inşaat teli ile bağlanmıştır. Kirişlerimizi beton dökümünden sonra taşımada kolaylık olması maksadıyla yükleme-boşaltma kancası da bağlanmıştır. Yükleme boşaltma kancasının korozyona ve eğilmeye herhangi bir etkisi yoktur. Hızlandırılmış korozyona maruz bırakacağımız kirişlerin havuz içinde birbirleri arasında elektrik iletimini sağlaması için donatılar birbirine bakır tel ile bağlanmıştır. Şekil 4.7 da

görüldüğü üzere Elektrik akımını vereceğimiz donatıyı uzun bırakıp (kirişten dışarda) PVC boru ile kaplayarak akımın en kısa yolu bularak havuz yüzeyinden kirişin içine girmeden terk etmesinin önüne geçildi.



Şekil 4.6. Bağlanan Kiriş Donatıları Ve Taşıma Kancası



Şekil 4.7. Uzun Bırakılan Akım Verilecek Donatı, Bakır Tel Ve PVC Boru

Yapılan çalışmada su yalıtımlı ply-wood kalıplar kullanılmıştır. Kiriş ebatlarında kesilen ply-wood kalıplar birleştirilerek hepsinin aynı anda homojen şekilde dökümü sağlanmıştır. Bu sayede düzgün yüzeyli kirişler elde edilmiştir. Beton döküm işleminden önce kalıpların içi kalıp yağı ile yağlanmıştır. Bu sayede kolaylıkla kalıplardan çıkarılmıştır. Şekil 4.8'de çalışmanın imalatında yapılan kalıp işleri gösterilmektedir. Kiriş donatıları kalıplara düzgün

ve kenarlarına eşit biçimde yerleşmesi için paspayı kullanılmıştır. Beton dökümü tek mikserden homojen şekilde yapılmıştır. Beton dökümü Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Kirişte kullanılan donatıların yüzeye uzaklıkları paslanmaya maruz bırakılacağından çok önemlidir. Şekil 4.10 da paspayları gösterilmiştir.

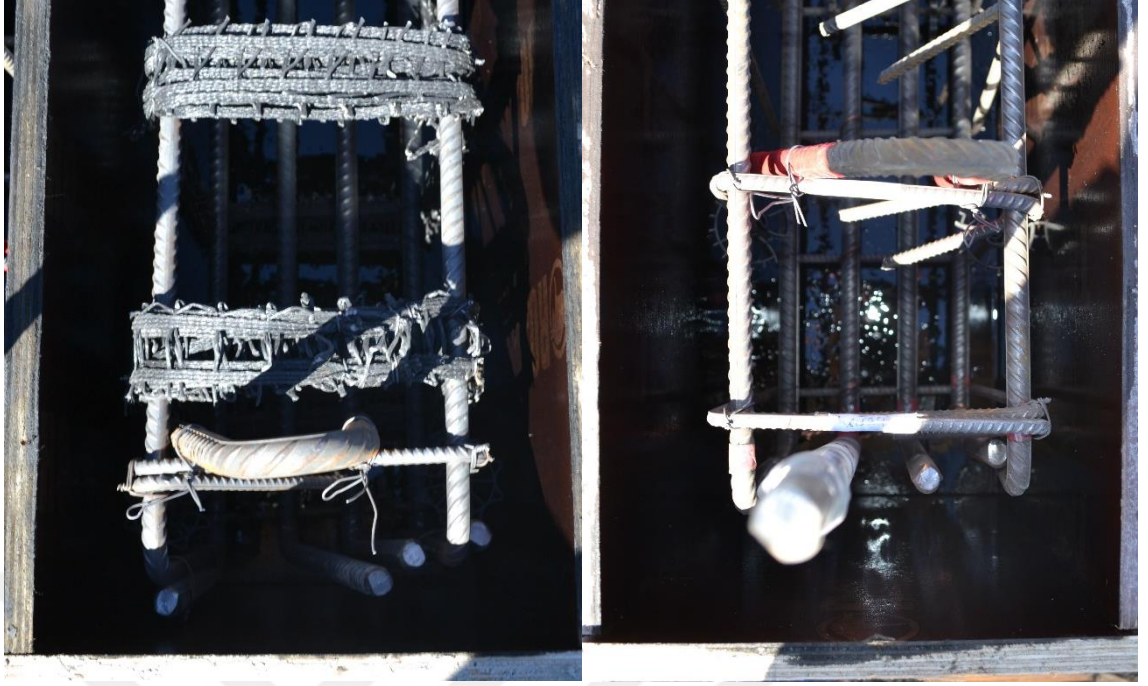


**Şekil 4.8.** Betonarme Kirişler İçin Hazırlanan Kalıplar



**Şekil 4.9.** Betonarme Kirişlerin Beton Dökümü





**Şekil 4.10. Betonarme Kirişlerde Paspayı Kullanımı**



**Şekil 4.11. Beton Prizi Ve Numunelerin Alımı**

Beton dökümü esnasında betonun kalıp içinde iyice sıkışması ve boşluklar oluşturmaması için beton vibratörü kullanılmıştır. Beton basınç dayanımlarını kesin bir şekilde tespit etmek için beton döküm esnasında 6 adet 150x300mm boyutlarında silindir numune ve 8 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Şekil 4.11’de beton

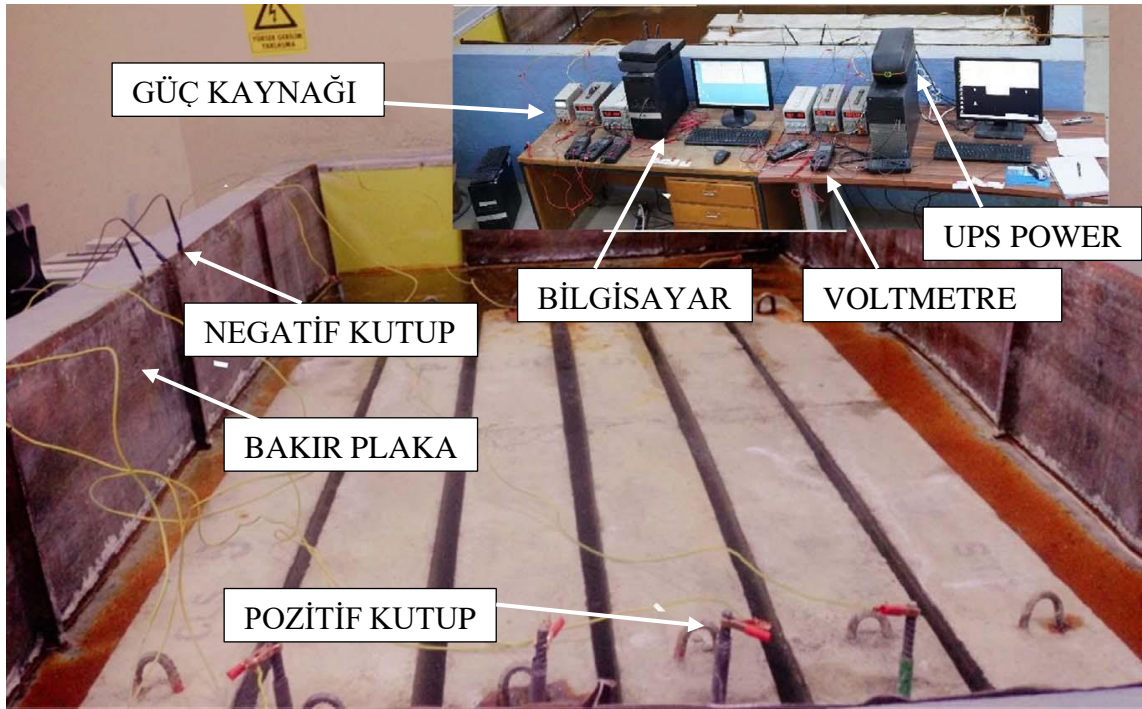
dökümü sırasından alınan küp numuneleri görülmektedir. Döküm işlemi tamamlanmış olan taze betonun su içeriği, çimento hidratasyonunun tamamlanabilmesi için uygun düzeydedir. Ancak beton dökümünün ardından geçen sürede hava şartlarından dolayı su kaybı olacağından betonun yeterli malzeme özelliklerine erişmesi için püskürtme şeklinde sulama yapılmıştır. Yeterince bakımı yapılmayan betonda mikro düzeyde olan çatlaklar zamanla genişler. Çatlağın oluştuğu bölgelerde ph seviyesinin düşmesine sebep olur bununla birlikte donatıda çukur korozyon oluşumu başlar. Bu yüzden beton dökümünden itibaren ilk 7 gün kürleme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.12’de kalıplardan çıkarılıp kür havuzuna yerleştirilen kirişler görülmektedir.



**Şekil 4.12. Betonarme Kirişlerinin Kürlenmesi**

Mevcut paslandırma havuzuna yerleştirilen kirişlerin 6’şar gruplar şeklinde yerleştirilmesi ve paslanmanın uzun süren zaman alabileceği göz önüne alınarak; havuz dışında kalan betonarme kirişlerinde zamana bağlı beton basınç dayanımlarındaki artışların olabileceği ihtimaline karşı tüm betonarme kirişleri paslandırma sürecinden önce ve beton dökümünden 28 gün sonra paslandırma havuzuna alınarak 28 gün boyunca betonarme havuzunda kürlenmeye bırakılmıştır. Böylece numuneler arasında zamana

bağlı beton basınç dayanımlarındaki artışların minimum seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir. Alınan küp numunelerde her bir paslandırma süreci tamamlanan kiriş ile birlikte kırılarak beton basınç dayanımlarındaki artışlar izlenmiştir. Küp numunelerinden yapılan beton basınç dayanımları sonucunda elde edilen artış miktarı oldukça düşük seviyelerde kalmıştır ve çalışma kapsamında ihmal edilmiştir. Beton dökümünden sonra 28 gün sonra kürlenme havuzunda kalan betonarme kirişlerinin beton basınç dayanımları 30 MPa olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.13.** Paslandırma Düzenegi

Şekil 4.13’de çalışmada en önemli rol oynayan paslandırma düzenegi gösterilmektedir. Şekil 4.13’de gösterilen güç kaynakları her kiriş için ayrı ayrı kullanılmaktadır. Güç kaynağının temel özelliği 0-60 volt ve 0-10 amper arasında ayarlanabilir olmasıdır. Güç kaynağı üzerinde devreye verilen akım yazmasına rağmen kayıplarda göz önünde bulundurularak ayrıca devreye voltmetre de eklenmiştir. Devreden geçen akımı kontrol altında tutmak ve bilgisayara kaydetmek için profesyonel voltmetre kullanılmıştır. Paslandırma düzeneginin bir diğer önemli unsuru olan havuz, elektrik iletkenliği daha iyi olması açısından tuzlu su ile doldurulmuştur. Bakır plakalar havuzun etrafını saracak şekilde yerleştirilmiştir. Bakır plakalar elektrik kaçağını önlemek ve akımın suya daha iyi aktarılmasını sağlamak için kullanılmıştır. Güç kaynağının artı kutbu kirişlerde bıraktığımız pvc boru ile kapladığımız donatıya bağlanmıştır. Eksi kutbu ise havuzun

etrafını çevreleyen bakır plakaya tutturulmuştur. Bu sayede eksi kutuptan artı kutba doğru tuzlu su üzerinden ve suyun içindeki kırışlerden geçen akım ile devre tamamlanmıştır. Voltmetreler bilgisayara bağılı oldukları için devre üzerinden geçen akımı her 60 sn de bir kaydetmektedir. Hızlandırılmış korozyon yöntemini ve hedeflenen korozyon oranının hesaplanma yöntemini Bölüm 3.3.1. de açıklanmıştır.

Kirişler hedeflenen düzeyde korozyona maruz bırakıldıktan sonra eğilme davranışlarını gözlemlene ve ölçme hazırlıkları yapılmıştır. Yapılan hazırlıklarda kırışlerde bulunan çekme donatılarının 2 tanesi Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi betonu kırılarak açılmıştır. Bu işlem sonrasında “Gerinim ölçer” donatı yüzeyinde oluşacak gerinimleri ölçen okuyucular yerleştirilmiştir. Okuyucuların kablolarına zarar gelmeyecek şekilde yerleştirdikten sonra tamir harcı ile kapatılmıştır.



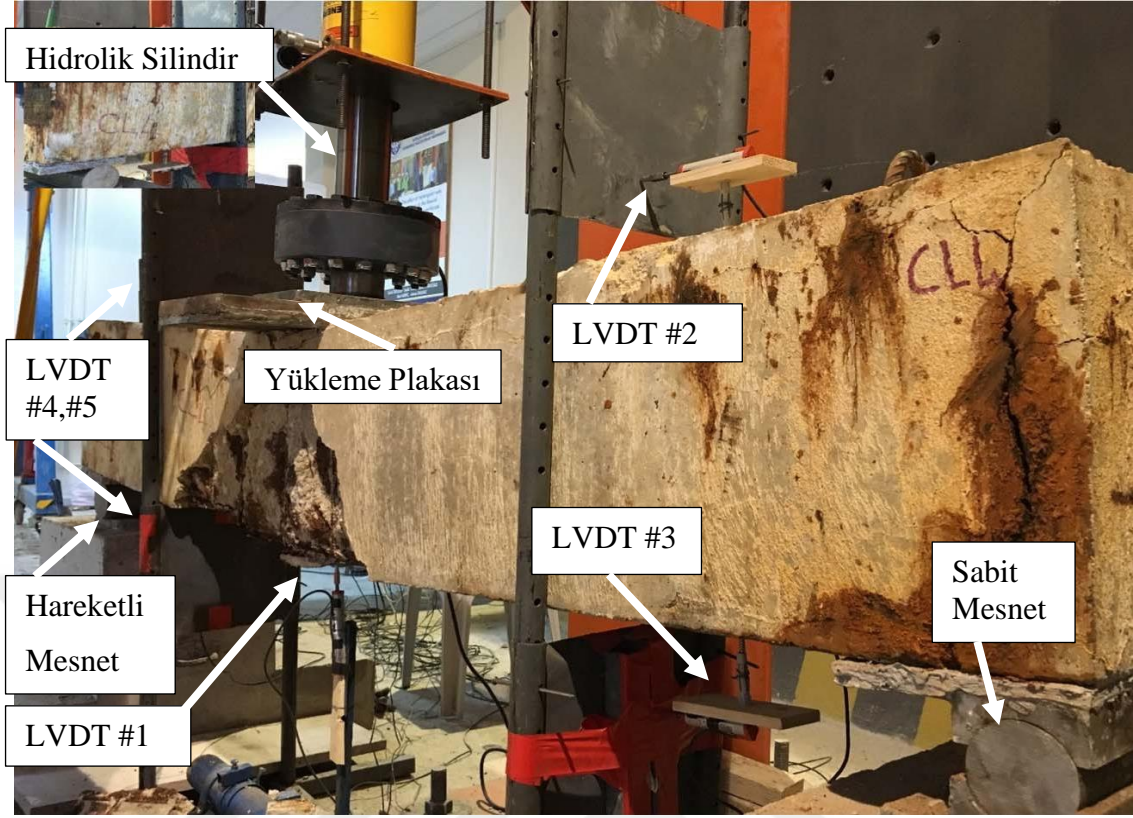
**Şekil 4.14.** Gerinim Ölçerlerin Yerleştirilmesi



**Şekil 4.15.** Yerleştirilen Gerinim Ölçerlerin Tamir Harcı İle Kapatılması

#### **4.2.1. Eğilme deney düzeneği**

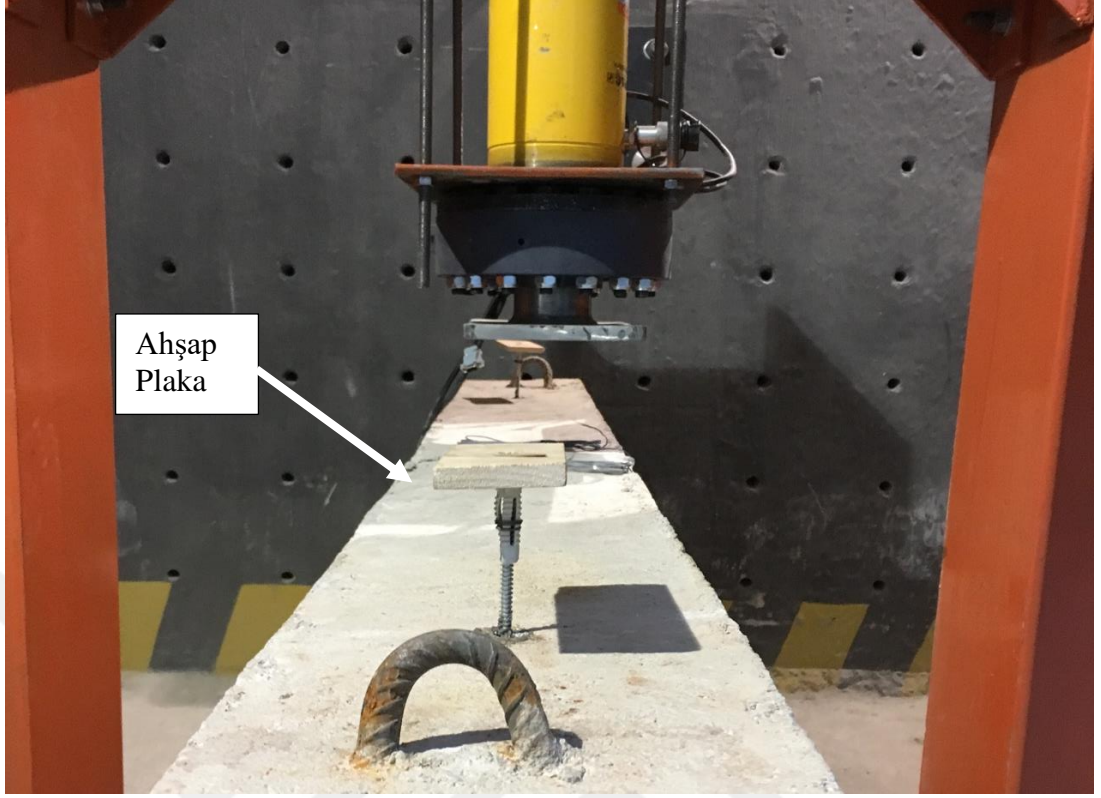
Betonarme kiriş numunelerine Şekil 4.16.'da görüldüğü üzere aynı ölçüm ve deney düzeneği uygulanarak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme yükü yükleme çerçevesine sabit 60 ton kapasiteli çift yönlü (basınç-çekme) çalışabilen hidrolik pompa yardımıyla sağlanmıştır. Uygulanan yükü 100 ton kapasiteye sahip yük hücresi deney düzeneğinin kirişe sarılmış olan kollarına aktaracak ve betonarme kiriş üzerinde eğilme momenti oluşturmuştur.



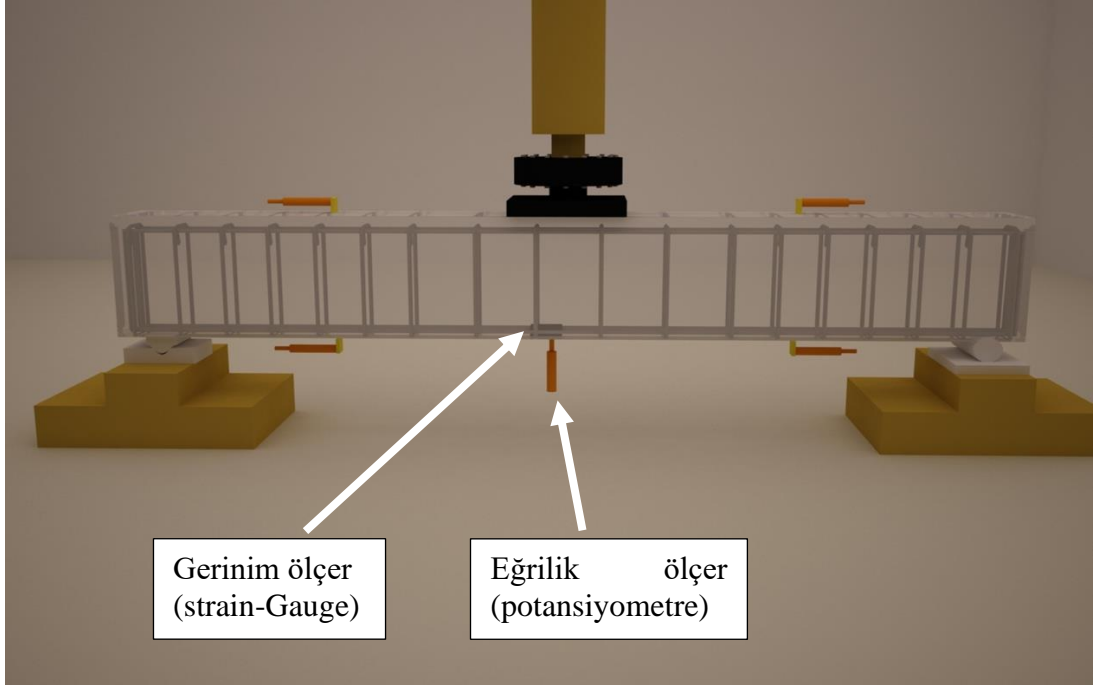
Şekil 4.16. Yükleme Düzeneği

Yükleme anında elde edilen veriler 8 kanallı veri toplama sistemi ve bilgisayar kullanılarak her saniye kaydedilmiştir. Eğilme deneyi sonucunda eğilme için uygulanan yük, birim dönme açısı ve birim uzama değerleri elde edilmiştir. Yük uygulanırken meydana gelen dönme açısı kiriş üzerine Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi potansiyometrenin yerleşmesi için ahşap plakalar vidalanıp epoksi yapılmıştır. Yerleştirilen Potansiyometrelerin karşılıklarına sağlıklı ölçümü gerçekleştirmesi için 4 adet metal plakalar yerleştirilip yükleme öncesinde dikkatlice kalibre edilmiştir. Bu sayede dönme açısı verileri toplanmıştır. Eğilme, birim uzama değerlerini ise kirişin altına yerleştirilen potansiyometrik lineer cetveller aracılığıyla elde edilmiştir.

Ayrıca betonarme kirişlerdeki Şekil 4.14. te gösterildiği gibi çekme donatılara gerinim pulları yapıştırılarak birim şekil değiştirme değerlerinin ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.17. Potansiyometrenin Yerleştirilmesi İçin Ahşap Plaka



Şekil 4.18. Potansiyometre Ve Gerinim Ölçer Şematik Görünüm

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1. Elde Edilen Korozyon Oranları

Betonarme kirişleri yükleme deneylerinden sonra kırılarak tüm donatılar beton içerisinden çıkartılmıştır. Daha önce kodlamaları yapılan donatılar aynı şekilde ikinci tartım için hazır hale getirilmiştir. Donatı tartımından önce tüm betonarme kirişleri görsel tespit yoluyla incelenerek olası noktasal paslanmalar ve donatı kopmaları kayıt edilmiştir. Betondan kırılarak çıkartılan donatılar ASTM G1-03 (2003) yönetmeliğine göre önce mekanik ardından kimyasal temizleme maruz bırakılmıştır. Mekanik temizleme için tel fırçalar ile donatı yüzeyinde kütle ölçümü etkileyecek tüm beton parçaları temizlenmiştir. Kimyasal temizleme için alüminyum bir havuz inşa edilmiş ve içerisinde su ağırlığının %5'i kadar hidroklorik asit barından su havuzuna batırılarak donatı yüzeyindeki pas ürünleri kaldırılmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2' de betonarme kirişlerinden çıkartılan ve ardından mekanik ve kimyasal donatı temizlemenin uygulama aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Paslandırılmış Kirişlerinden Çıkarılan Donatılar





Şekil 5.2. Paslandırılmış Kirişlerden Çıkan Sargı Donatıları



Şekil 5.3. Donatı Temizleme İşleri: (a) Beton Kırım İşleri (b) Çıkarılan Örnek Donatı (c) Mekanik Temizleme İşleri (d) Kimyasal Temizleme İşleri

Mekanik ve kimyasal temizlemenin ardından tüm boyuna donatılar ve etriyeler tekrardan tartılarak elde edilen gravimetrik test sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir. Tablo 5.1.'de elde verilen gravimetrik test sonuçları; Faraday kanununa göre (teorik) hesaplanan ve sistemden geçen her akımın her saniye kaydedilmesine dayalı korozyon oranları ile elde edilen gerçek korozyon oranları arasında büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir.

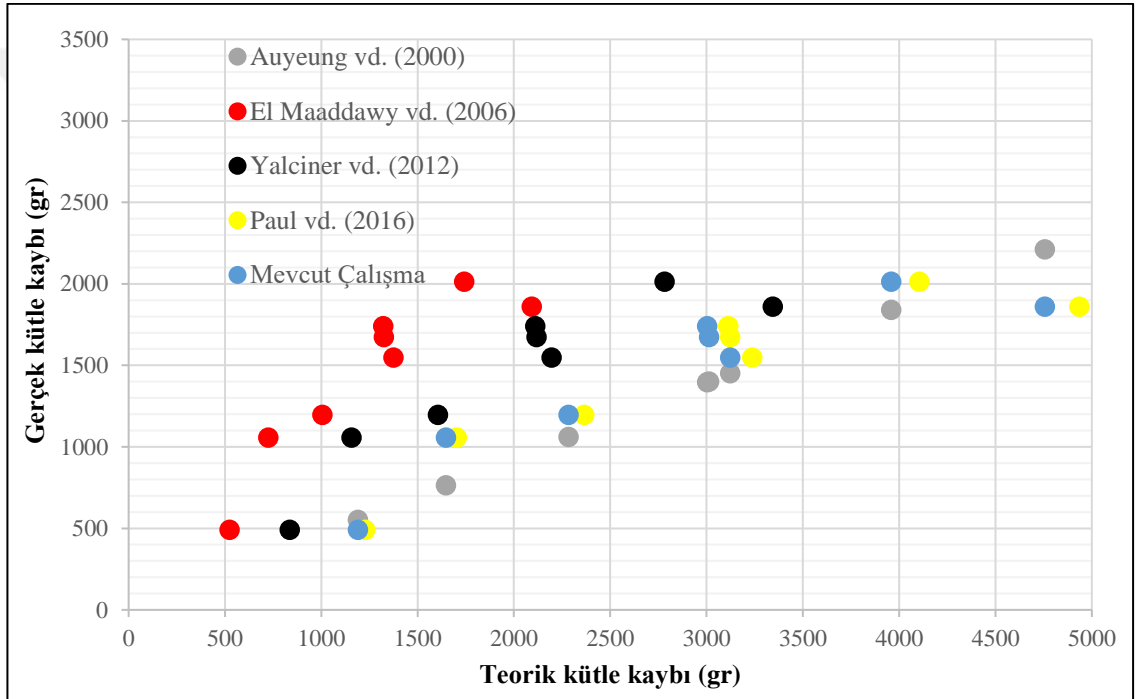
Literatürdeki mevcut çalışmalarda da bu farklılığın belirtilmesine rağmen; ancak çalışmaların küp numuneler üzerinde yapılması ve beton yüzey alanın çok küçük olması sebebi ile mevcut çalışmada elde edilen farklar çok daha büyük olmuştur. Örneğin, C<sub>2</sub> kirişi için Faraday kanununa göre 1646.29 gr olan kütle kaybı gerçekte 1056 gr olarak ölçülmüştür. Betonarme donatılarının beton içerisinde olması ve betonun akıma karşı göstermiş olduğu dirençten dolayı benzer farklılıklar tüm paslandırılan kirislerde meydana gelmiş ve pas oranının artması ile çok daha yüksek değerler almıştır. Yapılan gözlemler sırasında Faraday kanununa göre yapılacak hızlandırılmış korozyon deneylerinde ancak Faraday korozyon oranının %5 değerlerine ulaşması ile paslanmanın başladığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmadaki betonarme numunelerinin boyutsal özellikleri de göz önüne alınarak ve ileriki çalışmalara ışık tutması düşüncesiyle Faraday kanununa göre hesaplanan teorik pas oranının deneysel çalışmalar sırasında en az %5 olarak alınması ön görülmektedir.

**Tablo 5.1.** Gravimetrik Test Sonuçları

Numune	İlk ağırlığı (g)		Faraday kütle kaybı (g)	Gerçek kütle kaybı (g)		Faraday Korozyon oranı (%)	Gerçek korozyon oranı (%)		Uygulanan akım-saat (A.h)
	S	L		S	L		S	L	
<b>Group C</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>S+L</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>S+L</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>S+L</b>
C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C2	8848.5	23836.5	1646.29	519	537	5.04	5.87	2.25	1580.16
C3	8856.5	23761.5	3012.06	542.5	1131.5	9.23	6.13	4.76	2891.08
C4	8844	23527.5	3002.32	813.5	926.5	9.27	9.20	3.94	2881.73
C5	8885	23620.5	3957.94	642	1372	12.18	7.23	5.81	3804.94
C6	8827	23724	4756.55	1069	1860.5	14.61	12.1	7.84	4565.5
<b>Group G</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>
G1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G2	23683.5	1189.26	490.5	5.02	2.07	1141.49			
G3	23776.5	2283.75	1196.5	9.61	5.03	2179.86			
G4	23709.5	3121.92	1548	13.17	6.53	2996.53			

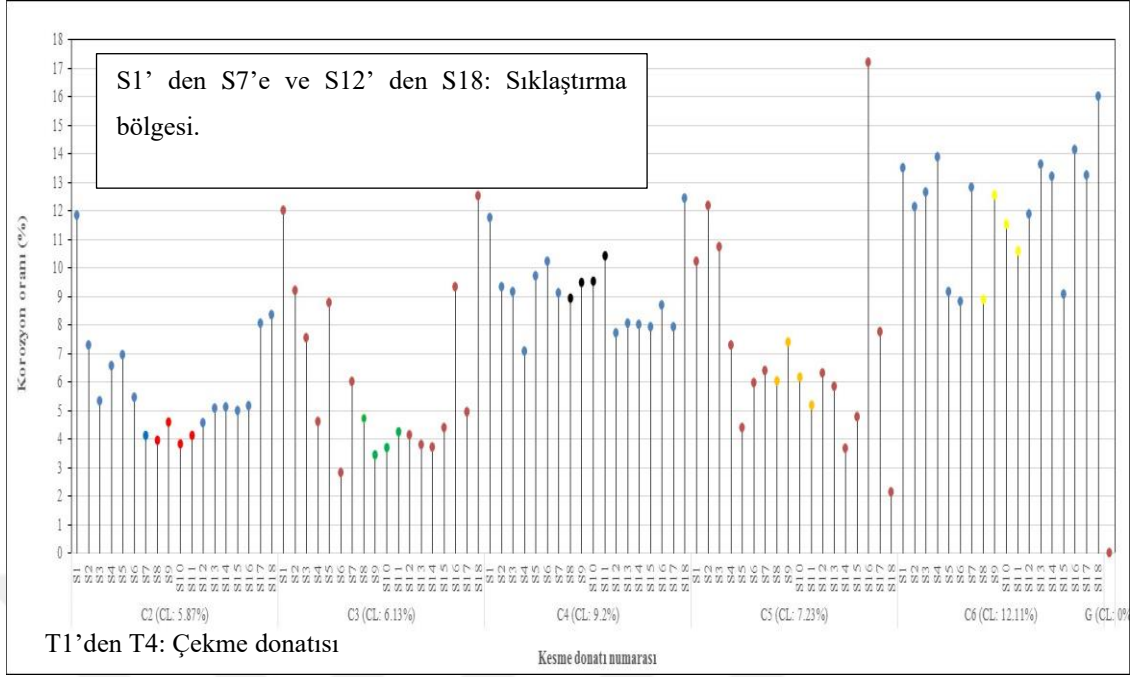
Elde edilen gerçek ve Faraday (tahmini) kütle kayıpları literatürdeki Faraday modellerinin karşılaştırılması için ayrıca kullanılmıştır. Şekil 5.4.'de mevcut çalışmadan elde edilen gerçek ve tahmini kütle kayıpları ile daha önce geliştirilen modeller yer

almaktadır. Elde edilen Faraday kütle kayıpları mevcut modellere yerleştirilerek hedeflenen gerçek kütle kayıpları her bir model için hesaplanmıştır. El Maaddawy vd. (2006) ve Yalciner vd. (2012) sırasıyla, 0,69 ile 1,12; 1,10 ile 1,70 arasında değişiklik göstermiştir. Her üç modeldeki numunelerinin boyutları göz önüne alındığında her üç modelinde gerçek kütle kayıp oranlarına oldukça yaklaştığı görülmektedir. Auyeung vd. (2000) ve El Maaddawy vd. (2006) gerçek kütle kayıp oranları 1'in altında Yalciner vd. ise (2012) 1'in üstünde gerçek korozyon oranını tahmin edebilmektedir. Paul vd. (2016) tarafından gerçek kütle kaybını tahmin etmek için önerilen model ise 1,61 ile 2,65 arasında değerler olarak gerçek kütle kaybı tahmin etmekten oldukça uzaklaşmıştır.

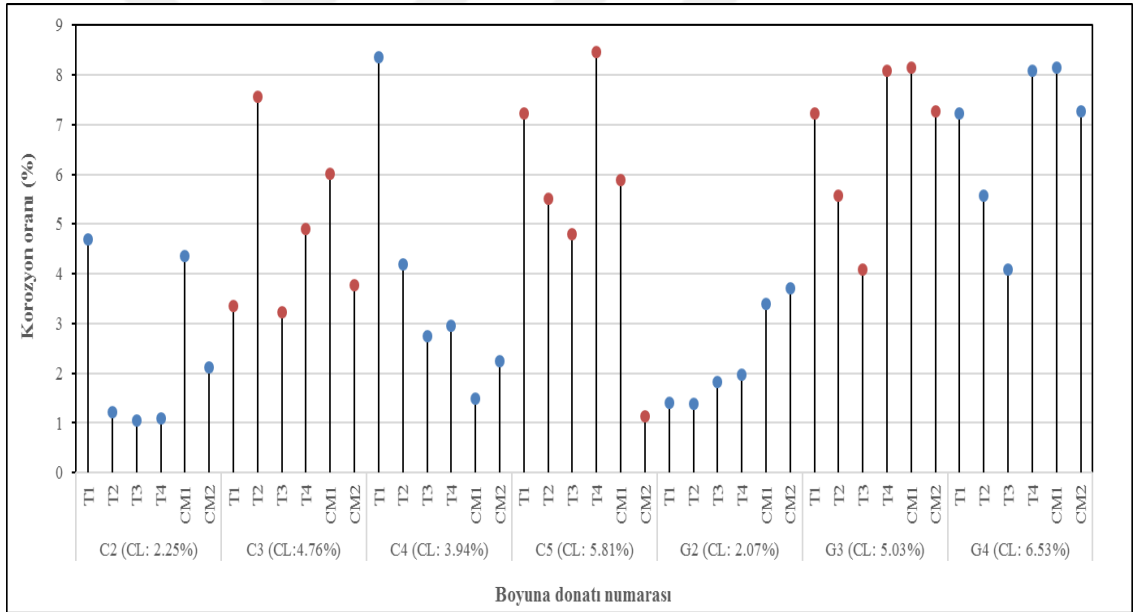


**Şekil 5.4.** Gerçek Ve Tahmini (Faraday) Korozyon Kütle Kayıplarının Karşılaştırılması

Mevcut çalışmada tüm betonarme donatılarının betondan çıkartılarak gerçek korozyon oranlarının elde edilmesi ve mevcut literatürde bu tekniğin uygulanması ile elde edilen korozyon oranlarının oldukça az olması sebebi ile tüm betonarme kirişleri için elde edilen korozyon dağılım oranları Şekil 5.5.'de hem sargı donatıları hem de boyuna donatıları için ayrı olarak verilmiştir.



(a)



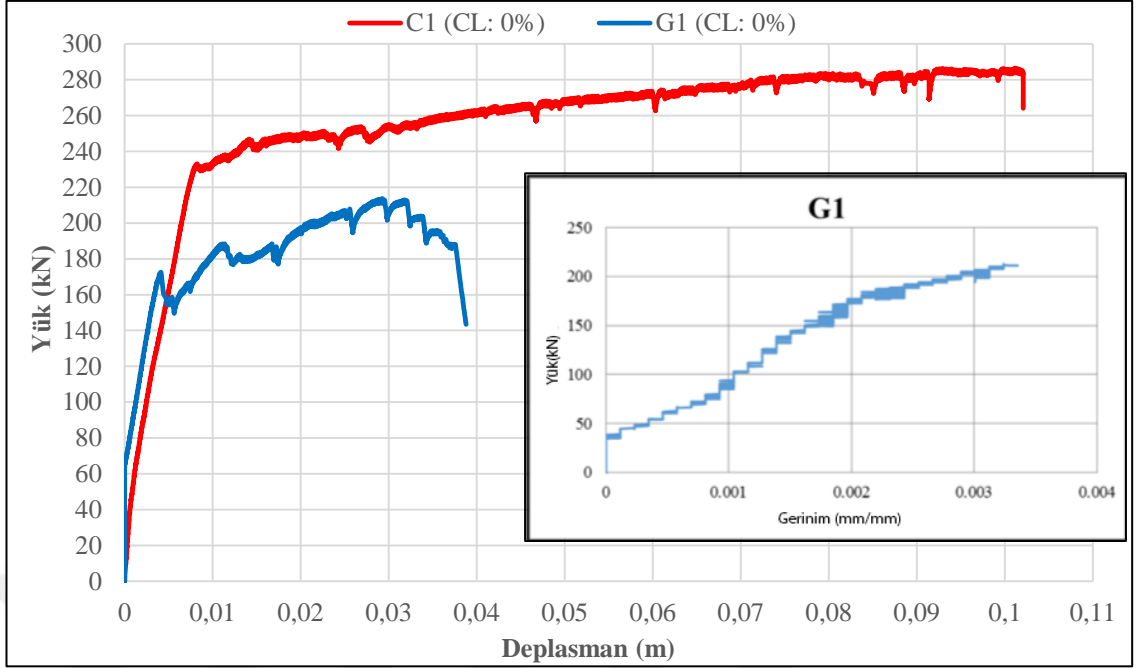
(b)

**Şekil 5.5.** Korozyon Dağılım Oranları: (a) Sargı Donatıları (b) Boyuna Donatılar

Şekil 5.5.'de gösterildiği gibi hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak elde edilen pas oranları aynı betonarme kirişinde farklı dağılımlar göstermektedir. Donatının ilk ağırlığı ve donatının beton içerisindeki konumuna bağlı olarak pas oranları değişmektedir. Bundan dolayı mevcut literatürde Faraday kanununa göre elde edilen kütle kayıplarına bağlı korozyon oranları, ya da kesip çıkartılarak elde edilen bir donatı parçasından hesaplanan pas oranlarının tüm kirişin gerçek davranışını ifade edebilmek için yeterli olmadığı söylenebilir.

## 5.2. Yük-Deplasman Sonuçları

Çalışma kapsamında yük-deplasman sonuçları öncelikle paslandırılmamış betonarme kirişleri için elde edilmiştir. İki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı (geo-grid sargılama ve geleneksel sargılama) paslanmamış betonarme kirişlerinden  $G_1$  ve  $C_1$ 'in yük-deplasman ilişkileri Şekil 5.6.'de gösterilmektedir. Şekil 5.6.'de geleneksel sargılama yöntemi kullanılarak tasarlanan betonarme kirişin kırılma mekanizması plastik mafsal davranışı ile gerçekleşmemiştir. Geleneksel sargılama yöntemi kullanılarak tasarlanan betonarme kirişi ise sünek bir davranışa plastik mafsal mekanizması yardımı ile ulaşmıştır. Geleneksel olarak tasarlanan kiriş geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı kiriş ile kıyaslandığında kesit akma kapasitesine kadar yük almaya devam etmiş ve ardından sabit yük etkisinde yer değiştirmeye devam etmiştir. Elde edilen nihai yük kapasiteleri geleneksel kiriş ve geo-grid sargılı kiriş için sırasıyla 285 kN ve 213 kN olarak elde edilmiştir. Mevcut çalışmalardan farklı olarak iki sargılama tekniği arasındaki temel fark yükün mesnetlere aktarılmasıdır. Geo-grid sargılı betonarme kirişinde yükün mesnetlere aktarılmasında eğilme davranışından çok ark mekanizması oluşmuştur. Şekil 5.6. ve 5.7.'de gösterildiği üzere; geo-grid kirişin kırılması kesme çatlakları ile meydana gelmiştir. Yükün uygulandığı kiriş açıklığında gözle görülür çekme çatlakları geleneksel kirişe göre oldukça zayıf kalmıştır. Tüm bu davranışlar geo-grid malzemesinin elastik ötesi bölgedeki yetersizliği ile açıklanabilir. Şekil 5.6.'de  $G_1$  kirişi için kayıt edilen yük-birim şekil değiştirme grafiğinde çekme donatılarının elastik sınırlarda kaldığını ve gevrek kırılmaya sebebiyet verdiğini göstermektedir. Böylelikle geo-grid sargılı betonarme elemanlarında gerilme uyumundan bahsetmek zorlaşmıştır. Sargı donatısı olarak kullanılan geo-gridler çekme donatılarının yeterince gerilme almasına katkı sağlayamayarak kirişin gevrek kırılmasına sebebiyet vermiştir. Giriş bölümünde de açıklandığı üzere; literatürde yer alan geo-grid kullanımlı betonarme elemanlarının donatısız elemanlar ile karşılaştırıldığından; Çalışma, geo-grid sargılama tekniğinin geleneksel donatıların sağlayabileceği performansı sağlayamayacağı görüşünü taşımaktadır.



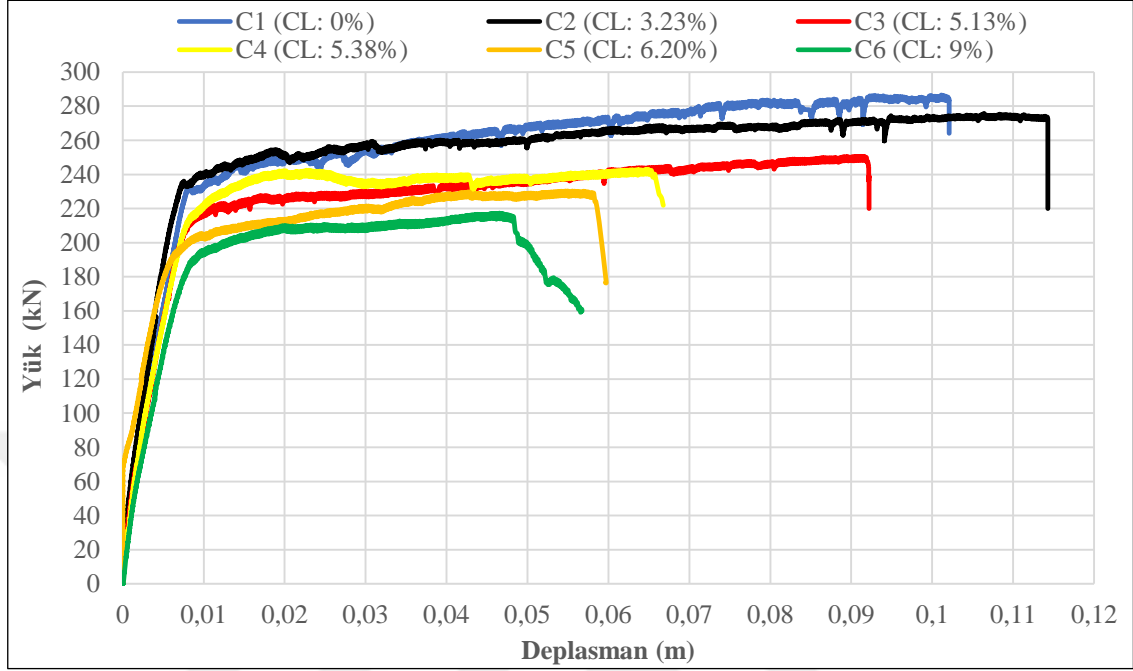
**Şekil 5.6.** Paslanmamış Betonarme Kirişleri İçin Yük-Deplasman İlişkisi (Geo-Grid Ve Geleneksel Sargılama)



**Şekil 5.7.** C<sub>1</sub> Ve G<sub>1</sub> Betonarme Kirişleri İçin Çatlak Desenleri

Geo-grid'in geleneksel donatılara kıyasla en temel avantajı paslanmayan bir malzeme olmasıdır. Mevcut literatürde geo-grid malzemesine duyulan eğilim ve ilgi göz önüne alınarak; geo-grid sargılama tekniğinin paslanmış betonarme elemanlarında kullanılması durumundaki davranışları geleneksel donatılar ile karşılaştırılmıştır. Boyuna ve sargı donatılarından elde edilen pas oranlarının deneyi gerçekleştirilen kiriş davranışları üzerindeki katkıları ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 5.8.'de geleneksel olarak tasarlanan

betonarme kirişlerinin farklı pas oranlarındaki yük-deplasman ilişkilerini gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Grup C İçin Yük-Deplasman İlişkileri

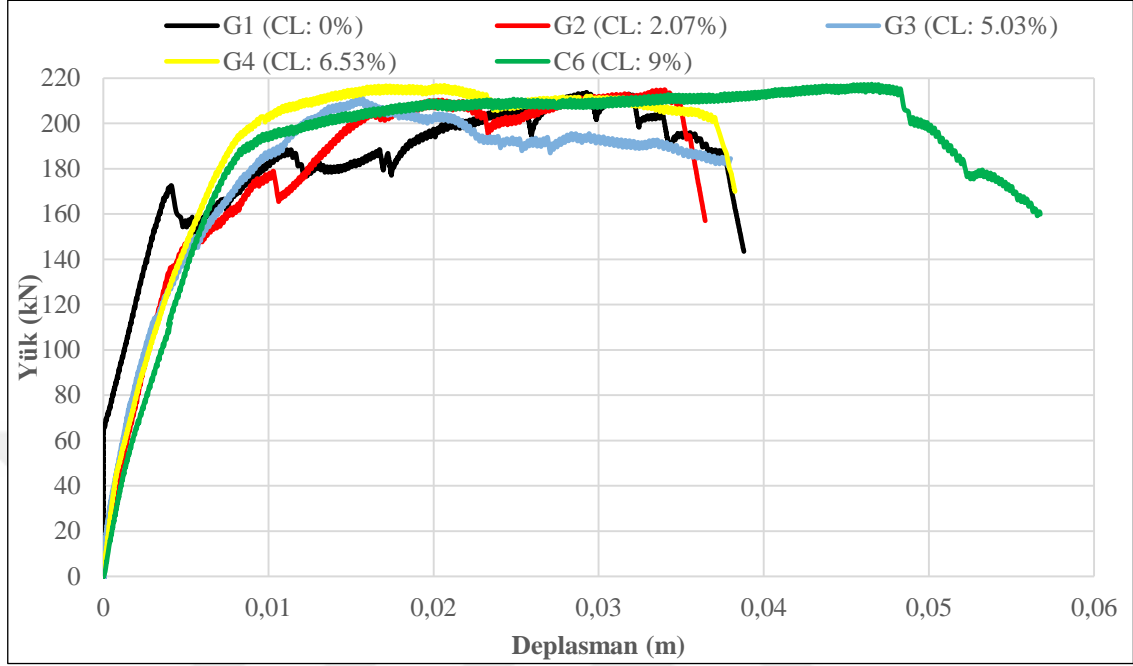
Şekil 5.8.'de görüldüğü üzere  $C_1$  kirişinin nihai yük taşıma kapasitesinde ve deplasmana bağlı süneklilik oranında pas oranına bağlı olarak azalmalar meydana gelmiştir. Fakat belli bir korozyon oranına kadar korozyon ürünlerinin beton ve donatı arasındaki aderansa katkısı sayesinde paslanmamış betonarme kirişi  $C_1$  ve  $C_2$  kirişleri süneklilikleri bakımından artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.8.'de görüldüğü üzere paslandırılan  $C_2$  kirişinin nihai yük taşıma kapasitesi paslanmamış  $C_1$  kirişine oldukça yakın ve deplasmana bağlı süneklilik oranı %3,23'lük bir korozyon oranında %11 oranında artmıştır.  $C_2$  kirişin %3,23'lük bir korozyon oranında kesitin akma kapasitesindeki artış  $C_1$  kirişine kıyasla çok fazla olmasada bu artış kesitdeki boyuna donatıların elastik sınırlar içerisinde daha fazla gerilim alarak donatı sıyrılmasını donatıdaki aderansın artmasına bağlı olarak sınırlamıştır. Korozyon oranının artması ile birlikte donatı çapındaki azalma, hızlandırma korozyon yöntemi sırasında birincil çatlakların meydana gelmesi, donatı üzerindeki nervürlerin hasar görmesi ve buna bağlı olarak radial sürtünme kuvvetindeki azalmanın neden olduğu aderans kayıpları nihai yük taşıma ve deplasmana bağlı süneklilik oranı üzerinde azalmalara sebebiyet vermiştir. Şekil 5.8.'de paslandırılmamış betonarme kirişi

C<sub>1</sub>'in yük taşıma kapasitesi %5,13'lük korozyon oranına sahip C<sub>3</sub>'de 251 kN'a, %5,38'lik korozyon oranına sahip C<sub>4</sub>'de 243 kN'a, %13'lük korozyon oranına sahip C<sub>5</sub>'de 230 kN'a ve %13'lük korozyon oranı sahip C<sub>6</sub>'da 217 kN'a sırasıyla azalmıştır. Paslandırılan C<sub>2</sub> kirişi haricinde diğer kirişlerin deplasman bağlı olarak süneklilikleri de pas oranındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Her bir kiriş için ve her bir betonarme kirişinde yer alan sargı ve boyuna donatılarının gerçek korozyon oranlarının elde edilmesi ile birlikte hemen hemen aynı korozyon oranlarına sahip C<sub>3</sub> (C<sub>L</sub>: %5,13) ve C<sub>4</sub> (C<sub>L</sub>: %5,38) kirişlerindeki süneklilik farkı tam olarak betondan çıkartılan donatılardaki korozyon dağılımı ile açıklanabilir. Tablo 5.1.'de verildiği üzere C<sub>3</sub> ve C<sub>4</sub> betonarme kirişlerinin toplam pas oranları birbirine yakın ancak sargı donatılarının toplam pas oranına katkıları değişkenlik göstermektedir. C<sub>3</sub> betonarme kiriş sargı donatılarındaki pas oranı %6,13 iken bu oran C<sub>4</sub> kirişinde %9,20 olarak hesaplanmış ve sargı donatılarındaki pas oranlarındaki farklılık nedeni ile süneklilik davranışları da beklendiği üzere farklılık göstermiştir. Şekil 5.5.(a)'da gösterildiği üzere C<sub>4</sub> kirişinin etriyelerindeki pas dağılımları C<sub>3</sub> kirişine kıyasla fazladır ve buda hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak Faraday kanununa göre ya da kesilip çıkartılan bir donatı yardımı ile hesaplanan bir korozyon oranının tüm kirişi temsil edemeyeceğini tekrardan göstermiştir. Bu iki yöntem; donatıların betondan çıkartılarak tekrardan tartılmasına kıyasla hem zamandan hem de iş gücü açısından oldukça fayda sağlamaktadır. Bu sebeple daha çok tercih edilen bu yöntemlere ve ileri çalışmalara referans olması bakımından; Şekil 5.5.' de yer alan dağılımlar ışığında; Faraday kanununa göre hesaba katılacak korozyon oranlarında sargı donatılarındaki pas oranlarının boyuna donatılara göre bir buçuk kat alınabileceği ve kesip çıkartılan boyuna donatı yöntemi için ise özellikle sıklaştırma bölgesindeki etriyelerin de kesip çıkarma yönteminde bakılması gerektiği önerilebilir.

Şekil 5.9. sargılamanın geo-grid malzemesi kullanılarak sağlandığı betonarme kirişlerinin farklı pas oranlarındaki yük-deplasman ilişkilerini gösterilmektedir. Gerekli karşılaştırmaların yapılabilmesi için Şekil 5.9.'de aynı zamanda geleneksel kirişlerden en fazla fazlandırılan C<sub>6</sub> kirişide tekrardan aynı garfik üzerine çizilmiştir. Şekil 5.8.'de geleneksel olarak tasarlanan ve paslandırılan betonarme kirişleri için elde edilen davranış; örneğin; korozyonun belli orana kadar aderans artışına bağlı olarak süneklilik oranında artış sağlaması ve ardından verilen korozyon oranındaki artışa bağlı olarak yük taşıma kapasitesindeki ve sünekliliğindeki tahmin edilebilir azalım davranışları; geo-grid



sargılamanın kullanıldığı ve paslandırılan betonarme kirişleri için söylemek oldukça zordur.



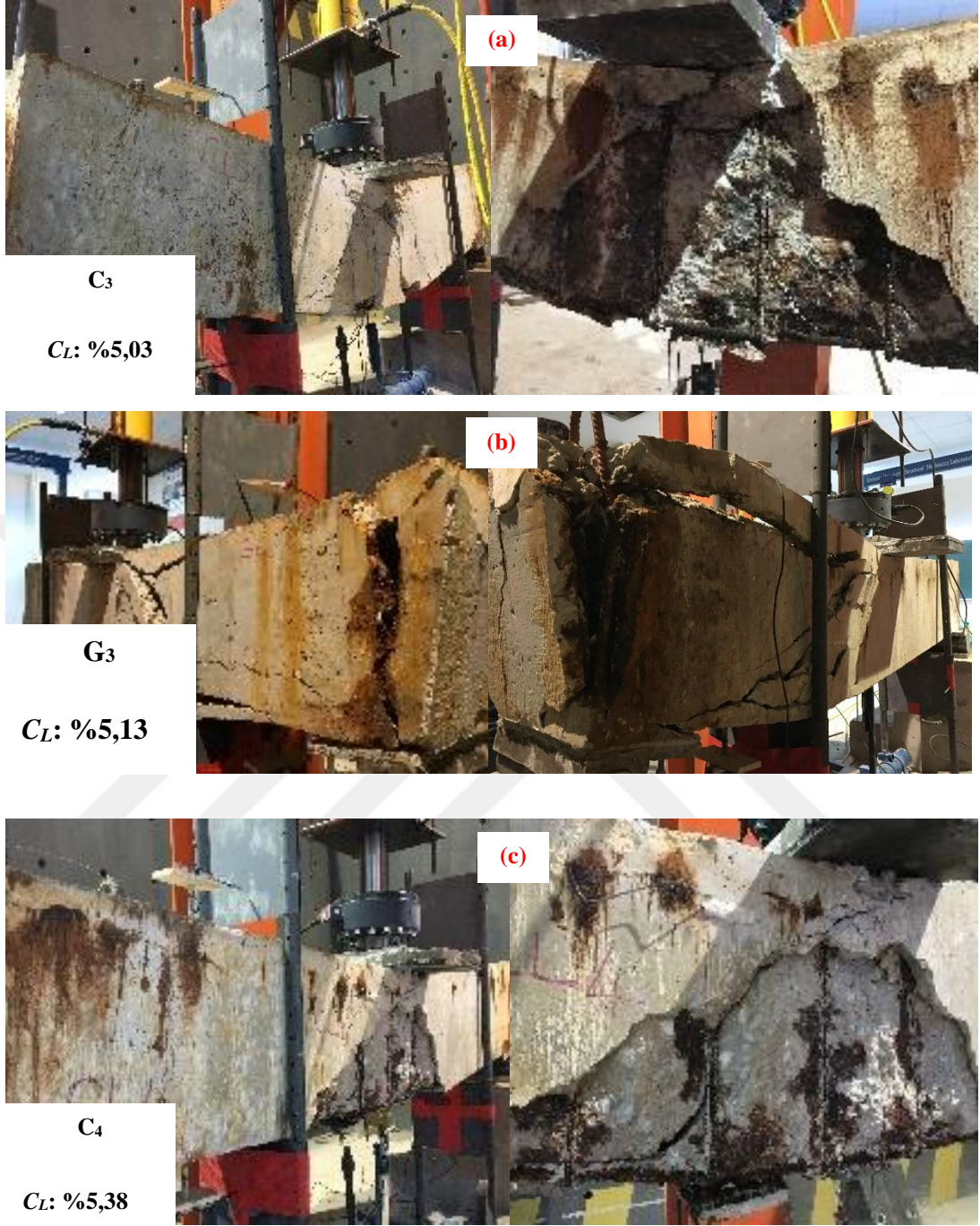
Şekil 5.9. Grup G İçin Yük-Deplasman İlişkileri

Geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişlerinde sargı donatıları geo-gridlerin paslanmamasına karşın elde edilen sonuçlar geleneksel kirişlere göre oldukça kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.. Hiçbir geo-grid numunesi aynı korozyon oranında paslandırılan geleneksel betonarme kirişlerin taşıma gücü, süneklilik ve enerji yutma kapasitelerine yaklaşamamıştır. Geo-gridli kirişler yalnızca en çok pasa maruz bırakılan geleneksel kirişlerden C<sub>6</sub>'ya performans olarak yaklaşmıştır. Geleneksel olarak tasarlanan C<sub>6</sub> kirişindeki sargı donatılarındaki ve boyuna donatılarındaki pas oranlarının sırasıyla %12,11 ve %7,84 olmasına rağmen bu pas seviyelerinde dahi C<sub>6</sub> kirişinin deplasmana bağlı sünekliliği tüm geo-grid kirişlerinden fazladır.

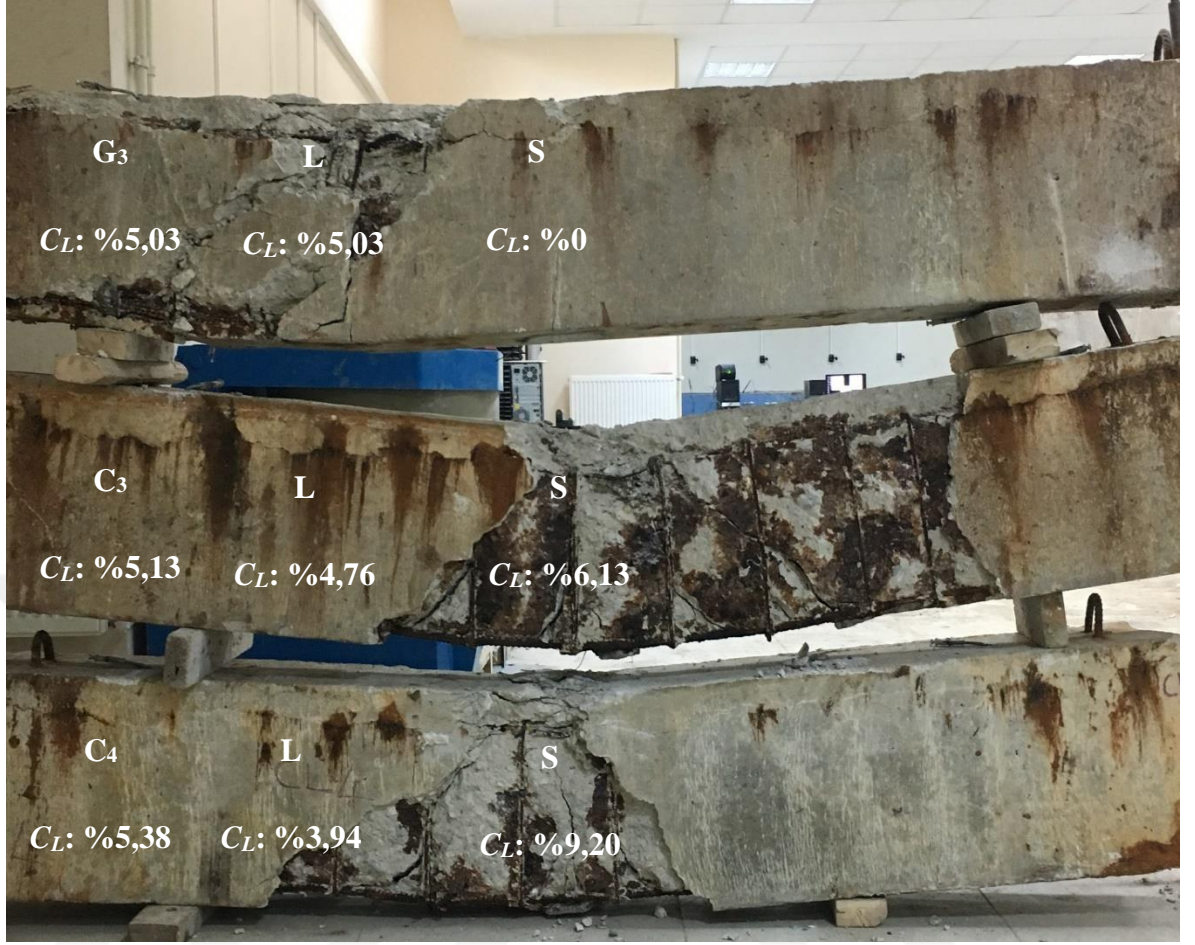
C<sub>6</sub> kirişindeki taşıma gücü kapasitesindeki ve özellikle sünekliliğinde ki azalma betondan çıkartılan ve üzerinde görsel değerlendirmeleri yapılan donatılar ile açıklanabilir. Şekil 5.2.'de gösterildiği üzere pas oranlarının yüksek değerlere oluşması ile birlikte özellikle etriyelerde bölgesel paslanmalar meydana gelmiştir. Kesit alanında bölgesel paslanmaya bağlı yaşanan kayıplar C<sub>6</sub> kirişi için sekiz adet sargı donatısının kopmasına neden olmuştur. Teorik olarak sargı donatıları moment taşıma kapasitelerine katkıları ihmal edilse de özellikle pas durumlarında sargı donatılarının görevi bir kat daha ön plana

çıkarmakta ve elemanın nihai taşıma kapasitelerinde etkili olmaktadır. C<sub>6</sub> kirişinde kopan sekiz adet sargı donatısı bu kirişte hem nihai taşıma gücü kapasitesinde hemde sünekliliğin azalmasında başlıca etken olmuştur. Ancak elde edilen pas oranının oldukça yüksek olduğu ve bu durumlarda mevcut yapıların hali hazırda onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duyduğu göz önüne de ayrıca alınmalıdır. Şekil 5.9. ve 5.10.'da sırasıyla hidrolik pistonun kaldırmadan önce ve yüklemesi sonrası G<sub>3</sub>, C<sub>3</sub> ve C<sub>4</sub> betonarme kirişleri gösterilmektedir.

Şekil 5.9. ve 5.10.'da gösterildiği üzere C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> ve G<sub>3</sub>'ün pas oranlarının yaklaşık olarak aynı olmasına karşın her iki kirişin sünekliliği geo-grid'in sargılamaya tekniği olarak kullanıldığı kiriş olan G<sub>3</sub>'den daha fazladır. Tüm bu sonuçlar geo-grid'in sağlamış olduğu düşük rijitlik kapasitesi ile açıklanabilir. Geleneksel kirişlerde sargı donatılarının paslanmasına karşın sargı donatıları kesme kuvvetlerini önemli ölçüde karşılamaya devam etmiştir. Betonun deformasyon kapasitesinin sınırlı olması sebebi ile geo-grid'in yüksek oranlarda deformasyon yapmasına izin vermemiştir. C<sub>3</sub> kirişinin pas oranının G<sub>3</sub> kirişinden fazla olmasına karşın; C<sub>3</sub> kirişinin nihai taşıma kapasitesi %19 oranında G<sub>3</sub> kirişinde azalmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut literatürde geo-grid malzemesinin geleneksel donatılar yerine alternatif bir malzeme olarak kullanılmasına yönelik önerilerde eksiklik ve hataların olduğunu işaret etmektedir. Yapılan çalışmalardaki eksikliğin nedeni olarak; genellikle küçük boyutlarda betonarme kirişlerinin çalışılması ve bundan dolayı eğilme kapasitelerindeki sınırlamalar ve özellikle elde edilen değerlerin donatısız beton ile karşılaştırılmasından kaynaklandığı söylenebilir.



**Şekil 5.10.** Yükleme Sonrası Hidrolik Pistonun Kaldırılmadığı C<sub>3</sub>, G<sub>3</sub>, Ve C<sub>4</sub> Betonarme Kirişleri



Şekil 5.11. Yükleme Sonrası G<sub>3</sub>, C<sub>3</sub> Ve C<sub>4</sub> Betonarme Kirişleri

### 5.3. Aderans-Sıyrılma ve Deney Sonuçları

Denklem (3-4) ve (5) sırasıyla aderans ve donatı kayma hesapları için kullanılmıştır. Denklem 3 ve 4'de gösterildiği üzere aderans gerilmesi paslanmamış betonarme elamanları için donatı çapı ve donatıdaki gerilme değerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Bu noktada paslanmış donatılardaki donatı çapındaki değişikliğin ve pas oranına bağlı olarak ilgili donatıdaki elastik modülüsdeki değişkenliğin hesaplanması gerekmektedir. Donatı çapındaki değişkenliğin gravimetrik yöntemle bağlı olarak hesaplanması için Ahmad (2009) tarafından önerilen korozyon akım yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$I_{corr} = \frac{(W_i - W_f)F}{\pi DLWT} \quad (6)$$

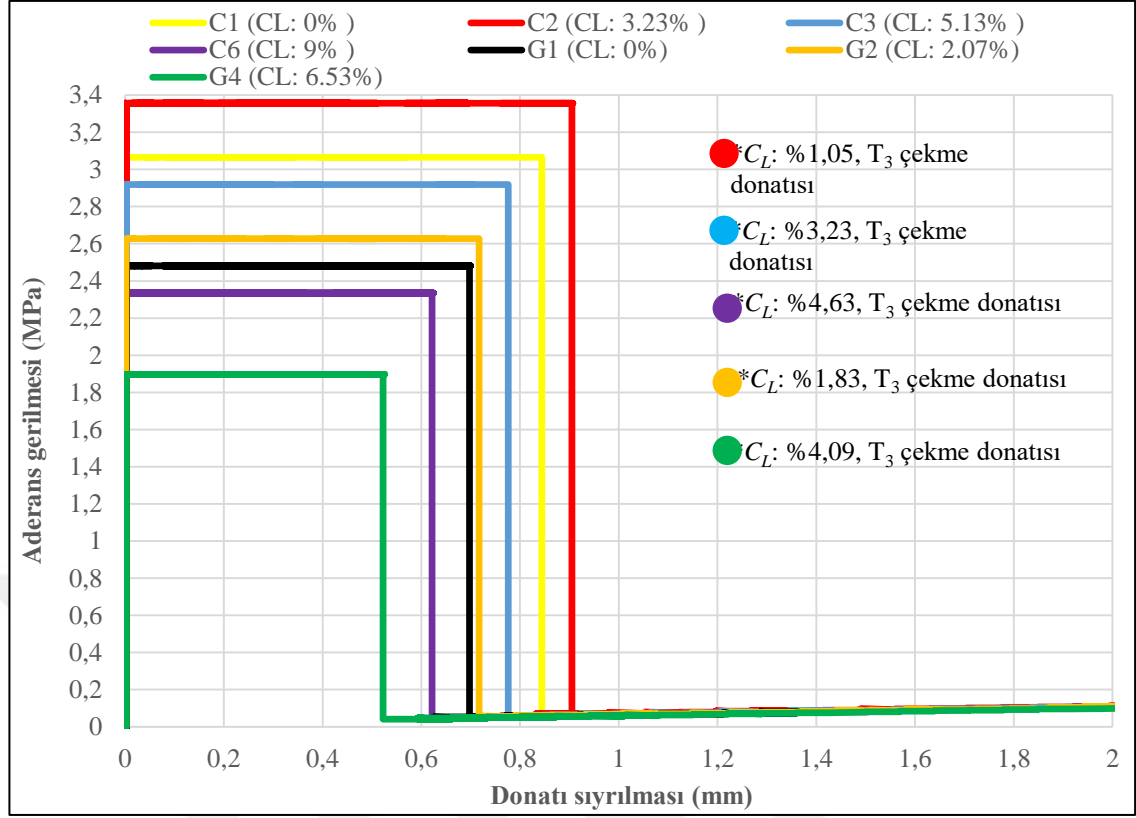
Denklem 6’da  $F$  Faraday katsayısı ( $96487 \text{ Amp}\cdot\text{sn}$ ),  $D$  donatı çapı ( $\text{cm}$ ),  $L$  donatı boyu ( $\text{cm}$ ),  $W$  donatı eşdeğer ağırlığı ( $27,925 \text{ g}$ ), ve  $T$  uygulanan korozyon süresi ( $\text{sn}$ ). Her biri donatı için hesaplanan korozyon akım yoğunluğu ardından penetrasyon hesabı için kullanılmıştır (Ijsselin, 1986).

$$P_r = \frac{W}{F\gamma_{st}} I_{corr} \quad (7)$$

Denklem 7’de  $\gamma_{st}$  donatı yoğunluğu olup  $7,85 \text{ g/cm}^3$  olarak alınmıştır. Denklem 7 yardımı ile hesaplanan penetrasyon değerleri ardından her bir donatı için metal kayıp faktörünün ( $a = 2P_r T/D$ ) hesaplanması için kullanılarak donatı çapındaki azalma gravimetrik değerlere göre hesaplanmıştır. Böylelikle elde edilen ve pas oranına bağlı olarak donatı çapındaki azalmalar Deklem 3 ve 4’de kullanılmıştır.

$$D' = D \left(1 - \frac{2P_r T}{D}\right) \quad (8)$$

Pas oranına bağlı olarak elastisite modülündeki değişkenlik Lee ve Cho (2009) tarafından geliştirilen ampirik modele göre hesaplanmış ve deney sırasında kaydedilen gerinim değerleri ilgili donatıdaki pas oranını da göz önüne alınarak donatılardaki gerilim değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.12’de iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı ve farklı korozyon oranlarındaki betonarme kirişleri için hesaplanan ve elde edilen aderans-kayma ilişkileri gösterilmektedir. Şekil 5.12’de toplam korozyon oranlarından farklı olarak birim şekil değiştirmenin okunduğu ilgili donatıdaki korozyon ( $*C_L$ ) oranı ayrıca verilmiştir.



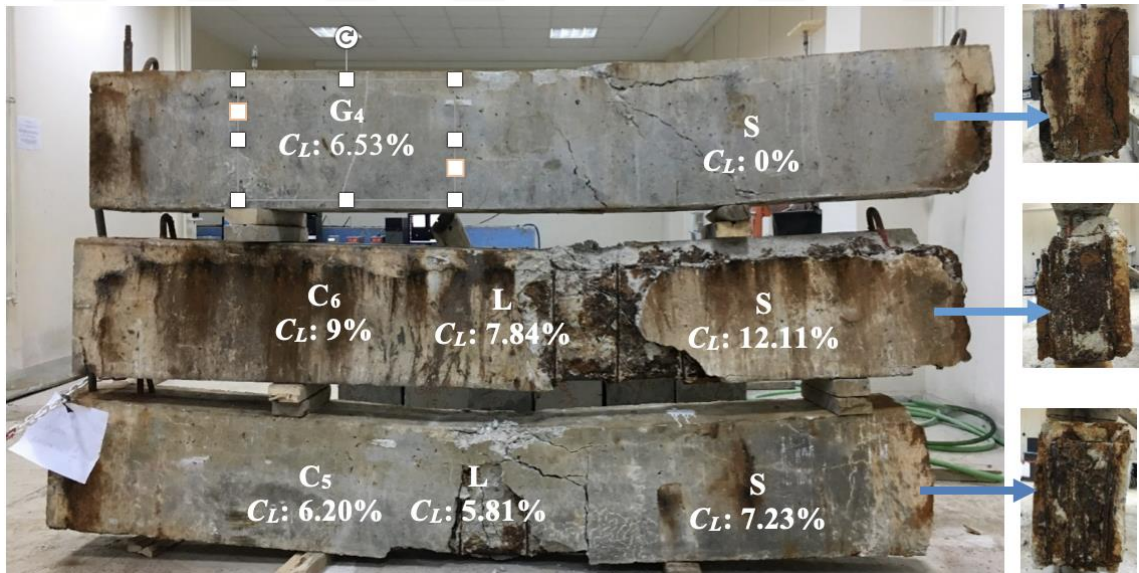
Şekil 5.12. Aderans-Sıyrılma İlişkisi

Şekil 5.12.'de C<sub>1</sub> kirişi için hesaplanan nihai aderans kuvveti 3,06 MPa iken bu değer korozyon ürününün donatı yüzeyinde pürüzlülüğü artırarak artan sargı etkisi ile beraber aderans kuvvetini C<sub>2</sub> (\*C<sub>L</sub>: %1,05) kirişinde 3,36 MPa'a yükseltmiştir. Korozyon oranının belli değerlerde aderans kuvvetini artırdığı ve belirli oranlardan sonra aderans kuvvetini azaltması ilkesi bu kiriş de gözlenmiştir. C<sub>1</sub> kirişi için hesaplanan nihai aderans kuvveti korozyon oranının artmasına bağlı olarak düşmüştür. C<sub>1</sub> kirişi için hesaplanan nihai aderans kuvveti %5 oranında C<sub>3</sub> (\*C<sub>L</sub>: %3,23) kirişinde ve %31 oranında C<sub>6</sub> (\*C<sub>L</sub>: %4,63) kirişinde düşmüştür. İki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı passız betonarme kirişlerinin aderans kuvvetleri karşılaştırıldığında; C<sub>1</sub> kirişinin aderans kuvveti %24 oranında G<sub>1</sub> kirişinde azalmıştır. Korozyonun belli oranlarda kadar aderans kuvvetinin artmasına katkı sağlaması ilkesi geo-grid tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişlerinde de gözlenmiştir. G<sub>1</sub> kirişin aderans kuvveti %1,83'lük bir korozyon oranının katkısıyla G<sub>2</sub> kirişinde 2,63 MPa'a yükselmiştir.

C<sub>6</sub> kirişinin geleneksel sargı donatılarının da paslanması sebebi ile; C<sub>6</sub> (C<sub>L</sub>: %9) kirişinin toplam korozyon oranı G<sub>4</sub> (C<sub>L</sub>: %6,53) kirişinden fazladır. Gerinim değer okumalarının yapıldığı C<sub>6</sub> ve G<sub>4</sub> kirişlerinin boyuna donatılarındaki korozyon oranları ise sırasıyla

%4,63 ve %4,09 idi. C<sub>6</sub> kirişinin toplam korozyon oranı ve gerinim değerinin okunduğu boyuna donatıdaki korozyon oranı G<sub>4</sub> kirişindeki değerlerden fazla olmasına rağmen, C<sub>6</sub> kirişi için hesaplanan nihai aderans kuvvetindeki azalış G<sub>4</sub> kirişinde %23 olarak hesaplanmıştır. Geo-grid sargılama yönteminin kullanıldığı G<sub>1</sub> (C<sub>L</sub>: %0) ve G<sub>2</sub> (\*C<sub>L</sub>: %1,83) betonarme kirişlerinin aderans kuvvet değerleri yalnızca en çok paslanan geleneksel betonarme kirişi olan C<sub>6</sub>'dan fazladır. C<sub>6</sub> betonarme kirişindeki yüksek aderans düşüş değerleri boyuna ve sargı donatılarının nervürlerinin yüksek korozyon oranlarında hasara uğraması ile açıklanabilir.

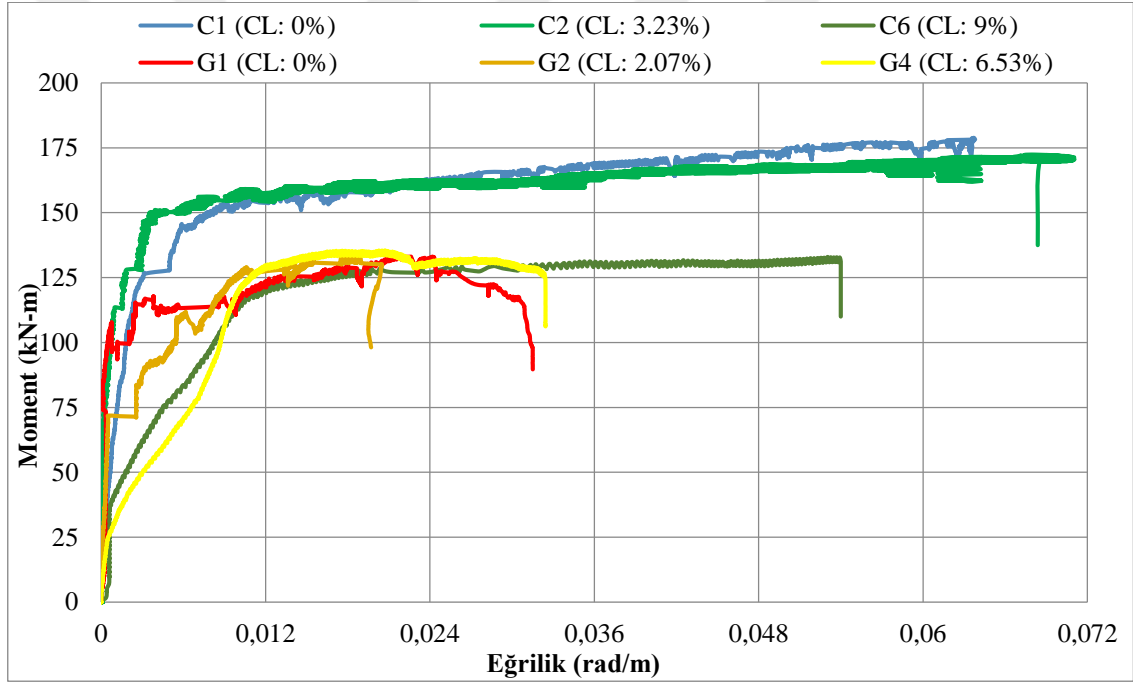
Aynı şekilde korozyon oranlarının belirli seviyelerini aşması ile donatıyı çevreleyen korozyon ürününün artması betonarme donatısından beton yüzeyine uyguladığı radyal gerilmelerini artırmaktadır. Yaşlandırma sürecinde oluşan birincil çatlaklar eğilme davranışı ile daha da genişlemiştir. Şekil 5.13.'de gösterildiği üzere, yüksek pas oranlarında betonun sınırlı çekme mukavemetinden dolayı eğilme davranışı sırasında özellikle kirişin açıklık bölgesinde ki paspayların da ve boyuna donatı kancalarının uyguladığı kuvvetten dolayı kiriş mesnet bölgelerindeki paspayların da çatlamlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.13. Paslandırılan G<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> Ve C<sub>6</sub> Kirişlerindeki Çatlaklar

Şekil 5.13. iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı ve farklı korozyon oranları için betonarme kirişleri için elde edilen moment-eğrilik ilişkileri gösterilmektedir. Hem moment kapasitesi hem de süneklik oranı açısından, Şekil 5.13.'de, geo-grid ile sağlanan sargılamanın (G<sub>1</sub>) geleneksel donatı çubukları ile sağlanan sargılamaya (C<sub>1</sub>) göre belirgin

farklılık göstermektedir. Aynı eğrilik miktarında, geleneksel sargı donatılı numunelerin moment kapasitesi son derece yüksektir. Korozyon ürünlerinin sıklığından kaynaklanan ön gerilmeli davranış nedeniyle %3,23 oranındaki korozyon seviyesi ile C<sub>2</sub> betonarme kirişinin süneklik oranını paslanmamış geleneksel betonarme kirişi C<sub>1</sub>'e göre arttırmıştır. %9 oranında korozyon seviyesine sahip C<sub>6</sub> numunesinde azalan yük taşıma kapasitesinden dolayı her iki moment kapasitesi ve süneklik oranı kademeli olarak azalmıştır. Buna karşılık, süneklik oranındaki azalmalar, korozyon seviyesinin arttığı geo-grid sargılı numunelerde belirgin değildir (G<sub>1</sub>'den G<sub>4</sub>'e kadar). Diğer bir ifadeyle korozyon belirli bir orana kadar geleneksel betonarme kirişlerinde sünekliği artırıp ardından korozyon oranına bağlı artış ile süneklik oranını düşürürken; geo-grid sargılı paslanmış betonarme kirişlerinde bu davranış gevrek kırılmadan dolayı gözlenmemiştir.



Şekil 5.14. Moment-Eğrilik İlişkileri





Şekil 5.15. G1 ve C1 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri



Şekil 5.16. G2 ve C2 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri



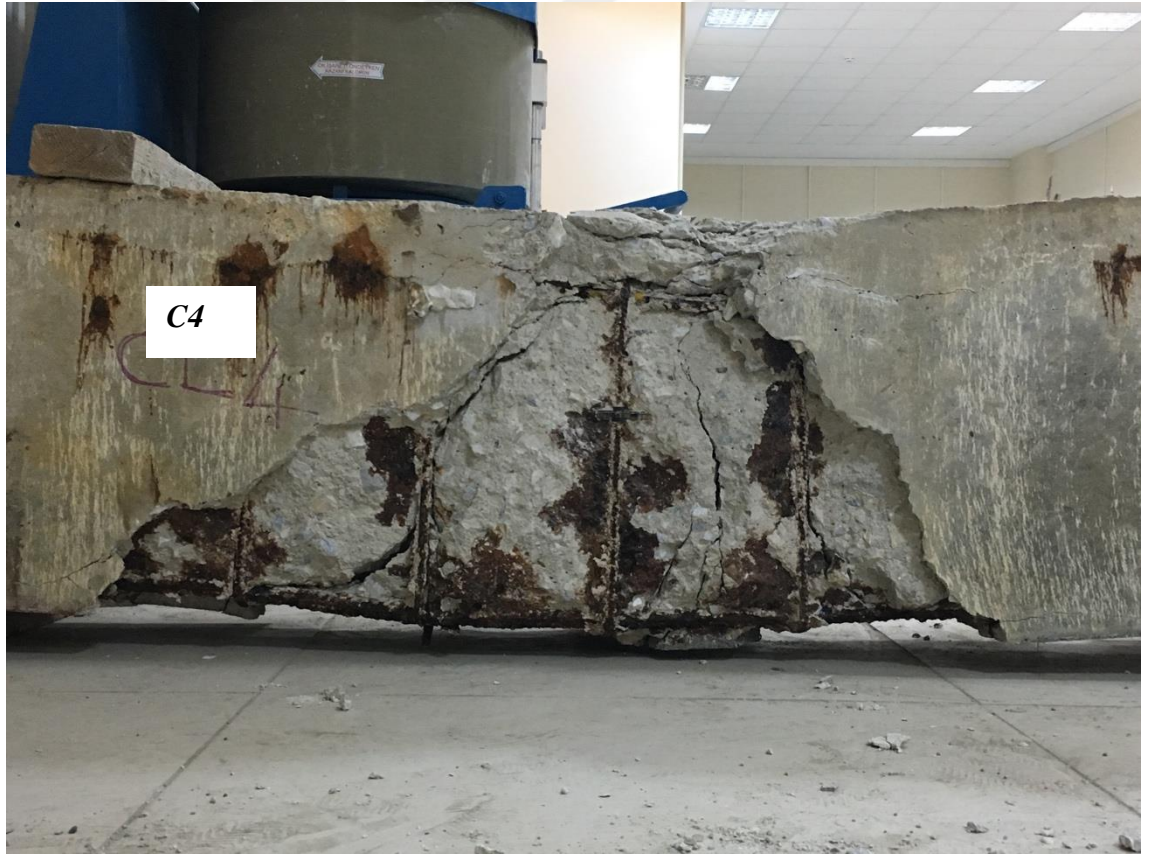
Şekil 5.17. G3 ve C3 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri



Şekil 5.18. G3 Detaylı Çatlak Desenleri



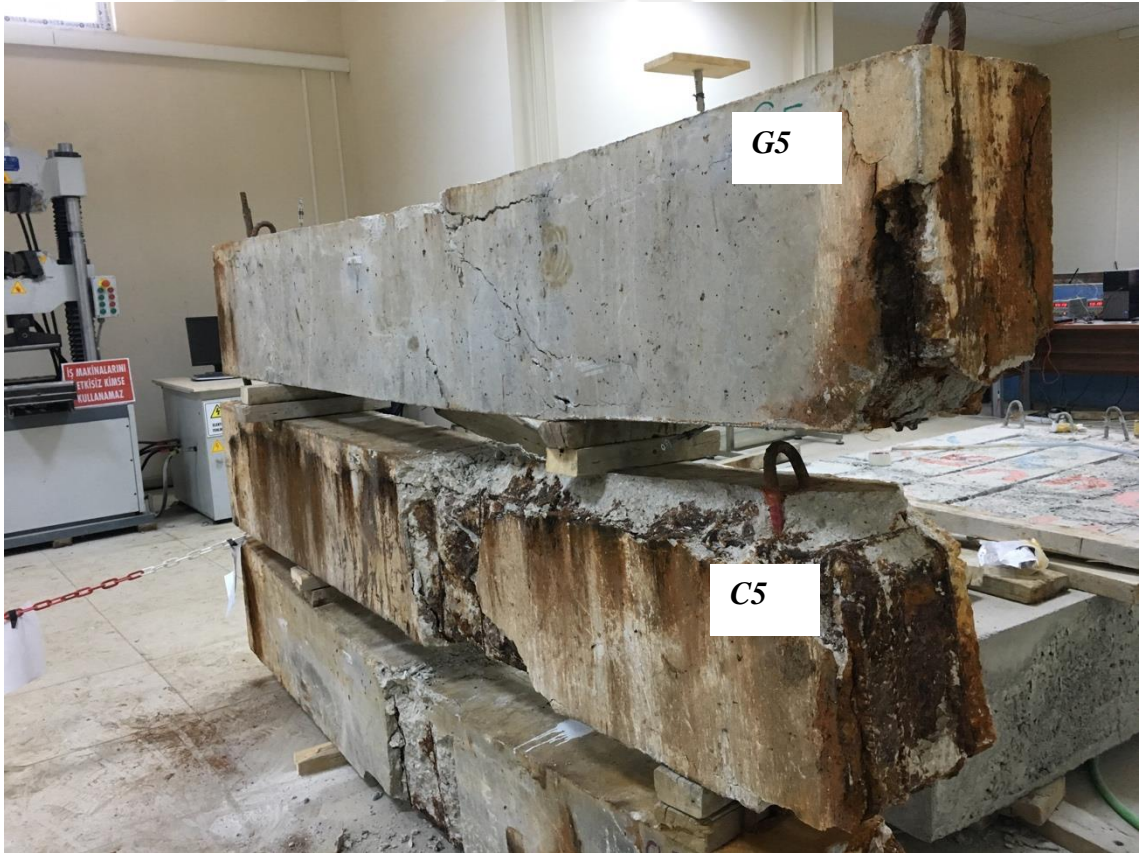
Şekil 5.19. G4 ve C4 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri



Şekil 5.20. C4 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri



Şekil 5.21. G5 ve C5 Kırım Sonrası Çatlak Desenleri



Şekil 5.22. G5 ve C5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri



**Şekil 5.23.** C5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri



**Şekil 5.24.** G5 Kırım Sonrası Detaylı Çatlak Desenleri

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tam ölçekli paslandırma havuzu kullanılarak paslandırılan ve iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişleri farklı parametreler göz önüne alınarak mevcut çalışma için değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma kapsamında aşağıda özet olarak sunulan sonuçlara ve önerilere varılmıştır.

Geo-grid sargılama tekniğinin kullanılarak yapılan mevcut literatürdeki çalışmaların donatısız betonarme elemanları ile karşılaştırılması sebebi ile geo-grid malzemesinin geleneksel donatılar ile karşılaştırıldığında oldukça düşük performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Geo-grid'in kullanıldığı önceki çalışmalarda geo-grid malzemesinin bir takım atık katkı malzemeler ile ölçeklendirilmiş betonarme elemanlarının deneye tabi tutulması ile sınırlıdır.

Geo-grid malzemesinin düşük elastik modülüne sahip olması ve betonun yeterince deformasyona uğramasına katkı sağlayamadığından betonarme kirişlerinde gevrek kırılmaya sebep vermiş ve boyuna donatıların elastik sınırlar içerisinde kalmasına neden olmuştur.

Geo-grid malzemesinin pas direnç göstermesi ve bu bağlamda pas maruz kalabilecek yapı elemanlarında kullanılabilecek birliğine yönelik önerilerin geçersiz olduğu bu çalışma ile ortaya koyulmuştur. Yüksek pas oranlarında dahi paslanmış geleneksel sargı donatıları yük taşıma ve enerji yutma kapasiteleri, deplasmana ve eğriliğe bağlı süneklilik oranları bakımından geo-grid'e göre oldukça fazla performans göstermiştir. Yüksek pas oranlarında noktasal paslanmaya bağlı olarak ilgili betonarme kirişlerindeki sargı donatıları kopmuş ancak yine de geo-grid malzemesine kıyasla daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut literatürde geo-grid'in kullanıldığı ve betonarme elemanlarında alternatif bir malzeme olarak sunulan çalışmalar yük-deplasman sonuçları ile sınırlıdır. Beton ve donatı arasında yapısal performans davranışını etkileyen aderans-donatı sızırılması mevcut literatürde ihmal edilmiştir.

Yapılan mevcut çalışmada bu malzemenin geleneksel donatı ile karşılaştırıldığında yetersiz aderans sağladığı sonucuna yapılan kapsamlı hesaplamalar ile varılmıştır. Bu durum özellikle deplasmana dayalı tasarım açısından ilgili malzemenin olumsuz sonuçları beraberinde getirebileceği düşünülmektedir.

Laboratuvar ortamında dahi geo-grid malzemesinin ısıdan etkilendiği, uygulamada pratik olmadığı ve sargılamadan sonra tekrardan kendini salan bu malzemenin kullanılması durumunda birtakım önlemlerin alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Beton dökümü sırasında özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde bu malzemenin kullanılması ayrıca sıkıntılara yol açabileceği göz önüne alınmalıdır.

Yapılan çalışmada betonarme donatılarının gerçek pas oranları kırılan betondan çıkartılarak elde edilmiştir. Elde edilen pas oran dağılımları sonucunda;

Faraday kanununa göre ya da mevcut literatürde Faraday kanununa göre gerçek korozyon oranlarının hesaplanması için sunulan modeller tüm donatılar için geçerli olmadığı sonucuna varılmıştır.

Mevcut modellerin iş gücü ve zaman açısından donatıların betondan çıkartılmadan pas oranları için yaklaşık değerler sağlaması açısından önemlidir. Bu bakımdan ileri yönelik çalışmalar için mevcut çalışmadan elde edilen korozyon dağılım oranları göz önüne alındığında; ilgili elemanın boyuna donatıları için beton yüzeyine yakın ve sargı donatıları için sıklaştırma bölgeleri için pas oranlarının artırılabilirliği önerilmektedir.

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda daha önce yapılan çalışmalarda geo-grid'in betonarme elemanlarında alternatif bir malzeme olarak kullanılmasına yönelik yapılan önerilerin gerçeği yansıtmadığı ve bu malzemenin kullanılması ile birlikte özellikle deprem bölgelerinde yer alan yapılarda hedeflenen yapı performansının olumsuz yönde etkilenebileceği sonucuna ulaşılmış ve mevcut alan yazının aksine geo-grid malzemesinin geleneksel donatılar yerine alternatif bir malzeme olarak kullanılmaması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Ahmad, S. (2017) "Prediction of residual flexural strength of corroded reinforced concrete beams", *Anti Corrosion Methods and Materials*, 64(1), 69-74.

ASTM G1-03(American Standards for Testing of Materials ) (2003). "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens" *West Conshohocken, PA*

Auyeung, Y.B., Balaguru, P. and Chung, L. (2000) "Bond Behavior Of Corroded Reinforcement Bars" *ACI Material 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.

Capozucca, R. Cerri, M.N. (2000) "Identification of damage in RC beams subjected to corrosion." *ACI Structural Journal*, 97(6), 902–9.

Chidambaram, R.S. and Agarwal, P. (2014) "The confining effect of geo-grid on the mechanical properties of concrete specimens under compression and flexure." *Construction and Building Material*, 71, 628-37.

Chidambaram, R.S. and Agarwal, P. (2015) "Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete," *Construction and Building Material*, 78, 271-280.

Dekoster, M., Buyle-Bodin, F., Maurel, O. and Delmas, Y. (2003) "Modelling of the flexural behaviour of RC beams subjected to localized and uniform corrosion." *Engineering Structures*, 25(10), 1333–41.

Du, Y.G., Clark, L.A. and Chan, A.H.C. (2005) "Residual capacity of corroded reinforcing bars." *Magazine of Concrete Research*, 57(3), 135–47.

El Maaddawy, T., Soudki, K. and Topper, T. (2005) "Analytical model to predict nonlinear flexural behaviour of corroded reinforced concrete beams." *ACI Structural Journal*, 102(4), 550–9.

El Maaddawy, T. and Soudki, K. (2006) "A Model for Prediction of Time from Corrosion Initiation to Corrosion Cracking" *Cement and Concrete Composites*, 29(3), 168-175.



El Meski, F. and Chehab G. (2014) “Flexural behavior of concrete beams reinforced with different types of geogrids.” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(8), 401-38.

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, 11-1

Itani, H., Saad, G. and Chehab G., (2016) “The use of geogrid reinforcement for enhancing the performance of concrete overlays: An experimental and numerical assessment.” *Construction and Building Material*, 124, 826-837.

Ling and Liu. (2001) “Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavements”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(2), 1090-241.

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.

Malumbela, G. Moyo, P. and Alexander, M. (2009) “Behaviour of RC beams corroded under sustained service loads.” *Construction and Building Materials*, 23(11), 3346–51.

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.

Palsson, R. and Mirza, M.S. (2002) “Mechanical response of corroded steel reinforcement of abandoned concrete bridge.” *ACI Structural Journal*, 99(2), 157–62.

Raymond, G. and Ismail, I. (2003) “The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates.” *Geotextiles and Geomembranes*, 21:355–80.

Saether, I. and Sand B. (2012) “FEM simulations of reinforced concrete beams attacked by corrosion.” *ACI Structural Journal*, 39(2), 15–31.

Saifullah, M. (1994) “Effect of reinforcement corrosion on bond strength in reinforced concrete PhD thesis.” *UK: The University of Birmingham*, 29(6), 1145-52.

Shin, EC. and Das, BM. (2000) “Experimental study of bearing capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand.” *Geosynthetics International*, 7(1):59–71.

Tang, X., Chehab, G.R. and Palomino, A. (2008) “Evaluation of geogrids for stabilizing weak pavement subgrade.” *International Journal of Pavement Engineering*, 9(6):413–29.

Torres-Acosta, A.A., Navarro-Gutierrez, S. and Terán-Guillén, J. (2007) “Residual flexure capacity of corroded reinforced concrete beams.” *Engineering Structures*, 29, 1145–52.

TS500 (2000). “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1, 66-2

Vidal, T., Castel, A. and François, R. (2004) “Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete.” *Cement and Concrete Research*, 34(1), 165–74.

Xiaoming, Y. and Hongqiang, Z. (2012) “Finite element investigation on load carrying capacity of corroded RC beam based on bond-slip.” *Jordan Journal of Civil Engineering*, 6(1), 134–46.

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.

Yang, SY., Song, XB., Jia, HX., Chen, X., and Liu, XL. (2016) “Experimental research on hysteretic behaviors of corroded reinforced concrete columns with different maximum amounts of corrosion of rebar”, *Construction and Building Materials*, 121, 319-327.

## EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., Ertuc, İ., Turan, A.İ. (2018). “Confinement effect of geo-grid and conventional shear reinforcement bars subjected to corrosion.” *Structures*, 13, 139-152.

Ertuç, İ. , Yalçiner, H., Kumbasaroğlu, A. (2018) “Korozyon Etkisine Maruz Bırakılmış Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışı.” *Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018*, 11-1



## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Ertuğ 1988 yılında Erzincan’da doğmuştur. Evli ve bir çocuk babasıdır. İlkokulu Halitpaşa ilkolunda,orta öğrenimini Otlukbeli Ortaokulunda, Lise Öğrenimi Hacı Ali Akın Lisesinde tamamlamıştır. 2006 Yılında Doğu Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği(İngilizce) Bölümünde Lisans Öğrenimine başlayıp 2012 yılında tamamlamıştır. 2012 yılı Temmuz ayında Erzincan’da Plan-Proje alanında Mühendislik ofisi açmıştır. Erzincan’da yapı sektörüne çok çeşitli önemli eserler kazandırmıştır. Mühendislik ofisi devam ederken 2015 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi’nde Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Günümüzde halen Erzincan’a İnşaat Mühendisliği adına katkılar sunmaya devam etmektedir.