

Fulya HAMİDİYE

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2008

T.C

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA YÖNTEMİNİN BETONARME  
YAPILARDA UYGULANMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

FULYA HAMİDİYE

HAZİRAN 2008

T.C  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA YÖNTEMİNİN BETONARME  
YAPILARDA UYGULANMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

FULYA HAMİDİYE

HAZİRAN 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

...../...../.....

Doç.Dr.Burak BİRGÖREN

\_\_\_\_\_  
Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans / tezi olarak İnşaat Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ

\_\_\_\_\_  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

\_\_\_\_\_  
Ortak Danışman

\_\_\_\_\_  
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA YÖNTEMİNİN BETONARME YAPILARDA UYGULANMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

HAMİDİYE, Fulya

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç.Dr Orhan Doğan

Haziran 2008, 70 sayfa

Metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektro-kimyasal reaksiyona girerek metalik özelliklerini kaybetmeleri olayına korozyon adı verilmektedir.

Korozyonla mücadelenin temeli ekonomiye dayanır. Amaç korozyon olayı nedeniyle meydana gelen kayıpları en ekonomik şekilde ortadan kaldırmaktır. Özellikle büyük maliyetlerle inşa edilen ve dünyada en yaygın yapı tipi olarak kullanılan betonarme yapılarda; korozyon nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıpların büyüklüğü göz ardı edilmemelidir. Başlangıçta betonarme yapının ömrü 50 – 100 yıl olacak biçimde projelendirilmiş olsa bile, tasarım ve yapım aşamalarında korozyona karşı gerekli önlemlerin alınmaması sonucunda, yapı bu tasarım süresi dolmadan ekonomik ömrünü tamamlamakta ve dayanım kaybına bağlı olarak eğilme ve kesme çatlakları

ortaya çıkmaktadır. Korozyon sonucunda, donatıda meydana gelen hacimsel genişleme sonucu, betonarmeyi oluşturan beton ve donatı arasındaki aderans kaybı ve ayrıca, donatıda kesit kaybı ve buna bağlı olarak da taşıma gücünde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Onarım ve güçlendirme çalışmaları ise çoğunlukla yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Korozyon, Betonarme, Aderans, Katodik Koruma

## **ABSTARCT**

# AN EXPERIMENTAL STUDY OF EXTERIOR CURRENT SOURCE CATHODIC CORROSION PROTECTION ON REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

HAMİDİYE, Fulya

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor Asst. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

June 2008, 70 Pages

Chemical and electro – chemical reaction between steel materials and enviroment can disturb metallic feature and it means corrosion.

The basic reason for protection against corrosion for the reinforced concrete buildings is its economic results. The basic aim is to decrease high economic losts which have been occured due to the corrosion. Corrosion effects must'nt be minimized especially for high cost reinforced concrete buildings which are very wide spread in the world now. If the reinforced concrete buildings haven't been designed and manufactured according to the corrosion effects, these high cost buildings life time will decrease so much, although they have been designed and constructed for 50 – 100 years life time at the begining of the project. And also, as a result of corrosion we can

say that reinforced concrete buildings will have durability lost because of bending cracks. As a result of corrosion high costs will be needed for repairing and reinforcing of corroded buildings.

**Key Words** : Corrosion, Concrete, Adherence, Cathodic Protection

Canım Annem 'e



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Prf. Dr.Mustafa Yılmaz KILINÇ'a ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, ve hafta sonları dahil tüm özel zamanlarında da bu çalışmayı tamamlamam için büyük fedakarlık ve anlayış gösteren tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr Orhan DOĞAN'a, büyük fedakarlıklarla bana hayatımın her anında destek olan ve beni yetiştirip büyük emeklerle bu günlere getiren değerli annem Nurcan Hamidiye'ye ve babam Ferudun Hamidiye'ye, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm ablam Nilüfer Hamidiye'ye ve abim Hamit Hamidiye'ye ve son olarak bana, tezimi tamamlamam esnasında desteğini esirgemeyen Prekons İnşaat Ltd. şti 'deki tüm amirlerim ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

1.1. Beton İçine Oksijen Difüzyon Hızının Su / Çimento Oranına Bağlılığı.....	12
1.2. Korozyon Hızının Tuz Konsantrasyonuna Göre Değişimi.....	13
1.3. Donatı – Su Sistemi İçin Potansiyel – pH Diyagramı.....	14
1.4. Donatı – Su – Klorür Çözeltisi İçin Potansiyel – pH Diyagramı.....	15
1.5. Beton İçinde Çeliğin Anodik Polarizasyon Eğrileri.....	16
1.6. Klorür İyonlarının Donatı Yüzeyine Nüfuzu.....	19
1.7. Klorür İyonu Etkisiyle Donatı Yüzeyinde Korozyon Hücresinin Oluşması.....	20
1.8. Donatıda Oluşan Anodik Ve katodik Bölgeler.....	21
1.9. Beton İçine Klorür Difüzyon Hızının Mesafeye Göre Değişimi.....	23
1.10. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma.....	26
1.11. Galvanik Anotlarla Katodik Koruma.....	27
1.12. Betonarme Donatısının Katodik Koruması.....	33
1.13. Demir Silikon Anotlar İle Katodik Koruma.....	35
1.14 İletken Polimer Kafes Anotlar İle Katodik Koruma.....	36
1.15 Oksit Kaplı Titanyum Elek Anotlarla Katodik Koruma.....	37
1.16. İletken Boyalar İle Katodik Koruma.....	38
2.1. A Tipi Deney Numunesi (Ø16).....	42
2.2. B Tipi Deney Numunesi (Ø16).....	42
2.3. C Tipi Deney Numunesi (Ø16).....	43
2.4. D Tipi Deney Numunesi (Ø16).....	44

2.5. DC Güç Kaynağı.....	47
2.6. Direnç Ölçüm Cihazı.....	48
2.7. Korozyona Bırakılmış Deney Numuneleri.....	50
2.8. Katot Ucuna Bağlı Deney Numuneleri.....	52
2.9. Deney Düzeneği.....	52
3.1. % 4 - %2 - %1 Klorlu Su Çözeltisinde Zamana Bağlı Direnç Eğrileri.....	55
3.2. % 4 - %2 - %1 Oksijenli Su Çözeltisinde Zamana Bağlı Direnç Eğrileri.....	56
3.3. % 4 - %2 - %1 Sülfatlı Su Çözeltisinde Zamana Bağlı Direnç Eğrileri.....	57
3.4. % 4 'Lük Farklı Çözelti Tiplerine Göre Zaman - Direnç Eğrileri.....	59
3.5. % 2 'Lik Farklı Çözelti Tiplerine Göre Zaman - Direnç Eğrileri.....	60
3.6. % 1 'Lik Farklı Çözelti Tiplerine Göre Zaman - Direnç Eğrileri .....	61
3.7. Katot Ucuna Bağlı , Suya Doygun Kömür Tozu İçerisinde Bulunan Numenelrin Zaman - Direnç Eğrileri .....	62
3.8. Serbest Halde , Suya Doygun Kömür Tozu İçerisinde Bulunan Numenelrin Zaman - Direnç Eğrileri .....	63
3.9. Klorlu Su Çözletisinde Farklı bağlantı Tiplerine Göre Zaman – Direnç Eğrileri .....	64
3.10. Oksijenli Su Çözletisinde Farklı bağlantı Tiplerine Göre Zaman – Direnç Eğrileri .....	65
3.11. Sülfatlı Su Çözletisinde Farklı bağlantı Tiplerine Göre Zaman – Direnç Eğrileri .....	66

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

1.1. Katodik Koruma İçin Yaklaşık Akım İhtiyacı Değerleri.....	28
1.2. Farklı Cinslerdeki Kaplamalar İçin Yaklaşık Akım İhtiyacı Değerleri.....	28
1.3. Farklı Cins Kaplamalı Boru Hatlarının Kaplama Direnci ve Akım İhtiyacı .....	29
1.4. Katodik Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	30
1.5. Betonarme Yapılarda Donatılar İçin Katodik Koruma Akım İhtiyacı.....	34
2.1. Deneyde Kullanılan Çözeltiler Ve Bileşimleri.....	45
3.1. Deney Numunelerinden Alınan Ölçüm Değerleri.....	54

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	3
1.2. Korozyonun Tanımı, Oluşumu Ve Çeşitleri.....	6
1.2.1. Giriş.....	6
1.2.2. Korozyonun Oluşumu.....	6
1.2.3. Korozyon Çeşitleri.....	7
1.2.3.1. Üniform Korozyon.....	7
1.2.3.2. Çukur Korozyonu.....	7
1.2.3.3. Galvanik Korozyon.....	8
1.2.3.4. Kabuk Altı Korozyonu.....	8
1.2.4. Betonarme Yapılarda Korozyonun Oluşumu .....	8
1.2.4.1. Giriş.....	8
1.2.4.2. Betonarme Yapılarda Korozyonun mekanizması Ve Reaksiyonları.....	10
1.2.5. Betonarme Donatısının Pasifleşmesi Ve Pasifliğin Bozulması..	14

1.2.5.1. Betonarme Donatısının Pasifliğinin Karbonasyon Etkisiyle Bozulması.....	17
1.2.5.2. Betonarme Donatısının Pasifliğinin Klorür İyonu Etkisiyle Bozulması.....	18
1.2.6. Betonarme Yapılarda Korozyona Karşı Alınacak Önlemler.....	21
1.2.6.1 Betonun Permeabilitesinin Azaltılması.....	21
1.2.6.2 Betonun Yüzeyinin Polimer Veya Plastik İle Kaplanması ..	22
1.2.6.3 Portland Çimentosu Şerbeti İle Kaplama .....	22
1.2.6.4 Pas Payının Artırılması.....	23
1.3. Katodik Koruma .....	24
1.3.1 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma .....	25
1.3.2 Galvanik Anotlu Katodik Koruma .....	26
1.4. Katodik Koruma Akım İhtiyacı.....	27
1.5. Katodik Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	30
1.6. Betonarme Yapılarda Katodik Koruma.....	32
1.6.1 Betonarme Yapılarda Katodik Koruma Akım İhtiyacı Ve Koruma Kriterleri .....	33
1.7 Betonarme Yapılarda Katodik Koruma Uygulama Yöntemleri.....	35
1.7.1 Demir Silikon Anotlarla Katodik Koruma.....	35
1.7.2 İletken Polimer Anotlarla Katodik Koruma.....	36
1.7.3 Oksit Kaplı Titanyum Elek Anotlar İle Katodik Koruma.....	38
1.7.4 İletken Boyalar İle Katodik Koruma.....	38
1.8 Çalışmanın Amacı.....	39

2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	41
2.1 Materyal.....	41
2.1.1 Deney Numuneleri.....	41
2.1.1.1 A Tipi Deney Numuneleri.....	42
2.1.1.2 B Tipi Deney Numuneleri.....	42
2.1.1.3 C Tipi Deney Numuneleri.....	43
2.1.1.4 D Tipi Deney Numuneleri.....	43
2.1.2 Deney Numunelerinin Farklı Tiplerde oluşturulmasının Amacı.....	44
2.1.3 Deneyde Kullanılacak Çözelti Türleri.....	44
2.1.3.1 Çözeltilerin Hazırlanması.....	45
2.1.4 Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	46
2.1.4.1 Dc Güç Kaynağı.....	46
2.1.4.2 Ölçüm Cihazı.....	47
2.1.4.3 Deneyde Kullanılan Diğer Malzemeler.....	47
2.2 Yöntem.....	49
2.2.1 Katot Ucuna Bağlanmamış (serbest Halde) Numunelerin korozyona Bırakılması Yöntemi.....	49
2.2.2 Katot Ucuna Bağlanmış (Elektriğe bağlı Halde) Numunelerin korozyona Bırakılması Yöntem.....	50
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	53
3.1 Bulgular.....	53
3.1.1 Farklı Çözelti Tipleri İçerisindeki Numunelerin Zaman – Direnç Grafikleri ve Yorumlanması .....	54

3.1.2 Farklı Çözelti Tipleri İçerisinde % Oranlarına Göre Numunelerin Zaman – Direnç Grafikleri ve Yorumlanması .....	58
3.1.3 Suya Doğun Kömür tozu İçerisindeki Numunelerin Zaman – Direnç Grafikleri ve Yorumlanması .....	61
3.1.4 Bağlantı Tiplerine Göre Zaman – Direnç Grafikleri, Yorumlanması Ve Karşılaştırılması.....	63
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	67
KAYNAKLAR .....	70



## 1. GİRİŞ

Metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektro-kimyasal reaksiyona girerek metalik özelliklerini kaybetmeleri olayına korozyon adı verilmektedir. Korozyonun sebebi, kararsız haldeki metalin serbest elektronlarını vererek pozitif iyon oluşturması, elektronları alan malzemenin ise negatif iyon oluşturması sonucunda pozitif iyonlarla negatif iyonlar arasındaki çekim kuvveti ile iyonik bağlı kararlı bileşiğin metal yüzeyinde bir korozyon ürününe, yani pası dönüşerek metali tahrip etmesidir.

Korozyon olayı endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, yeraltı boru hatları, betonarme yapıların donatıları, iskele ayakları ve daha birçok yapı korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Büyük maliyetlerle inşaa edilen tüm bu yapılar korozyon nedeniyle beklenenden daha kısa sürede işletme dışı kalmakta ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir.

Metallerin korozyonu insanlık için uzun yıllar boyunca problem olmuştur. 20.yyıda sanayideki gelişmeyle beraber, metalin çeşitli sahalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanması korozyon sorununun önemini daha da artırmıştır. 1950'li yıllarda korozyonun mekanizmasının anlaşılması ile birlikte korozyon olayını önlemeye yönelik çalışmalar hızlanmıştır.

Korozyon kayıpları ülkelerin gayri safi milli hâsılasının yaklaşık % 3,5 – 4,5 'ü kadardır. Yapılan araştırmalara göre 1976 yılında Amerika Birleşik Devletlerindeki korozyon kaybı 70 milyar dolar / yıl, 1982 yılında 126 milyar

dolar / yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değerin korozyonla m¼cadelenin hen¼z yetersiz olduęu¼lkemizde daha b¼y¼k olması beklenebilir.

Korozyonu önlemek için uygulanabilecek birçok yöntem vardır. Korozyondan korunma yöntemleri arasında uygun tasarım, uygun malzeme seçimi, yeterli yüzey kaplaması, anodik koruma ve katodik koruma yer alır. Bu önlemler arasında katodik koruma dışındakiler korozyon hızını azaltan, başka bir deyişle korozyonu kısmen önleyen yöntemlerdir. Katodik korumada ise son yıllarda büyük gelişmeler olmuş ve korozyonla mücadelede en etkili ve ekonomik yöntem durumuna gelmiştir.

Korozyonla m¼cadelenin temeli ekonomiye dayanır. Amaç korozyon kayıplarını en ekonomik şekilde ortadan kaldırmaktır. Özellikle büyük maliyetlerle inşa edilen ve dünyada en yaygın yapı tipi olarak kullanılan betonarme yapılarda; korozyon nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıpların büyüklüğü göz ardı edilmemelidir. Başlangıçta betonarme yapının ömrü 50 – 100 yıl olacak biçimde projelendirilmiş olsa bile, tasarım ve yapım aşamalarında korozyona karşı gerekli önlemlerin alınmaması sonucunda, yapı bu tasarım süresi dolmadan ekonomik ömrünü tamamlamakta ve dayanım kaybına bağlı olarak eğilme kesme çatlakları ortaya çıkmaktadır. Korozyon sonucunda, donatıda meydana gelen hacimsel genişleme sonucu, betonarmeyi oluşturan beton ve donatı arasındaki aderans kaybı ve ayrıca, donatıda kesit kaybı ve buna bağlı olarak da taşıma gücünde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Onarım ve güçlendirme çalışmaları ise çoğunlukla yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir.

Bu çalışma, deneysel bir çalışma olup, betonarme donatısının korozyona karşı korumasında en etkili önlemlerden biri olan katodik koruma üzerinedir. Katodik koruma; korozyondan korunacak metali, oluşturulacak bir elektro-kimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir. Bu amaçla betonarme donatısının farklı çözeltilerde, belirli zaman aralıklarında serbest halde korozyon miktarları ve elektrik akımı ile yani katodik koruma uygulanarak ne kadar korunabileceği deneysel olarak incelenmiştir.

### **1.1. Kaynak Özetleri**

Katodik koruma ilk olarak 1824 yılında Sir Humphry Davy tarafından Samarang isimli bir harp gemisi üzerinde denenmiştir. Geminin bakır gövdesi, çinko anotlarla korunmuştur. Ancak bu ilk uygulama başarısızlıkla sonuçlanmıştır<sup>(2)</sup>. Başarısızlığın katodik koruma uygulamasının yanlışlığından ileri gelmediği sonraki yıllarda anlaşılmıştır. Davy tarafından bilimsel metotlarla yapılmış olan bu uygulamada katodik koruma ile bakırın korozyonu tam olarak önlenmiştir. Fakat koruma sonucu bakır iyonlarının toksik etkisi kalmadığından gemi gövdesi deniz canlıları ve yosundan oluşan bir kabuk ile kaplanmıştır. Bu görüntü, o yıllarda katodik korumanın etkisiz kaldığı şeklinde yorumlanmış ve katodik koruma uygulamasından vazgeçilmiştir. Başarısız sayılan bu uygulamadan yaklaşık yüz yıl sonra, bu asrın başlarında uzak mesafelere boru hatları ile petrol taşınması zorunlu hale gelince, yeraltı boru hatlarındaki korozyonu önlemek amacıyla katodik koruma uygulamalarına yeniden başlanmıştır.

Önceleri boru hatları üzerinde başlayan katodik koruma uygulamalar 1950' li yıllardan sonra, tanklar, gemiler, su depoları, baraj kapakları, iskele ayakları, betonarme donatıları ve daha birçok metalik yapıya yaygın biçimde uygulanmaya başlanmıştır.

S.Mashadeh 1996 yılında O.D.T.Ü Metalürji Mühendisliği Bölümünde yapmış olduğu doktora çalışmasında betonarme yapılarda kullanılan betonarme donatısına, on farklı çözeltide katodik koruma uygulamıştır. Numuneler, betona benzer çözeltiler içinde -1300, -1100, -850 mV potansiyel değerlerinde polarize edilmiş ve ardından aşama aşama yükleme yapılarak eğilme testine tabi tutulmuştur.

A.Özcan 1997 yılında Ç.Ü, Kimya Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde betonarme donatısının elektrokimyasal davranışlarını atmosfere açık ortamda potansiyostat aygıtı kullanarak araştırmıştır. Ölçümlerde yardımcı elektrot olarak Pt kullanmış ve potansiyelleri kalomel elektrota karşı ölçmüştür. Değişik derişimlerde klorürü iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme donatıları, bırakıldıkları ortamda 1 gün bekletildikten sonra akım – potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Bu akım - potansiyel eğrilerinden belirlenen katodik (-700 mV) ve Anodik (+700 mV) potansiyeller elektrokimyasal hücreye uygulanarak 5 saat içerisindeki klorür iyonu derişimleri, pH değerleri ve elektriksel iletkenlikleri belirlenmiştir.

F.Delikanlı 2001 yılında İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsünde hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde donatılı betonda (betonarme) korozyon hasarını ve bu hasarın giderilme yollarını araştırmış; sonuçta beton ve donatı

korozyonunu önlemenin en doğru yolunun, başlangıçta betonarmeyi oluştururken, betonun ve donatının maruz kalacağı ortamların doğru analiz edilerek en kaliteli ve uygun betonarmeyi oluşturmak olduğunu tespit etmiştir.

B.Bağlan 1999 yılında Ç.Ü, Kimya Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde katodik koruma altındaki betonarme demirinin potansiyel – pH ilişkisini araştırarak olası alkali korozyona karşı uygun bir katodik koruma potansiyelinin saptamayı amaçlamıştır.

S.Daily 2000 yılında yaptığı çalışmada deniz suyuna maruz betonarme yapıların, katodik koruma yöntemiyle korozyondan korunma yöntemini araştırmış, deniz suyuna maruz betonarme yapıların korozyondan katodik korumayla korunması yönteminde anot tipi ve kullanım yeri seçiminin önemini vurgulamıştır.

Bu çalışmada, betonarme yapılarda korozyona karşı, katodik koruma konusu incelenmiş ve yöntem olarak dış akım kaynaklı katodik koruma kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı tipte, farklı derişimlerdeki çözeltiler içerisinde, deney numunesi olarak kullanılan donatı parçalarının, belirli zaman dilimlerindeki, serbest olarak ve katodik koruma altındaki korozyon miktarları ölçülmüş, katodik koruma akım ihtiyacı ve maliyeti deneysel olarak saptanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde korozyonun tanımı, oluşum nedenleri, betonarme yapılarda korozyon, koruma yöntemleri ve katodik koruma hakkında bilgi verilerek tez çalışmasında kullanılan numunelerde uygulaması anlatılacaktır.

## 1.2. Korozyonun Tanımı, Oluşumu ve Çeşitleri

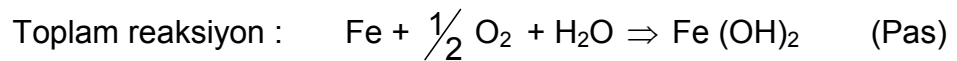
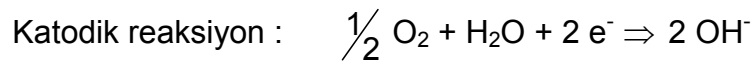
### 1.2.1. Giriş

Genel olarak korozyon; metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Korozyon olayı metal yüzeylerinde oluşan korozyon hücrelerinin anot ve katodunda meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlarla oluşur.

### 1.2.2. Korozyonun Oluşumu

Korozyonun sebebi, kararsız haldeki metalin serbest elektronlarını vererek pozitif iyon oluşturması, elektronları alan malzemenin ise negatif iyon oluşturması sonucunda pozitif iyonlarla negatif iyonlar arasındaki çekim kuvveti ile iyonik bağlı kararlı bileşiğin metal yüzeyinde bir korozyon ürününe, yani pasa dönüşerek metali tahrip etmesidir.

Korozyon reaksiyonları bir çift anodik ve katodik reaksiyonların toplamıdır.



### **1.2.3. Korozyon Çeşitleri**

Çeşitli ortamlarda, değişik etkiler ve farklı mekanizmalarla oluşan korozyon olayları birbirinden farklıdır. Pratikte birbirinden ayırt edilebilen 16 farklı korozyon çeşidi vardır. Aşağıda korozyon çeşitlerinden birkaçına konunun daha iyi anlaşılacağı düşüncesiyle kısaca değinilecektir.

#### **1.2.3.1. Üiform Korozyon**

Metal yüzeyinin tüm noktalarında, aynı hızla ilerleyen korozyon çeşididir. Üiform korozyonun oluşması durumunda bu tip korozyona maruz kalan metalin kalınlığı her noktada eşit derecede azalır. Üiform korozyon hızı, birim zamanda birim yüzey alanına düşen ağırlık kaybı olarak ifade edilebilir (**mg /dm<sup>2</sup>.gün**). Üiform korozyon, mikro korozyon hücrelerinin metalin bütün yüzeyine dağılmasıyla meydana gelir.

#### **1.2.3.2. Çukur Korozyonu**

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyonun oluşumunda anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin olarak ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon olayı ilerlerken oluşan bu çukur büyür ve metalin o noktadan kısa sürede kırılmasına neden olur. Bu nedenle çukur korozyonu çok tehlikeli bir korozyon türü olarak değerlendirilir.

### **1.2.3.3. Galvanik Korozyon**

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona sıkça rastlanır. Metallerin daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot durumundadır. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot durumuna geçen metal korozyona uğrar. Galvanik korozyon için her iki metale de değen bir elektrolit olması gerekir. Daha çok rutubetli ortamlarda oluşur, eğer metal yüzeyleri kuru ise bu durumda galvanik korozyon söz konusu değildir.

### **1.2.3.4. Kabuk Altı Korozyonu**

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona sıkça rastlanır. Metallerin daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot durumundadır. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot durumuna geçen metal korozyona uğrar. Galvanik korozyon için her iki metale de değen bir elektrolit olması gerekir. Daha çok rutubetli ortamlarda oluşur, eğer metal yüzeyleri kuru ise bu durumda galvanik korozyon söz konusu değildir.

## **1.2.4. Betonarme Yapılarda Korozyonun Oluşumu**

### **1.2.4.1. Giriş**

Beton normal halde betonarme donatısı için hem kimyasal, hem de fiziksel olarak iyi bir koruyucu ortam oluşturur. Çimento + su reaksiyonu sonucu CaOH (kalsiyum hidroksit) oluşur ve beton oldukça yüksek alkali



özelliik kazanır. Oluşan bu yüksek alkali ortam, betonarme donatısının yüzeyinde pasif bir oksit tabakası oluşmasına neden olur. Bu pasif oksit filmi betonarme donatısını korozyona karşı korur. Bir elektrolit olarak betonun iletkenliğı çok düşüktür. İletkenliğın düşüklüğü betonarme donatıları üzerinde korozyon hücrelerinin gelişmesini güçleştirici bir etki gösterir. Diğer taraftan betonun geçirgenliğinin düşük oluşu, korozyona neden olabilecek zararlı bileşenlerin beton içine nüfuz etmesini ve betonarme donatısının yüzeyine kadar ulaşmasını güçleştirir. Betonun bu içsel koruyucu özelliklerinden dolayı, donatının korozyonu, tüm betonarme eleman veya yapılarda görülmez. Fakat betonarme yapılarda, betonun kalitesinin yetersiz olması ve gerekli önlemlerin alınmaması durumunda betonarme donatıları zamanla korozyona uğrayabilir.

Beton, yapısı nedeniyle betonarme donatıları için iyi bir koruyucu ortam oluşturur. Bu durum betonun hidratasyonu sonucunda kazandığı yüksek alkali özelliikten ileri gelir. Betonun pH'ı 12,5 civarındadır. Betonun pH derecesinin yüksek oluşu betonarme donatısının yüzeyinde, donatıyı korozyona karşı koruyan, pasif bir oksit filmi oluşmasına neden olur. Bazı durumlar, bu pasif tabakanın tahrip olmasına ve donatının korozyonuna yol açar.

Beton bileşimine giren kum, çakıl ve su gibi bileşenler normal halde çok düşük konsantrasyonlarda klorür içerir. Bu düşük miktardaki klorür iyonu betonarme donatısının korozyonuna neden olmaz. Klorür iyonunun zararlı etkisi ancak beton bileşiminde % 0,2 den fazla bulunması halinde söz konusu olabilir. Ayrıca karbonasyon olayı betonun pH derecesinin azalmasına yol

açarak korozyon açısından tehlikeyi artırıcı rol oynamaktadır. Ancak su / çimento oranı düşük betonlarda yavaş ilerleyen bir durum olduğundan, klorür iyonlarına bağlı olarak korozyon oluşması ihtimali karbonasyondan kaynaklanacak korozyon ihtimaline göre daha yüksektir. Klorür iyonuna doğada sık rastlandığından genellikle istemeyerek de olsa küçük oranlarda beton karışımlarında bulunmaktadır.

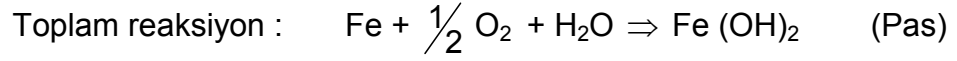
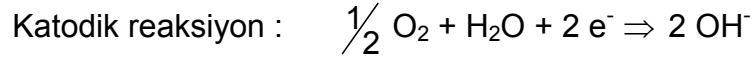
Betonarme donatısının korozyonu, beton karışımındaki klorür iyonları ve betonun PH değeri gibi kimyasal özelliklerin yanında betonun fiziksel özelliklerine de bağlıdır. Betonun porozitesi ve permeabilitesi korozyona dolaylı olarak etki eden faktörlerdir. Korozyon reaksiyonunun temel bileşenleri olan oksijen ve su; beton içine çevreden difüzyon yoluyla katılır. Beton içine oksijen difüzyon hızı ise; betonun porozitesine ve rutubet derecesine bağlıdır. Bu açıdan bakıldığında sağlam ve geçirimsiz özellikte, kaliteli bir beton üretilerek betonarme donatısının korozyonunun büyük ölçüde azaltılabileceği anlaşılmaktadır.

#### **1.2.4.2. Betonarme Yapılarda Korozyonun Mekanizması Ve Korozyon Reaksiyonları**

Yeraltında, beton içerisinde ya da su altında metallerdeki korozyon; bir metalden diğerine veya aynı metalin yüzeyinde bir noktadan diğer bir noktaya geçen galvanik akımlardan kaynaklanır. Bu elektrik akımının gerçekleşebilmesi için elektrik akımının geçişine izin veren ortamda ıslak bir iletken veya elektrolit olmak zorundadır. Beton en kuru koşullarda bile bir elektrolit ortamı kabul edilebilir.

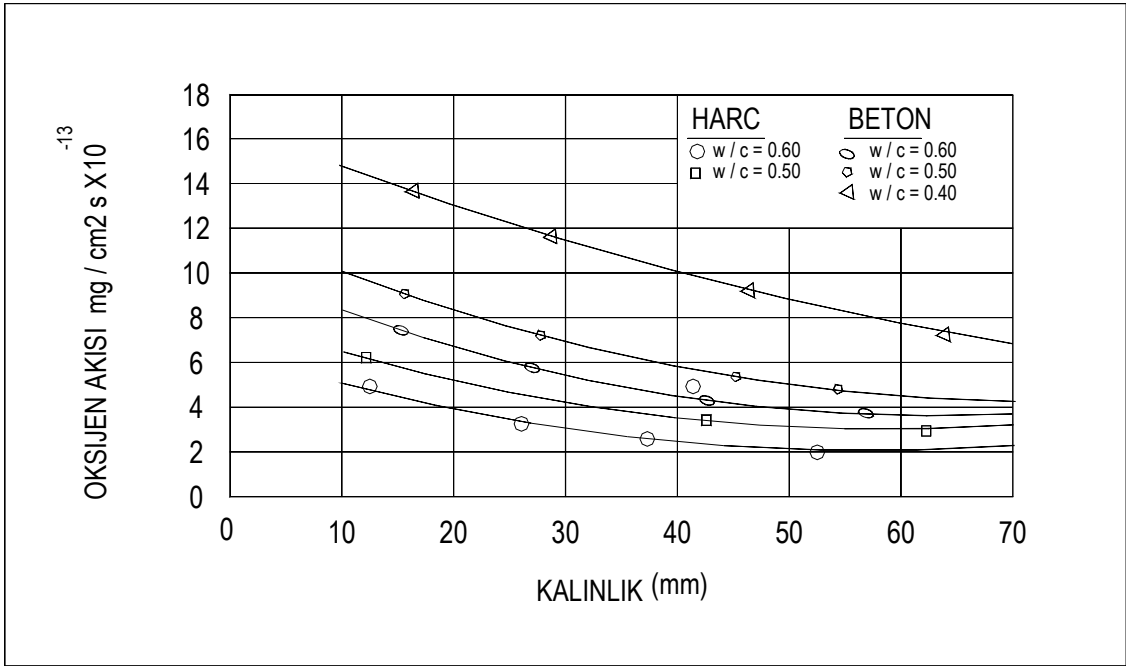
Korozyonun sebebi, kararsız haldeki metalin serbest elektronlarını vererek pozitif iyon oluşturmaları, elektronları alan malzemenin ise negatif iyon oluşturmaları sonucunda pozitif iyonlarla negatif iyonlar arasındaki çekim kuvveti ile iyonik bağlı kararlı bileşiğin metal yüzeyinde bir korozyon ürününe, yani pasa dönüşerek metali tahrip etmesidir.

Korozyon reaksiyonları bir çift anodik ve katodik reaksiyonların toplamıdır.



Bu reaksiyonlardan açıkça anlaşılacağı üzere betonarme donatısının korozyonu için oksijene ve suya mutlaka ihtiyaç vardır. Yani kuru haldeki beton içindeki donatı korozyona uğramaz. Yeterli oksijen bulunmaması durumunda da korozyon oluşmaz. Ancak poroz bir malzeme olan beton içine oksijen kolaylıkla girebilir. Beton içine oksijen girişi iki yolla olur. Birincisi oksijene doymuş haldeki su beton içine süzülürken, oksijeni betonarme donatılarına kadar beraberinde taşır. Bu olay periyodik olarak ıslanan ve kuruyan betonlarda etkili olur. İkinci yol ise havanın doğrudan beton boşluk ve çatlaklarına dolarak oksijeni taşımalarıdır. Eğer beton boşlukları su ile dolu değilse bu olay çok hızlı gerçekleşir. Aksi halde oksijenin beton boşlukları içindeki suda çözünerek oradan betonarme donatısına kadar çözelti içinde taşınması gerekir. Oksijenin çözelti içindeki difüzyon hızı çok düşük olduğundan, bu yolla oksijen transferi oldukça yavaştır.

Oksijenin betonarme donatısı yüzeyine kadar nüfuz etmesi büyük ölçüde beton yapısına ve porozitesine bağlıdır. Beton boşluk suyu içinde çözülmüş olan oksijenin difüzyon katsayısı çok küçüktür. Şekil- 1.1'de görüldüğü gibi betonun su ile doygunluk yüzdesi ve beton yapımı sırasında kullanılan su / çimento oranı da oksijenin difüzyon hızını etkiler.

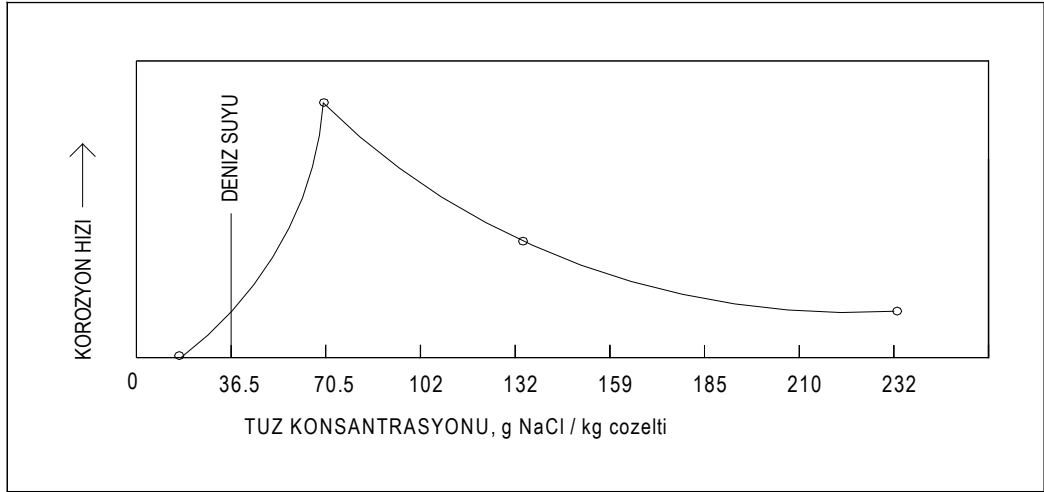


**Şekil 1.1** Beton içine oksijen difüzyon hızının su / çimento oranına bağlılığı

Şekilde su ile doygun halde bulunan değişik su / çimento oranına sahip beton ve harçlar içinde oksijen difüzyon hızının beton kalınlığına göre değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi su / çimento oranı arttıkça oksijenin difüzyon hızında da artış olmaktadır. Bu durumda donatının korozyon hızında da artış olması beklenebilir.

Yukarıda da belirtildiği üzere, betonarme donatısının korozyonu için hem oksijene hem de suya ihtiyaç vardır. Beton kuru haldeyken su eksikliğinden, beton suya tam doygun haldeyken de oksijen eksikliğinden donatının korozyonu son derece yavaştır. En şiddetli korozyon olayı, periyodik olarak ıslanan ve kuruyan betonlarda görülür.

Su içerisindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonu korozyon açısından büyük önem taşır. Oksijenin sudaki çözünürlüğü oldukça düşüktür ve sıcaklık arttıkça azalır. Oksijenin tuzlu sular içindeki çözünürlüğü de saf sudakine göre daha azdır. Tuz konsantrasyonu arttıkça su içinde çözülmüş haldeki oksijen konsantrasyonu gittikçe azalır. Bu nedenle, şekil- 1.2 'de de görüldüğü gibi, yüksek konsantrasyondaki tuzlu sular içinde korozyon hızının artık artmadığı görülür.

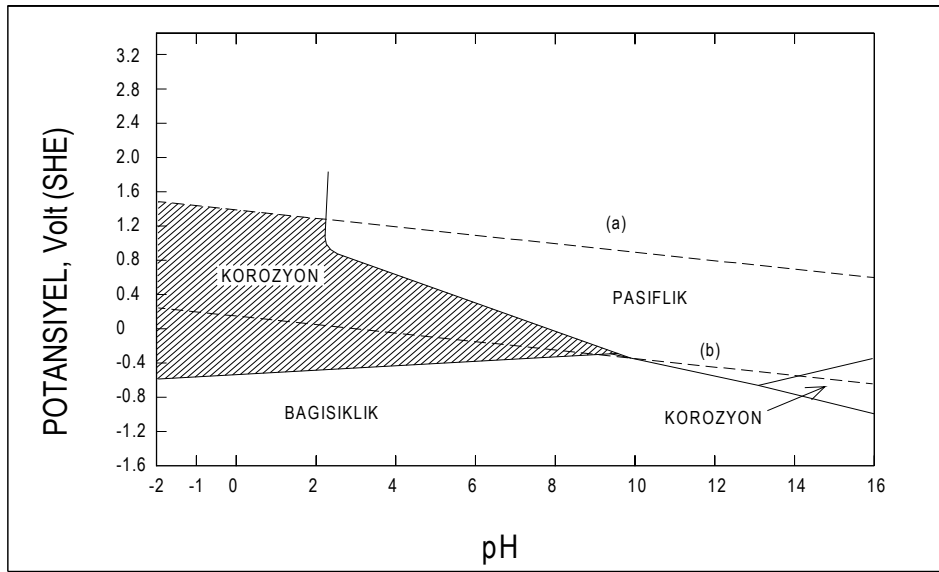


**Şekil 1.2** Korozyon hızının tuz konsantrasyonuna göre değişimi

Şekilde görüldüğü gibi, başlangıçta çözelti içindeki tuz konsantrasyonu arttıkça klorür iyonu etkisi ile korozyon hızında da artış olmaktadır. Tuz

konsantrasyonu belli bir değere ( 75 g tuz / kg çözelti) ulaştıktan sonra korozyon hızında azalma görülmektedir. Bu durum tuz konsantrasyonunun artışı ile birlikte su içinde çözülmüş olarak bulunan oksijen konsantrasyonunun azalmasından ileri gelmektedir.

### 1.2.5. Betonarme Donatısının Pasifleşmesi Ve Pasifliğin Bozulması

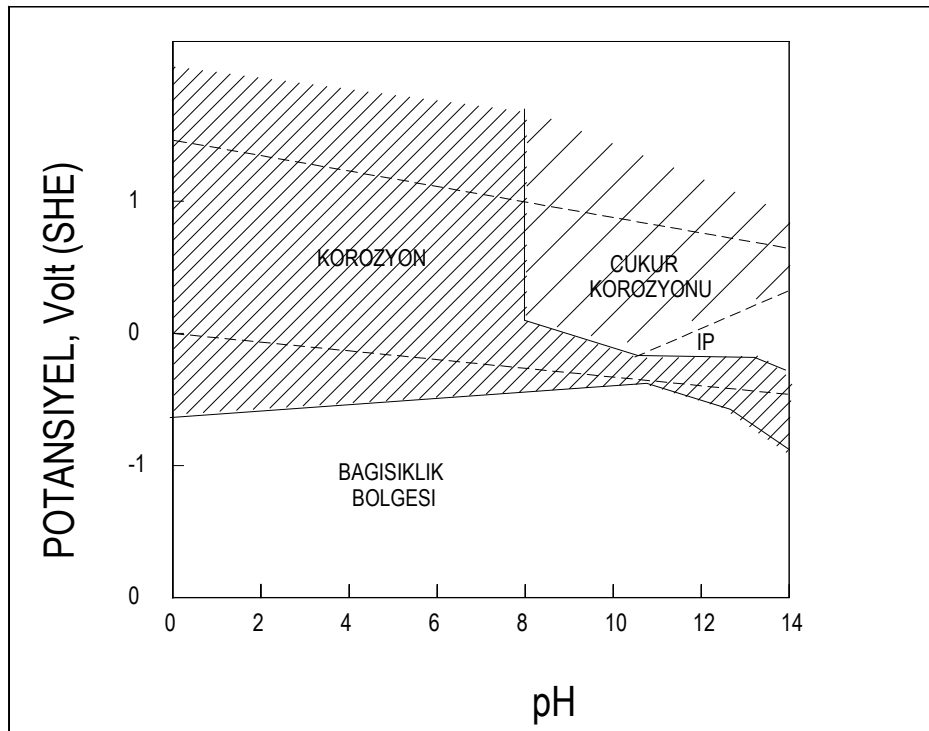


**Şekil 1.3** Donatı – su sistemi için potansiyel – pH diyagramı

Taze betonun pH derecesi 12,5 – 13,2 civarındadır. Beton bileşiminde klorür iyonu yoksa beton içindeki donatı pasif halde bulunur. Klorürü iyonu içermeyen ve atmosferde bulunan bir beton içerisindeki donatının aktif veya pasif halde bulunduğu bölgeler potansiyel – pH diyagramında görülmektedir. (Şekil – 1.3)

Diyagramda pH derecesinin  $10 < \text{pH} < 13$  olduğu bölgelerde betonarme donatısının potansiyel değerine bağlı olarak ya bağışıklık, ya da pasifleşme bölgesinde olduğu görülmektedir.

Beton içinde klorür iyonu bulunması halinde durum biraz farklıdır. Klorürlü ortamlarda donatı çok dar bir potansiyel aralığında pasif halde bulunur. Şekil – 1.4 'de, içerisinde % 3,5 oranında klorürü iyonu bulunan bir beton için potansiyel – pH diyagramı görülmektedir.

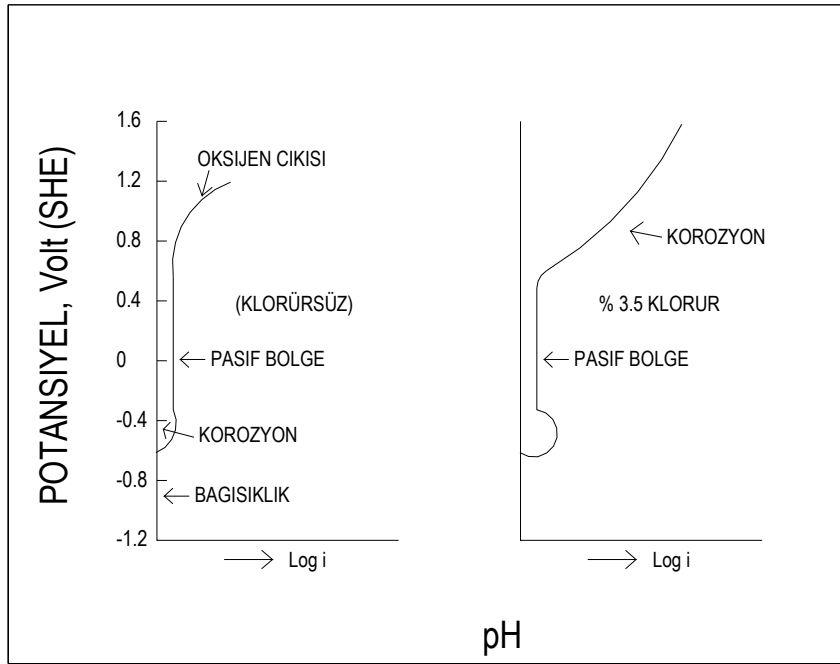


**Şekil 1.4** Donatı – su – klorür çözeltisi için potansiyel – pH diyagramı

Diyagramda görüldüğü üzere, klorür iyonunu etkisi ile korozyon bölgesi genişlemiştir. Ayrıca, potansiyelin yüksek olduğu bölgelerde pasiflik

bozulmuş ve çukur tipi korozyon başlamıştır. Yani pasif olan bölge içinde de pasif tabakanın koruyucu özelliği yeterli değildir.

Pasif bölgenin klorürü iyonu etkisiyle ne derecede daraldığı, betonarme donatısının klorürü iyonu içermeyen beton içinde ve % 3,5 oranında klorürü iyonu içeren beton içinde çizilen anodik polarizasyon eğrilerinden anlaşılabilir. (Şekil – 1.5)



**Şekil 1.5** Beton içinde çeliğin anodik polarizasyon eğrileri

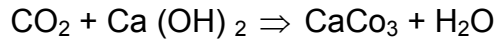
Şekilde görüldüğü gibi klorürü iyonu içermeyen beton içerisindeki donatı yaklaşık - 300 mV de pasifleşmeye başlamakta ve pasif bölge + 500 mV potansiyele kadar devam etmektedir. Buna karşılık içinde % 3,5 oranında klorürü bulunan beton içindeki pasifleşme yine - 300 mV civarında başlamakta, çelik çok dar bir bölgede pasif olarak kalmakta ve yaklaşık - 100



mV civarında pasiflik bozularak klorürü iyonu etkisiyle korozyon olayı başlamaktadır.

#### **1.2.5.1. Betonarme Donatısının Pasifliğinin Karbonasyon Etkisiyle Bozulması**

Daha önce de açıklandığı gibi, yüksek alkali özelliği nedeniyle normal koşullarda üretilmiş betonlar içinde betonarme donatısı pasif halde bulunur. Ancak herhangi bir nedenle betonun pH derecesi düşerse pasiflik bozulur. Betonun pH derecesinin düşmesine neden olan en önemli olay karbonasyondur. Karbonasyon, çevre atmosferden beton içine giren karbon dioksitin beton boşluklarında bulunan serbest kireç ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşur. Oluşan bu reaksiyon sonucunda, beton boşluk suyu içinde çözülmüş kireç konsantrasyonu azalır ve betonun pH derecesi 9'a kadar düşebilir.

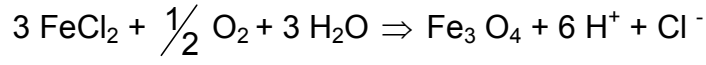
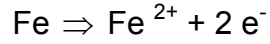


Karbonasyon olayı beton yüzeyinde başlar ve zamanla azalan bir hızla, beton derinliklerine doğru ilerler. Bu olay her şeyden önce betonun özelliklerine bağlıdır. Yüksek kalitede ve düşük poroziteli betonlarda karbonasyon etkisi çok azdır. Betonarme donatısının üzerinde bulunan beton tabakasının (pas payı) ortalama 2,5 - 5 cm olduğu göz önüne alınacak olursa, karbonasyon olayının pratik açıdan önemli bir sorun yaratmadığı ortaya çıkar.

### 1.2.5.2. Betonarme Donatısının Pasifliğinin Klorür İyonu Etkisiyle Bozulması

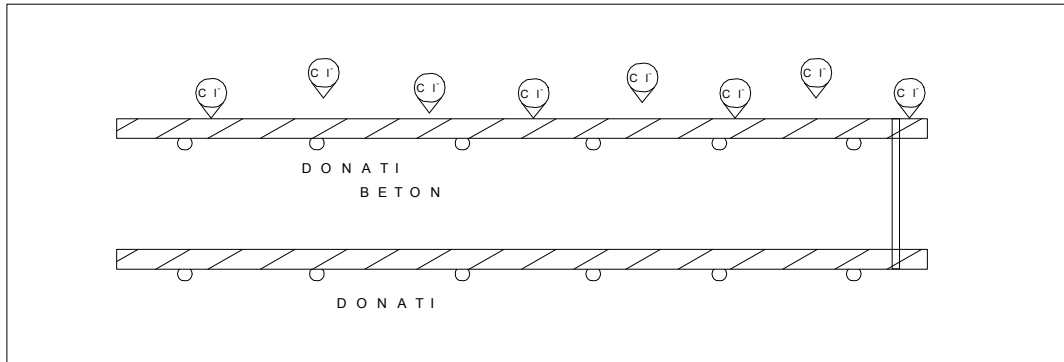
Betonun içine klorürü iyonu iki yolla girebilir. Bunlardan birincisi ve önlenebilir olanı, beton karışımı hazırlanırken kullanılan kum, çakıl, karışım suyu ve çeşitli katkı maddeleri ile giren klorür bileşikleridir. İkincisi ve daha sık rastlanan yol ise beton sertleştikten sonra çevreden beton içine difüzlendi klorürü iyonlarıdır. Betonarme donatısının korozyonu açısından başlangıçta ve sonradan beton bünyesine giren klorürü iyonu etkisini farklılık gösterir. Başlangıçta beton içine giren klorürü iyonlarının bir kısmı, çimento hidratasyon reaksiyonu sırasında, çimento klinker bileşiklerinden tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik oluşturur. Böylece klorür iyonunun bir kısmı bağlanmış olur. Bu bağlı klorürün pasifliği bozucu etkisi yoktur. Korozyon olayında, beton boşluk suyu içinde çözünmüş halde bulunan klorür iyonları etkili olur.

Klorür iyonu elektronegativitesi yüksek bir iyonudur. Bu nedenle metal yüzeyinde oksijen ve hidroksit iyonlarından daha sağlam şekilde adsorbe edilir. Adsorbe olan bu klorür iyonları korozyon sonucunda oluşan demir iyonları ile birleşerek demir klorür halinde çözeltiliye geçer. Böylece metal yüzeyinde  $Fe(OH)_2$  çökmesi olur ve pasif koruyucu film tabakasının oluşması önlenmiş olur. Çözelti içine giren  $FeCl_2$  (demir klorür) su ve oksijenle birleşerek pası oluştururken, klorürü iyonu yeniden çözelti içine karışır.



Yukarıdaki reaksiyonlardan açıkça görüldüğü üzere klorürü iyonu doğrudan korozyon yaratmaz. Ancak bir katalizör gibi davranarak korozyon olayının hızını artırıcı olarak rol oynar.

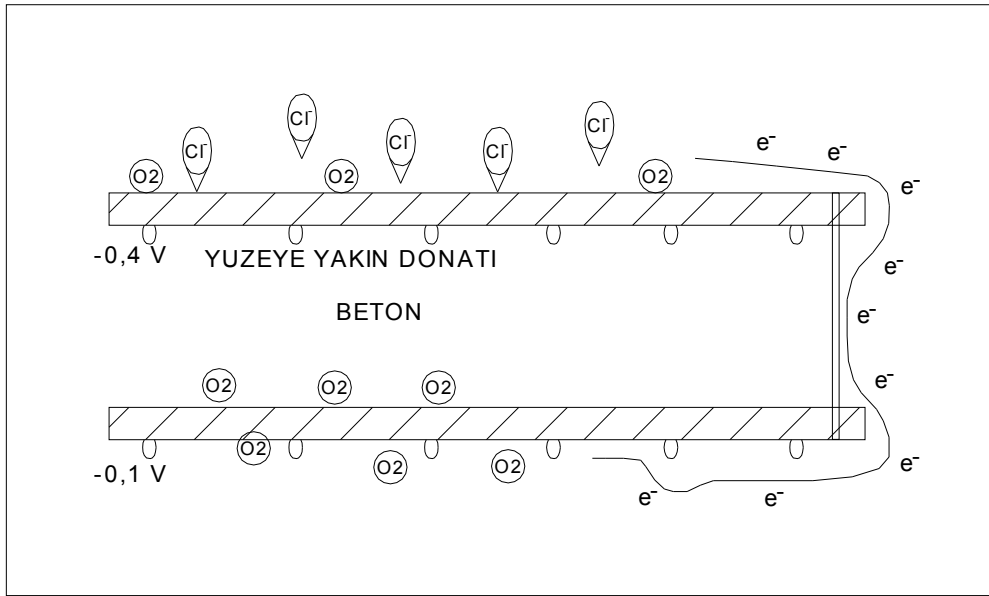
Klorür iyonunun korozyon oluşturması yukarıdaki zincirleme reaksiyonların dar bir bölgede yürümesi sonucunda ortaya çıkar. Çevreden beton içine giren klorür iyonları pasif halde bulunan betonarme donatısı üzerindeki pasif tabakayı bozarak korozyona neden olabilir. Klorürü iyonu su içinde çözülmüş olarak beton kılcal çatlaklarından veya boşluklarından ilerleyerek belli bir süre sonunda yüzeye en yakın olan donatıya ulaşır. Burada metal yüzeyindeki pasif tabakayı geçerek metal yüzeyine nüfuz eder.



**Şekil 1.6** Klorür iyonlarının donatı yüzeyine nüfuzu

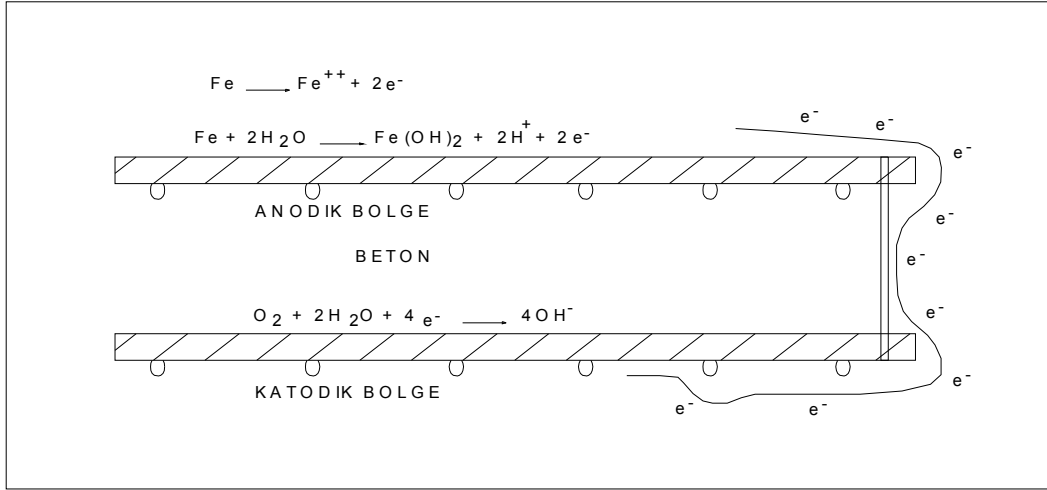
Betonarme donatısının potansiyeli pasif haldeyken – 0,200 Volt ‘dan daha pozitiftir. Klorür iyonunun adsorbsiyonu ile donatının potansiyelinde

negatif yönde bir artış olur. Böylece yüzeye daha yakın olan betonarme donatıları anot durumuna gelirken, daha alt kısımda kalan ve klorürü iyonlarının erişemediği donatılar katot durumuna geçer. Metalik bağlantı yoluyla anottan katota doğru bir elektron akımı başlar. Böylece anot ve katot durumuna geçen bu iki betonarme donatısı arasında korozyon hücresi oluşur. (Şekil- 1.7)



**Şekil 1.7** Klorür iyonu etkisiyle donatı yüzeyinde korozyon hücresinin oluşması

Klorürsüz bir ortamda meydana gelen korozyon olayında anot bölgesinde çözünen demir iyonları demir hidroksit halinde metal yüzeyinde çökeldiği halde, ortamda klorür bulunması halinde çökeltme ve metalin pasifleşmesi söz konusu olmaz. Aksine, anot reaksiyonu ile çıkan hidrojen



**Şekil 1.8** Donatıda oluşan anodik ve katodik bölgeler

iyonları pH'ı düşürür ve korozyon hızlanarak devam eder. Betonarme donatısında oluşan anodik ve katodik bölgeler şekil – 1.8'de görülmektedir.

### 1.2.6. Betonarme Yapılarda Korozyona Karşı Alınacak Önlemler

Betonarme yapılarda donatının korozyonuna neden olabilecek bileşenler, beton içine dışarıdan girer. Yani yeterli kalitede, porozitesi ve permeabilitesi düşük bir beton yapılarak, betonarme donatısının korozyonu büyük ölçüde önlenir. Ayrıca betonun çevresi izole edilerek zararlı bileşenlerin, özellikle klorürün ve oksijenin beton içine nüfuz etmesi tam olarak önlenir. Bu amaçla özellikle betonarme yapıların temelleri geçirimsiz bir malzemeyle kaplanmalıdır. Betonun permeabilitesini azaltmak

veya beton yüzeylerini geçirimsiz hale getirmek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

#### **1.2.6.1. Betonun Permeabilitesinin Azaltılması**

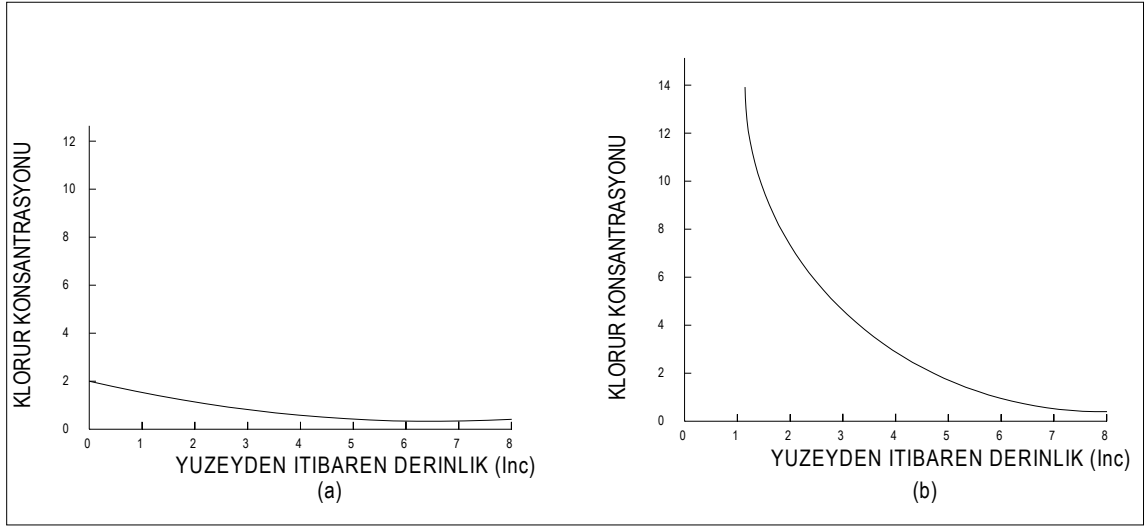
Düzgün bir granülometri ve düşük su / çimento oranı seçilerek betonun permeabilitesi azaltılabilir. Döküm sırasında vibrasyon yapılarak ve dökümden sonraki ilk günlerde kür koşulları ayarlanarak betonun geçirimsiz olması sağlanabilir.

#### **1.2.6.2. Beton yüzeylerinin polimer ve ya plastik ile kaplanması**

Sertleştikten sonra yüzeylerine monomer halinde plastik madde sürülerek polimerleşmesi sağlanabilir. Bu yolla tam geçirimsiz bir tabaka elde edilebilir. Plastik maddenin beton yüzeyine sıkıca yapışmasını sağlamak için kaplama işleminden önce vakum yapılarak beton boşluklarında bulunan su, buhar halinde uzaklaştırılır.

#### **1.2.6.3. Portland Çimentosu Şerbeti İle Kaplama**

Bu yöntemde beton sertleştikten bir kaç gün sonra, beton yüzeyi çimento şerbeti ile kaplanır. Çimento şerbeti tam geçirimsizliği sağlamakla birlikte; beton içine klorürü iyonu difüzyon hızını büyük ölçüde azaltır. Şekil-1.9 'da yedi yıl deniz suyu ile dolu olan bir beton havuzun, beton yüzeylerinin çimento şerbeti ile kaplanmış ve



**Şekil 1.9** Beton içine klorür difüzyon hızının mesafeye göre değişimi

**(a)** Kaplamalı betonda klorür difüzyonu

**(b)** Kaplamasız betonda klorür difüzyonu

kaplanmamış halde, betonlarda klorürü iyonu konsantrasyonunun mesafeye göre değişimi görülmektedir.

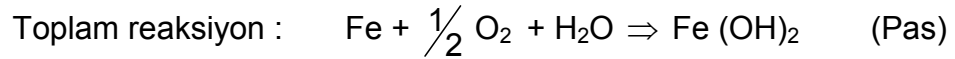
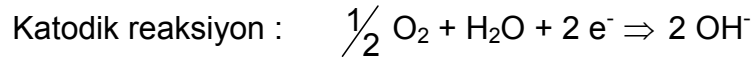
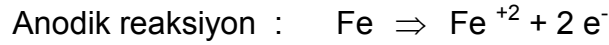
#### **1.2.6.4. Pas Payının Artırılması**

Betonarme donatısı üzerindeki beton tabakası kalınlığı (pas payı) ne kadar fazla olursa, donatılar korozyondan o derecede iyi korunmuş olur.

### 1.3. Katodik Koruma

Önceleri boru hatları üzerinde başlayan katodik koruma uygulamalar 1950' li yıllardan sonra, tanklar, gemiler, su depoları, baraj kapakları, iskele ayakları, betonarme donatıları ve daha birçok metalik yapıya yaygın biçimde uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak, özellikle yüksek performanslı yeni anotların bulunması ile katodik koruma korozyonla mücadelede en güvenilir ve de en ekonomik yöntem haline gelmiştir.

Katodik koruma; korozyondan korunacak metali, oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir.<sup>(2)</sup> Daha önce de belirtildiği gibi korozyon reaksiyonları bir çift anodik ve katodik reaksiyonların toplamıdır.



Elektronlar anottan katoda doğru metal üzerinden akarlar. Katot reaksiyonu anottan gelen bu elektronların kullanılması ile yürüyebilir. Eğer katotta bu elektronlar kullanılmaz ise, bu durumda oksidasyon reaksiyonu da yürümez. Yani katot bölgesinde yeterli oksijen bulunmazsa korozyon meydana gelmez. Eğer katot reaksiyonu için gerekli elektronlar bir dış kaynaktan verilecek olursa, anot reaksiyonu ile elektron üretilmez. Bu durumda korozyon olayı da durmuş olur. Dış akım kaynaklı katodik koruma ile korozyonun önlenmesi bu elektrokimyasal ilkeye dayanır.

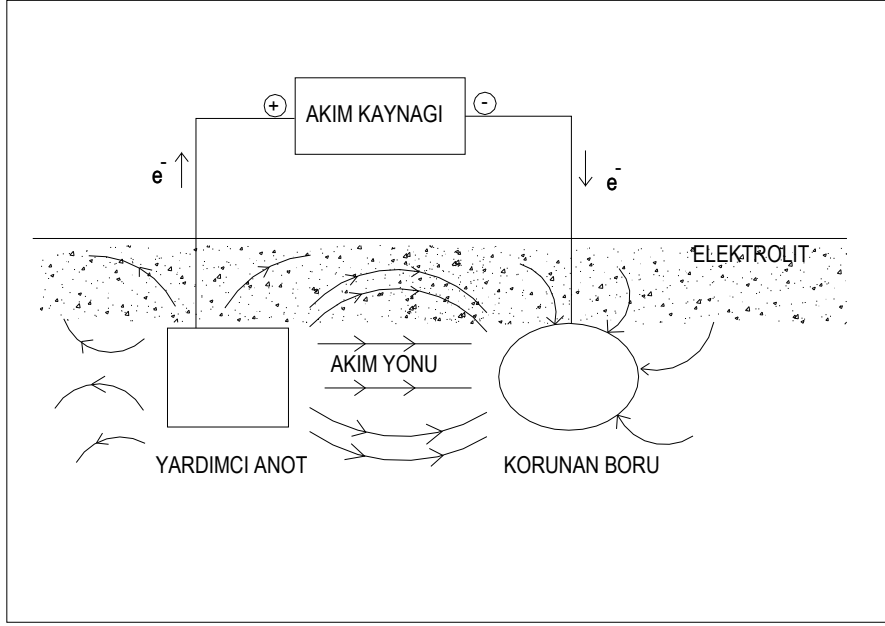


Metale dıştan uygulanan akım ile verilen elektronlar, metal yzeyinde yzrümekte olan anodik reaksiyonu tam olarak durdururken, katodik reaksiyonun hızını da artırır. Anot reaksiyonları artık korunmakta olan metal yzeyinde değil, katodik koruma devresinde bulunan yardımcı anotta yzrür. Korunmakta olan metal yzeyi ise artık tam olarak katot olur.

Korozyona uğramakta olan bir metali kendisinden daha aktif bir metal (galvanik anot) bağlanacak olursa, bu durumda katot reaksiyonu için gerekli olan elektronlar galvanik anot olarak bağlanan metalin kendiliğinden yzrüylen yzkseltgenme reaksiyonu ile karşılanır. Bzylece korunan metal yzeyindeki tzm anodik reaksiyonlar tam olarak durur. Galvanik anotlu katodik korumanın temel ilkesi budur.

### **1.3.1. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma**

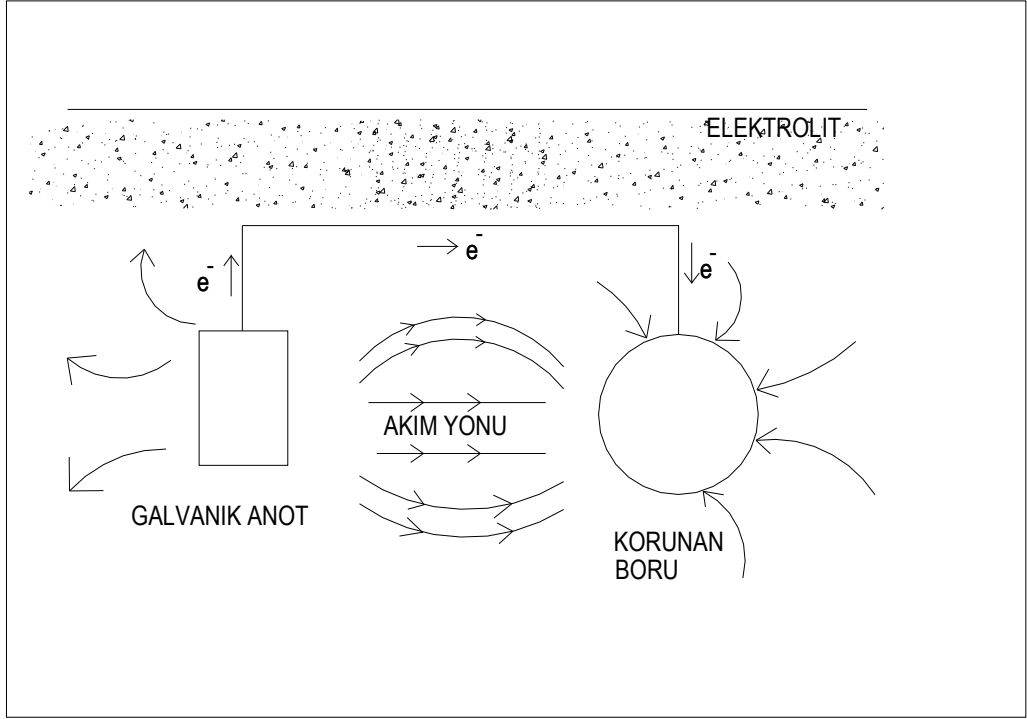
Dış akım kaynaklı katodik koruma, korunacak metale dıştan bir doğru akım uygulaması ile yapılır. Bir transformatör / redresör sisteminden elde edilecek doğru akımın (-) ucu korunacak olan metale, (+) ucu da bir yardımcı anoda bağlanır. (şekil-1.10)



**Şekil 1.10** Dış akım kaynaklı katodik koruma

### 1.3.2. Galvanik Anotlu Katodik Koruma

Korunması gereken metale, kendisinden daha elektronegatif bir metal bağlanarak, galvanik hücre oluşturulur. Şekil- 1.11'de galvanik anotlu katodik koruma şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 1.11** Galvanik anotlarla katodik koruma

Böylece oluşturulan galvanik pilde elektronegativitesi daha güçlü olan metal (korunacak metale bağlanan) anot, korunacak metal de katot haline gelir. Anotta elektron açığa çıkar. Bu elektronlar katodik reaksiyonun elektron ihtiyacını karşılar. Böylece korunacak metalin korozyona uğraması önlenmiş olur.

#### 1.4. Katodik Koruma Akım İhtiyacı

Katodik koruma projelendirilmesi yapılmadan önce akım ihtiyacının ya deneysel olarak, ya da literatürde çeşitli ortamlar için verilmiş olan listelerden alınarak belirlenir. Katodik koruma sisteminin kapasitesi, tesis ömrü, anot kütlesi ve sayısı proje koşulları için ön görülen akım ihtiyacı değerine göre

hesaplanır. Örnek olarak (Çizelge- 3.1), (Çizelge-3.2) ve (Çizelge-3.3) de bazı ortamlar ve değişik kaplama cinsleri için akım ihtiyacı verilmektedir.

**Çizelge 1.1** Katodik koruma için yaklaşık akım ihtiyacı değerleri

Ortam Koşulları	Yaklaşık Akım İhtiyacı mA / m <sup>2</sup>
Hareketli deniz suyu içinde çıplak çelik	100 – 160
Durgun deniz suyu içinde çıplak çelik	55 – 85
Deniz dibi çamuru içinde çıplak çelik	20 – 30
Rutubetli zemin içinde çıplak çelik	10 – 20
Zemin veya su içinde zayıf kaplamalı çelik	1 – 2
Zemin veya su içinde iyi kaplanmış çelik	0,05
Zemin veya su içinde polietilen kaplanmış çelik	0,005

**Çizelge 1.2** Farklı cinslerdeki kaplamalar için yaklaşık akım ihtiyacı değerleri

**ZEMİN**

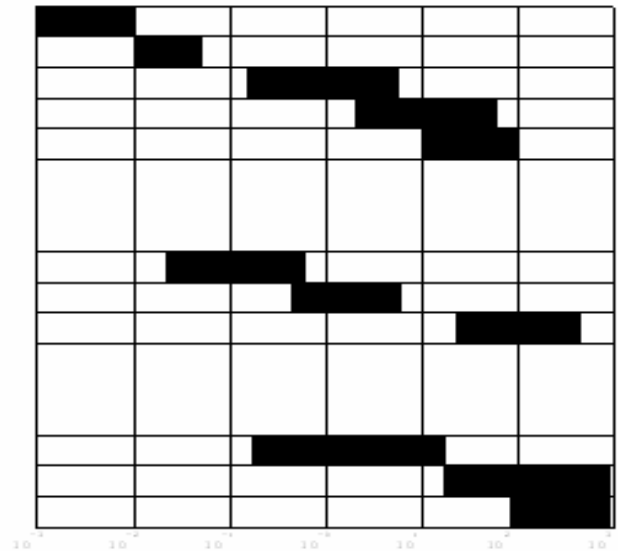
Polietilen Kaplama  
 Çift Kat Sergili Bitüm  
 Tek Kat Sergili Bitüm  
 Jüt Sergili Bitüm  
 Kaplamasız

**TATLI SU**

İyi Kaplama  
 Eski Kaplama  
 Kaplamasız

**DENİZ SUYU**

İyi Kaplama  
 Eski Kaplama  
 Kaplamasız



**Çizelge 1.3** Farklı cins kaplamalı boru hatlarının kaplama direnci ve akım ihtiyacı

KAPLAMA KALİTESİ	KAPLAMA DİRENCİ, Ohm.m <sup>2</sup>	AKIM İHTİYACI, mA / m <sup>2</sup>
Çok zayıf	100 - 200	1.0 – 2.0
Zayıf	200 - 500	0.5 – 1.0
Orta	500 - 1000	0.1 – 0.5
iyi	1000 - 2000	0.05 – 0.1
Çok iyi	2000 - 10000	0.01 – 0.05
Mükemmel	> 10000	0.01 >

Yukarıda çizelgelerde verilmiş olan değerlerin doğrudan projelerde kullanılması sakıncalıdır. Bu değerlerin kullanılmasında aşağıdaki hususlara göz önüne alınmalıdır:

Akım ihtiyacı değerleri çizelgelerde çok geniş sınırlar içinde verilmiştir. Bu değerlerden en düşük olanının kullanılması emniyet açısından, en büyük olanının kullanılması ise ekonomik açıdan sakıncalı olabilir.

Kaplama cinsine göre verilmiş olan akım ihtiyacı değerlerinde, kaplamanın kalitesi ve işçilik hataları göz önüne alınmamıştır. Bu nedenle sistemin oluşturulmasında, taşınma, depolanma ve yerleştirilme esnasında ortaya çıkabilecek hataların etkileri göz önüne alınarak akım ihtiyacında mutlaka hesaba katılması gerekmektedir.

### 1.5. Katodik Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Teorik ilkeleri aynı olan katodik koruma sistemleri uygulamada birbirinden oldukça farklıdır. Her iki sistemin de avantaj ve dezavantajları vardır. Galvanik anotlu ve dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları, çeşitli parametreler göz önüne alınarak çizelge 1.4 'de karşılaştırılmıştır.

**Çizelge-1.4** Katodik koruma sistemlerinin karşılaştırılması

PARAMETRELER	KARŞILAŞTIRMA
<b>Elektrik enerjisi</b>	<p><u>Galvanik anotlu katodik koruma:</u> Dış akım kaynağına gerek yoktur. Bu sistem elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde tek seçenektir.</p> <p><u>Dış akım kaynaklı katodik koruma:</u> Elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde uygulanamaz.</p>
<b>Akım maliyeti</b>	<p><u>Galvanik anotlu katodik koruma:</u> Galvanik anotlardan üretilen akım, şebekeden alınarak doğru akıma çevrilen elektrik akımından daha pahalıdır. Bu nedenle galvanik anotlu katodik koruma sistemi genellikle akım ihtiyacı küçük olan yerlerde ekonomik olabilir.</p> <p><u>Dış akım kaynaklı katodik koruma:</u> Elektrik akımı ihtiyacı galvanik anotlara göre daha ucuzdur. Ancak ilk tesis masrafları galvanik anotlu sistemlere göre daha fazladır.</p>

<p><b>Periyodik kontroller</b></p>	<p><u>Galvanik anotlu katodik koruma:</u> Periyodik kontrollerde, dağınık durumda olan her bir anodun ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.</p> <p><u>Dış akım kaynaklı katodik koruma:</u> Periyodik kontroller daha kolaydır. Çünkü tüm tesis bir noktadan kontrol edilebilir. Yani akım ihtiyacı bir noktadan ayarlanabilir.</p>
<p><b>Uygulama kolaylığı</b></p>	<p><u>Galvanik anotlu katodik koruma:</u> Uygulaması kolaydır. Projede göz önüne alınmayan etkenler nedeniyle akım ihtiyacında artış olursa, sisteme sonradan yeni anotlar ilave edilerek kapasite artırılabilir.</p> <p><u>Dış akım kaynaklı katodik koruma:</u> Projelendirmede özen gösterilmesi gerekir. Trafo ünitesinin akım kapasitesi projede öngörölmüş olanın dışına çıkarılamaz.</p>
<p><b>İşletme ve bakım</b></p>	<p><u>Galvanik anotlu katodik koruma:</u> Anotlardan biri kullanılmaz hale geldiğinde yalnız bir anot değiştirilerek diğer sağlam anotlarla korumaya devam edilir.</p> <p><u>Dış akım kaynaklı katodik koruma:</u> Anot yatağında çıkacak bir arızada çoğunlukla sistemin toptan sökülerek değiştirilmesi gerekir.</p>

**Çizelge-1.4 (Devam)**

## 1.6. Betonarme Yapılarda Katodik Koruma

Beton içerisinde ne kadar klorürü iyonu bulunursa bulunsun, katodik koruma uygulaması ile betonarme donatısının korozyonu tam olarak önlenir. Yeraltı ve su içinde bulunan betonarme yapılarda olduğu kadar, normal ortamdaki betonarme yapılarda da katodik koruma uygulanabilir. Köprüler, iskeleler, otoparklar, tuzlu su taşıyan havuzlar ve ön gerilmeli beton borular gibi betonarme yapılara katodik koruma uygulanarak korozyon tamamen önlenir. Betonarme donatısına katodik koruma uygulanırken, aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır.

Donatılar kalıplara yerleştirilirken bağlantı noktaları kaynaklı değilse direnç oluşabilir. Bu direnç düşük voltajlı akımın taşınmasında zorluk yaratabilir. Bu nedenle elektriksel bağlantıların yeterli olup olmadığı, katodik koruma uygulamasından önce mutlaka deneysel olarak belirlenmelidir. Bağlantı kontrolü doğrudan direnç ölçülerek yapılabileceği gibi, beton yüzeyinden yapılan potansiyel ölçümleri ile de belirlenebilir.

Normal betonlarda çeliğin aşırı koruma sınırı – 1150 mV civarındadır. Aşırı korumanın çeşitli sakıncaları vardır. Aşırı koruma sonucunda katot bölgesinde hidrojen çıkışı olur. Bu durum ise donatılarda hidrojen kırılabilirliğine yol açabilir.

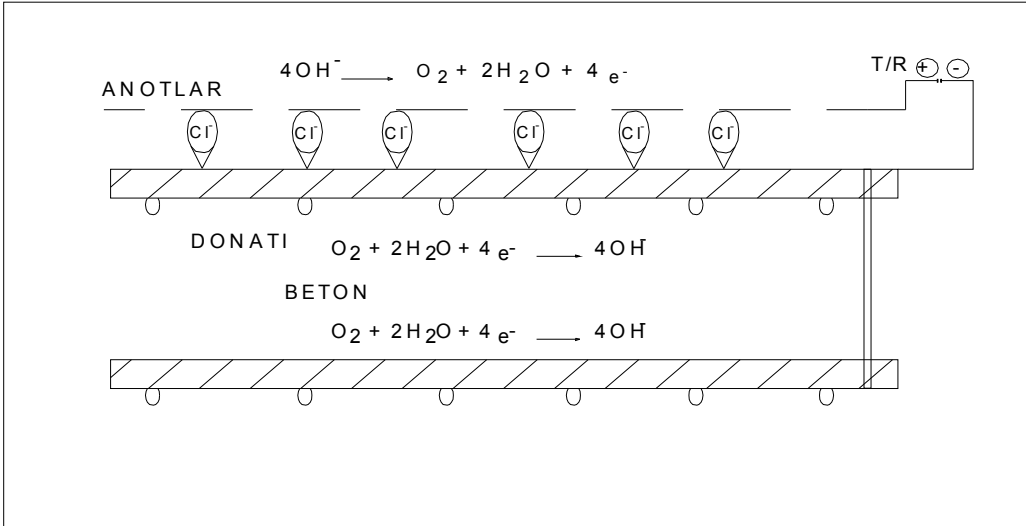
Yeraltı ve su altında bulunan betonarme yapılara uygulanan katodik korumada anotlar beton dışında olabilir. Atmosferde bulunan betonarme yapılarda ise anotların beton içine konulması zorunludur. Bu durum uygulamada çeşitli zorluklar yaratabilir.



### 1.6.1. Betonarme Yapılarda Katodik Koruma Akım İhtiyacı Ve Koruma Kriterleri

Betonarme yapılarda donatılara her iki katodik koruma sistemi de uygulanabilir. Ancak betonun rezistivitesi yüksek olduğundan, atmosferde bulunan betonarme yapılarda dış akım kaynaklı katodik koruma uygulanır .

Dış akım uygulanarak anottan katoda elektron pompalanmış olur. Akım ihtiyacı katot bölgesindeki oksijen redüksiyon hızına bağlıdır. Katot bölgesine oksijen difüzyonu önlenerek (örneğin beton yüzeyleri boyanarak) katodik koruma akım ihtiyacı azaltılabilir. Beton içinde klorürü iyonlarının fazlalığı, donatı yüzeyini aktif hale getireceğinden katodik koruma akım ihtiyacını artırıcı rol oynar. Klorür iyonları zamanla anot yüzeyine taşınarak orada adsorbe olurlar. Şekil – 1.12’ de bu durum görülmektedir.



**Şekil 1.12** Betonarme donatısının katodik koruması

Şekilde görüldüğü gibi, oluşturulan katodik koruma devresinden akım geçtikçe donatı çevresinde hidroksil iyonları oluşur. Bu iyonlar pH 'ı artırarak pasifleşmeyi kolaylaştırıcı etki yaparlar.

Betonarme yapının özel durumu göz önüne alınmadan katodik koruma akım ihtiyacı için sabit bir değer verilmesi doğru olmaz. Akım ihtiyacını katot bölgesine olan oksijen difüzyon hızı ve beton içinde bulunan klorür konsantrasyonuna bağlıdır. Çizelge- 1.5 'de atmosferde bulunan betonarme yapılarda donatının akım ihtiyacı, beton içinde bulunan klorür konsantrasyonuna bağlı olarak verilmiştir.

**Çizelge- 1.5** Betonarme yapılarda donatılar için katodik koruma akım ihtiyacı

BETON İÇİNDEKİ KLORÜR KONSANTRASYONU			AKIM İHTİYACI mA / m
Kg Cl <sup>-</sup> / m <sup>3</sup> beton	% Cl <sup>-</sup> (kütlesel) (*) (çimentoya göre)	% Cl <sup>-</sup> (kütlesel) (**) ( betona göre )	
< 0,6	< 0,16	< 0,025	0
1,2	0,3	0,050	5,5
3,0	0,8	0,125	11
6,0	1,6	0,250	16

(\*) Çimento dozajının 375 Kg / m<sup>3</sup> olduğu kabul edilmiştir.

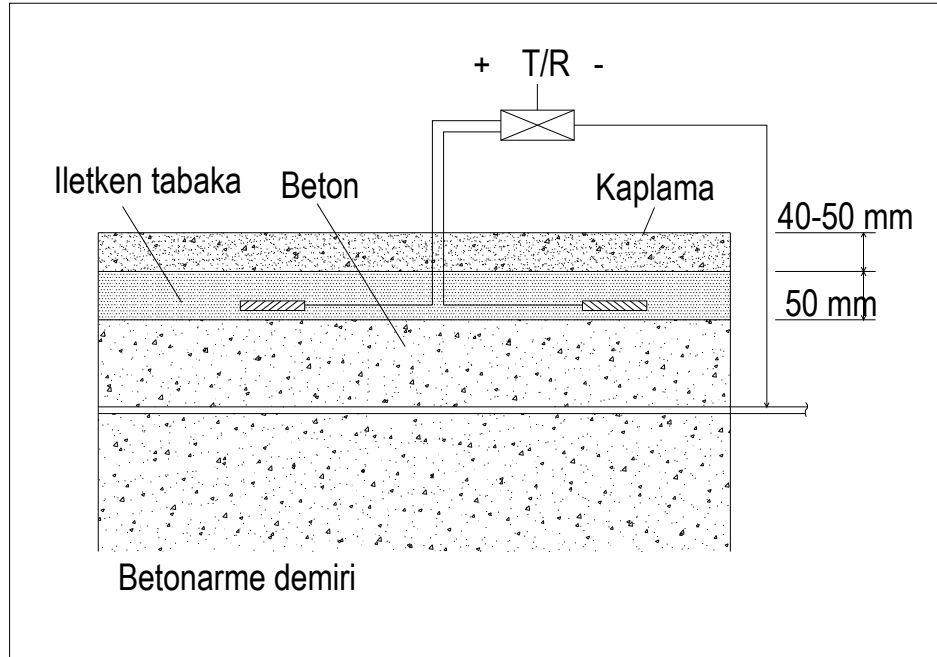
(\*\*) Beton yoğunluğu 2400 Kg / m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir.

## 1.7. Betonarme Yapılarda Katodik Koruma Uygulama Yöntemleri

Betonarme yapılarda katodik koruma konusunda teknoloji henüz yenidir. Pratikte uygulanan dört yöntem vardır.

### 1.7.1. Demir Silikon Anotlara Katodik Koruma

Uygulamanın ilk yıllarında, köprü betonlarında katodik koruma sistemlerinde demir silikon anotlar kullanılmıştır. Bu yöntemde demir silikon anotlar, beton üzerine serilen iletken bir tabaka içine konulmuştur. Bu tabaka 50 mm kalınlığında kok / asfalt karışımından oluşturulmuştur. Şekil-1.13 'de bu yöntem şematik olarak görülmektedir.

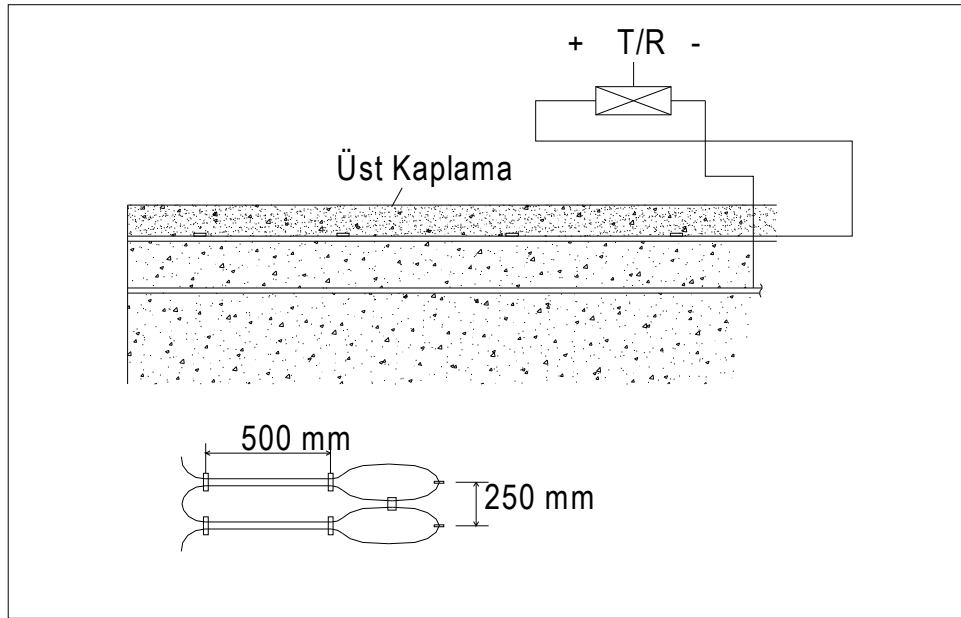


**Şekil 1.13** Demir silikon anotlar ile katodik koruma

Bu yöntemin en büyük sakıncası; kok tabakasının mekanik dayanımının azlığı nedeniyle zamanla yıpranmasıdır. Bunu önlemek amacıyla kok / asfalt tabakası içine kısmen kum katılarak dayanımı artırılabilir. Anotlar iletken tabaka içine yaklaşık 7,5 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Anot ömrü ise 10 – 20 yıl arasında değişmektedir. Bu yöntem betonarme yapıların, sadece yatay konumdaki betonlarına uygulanabilmektedir.

### 1.7.2. İletken Polimer anotlarla Katodik Koruma

Bu anotları betonarme yapıların dikey konumdaki beton kısımlarına da uygulamak mümkün olmuştur. İlk uygulamalarda platin kaplanmış niobyum tel kafesler kullanılmış ve üst kısımları harç ile sıvanmıştır. Şekil-1.14' de bu yöntem şematik olarak görülmektedir.

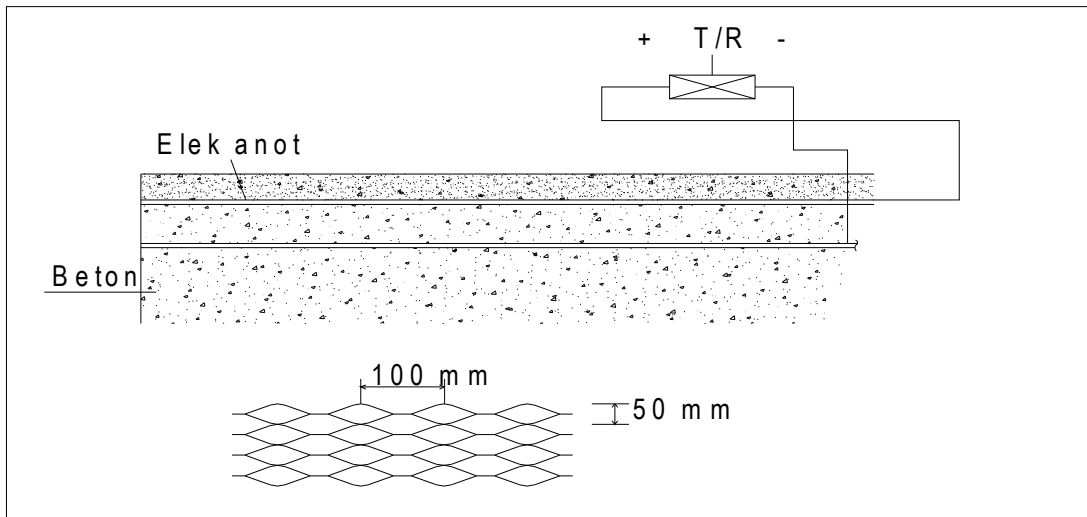


**Şekil 1.14** İletken polimer kafes anotlar ile katodik koruma

Bu yöntemde karşılaşılan en büyük sorun; anot çevresinde oluşan asitlerin harç üzerine bozucu etki yapması olmuştur. Bu sakıncayı gidermek için iletken özellikte polimer kafesler ve harçlar kullanılmıştır. 500 mm x 250 mm boyutlarında kafes teli biçimli iletken polimer anotlardan 80 mA / m<sup>2</sup> akım çekebilmektedir. Bu anotlar 25 – 35 yıl akım üretebilmektedir.

### 1.7.3. Oksit Kaplı Titanyum Elek Anotlar İle Katodik Koruma

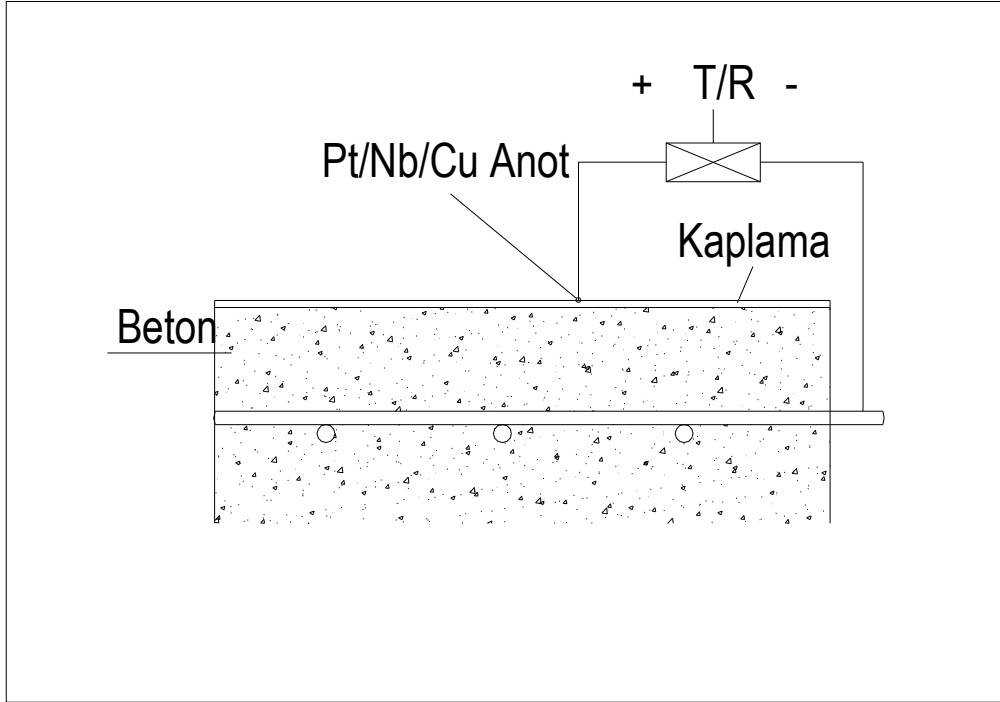
Titanyum üzerine metal oksit kaplanmış elek biçimli anotlar son yıllarda geniş şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Elekler 1 mm kalınlıkta tellerden oluşmuştur. Elekler 1 mm kalınlıkta tellerden oluşmuştur. Elek açıklıkları 100 mm x 50 mm dir. 1 m<sup>2</sup> elek anottan 20 mA akım çekilebilir. Şekil- 1.15' de bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 1.15** Oksit kaplı titanyum elek anotlarla katodik koruma

#### 1.7.4. İletken Boyalar İle Katodik Koruma

Özellikle deniz içi betonarme yapılarda ve betonarme iskele ayaklarında iletken tip boyalar anot olarak kullanılmaktadır. Akrilik polimeri içine grafit tozu eklenerek iletken bir boya elde edilmiştir. Bu boya su içinde çözünebilmekte fakat sertleştikten sonra sağlam bir tabaka oluşturabilmektedir. Yaklaşık 400 µm kalınlıkta uygulanan bu iletken boya üzerine 3 – 5 m aralıklarla şerit anotlar yerleştirilmektedir. Şekil-1.6' da bu yöntem şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.16 İletken boyalar ile katodik koruma

## 1.8. Çalışmanın Amacı

Günümüzde korozyonla mücadelede birçok teknik kullanılmaktadır. Bu tekniklerden, katodik koruma dışındakiler sadece korozyon hızını azaltıcı etki yaparlar. Yani korozyonu kısmen önleyen yöntemlerdir. Katodik koruma ise korozyonu tamamen önleyebilen tek yöntemdir.

Korozyonla mücadelenin temeli ekonomiye dayanır. Amaç korozyon kayıplarını en ekonomik şekilde ortadan kaldırmaktır. Özellikle büyük maliyetlerle inşaa edilen ve dünyada en yaygın yapı tipi olarak kullanılan betonarme yapılarda; korozyon nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıpların büyüklüğü göz ardı edilmemelidir. Başlangıçta betonarme yapının ömrü 50 – 100 yıl olacak biçimde projelendirilmiş olsa bile, tasarım ve yapım aşamalarında korozyona karşı gerekli önlemlerin alınmaması sonucunda, yapı bu ömrü tamamlamadan kullanım dışı kalmaktadır. Korozyon sonucunda, betonarmeyi oluşturan beton ve donatı arasındaki aderans kaybı nedeniyle kesit kaybı ve taşıma gücünde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Onarım ve güçlendirme çalışmaları ise çoğunlukla yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir.

Yeni inşaa edilecek betonarme yapılarda, korozyona karşı gerekli tüm önlemlerin alınması mümkün olsa bile, mevcut olan betonarme yapıların özellikle temellerinin, korozyona karşı katodik koruma yöntemiyle korunması ile betonarme yapı ömrünü sonsuz kılmının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Katodik koruma uygulamaları ile ilgili daha önceden yapılmış olan çalışmalar araştırılıp, incelenmiştir. Bu çalışmada, betonarme yapılarda, yapı

ömrünün altyapı (temel) ömrüne bağı olduğı bilindiğinden, katodik korumanın betonarme yapılarda temele uygulanması, sağlayacağı avantajlar ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi deneysel olarak incelenecektir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Katodik koruma yönteminin betonarme yapılarda, betonarme donatısına uygulanabilirliğinin tespiti amacıyla yapılan bu çalışmada materyal olarak, farklı bağlantı tipleriyle birbirine bağlanmış Ø16 çapındaki donatı parçaları ve beton bileşimine zararlı kimyasal maddelerin belirli oranlarda su ile karıştırılmasından elde edilen çözeltiler kullanılmıştır.

#### 2.1.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada, deneylerin amaca ulaşmasına yönelik olarak Ø16 çapındaki inşaat demiri kullanılmıştır. ASTM – 416 GR 270 'e uygun olarak öncelikle Ø16 çapındaki inşaat demiri 6 şar cm lik parçalara ayrılmıştır. Bu 6 cm lik donatı parçaları 4 farklı bağlantı tipiyle bağlanarak 4 farklı grup deney numunesi elde edilmiştir. Numune grupları aşağıda detaylı olarak anlatılacaktır.

### 2.1.1.1. A Tipi Deney Numuneleri

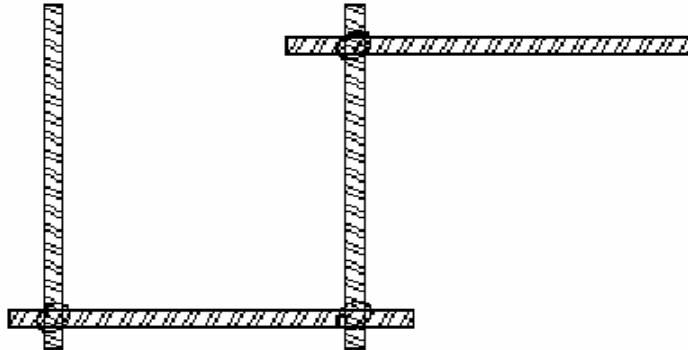
A Tipi deney numuneleri 4 adet 6 cm boyundaki  $\text{Ø}16$  çaplı donatı parçasının serbest halde (birbirinden bağlantısız) kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Şekil 2.1'de A Tipi numuneler görülmektedir.



Şekil 2.1 A Tipi Deney Numunesi ( $\text{Ø}16$ )

### 2.1.1.2. B Tipi Deney Numuneleri

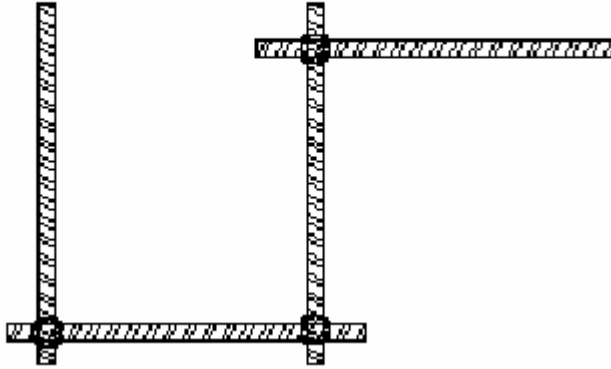
B Tipi deney numuneleri 4 adet 6 cm boyundaki  $\text{Ø}16$  çaplı donatı parçasının, bağ teli ile tek bağlı (tek kat sarmal) olacak biçimde birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu işlem yapılırken numunelerin deney süresince şekillerini korumaları ve bağlantılarına herhangi bir bozukluğun meydana gelememesi için plastik kelepçeler kullanılmış ve bağlantılar sabitlenmiştir. Şekil 2.2'de B Tipi numuneler görülmektedir.



Şekil 2.2 B Tipi Deney Numunesi ( $\text{Ø}16$ )

### 2.1.1.3. C Tipi Deney Numuneleri

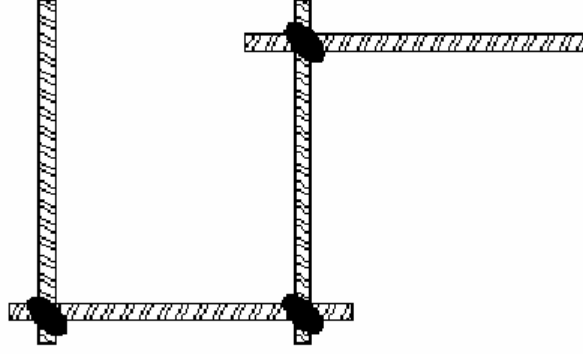
C Tipi deney numuneleri 4 adet 6 cm boyundaki  $\text{Ø}16$  çaplı donatı parçasının, bağ teli ile çift bağlı (çift kat sarmal) olacak biçimde birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu işlem yapılırken numunelerin deney süresince şekillerini korumaları ve bağlantılarına herhangi bir bozukluğun meydana gelememesi için plastik kelepçeler kullanılmış ve bağlantılar sabitlenmiştir. Şekil 2.3'de C Tipi numuneler görülmektedir.



**Şekil 2.3** C Tipi Deney Numunesi ( $\text{Ø}16$ )

### 2.1.1.4. D Tipi Deney Numuneleri

D Tipi deney numuneleri 4 adet 6 cm boyundaki  $\text{Ø}16$  çaplı donatı parçasının, kaynaklanarak birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Şekil 2.4'de D Tipi numuneler görülmektedir.



**Şekil 2.4** D Tipi Deney Numunesi (Ø16)

### **2.1.2. Deney Numunelerinin Farklı Tiplerde Oluşturulmasının Amacı**

Bu çalışmada, deneylere yönelik hazırlanan deney numunelerinin farklı bağlantı biçimleriyle bağlanmasının amacı, farklı bağlantı tiplerinin korozyona etkisinin tespiti ve elektrige (katot ucuna) bağlanacak numunelerden zamanla alınacak ölçümler ve gözlemler sonucunda, hangi tip bağlantı yapılarak katodik koruma yönteminin betonarme yapılara daha verimli ve etkili uygulanabileceğinin tespit edilmesidir.

### **2.1.3. Deneyde Kullanılacak Çözelti Türleri**

Bu çalışmanın amacına ulaşmasına yönelik olarak daha önceki bölümlerde anlatılan ve beton bileşimine başlangıçta ve ya zamanla nüfuz ederek donatının zamanla korozyona uğramasına ve zamanla aderans kaybına neden olana zararlı bileşenlerden bazıları kullanılarak donatının paslanmasına uygun ortamlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Kullanılan kimyasal maddeler; toz haldeki NaCl, toz haldeki Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kül haldeki fabrika atığı kömür tozu ve sıvı haldeki O<sub>2</sub> dir.

### 2.1.3.1. Çözeltilerin Hazırlanması

Bilindiği gibi; çözeltinin 100 gramında çözülmüş halde bulunan madde ağırlığına o çözeltinin yüzdesi ve ya ağırlık yüzdesi denir. Bir çözeltinin konsantrasyonu demek, o çözeltinin belirli bir hacminde çözülmüş maddenin ağırlığı demektir.

**Çizelge 2.1.** Deneyde Kullanılan Çözeltiler Ve Bileşimleri

Çözelti Adı	Kullanılan Kimyasal Madde	Kimyasal madde miktarı (gr)	Kullanılan Su Miktarı (gr)	Toplam Ağırlık (gr)
% 1'lik Klorürlü Su	NaCl	10	990	10 + 990 =1000 gr
% 2'lik Klorürlü Su	NaCl	20	980	20 + 980 =1000 gr
% 4'lik Klorürlü Su	NaCl	40	960	40 + 960 =1000 gr
% 1'lik Sülfatlı Su	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	990	10 + 990 =1000 gr
% 2'lik Sülfatlı Su	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	980	20 + 980 =1000 gr
% 4'lik Sülfatlı Su	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40	960	40 + 960 =1000 gr
% 1'lik Oksijenli Su	O <sub>2</sub>	10	990	10 + 990 =1000 gr
% 2'lik Oksijenli Su	O <sub>2</sub>	20	980	20 + 980 =1000 gr
% 4'lik Oksijenli Su	O <sub>2</sub>	40	960	40 + 960 =1000 gr
Suya Doygun Kömür Tozu	Kömür Tozu	1000		

Yukarıda belirtilen maddeler ve saf su kullanılarak hazırlanan çözeltiler, ağırlıkça yüzde metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Aşağıda çizelge 2.1'de hazırlanan çözelti tipleri ve bileşim miktarları detaylı olarak verilmektedir. Yukarıda miktarları ve tipleri belirtilen çözeltilerden, 2 takım olarak hazırlanmış ve tamamı eşit boydaki 25 cm çapında deney havuzlarına yerleştirilmiştir. Böylece toplam 20 adet deney havuzu elde edilmiştir.

#### **2.1.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar**

Bu deneyde kullanılan deney cihazları DC Güç kaynağı ve ölçüm cihazıdır. Bu cihazların özellikleri aşağıda detaylı olarak açıklanacaktır.

##### **2.1.4.1. DC Güç Kaynağı**

Bu cihazın deneyde kullanılmasının amacı hazırlana farklı 10 çözelti içinde katodik koruma uygulanacak deney numunelerine sürekli ve düzenli olarak akım uygulanmasını sağlamaktır. Bu cihaz Şekil- 2.5 'de görülmektedir.



**Şekil 2.5** DC Güç Kaynağı

#### **2.1.4.2. Ölçüm Cihazı**

Bu cihazın kullanılmasının amacı katot ucuna bağlı olan numunelerden belirli zaman aralıklarında alınacak ölçümlerle direnç miktarının tespit edilmesi ve zamanla direnç miktarında oluşacak değişimlerin düzenli bir biçimde gözlenmesidir. Şekil – 2.6'da bu cihaz görülmektedir.



**Şekil 2.6** Direnç Ölçüm Cihazı

#### **2.1.4.3. Deneyde Kullanılan Diğer malzemeler**

Bu deney düzeneği hazırlanırken kullanılan diğer malzemeler aşağıdaki gibidir.

- Kablo Teli: etrafı plastik kaplı kablo teli, deney numunelerinin birbirine bağlanması ve birbirine bağlanan numunelerin güç kaynağına bağlanması için kullanılmıştır.

- Stretch Film: Stretch film, numuneler çözeltilerin içerisine bırakıldıktan sonra, çözelti içerisine yabancı maddelerin girmesini engellemek amacıyla, deney havuzlarının üzerinin örtülmesi için kullanılmıştır.



## **2.2. Yöntem**

Bu çalışmada, katodik korumanın betonarme donatısına uygulanmasının tespitine yönelik uygulana yöntem dış akım kaynaklı katodik koruma yöntemi olup bu yöntemin korozyonu önleme konusunda etkinliğinin tespiti amacıyla katot ucuna bağlı (elektrik akımına bağlı) olarak korozyonun tespiti ve katot ucuna bağlantısız ( serbest halde) olarak korozyonun gözlenmesi olarak iki farklı yöntem uygulanmıştır.

### **2.2.1. Katot Ucuna Bağlanmamış (serbest Halde) Numunelerin korozyona Bırakılması Yöntemi**

Bu ilk yöntem için, 20 adet deney havuzundan 10 tanesi bir parçaya ayrılmış ve her bir havuzun içerisine, serbest halde 4 adet 6 cm lik Ø 16 çapındaki donatı (A Tipi deney numunesi), 1 adet 4 parça donatının tek bağlı olarak bağlanmasından oluşan numune (B Tipi deney numunesi), 1 adet 4 parça donatının çift bağlı olarak bağlanmasından oluşan numune (C Tipi deney numunesi), ve 1 adet 4 parça donatının kaynaklı olarak bağlanmasından oluşan numune (D Tipi deney numunesi), yerleştirilmiştir.



**Şekil 2.7** Korozyona Bırakılmış Deney Numuneleri (Katot ucuna bağlanmamış)

Yerleştirilen bu numuneler, havuzlar içerisindeki çözeltiler tamamen tükenene kadar (1 ay süreyle) korozyona bırakılmıştır. Buradaki amaç hem korozyona direkt bırakılmış bu numunelerin korozyon miktarlarının gözlenmesi, hem katot ucuna bağlı diğer numunelerle karşılaştırılması hem de korozyona tamamen uğradıktan sonra, pasifliği bozulmuş numunelere katodik koruma yönteminin uygulanıp uygulanamayacağını tespit edilmesidir.

### **2.2.2. Katot Ucuna Bağlanmış (Elektriğe bağlı Halde) Numunelerin korozyona Bırakılması Yöntemi**

Burada ikinci yöntem olarak, 20 adet deney havuzundan 10 tanesi bir parçaya ayrılmış ve her bir havuzun içerisine, serbest halde 4 adet 6 cm lik Ø

16 apındaki donatı (A Tipi deney numunesi), 1 adet 4 parça donatının tek bağlı olarak bağlanmasından oluşan numune (B Tipi deney numunesi), 1 adet 4 parça donatının çift bağlı olarak bağlanmasından oluşan numune (C Tipi deney numunesi), ve 1 adet 4 parça donatının kaynaklı olarak bağlanmasından oluşan numune (D Tipi deney numunesi), yerleştirilmiştir.

Bu deney numuneleri yerleştirilmeden önce kablo teli ile her kaba konacak 4 farklı çeşit numune (A, B , C, D Tipi Numuneler) birbirine seri olarak bağlanmıştır. Birbirine seri olarak bağlanan bu numuneler havuzlara yerleştirilmiş ve tüm havuzlardan çıkan kablolar da birbirine seri bağlanarak en son DC G Kaynağına bağlanmış ve 0.388 mA akım uygulanmıştır. Uygulanan bu akım değeri başlangıçta seçilen bir değer olup, deney ilerledikçe katodik korumanın uygulanması esnasında akım ihtiyacı deneysel olarak tespit edilecektir.

Yerleştirilen bu numuneler, havuzlar içerisindeki zeltiller tamamen tükenene kadar, katodik koruma altında korozyona bırakılmıştır. Buradaki amaç hem korozyona direkt bırakılmış diğer numunelerle karşılaştırılma yapılabilmesi hem de katodik koruma yönteminin etkinliğinin tespit edilmesidir.



**Şekil 2.8** Katot Ucuna Bağlı Deney Numuneleri



**Şekil 2.9** Deney Düzeneği

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Bulgular

Bu çalışmada, daha önceki bölümlerde anlaşıldığı üzere, dış akım kaynaklı katodik koruma yönteminin betonarme donatısına deneysel olarak uygulanması araştırılmıştır. Deney düzeneği kurulduktan sonra ölçüm cihazı yardımı ile, DC güç kaynağı kullanılarak sürekli akım uygulanan deney numunelerinden, her iki günde bir ölçüm alınmış ve tespit edilen direnç değerleri ile her deney havuzundaki numuneler için ayrı ayrı Zaman –Direnç eğrileri elde edilmiştir.

Bu eğriler yardımı ile katodik koruma yönteminin betonarme dolantısı üzerine, oluşturulan farklı ortamlardaki etkisi hakkında fikir edinilmiştir.

Aşağıda deney numunelerinden düzenli olarak alınan ölçüm değerleri çizelge- 3.1 'de ta verilmiştir. Ayrıca alınan bu ölçüm değerlerine bağlı olarak oluşturulan Zaman – Direnç eğrileri de verilmiştir.

Belirli zaman aralıklarında alınan bu ölçüm değerlerinden elde edilen Zaman – Direnç eğrileri değerlendirilirken; basitçe  $V = I \times R$  bağıntısından yararlanılmıştır. Bu çalışmada oluşturulan deney düzeneğinde DC güç kaynağı cihazı yardımı ile 0.388 mA sabit akım uygulandığından, alınan ölçümlerde, ölçülen direnç değeri arttıkça, numuneden geçecek akım değeri azalır. Yani, ölçülen direnç değeri fazla ise, numune korozyona uğramıştır ve akımı daha az geçirmektedir.

**Çizelge 3.1** Deney numunelerinden alınan ölçüm değerleri

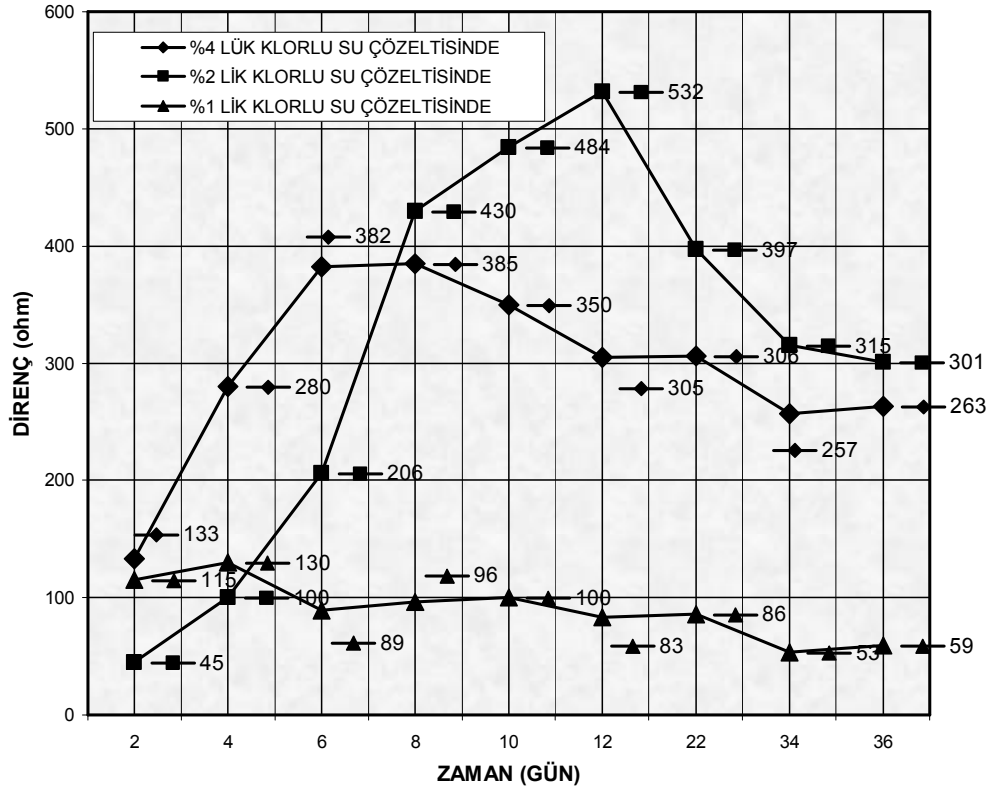
Çözelti Adı	19.04	21.04	23.04	25.04	27.04	29.04	11.05.	23.05	25.05
% 4'lik Klorürlü Su	133	280	382	385	350	305	306	257	263
% 2'lik Klorürlü Su	45	100	206	430	484	532	397	315	301
% 1'lik Klorürlü Su	115	130	89	96	100	83	86	53	59
% 4'lük Oksijenli Su	385	553	586	514	584	584	817	861	838
% 2'lik Oksijenli Su	233	370	414	380	415	510	484	666	621
% 1'lik Oksijenli Su	618	570	696	650	730	735	760	595	336
% 4'lük Sülfatlı Su	85	96	196	222	412	431	392	324	334
% 2'lik Sülfatlı Su	130	200	170	129	185	192	346	389	414
% 1'lik Sülfatlı Su	315	330	380	345	381	408	457	602	596
Suya Doygun Kömür Tozu (Katot Ucuna Bağlı)	170	550	840	835	454	464	906	9600	17300
Suya Doygun Kömür Tozu (Katot Ucundan Bağımsız)	402	750	540	682	756	1560	6567	18200	18750

### 3.1.1. Farklı Çözelti Tipleri İçerisindeki Numunelerin Zaman – Direnç

#### Grafikleri ve Yorumlanması

Aşağıda dört farklı çözelti tipi içerisinde, katot ucuna bağlı numunelilerden alınan ölçüm değerlerine göre çizilen zaman – direnç grafikleri verilir, her bir grafik ayrı ayrı yorumlanacaktır.

%4 - %2 - %1 KLORLU SU ÇÖZELTİSİNDE ZAMAN - DİRENÇ DEĞERLERİ (ohm)

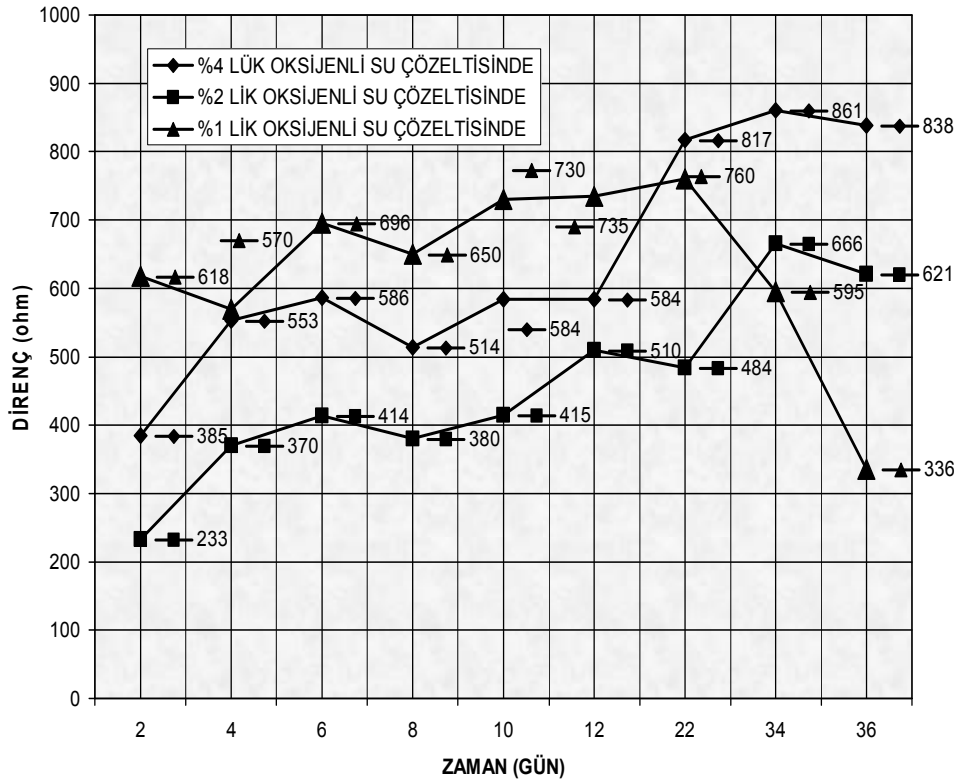


**Şekil 3.1.** %4 - %2 - % 1 Klorlu su çözeltisinde zamana bağlı direnç grafikleri

Şekil 3.1. 'de klorlu su çözeltisinde karşılaştırmalı olarak verilen direnç değerlerine bakıldığında, başlangıçta alınan ilk ölçümlerde %4 lük klorlu su içerisindeki numunelerdeki direnç değeri daha fazla, yeni bu numunelerde korozyon daha hızlıdır. Ancak ilerleyen günlerde alınan ölçüm değerlerinde, özellikle 10, 12 ve 22 gün direnç değerlerinin %2 lik klorlu su içerisindeki numunelide, %1 ve %4 lük çözeltideki numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani bu değerlere göre, 10, 12 ve 22. günlerde %2 lik klorlu su çözeltisinde bulunan numunelerde korozyon daha hızlanmıştır. Deney

sonunda alınan değerlere bakılarak da anlaşılmaktadır ki %2 lik klorlu su çözeltisi %1 ve %4 lük çözeltiliye göre, donatıda daha fazla tahribata yol açmış ve daha çok korozyon meydana getirmiştir.

**%4 - %2 - %1 OKSİJENLİ SU ÇÖZELTİSİNDE ZAMAN - DİRENÇ DEĞERLERİ (ohm)**

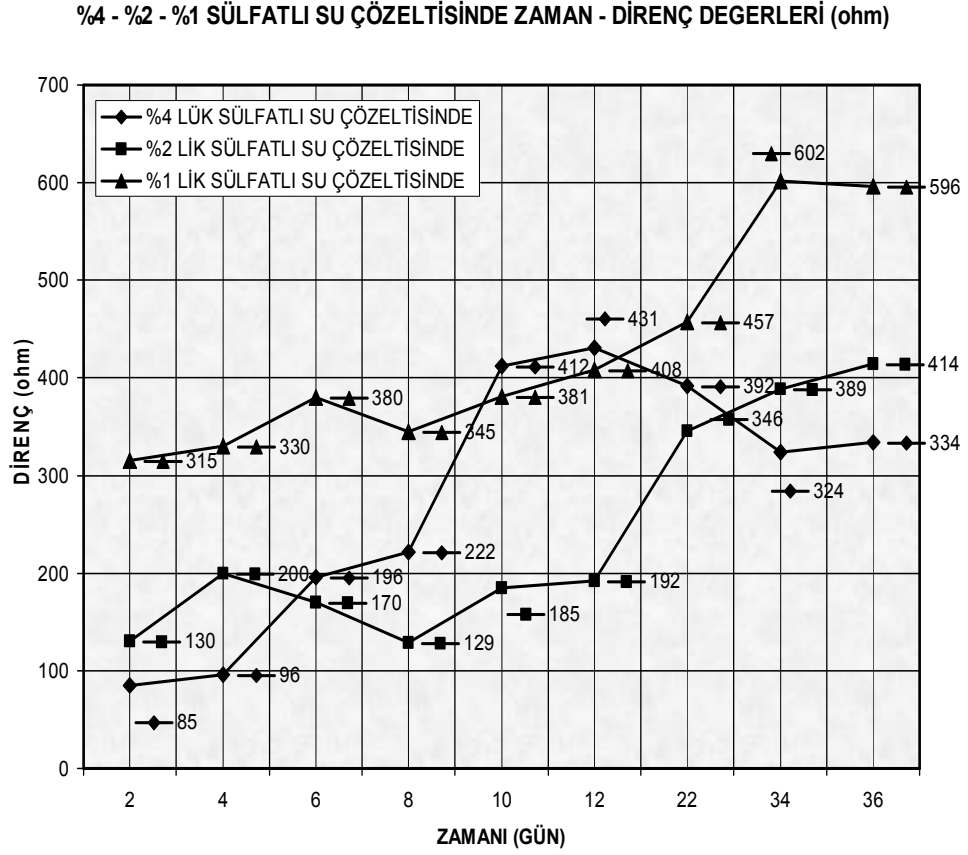


**Şekil 3.2.** %4 - %2 - % 1 Oksijenli su çözeltisinde zamana bağlı direnç grafikleri

Şekil 3.2. 'de oksijenli su çözeltisinde karşılaştırmalı olarak verilen direnç değerlerine bakıldığında, başlangıçta %1 lik oksijenli su çözeltisinde ölçülen direnç değerleri daha yüksektir. Yani deneyin ilk günlerinde, %1 lik oksijenli su çözeltisinde bulunan numunelerdeki korozyon olayı daha hızlıdır. Deneyin 22. gününden itibaren ölçülen direnç değerlerine göre ise, bu günden sonra %4 lük oksijenli su çözeltisindeki numunelerde direnç, %2 ve %1 lik



çözeltilerdeki numunelere göre daha fazladır. Yani, deney sonunda %4 lük oksijenli su çözeltisindeki numunelerde meydana gelen korozyon daha fazladır.



**Şekil 3.3.** %4 - %2 - % 1 Sülfatlı su çözeltisinde zamana bağlı direnç grafikleri

Şekil 3.3. 'de sülfatlı su çözeltisinde karşılaştırmalı olarak verilen direnç değerlerine bakıldığında, başlangıçta %1 lik sülfatlı su çözeltisinde ölçülen direnç değerleri daha yüksektir. Yani deneyin ilk günlerinde, %1 lik sülfatlı su çözeltisinde bulunan numunelerdeki korozyon olayı daha hızlıdır. Deneyin 10 ve 12. günlerinde, %4 lük sülfatlı su çözeltisindeki numunelerde ölçülen direnç değeri daha yüksek, yani bu günlerde %4 lük sülfatlı su çözeltisindeki

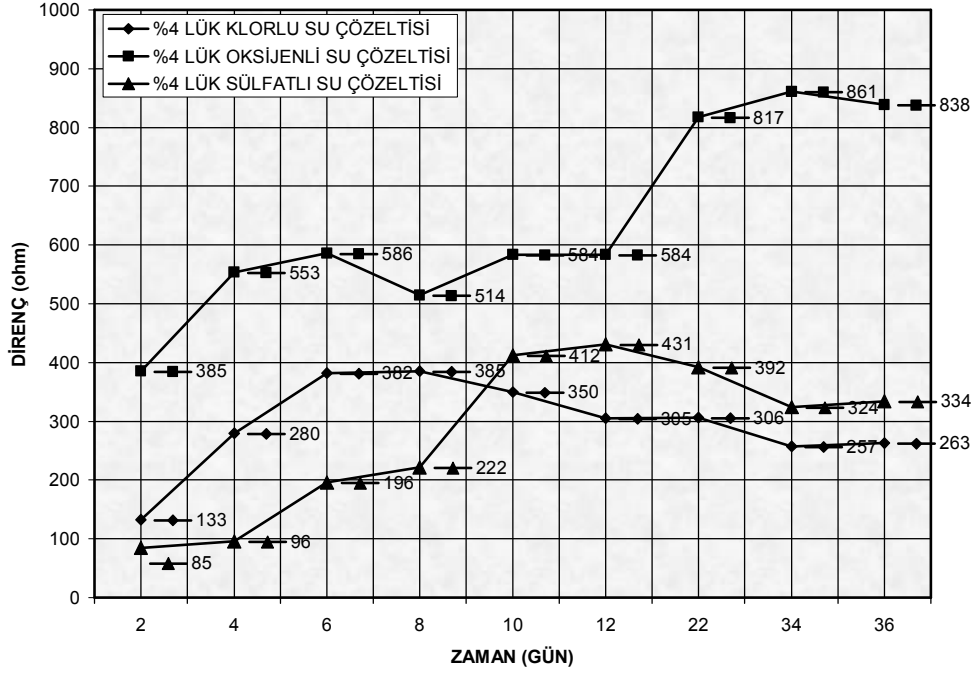
numunelerde korozyon daha çöktür. Deneyin sonunda ise %1 lik sülfatlı su çözeltilisindeki numunelerde daha yüksek direnç değerleri ölçölmüştür. Yani %1 lik sülfatlı su çözeltilisindeki numunelerde daha çok korozyon meydana gelmiş ve buna bağlı olarak daha yüksek direnç değerleri okunmuştur.

### **3.1.2. Farklı Çözelti Tipleri İçerisinde % Oranlarına Göre Numunelerin Zaman – Direnç Grafikleri ve Yorumlanması**

Bu kısımda, her bir yüzde oranına göre, üç farklı çözelti tipinde, numunelerden alınan ölçümlere göre elde edilen zaman – direnç eğrileri çizilip yorumlanmıştır.

Şekil 3.4'e göre deneyin başlangıcından sonuna kadar ölçölen direnç değerlerinin en yüksek olduğu numuneler, %4 lük oksijenli su çözeltilisindeki numunelerdir.

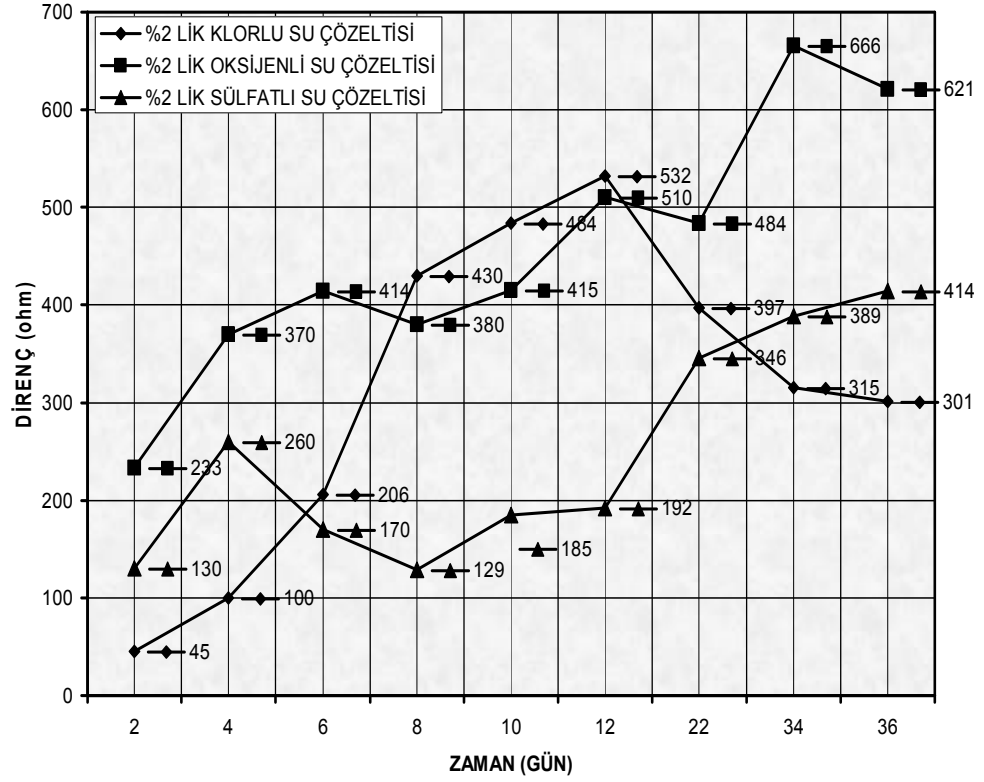
#### % 4 LÜK FARKLI ÇÖZELTİ TİPLERİNE GÖRE ZAMAN - DİRENÇ GRAFİKLERİ



**Şekil 3.4.** %4 'Lük farklı çözelti tiplerine göre Zaman – Direnç grafikleri

Şekil 3.5 'e göre deney başlangıcından sonuna kadar ölçülen değerlere göre, %2 lik farklı çözeltilerden oksijenli su çözeltisinde ölçülen direnç değerleri daha yüksektir ve buna bağlı olarak bu çözeltideki numunelerde daha çok korozyon meydana gelmiştir.

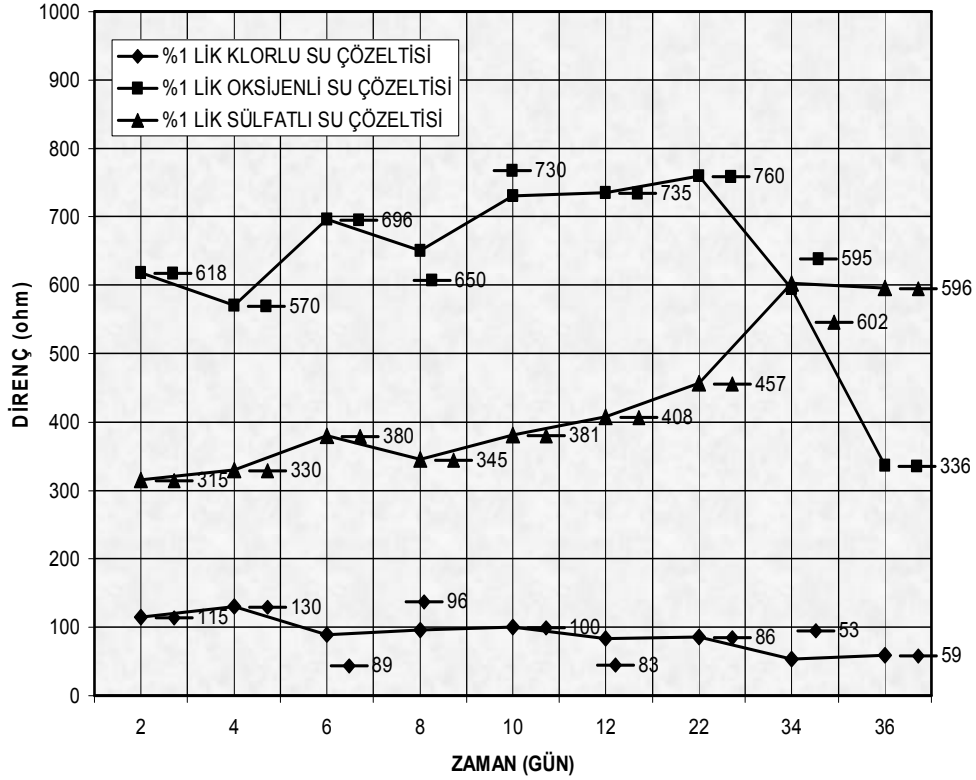
### %2 LİK FARKLI ÇÖZELTİ TİPLERİNE GÖRE ZAMAN - DİRENÇ GRAFİKLERİ



**Şekil 3.5.** %2 'Lik farklı çözelti tiplerine göre Zaman – Direnç grafikleri

Şekil 3.6 'ya göre deney başlangıcından sonuna kadar ölçülen değerlere göre, %1 lik farklı çözeltilerden oksijenli su çözeltisinde ölçülen direnç değerleri daha yüksektir ve buna bağlı olarak bu çözeltideki numunelerde daha çok korozyon meydana gelmiştir.

### %1 LİK FARKLI ÇÖZELTİ TİPLERİNE GÖRE ZAMAN - DİRENÇ GRAFİKLERİ



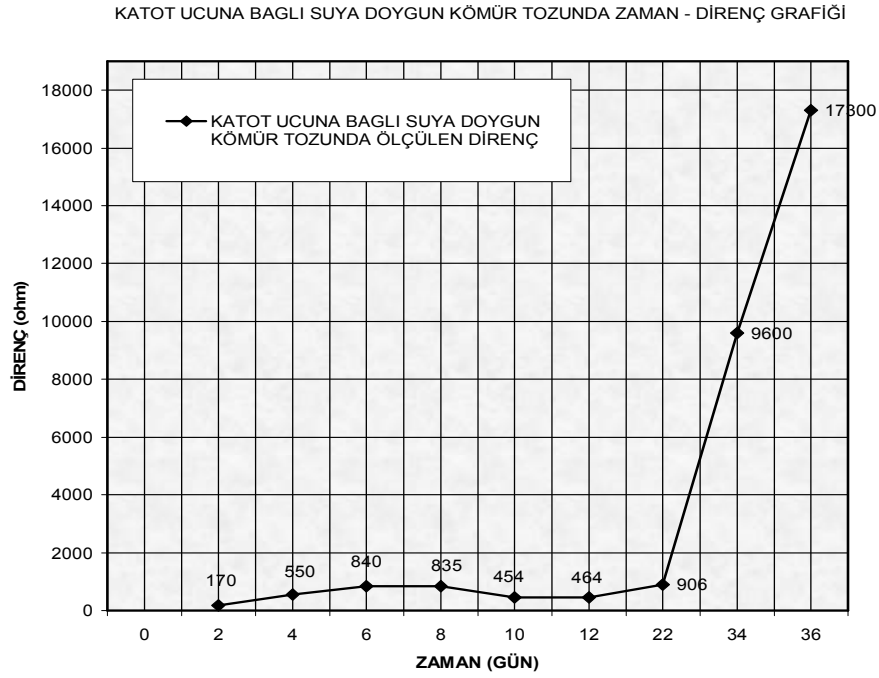
Şekil 3.6. %1 'Lik farklı çözelti tiplerine göre Zaman – Direnç grafikleri

### 3.1.3. Suyu Doymun Kömür tozu İçerisindeki Numunelerin Zaman – Direnç Grafikleri ve Yorumlanması

Aşağıda, suya doymun fabrika atığı kömür tozu içerisindeki, katot ucuna bağlı ve serbest haldeki iki ayrı deney havuzunda bulunan numunelerin zaman – direnç grafikleri çizilip yorumlanmıştır.

Şekil 3.7 'de katot ucuna bağlı suya doymun kömür tozu içerisindeki numunelerden ölçülen direnç değerleri görülmektedir. Katot ucuna bağlı olmasına rağmen, zaman ilerledikçe ölçülen direnç değerleri ciddi oranda

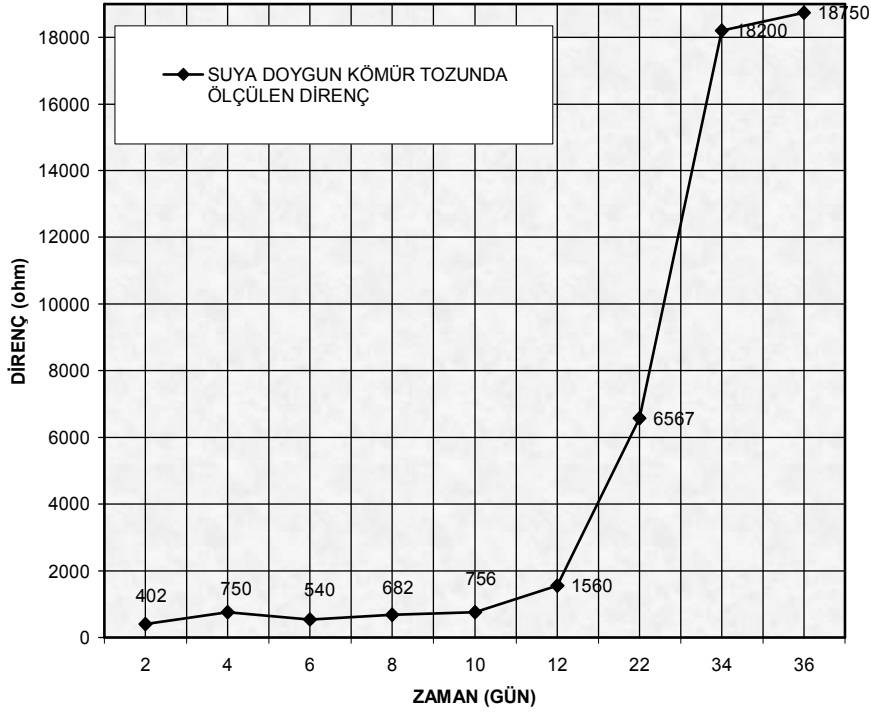
artmıştır. Bu da, zaman ilerledikçe numunelerde meydana gelen korozyon miktarının arttığını gösterir.



**Şekil 3.7.** Katot ucuna bağlı, suya doygun kömür tozu içerisinde bulunan numunelerin Zaman – Direnç grafikleri

Şekil 3.8 'de ise serbest haldeki kömür tozu içerisinde bulunan numunelerin zamana bağlı direnç değerleri görülmektedir. Başlangıçtaki direnç değerleri, katot ucuna bağlı kömür tozu içerisindeki numunelere göre daha yüksektir. Yani katot ucuna bağlı numunelere uygulanan katodik koruma işe yarayıp ve bu numunelerde daha az korozyon meydana gelmiştir. Deneyin son günlerinde alınan ölçüm değerlerinde de katot ucuna bağlı kömür tozu içerisinde alınan direnç değerleri daha düşüktür, yani direnç daha düşüktür, akım daha iyi iletilmektedir ve korozyon daha azdır.

SUYA DOYGUN KÖMÜR TOZUNDA ZAMAN - DİRENÇ GARFİĞİ

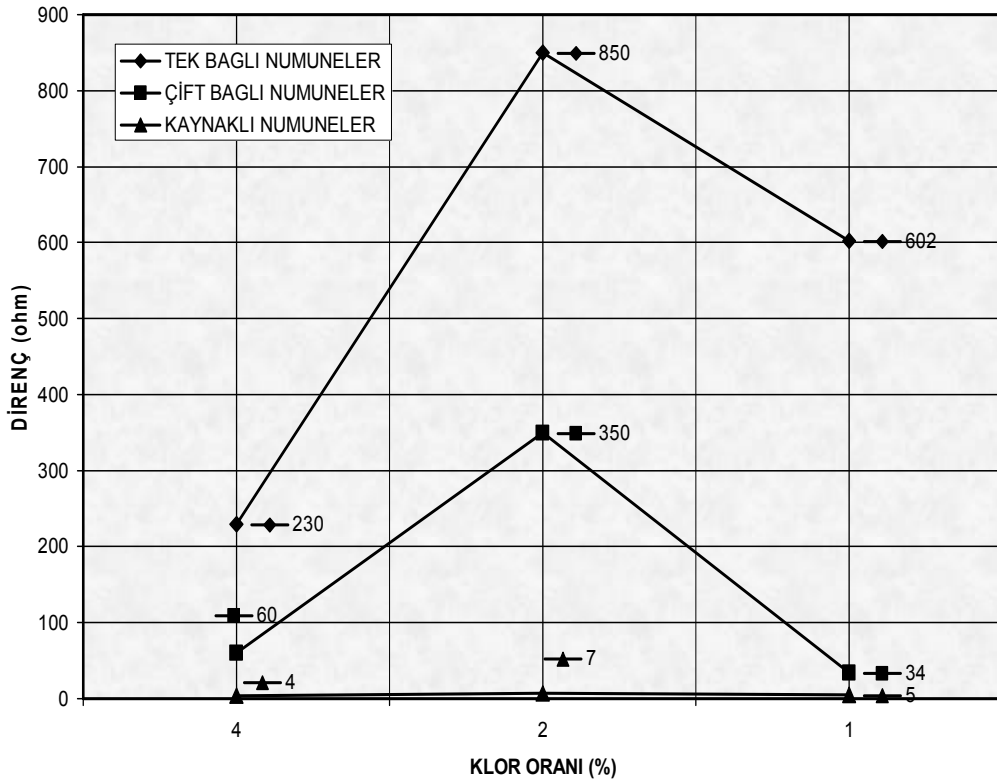


**Şekil 3.8.** Serbest halde, suya doygun kömür tozu içerisinde bulunan numunelerin Zaman – Direnç grafikleri

### 3.1.4. Bağlantı Tiplerine Göre Zaman – Direnç Grafikleri, Yorumlanması ve Karşılaştırılması

Deney sonunda, her bir çözelti tipinde bağlantı tiplerine göre son bir ölçüm alınmıştır. Buradaki amaç, deney sonunda hangi bağlantı tipinde ölçülen direnç değerinin daha düşük olduğunun, yani betonarme donatısına uygulanacak katodik korumanın hangi bağlantı tipinde daha başarılı olacağının tespit edilmesidir.

**%4 - %2 - %1 KLORLU SU ÇÖZELTİSİNDE FARKLI BAĞLANTI TİPLERİNE GÖRE ÖLÇÜLEN DİRENÇ DEĞERLERİ (ohm)**



**Şekil 3.9.** klorlu su çözeltisinde farklı bağlantı tiplerine göre Zaman – Direnç grafikleri

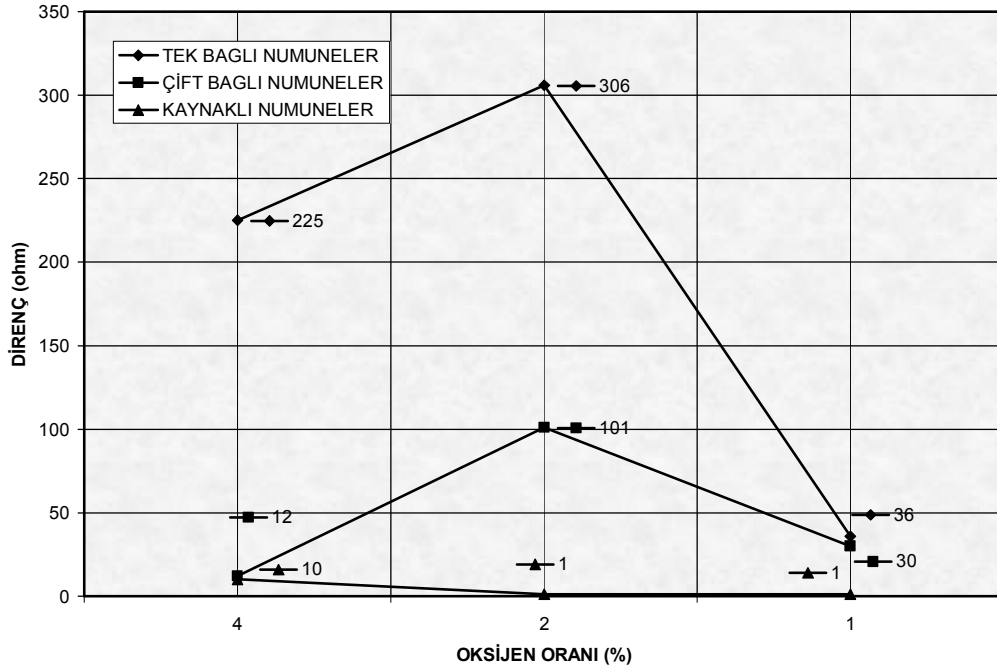
Şekil 3.9 'a bakıldığında, klorlu su çözeltisinde bulunan numunelerde, en yüksek direnç değerlerinin tek bağlı numunelerde ölçüldüğü görülmüştür. Yani tek bağlı numunelerde meydana gelen korozyon daha fazladır. En düşük direnç değerleri ise kaynaklı numunelerde ölçülmüştür. Yani kaynaklı numunelerdeki korozyon daha az ve katodik koruma daha etkili olmuştur.

Şekil 3.10'a bakıldığında, oksijenli su çözeltisi içerisindeki numunelerde ölçülen direnç değerlerinin tek bağlı numunelerde daha fazla



olduğu, yeni bu numunelerde oluşan korozyon miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Kaynaklı numunelerdeki direnç değerleri ise en düşük olanlardır. Yani katodik koruma kaynaklı numunelerde daha etkili olmuştur.

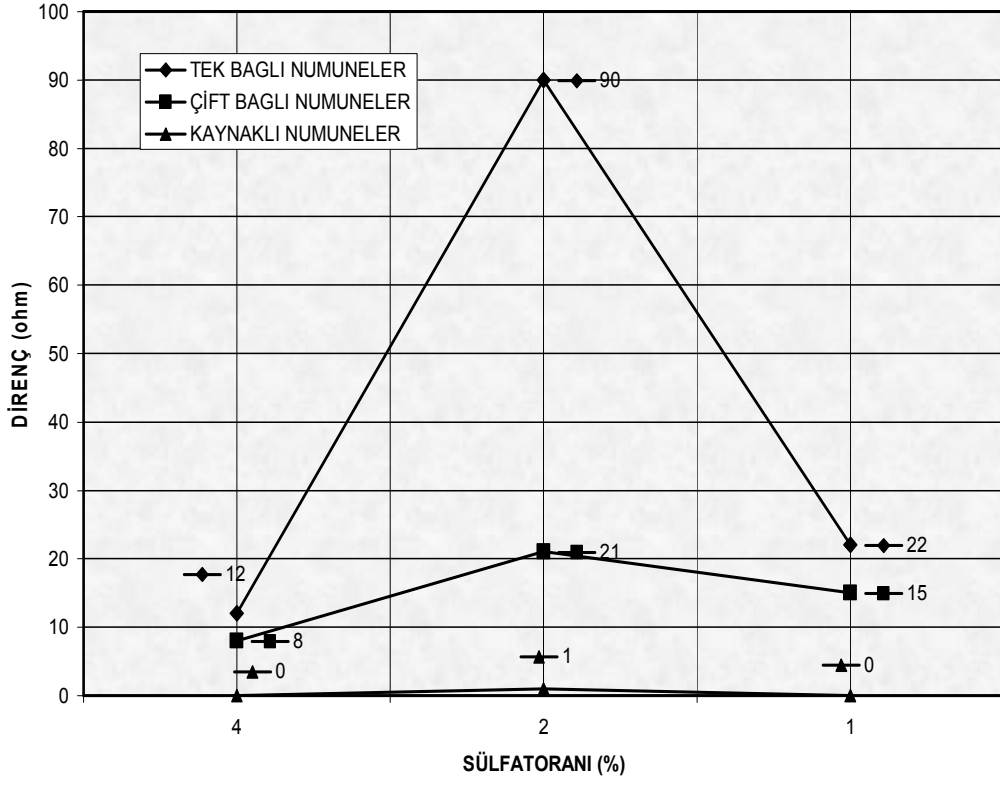
**%4 - %2 - %1 OKSİJENLİ SU ÇÖZELTİSİNDE FARKLI BAĞLANTI TİPLERİNE GÖRE ÖLÇÜLEN DİRENÇ DEĞERLERİ (ohm)**



**Şekil 3.10.** Oksijenli su çözeltisinde farklı bağlantı tiplerine göre Zaman – Direnç grafikleri

Şekil 3.11 'de sülfatlı su çözeltisi içerisindeki numunelerde farklı bağlantı tiplerine göre ölçülen direnç değerleri görülmektedir. Bu çözelti içerisindeki numunelerde, tek bağlı numunelerden ölçülen direnç değerleri daha yüksek, yani bu numunelerde korozyon daha fazladır. En düşük direnç değerleri ise kaynaklı bağlantılarda görülmüştür. Yani kaynaklı bağlantılı numuneler katodik koruma altında korozyona karşı daha iyi korunmuştur.

**%4 - %2 - %1 SÜLFATLI SU ÇÖZELTİSİNDE FARKLI BAĞLANTI TİPLERİNE GÖRE ÖLÇÜLEN DİRENÇ DEĞERLERİ (ohm)**



**Şekil 3.11.** Sülfatlı su çözeltisinde farklı bağlantı tiplerine göre Zaman

– Direnç grafikleri

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Betonarme donatısına katodik koruma yönteminin deneysel olarak uygulanmasına yönelik yapılan bu çalışmanın sonucunda, farklı derişimlerde beton bileşimine Zaralı kimyasalların suyla karıştırılmasından elde edilen çözeltiler içerisindeki betonarme donatısının, katodik koruma altında, serbest haldeki ve aynı tip çözeltiler içerisindeki numunelere göre daha az korozyona uğradığı görülmüştür.

Eşit koşullarda, her çözelti tipinden ikişer havuz hazırlanmış ve içerisine aynı özellikteki numuneler, aynı sürede fakat ilk havuzlar serbest, ikinci havuzlardaki numunelere katot ucuna bağlanmıştır. Deney sonucunda, serbest haldeki numunelerde yüksek oranda korozyon meydana gelmiş, oysa katot ucuna bağlı numunelerde, çözelti tiplerine bağlı olarak birbirinden farklı direnç değerleri oluşmasına rağmen, yine de akım iletilmiş ve betonarme donatısına katodik koruma sağlanabilmiştir.

Hazırlanan deney havuzlarındaki numunelerden zamana bağlı olarak alınan direnç ölçüm değerlerinden, en yüksek olanlar kömür tozu çözeltisi içinde olan numunelerin direnç değerleridir. Bu da göstermektedir ki fabrika atığı kömür tozu, betonarme donatısı için diğer zararlı maddelerin içerisinde en tehlikeli olanıdır. Yani zamanla yükselen direnç değerleri, çok hızlı biçimde korozyonun oluştuğunu göstermektedir. Yeni binalar inşaa edilirken herhangi bir şekilde betonarme bileşimine fabrika atığı kömür tozu girmesi durumunda, kısa sürede betonarme donatısında tahribat oluşup korozyon meydana geleceğinden, betonarmeyi oluşturan beton ve donatı arasında

aderans kaybı oluşacak ve bu durum da inşaa edilen yapının ömrünü ciddi oranda azaltarak, maddi ve manevi kayıplara yol açacaktır.

Yapılan deneylere bağlı olarak elde edilen sonuçlara göre, katodik koruma altındaki numunelerin farklı çözeltiler içerisinde bağlantı tiplerine göre karşılaştırılmasında ise, her çözelti tipinde tek tel ile bağlı numunelerde deney sonunda ölçülen direnç değerleri çift bağlı ve kaynaklı numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yani, tek bağlı numunelerde akım daha az iletiildiğinden, katodik koruma altında daha çok korozyona uğramış, katodik koruma yöntemi etkili olsa da daha az oranda kotuma sağlanmıştır. Oysa deney sonunda, her çözelti tipi içerisindeki numunelerden kaynaklı numunelerden ölçülen direnç değerleri daha düşük olmuştur. Yani hala iyi şekilde akım iletilmektedir. Kaynaklı numunelerde katodik koruma yöntemi daha etkili olmuş ve daha az korozyon oluşmuştur. Bu durum göz önüne alınarak, yapılan inşaatlarda tek tel ile bağlama yerine, katodik korumanın daha etkili uygulanabilmesi için kaynaklı bağlantı yapmak önerilebilir. Var olan binalara katodik koruma yönteminin uygulanabilmesi ise, donatılar tek bağ ile bağlandığı için daha az etkili olacaktır. Eğer katodik koruma uygulaması yapılacaksa, betonarme yapılar inşaa edilirken donatılar arasında kaynaklı bağlantı yapılamıyorsa, tek bağ yerine deney sonuçlarına bakılarak çift tel ile bağlantı yapmanın daha sağlıklı olabileceği görülmektedir.

Bu çalışmada, betonarme donatısına katodik koruma yönteminin, betonarmeye zararlı maddelerde hazırlanan çözeltiler içerisinde uygulanması araştırılmış ve katodik koruma yöntemini betonarme donatısına zararlı

ortamlarda etkili olduğu anlaşılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışma ışığında, bundan sonra aşağıda önerilen çalışmalar yapılabilir.

- Katodik koruma yöntemi beton numuneler içerisindeki donatılarla hazırlanan numunelerin çözeltilere bırakılması ile denenebilir.

- Katodik koruma altındaki betonarme numunelerinde zamanla oluşan aderans kaybı araştırılabilir.

- Katodik koruma yöntemi, beton karışım suyuna zararlı maddeler katılarak araştırılabilir.

Günümüzde ülkemizde ve tüm dünyada, en yaygın yapı tipi olarak kullanılan betonarme yapılar, projelendirme ve yapım aşamasında birçok kişinin emeği ve ciddi çalışmalar sonucunda, ciddi ölçüdeki ekonomik yatırımlarla inşaa edilmektedir. Korozyonla mücadelede birçok yöntem olmasına karşın, bina inşaa edilirken beton bileşimine ve donatıya Zararlı maddelerin uzak tutulması sağlanmalıdır. Ayrıca katodik koruma uygulaması yapılarak da binaların ömrü belerli ölçüde uzatılabilir. Bu durum ise ülke ve dünya ekonomisine ciddi katkılar sağlar.

## KAYNAKLAR

1. M. G. Fontata, Corrosion Engineering, McGraw – Hill, New York, 1998.
2. W. V. Beackman, W. Schwenk, Handbook Of Cathodic Corrosion Protection, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany, 1989.
3. E. Mattsson, Basic Corrosion Technology For Scientists and Engineers, John Wiley And sons, 1989.
4. M. M. Green, Cathodic Protection Design, A.F.Manual 88 – 45, Washington, 1983.
5. <http://www.korozyondernegi.org.tr/>
6. A.Özcan , Betonarme Demirinin Korozyona Karşı Katodik Yönteminin Geliştirilmesi, Ç.Ü. FBE, Adana, 1997.
7. B.Bağlan, Katodik Koruma Altındaki betonarme Demirinin Potansiyel – pH İlişkisinin Araştırılması, Ç.Ü. FBE, Adana, 1999.
8. S.MASADEH, Cathodic Hydrogen Embrittlement of Pre – Stressing Steel Wires In Simulated Concrete environments.
9. A. W. PEABODY, Control of Pipeline Corrosion, NACE, Houton, 1967.
- 10.D. A. JONES, Principles and Prevention of Corrosion, Mac Millan Pub. Co. Newyork, 1992.
- 11.E. MATTSSON, Basic Corrosion Technology For Scientists and Engineers, John wiley and Sons, 1989.
- 12.M. M. GREEN, Cathodic Pretecton Design, A. F. Manual 88 – 45, Washington, 1985.