

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Caner MENEKŞE**

**KLORÜRLÜ ORTAMDAKİ BETONARME ÇELİĞİNİN KOROZYONUNA  
ASETAT VE YAPI KİMYASALININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2008**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KLORÜRLÜ ORTAMDAKİ BETONARME ÇELİĞİNİN KOROZYONUNA  
ASETAT VE YAPI KİMYASALININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Caner MENEKŞE**  
**YÜKSEK LİSANS**  
**KİMYA ANABİLİM DALI**

**Bu tez ...../...../ 2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği  
/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza..... İmza..... İmza.....  
Yard.Doç.Dr.Güray KILINÇÇEKER Prof.Dr.Mehmet ERBİL Doç. Dr. Hatice KORKMAZ GÜVENMEZ  
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu tez Enstitümüz Kimya Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ**

Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Birimsel Araştırma Projeleri Birimi  
Tarafından Desteklenmiştir.**

**Proje No: FEF 2005 YL46**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanundaki hükümlere tabidir.

**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KLORÜRLÜ ORTAMDAKİ BETONARME ÇELİĞİNİN KOROZYONUNA  
ASETAT VE YAPI KİMYASALININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Caner MENEKŞE**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**Danışman** : Yard.Doç.Dr. Güray KILINÇÇEKER  
**Yıl** : 2008 **Sayfa**: 79  
**Jüri** : Yard.Doç.Dr. Güray KILINÇÇEKER  
Prf. Dr. Mehmet ERBİL  
Doç. Dr. Hatice KORKMAZ (GÜVENMEZ)

Betonarme çeliğinin, klorürlü ortamlardaki korozyon davranışlarına asetat ve yapı kimyasalının etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri kullanılmıştır. Sabit sıcaklıkta (298°K), çözeltilerin pH'sı 8'e ayarlanmıştır. Klorürlü ortamlardaki betonarme çeliğinin anodik çözünme hızını, asetat iyonu ve yapı kimyasalı inhibe etmektedir. İnhibisyon etkisi, asetat iyonu ve yapı kimyasalının korozyon ürünleri ile oluşturduğu kompleksin yüzeyde fiziksel olarak adsorplanması ile gerçekleşmektedir. İnhibisyon etkisini klorür iyonları azaltmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** : Korozyon, Betonarme çeliği, Asetat iyonu, Yapı kimyasalı.

## ABSTRACT

## MS THESIS

# THE EFFECTS OF ACETATE AND STRUCTURE CHEMICAL ON ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR OF REINFORCING STEEL IN CHLORINE SOLUTIONS

Caner MENEKŞE

DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF CUKUROVA

**Supervisor** : Assist. Prof. Güray KILINÇÇEKER

**Year** : 2008 **Page**: 79

**Jury** : Assist. Prof. Güray KILINÇÇEKER

Prof. Dr. Mehmet EBİL

Assoc. Prf. Dr. Hatice KORKMAZ (GÜVENMEZ)

The corrosion behavior of reinforcing steel was investigated in chloride solutions, in the presence of acetate ions and structure chemicals. For this aim, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization measurements were utilized. The pH of solution was adjusted to 8.0 and constant temperature (298 °K). It was shown that,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ions and structure chemicals could inhibit anodic dissolution of reinforcing steel in aggressive chloride media. The inhibition effect of acetate ions and structure chemicals was resulted from complex formations (between acetate ions, structure chemicals and corrosion products) which physically adsorbed on the surface. The inhibition effects decreased with the chloride ions.

**Key Words:** Corrosion, Reinforcing steel, Acetate ions, Structure chemicals.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince bana yardımcı olan, sürekli ilgilenip bilgi aktarımı ve yönlendirmede bulunan çok değerli danıőmanım, Sayın Hocam Yard.Doç.Dr. Güray KILINÇÇEKER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Desteklerini esirgemeyen; Sayın Hocam Prof.Dr. Mehmet ERBİL'e, Prof.Dr. Birgül YAZICI'ya, Prof.Dr. İlyas DEHRİ'ye, Doç.Dr.Gülfeza KARDAŐ'a ve Doç.Dr. Tunç TÜKEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca laboratuvar çalıőmalarımda her konuda desteklerini gördüğüm Arő.Gör.Hülya KELEŐ, Arő.Gör.Ramazan SOLMAZ ve Arő.Gör.Süleyman YALÇINKAYA'ya ve arkadaşlarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Öęrenim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen canımdan çok sevdiğim aileme ve yakın dostlarıma teşekkür ederim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	
V ÇİZELGELER	
DİZİNİ.....	VI ŞEKİLLER
DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE	
KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Korozyon.....	1
1.1.1. Korozyon Hakkında Genel Bilgi.....	1
1.1.2. Demirin Klorürlü Ortamdaki Korozyonu.....	2
1.1.3. Demir-Su Sistemi İçin Elektrokimyasal Denge Çizelgesi.....	4
1.2. Betonarme Yapı.....	6
1.3. Korozyonun Elektrokimyasal Doğası ve İnhibitörler.....	8
1.3.1. Korozyon Hızının Ortam Bileşiminden Etkilenmemesi Hali...13	
1.4. Korozyon Hızının Belirlenmesi.....	14
1.5. Çalışmanın Amacı.....	18
1.6. Beton.....	19
1.7. Çimento.....	19
1.7.1. Çimento Türleri.....	19
1.7.2. Çimentonun Hidratasyonu .....	20
1.7.3. Sertleşme Olayı (Hidratasyon Yapmış Çimentonun İçYapısı).21	
1.7.4. Porozite ve Geçirgenlik.....	22
1.8. Agregalar.....	23
1.9. Beton Karma Suyu.....	23
1.10. Su/ Çimento (W/C) Oranı.....	24
1.10.1. Betona Zarar Veren Kimyasal Olaylar.....	24

1.10.2. Klorür Tuzlarının Etkisi.....	25
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3. MATERYAL METOD.....	38
3.1. Materyal.....	38
3.2. Metod.....	39
3.2.1. Elektrotların Hazırlanması .....	39
3.2.2. Elektrokimyasal Ölçümler .....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
4.1.Karma Suyu Karışımında Sadece Saf Su, 0.1 M Asetat, %3.5 NaCl ve Yapı Kimyasalı İçeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışları.....	42
4.2. Karma Suyu Karışımında Saf Su+Yapı Kimyasalı, 0,1M Asetat+Yapı Kimyasalı, %3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve 0.1 M Asetat+%3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı içeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışları.....	45
4.3. Karma Suyu Karışımında %3.5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1M Asetat, %3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl+0.1M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren Betonarme Çeliğinin Akım Potansiyel Eğrilerinin Değerlendirilmesi.....	49
4.4. Karma Suyu Karışımında Destile Su, 0,1M Asetat, %3,5 NaCl+0,1M Asetat ve Bu Ortamlara Yapı Kimyasalı İlave Edilen Ortamlardaki Betonarme Çeliğinin (1.Günden 90. Güne Kadar) Nyquist ve Bode Diyagramlarının Değerlendirilmesi.....	53
4.5. Betonarme Çeliği'nin, NaCl, Asetat ve Yapı Kimyasalı'nın Kullanıldığı Ortamlarda Elde Edilen Elektro Kimyasal Nicelikler.....	67
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

<b>Çizelge 1.1.</b> Türkiye’de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldıkları Alanlar .....	20
<b>Çizelge 1.2.</b> Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler.....	25
<b>Çizelge 3.1</b> Kullanılan Çimentonun Kimyasal Analizleri ve Fiziksel Özellikleri....	38
<b>Çizelge 3.2.</b> Kullanılan Temas ve Karma Suları.....	40
<b>Çizelge 4.1.</b> Temas suyu %3,5 NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği’nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan potansiyel dirençleri.....	67
<b>Çizelge 4.2.</b> Temas suyunda %3,5 NaCl içeren ortamlarda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği’nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan yüzde inhibisyon etkinlikleri.....	68
<b>Çizelge 4.3.</b> Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği’nin, akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen elektrokimyasal nicelikler ve yüzde inhibisyon etkinlikleri.....	70
<b>Çizelge 4.4.</b> Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği’nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan korozyon potansiyelleri.....	71
<b>Çizelge 4.5.</b> Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği’nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan pH değerleri.....	72



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 3.1. Çalışma Elektrotu.....	40
Şekil 3.2. Deney düzeneği.....	41
Şekil 4.1. Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; saf su, 0.1 M Asetat, %3.5 NaCl ve Yapı Kimyasalı içeren) akım potansiyel eğrileri.....	42
Şekil 4.2. Karma suyu karışımında Destile Su, %3,5 NaCl, Yapı Kimyasalı ve 0,1M Asetat içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.....	44
Şekil 4.3. Karma suyu karışımında Destile Su, %3,5 NaCl, Yapı Kimyasalı ve 0,1M Asetat içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.....	45
Şekil 4.4. Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; Saf Su+ Yapı Kimyasalı, 0,1M Asetat+Yapı Kimyasalı, %3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve 0.1 M Asetat+%3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı içeren) akım potansiyel eğriler.....	46
Şekil 4.5. Karma suyu karışımında Destile Su+Yapı Kim., 0,1M Asetat+Yapı Kim., %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.....	48
Şekil 4.6. Karma suyu karışımında Destile Su, %3,5 NaCl, Yapı Kimyasalı ve 0,1M Asetat içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı. ....	49
Şekil 4.7. Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; %3.5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1M Asetat, %3.5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl+0.1M Asetat+Yapı Kimyasalı olan) akım potansiyel eğrileri.....	50

<b>Şekil 4.8.</b> Karma suyu karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.....	52
<b>Şekil 4.9.</b> Karma suyu karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı .....	53
<b>Şekil 4.10.</b> Karma suyu Destile Su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı .....	54
<b>Şekil 4.11.</b> Karma suyu Destile Su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı .....	55
<b>Şekil 4.12.</b> Karma suyu Destile Su+Yapı Kimyasalı olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı .....	56
<b>Şekil 4.13.</b> Karma suyu Destile Su+Yapı Kimyasalı olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.....	57
<b>Şekil 4.14.</b> Karma suyu 0.1 M Asetat olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.....	59
<b>Şekil 4.15.</b> Karma suyu 0.1 M Asetat olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode (a-b) diyagramı.....	60
<b>Şekil 4.16.</b> Karma suyu 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı içeren elektrotlardan elde edilen Nyquist Diyagramları.....	61
<b>Şekil 4.17.</b> Karma suyu 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı içeren elektrotlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları.....	62
<b>Şekil 4.18.</b> Karma suyu %3.5 NaCl+0,1 M Asetat içeren elektrotlardan elde edilen Nyquist Diyagramları .....	63
<b>Şekil 4.19.</b> Karma suyu %3.5 NaCl+0,1 M Asetat içeren elektrotlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları.....	64
<b>Şekil 4.20.</b> Karma suyu %3.5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren elektrotlardan elde edilen Nyquist Diyagramları.....	65

**Şekil 4.21.** Karma suyu %3.5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren elektrodlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları .....66

### **SİMGELER VE KISALTMALAR**

- $E_{cor}$  : Korozyon potansiyeli  
 $EIS$  : Elektrokimyasal impedans spektroskopisi  
 $R_s$  : Çözelti direnci  
 $R_p$  : Polarizasyon direnci  
 $R_p^{ac}$  : Alternatif akım impedans yöntemiyle verilen polarizasyon direnci  
 $W$  : Alternatif akım frekansı  
 $Z'$  : Gerçek impedans  
 $Z''$  : Kompleks impedans  
 $\theta$  : Kaplanma kesri  
 $R_{p,inh.}$  : İnhibitörlü koşullardaki polarizasyon direnci  
 $R_{p,0}$  : İnhibitörsüz koşullardaki polarizasyon direnci  
 $SCE$  : Doygun kalomel elektrot  
 $W/C$  : Su/Çimento oranı  
 $\% I$  : Yüzde inhibisyon etkisi



**1.GİRİŞ****1.1. Korozyon****1.1.1. Korozyon Hakkında Genel Bilgi**

Korozyon, metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlarla tahrip olmalarıdır. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp normal koşullar altında bile korozyona uğrayabilir. Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşmek eğilimindedir. Bu nedenle korozyon olayları enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller hariç teknolojik öneme sahip bütün metal ve alaşımlar korozyona uğrayabilir (M.Erbil, 1980).

Teknikte oldukça fazla miktarlarda kullanılan metal ve alaşımlarının korozyonu tamamıyla önlenememesine rağmen dikkate değer ölçüde azaltılabilir. Bu amaçla kullanılan belli başlı birçok yöntem geliştirilmiştir. Tabii, bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına dair karar verme aşamasındayken, metalin türü ve ortamlarla olan etkileşimi gibi parametreleri göz önünde bulundurmalıyız. Ayrıca, korozyonun mekanizmasına uygun bir koruma yönteminin uygulanıyor olması, korumanın başarılı olmasındaki en önemli unsurlardan birisidir. Anodik koruma, katodik koruma, organik maddelerle kaplama, boyama, korozif gidericilerle muamele etme ve inhibitör uygulamaları, metalin korozyondan korunmasında uygulanan başlıca koruma yöntemleridir.

Korozyon, elektriksel ara yüzey olarak adlandırılan elektrot/elektrolit ara yüzeyinde olur. Elektriksel ara yüzey terimi bir elektrolitin sınırında fazlar arasındaki bölgeyi oluşturan iyonlar, yönelmiş dipoller ve elektronların sıralanışını anlatmak için kullanılır (Bockris, Reddy, 1977).

Elektrot/elektrolit ara yüzeylerinde yürüyen tepkimeler başlıca beş kademe gerçekleşir (Moore, 1972):

a) Difüzyon: Elektrolit içerisinde bulunan iyon ve moleküller elektrod yüzeyine doğru difüzyonlanır,

b) Adsorplanma: Elektrolit içerisinde bulunan ve yüzeye kadar difüzyonlanmış olan moleküller, yüzeye adsorbe olur,

c) Reaksiyon Kademesi: Yüzeğe adsorbe olan moleküller, elektrokimyasal bir tepkimeye uğrar,

d) Desorplanma: Elektrokimyasal tepkime sonucu yüzeyde oluşan ürünler desorbe olur,

e) Geriye difüzyon: Desorbe olmuş ürün molekülleri, yüzeyden çözelti içine doğru difüzyonlanır.

Bu sırada yeni bir tepkimeyi başlatmak üzere elektrot yüzeyi serbest hale geçer ve yukarıda belirtilen kademeler yeni iyonlarla tekrarlanır. Korozyon tepkimeleri elektrot/elektrolit ara yüzeyinde metalin çözünmesi şeklinde gerçekleşir. Korozyon ürünlerinin yüzeyden uzaklaşması korozyonun sürmesini sağlar. Yüzeyde tepkime vermek üzere difüzyonla gelip tepkime ürünlerinin desorpsiyonu ile olayın sürmesini sağlayan iyonlar daha çok katodik tepkimeyi üstlenenlerdir.

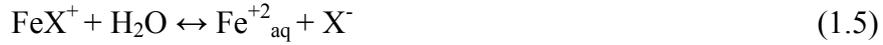
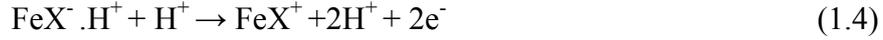
Korozyona neden olan çevre etkileri atmosfer etkisi, suyun etkisi, toprağın etkisi ve bu ortamlarda bulunan değişik agresif iyonların etkileri olarak sınıflandırılabilir. Betonarme demirinin etkileştiği çevre ise beton, beton içerisindeki değişik maddeler ve betonun temasta bulunduğu ortamdır. Beton içine çeşitli yollardan giren klorür iyonu gibi agresif iyonlar betonarme demirinin pasifliğini bozarak korozyonuna neden olur.

### 1.1.2. Demirin Klorürlü Ortamlarda Korozyonu

Cl<sup>-</sup> iyonu gibi zararlı iyonlar metal yüzeyindeki koruyucu oksit tabakasını parçalayarak çözünmeyi hızlandırmaktadır. Asitli ortamlarda ve yüksek Cl<sup>-</sup> derişimlerinde (C<sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 5 M) demirin çözünmesinin aşağıda verilen iki ayrı mekanizmaya göre olabileceği ileri sürülmektedir (ERBİL, 1980).

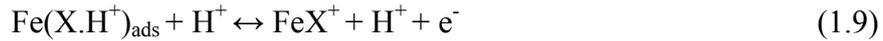
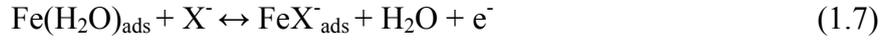
1. Ara ürünlerin Langmuir koşullarında adsorplandığı ve adsorpsiyon enerjisine gereksinim olmadığı varsayımına dayanan çözünme mekanizması:





Burada  $\text{FeX}^- \cdot \text{H}^+$  ara ürününün Langmuir izotermine uyarak adsorplandığı kabul edilmektedir.

2. Ara ürünlerin Temkin koşullarında adsorplandığı, başka bir deyişle adsorpsiyon enerjisine gereksinim olduğu varsayımına dayanan çözünme mekanizması:



Burada  $\text{FeX}^-_{\text{ads}}$  ara ürününün Temkin izotermine uyarak adsorplandığı kabul edilmektedir.

$\text{Cl}^-$  ( $\text{X}$ ) derişiminin yeterince yüksek olmadığı ortamdaysa demirin çözünme mekanizması biraz daha farklı olmaktadır (Erbil,1980; Yazıcı ve ark.,1991;Kahyaoğlu, 1998).



Klorürlü ortamlarda demirin pasifleşmesi oldukça zordur ve metal yüzeyinde çukur korozyonu oluşur.

Çukur korozyonunda, korozyonun başlaması ve sürmesi için gerekli koşullar kendiliğinden oluştuğundan olayın oto katalitik olduğu kabul edilir. Çukur içinde metal hızla çözünürken metal yüzeyinde oksijen indirgenir. Bu olay kendiliğinden

başlar ve genişler. Çukur içinde metalin hızla çözünmesiyle çok miktarda artı yüklü iyonlar oluşur. Elektriksel nötrlük koşulunu korumak için çukur içine klorür iyonları göç eder. Çukur içinde metal klorür derişimi artınca hidroliz sonucu hidrojen iyonu derişimi artar ve çukur içindeki pH düşer. Pasifleşme potansiyeli genel olarak yükselir. Çukur içindeki potansiyel aktif bölgededir. Çukur içindeki pasifleşme potansiyeli hidrolizle yükseldiğinden bu aktif potansiyelin sürdürülmesi ile korozyon ilerler. U.R. Evans'a göre çukur korozyonunun başlaması şöyle olmalıdır;

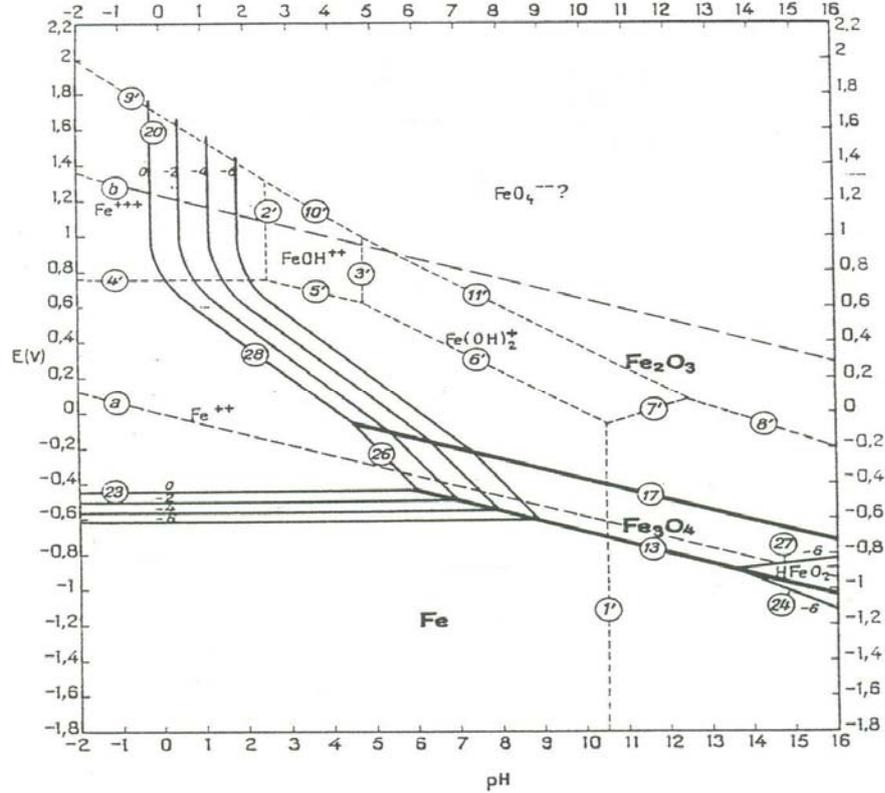
Herhangi bir nedenle bir noktada metalin çözünme hızı bir an için büyükse klorür iyonları bu noktaya göç eder. Klorür iyonları metal çözünmesini artırdığından değişim bu noktada daha hızlı çözünme koşullarını oluşturma eğilimini yaratır (Üneri, 1981).

### **1.1.3 Demir-Su Sistemi için Elektrokimyasal Denge Çizgisi**

Korozyon olaylarında elektrokimyasal tepkimelerinde yürüdüğü kanıtlandıktan sonra korozyon sorunlarının kimyasal termodinamik yardımıyla çözümlenemeyeceği, elektrokimyasal termodinamikten yaralanılması gerektiği düşünülmüştür. Pourbaix ve arkadaşları (1966) tarafından birçok elementin 25°C sıcaklıkta Pourbaix çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çizelgelerde söz konusu korozyon olaylarında ortamın pH'ı elektrot potansiyellerine karşı çizelgeler geçirilmiştir. Ayrıca korozyon sırasında iyonlara ayrışma varsa iyonlaşma sabiti, katı bir özdek çözünüyorsa onun çözünürlük sabitinden yaralanılmıştır.



Şekil 1.1. Demir-Su Sistemi için Pourbaix tarafından elde edilen Potansiyel-pH Diyagramı



Demir-Su sisteminin Potansiyel-pH çizelgesinin çizilmesinde kabul edilen yöntemin ana çizgileri aslında bu tip çizgilerin termodinamik doğasını göstermeye yarar, bu nedenle korozyonun hızı üzerine hiçbir bilgi sağlamaz. Genel olarak bir metal sulu çözeltide Litrede  $10^{-6}$  gr.'dan (yada 0,06 mg Demir/L ) daha az çözünüyorsa korozyona uğradığı kabul edilir. ( Üneri, 1981 )

Şekil 1.1'de a ve b doğruları tersinir hidrojen oksijen elektrotları için  $P_{H_2} = P_{O_2} = 1 \text{ atm.}$ 'de potansiyel-pH bağıntıları verir. (a) ve (b) doğrularıyla sınırlanan alan içinde su termodinamik bakımdan kararlıdır.

Bu diyagram üzerindeki bölgeler ve bu bölgelerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

İyonların oluştuğu bölgeler korozyon bölgesi, oksitlerin oluştuğu bölgeler ise pasiflik bölgesidir.

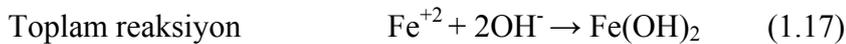
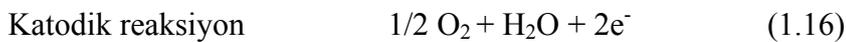
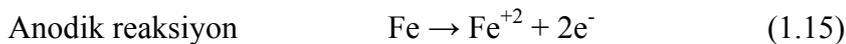
Korozyon bölgeleri: 1 numaralı doğrunun üstü,  $Fe^{+2}$  (çöz.) yada  $HFeO_2^-$  (çöz.) aktiflikleri  $> 10^{-6}$  gr. İyon/L ( Katyonlar için 0,06 ppm  $Fe^{+2}$  ). Asitli çözeltide, düşük potansiyellerde demir,  $Fe^{+2}$ 'ye yükseltgenir. E'nin (a)'dan küçük yada büyük olmasına göre su hidrojene indirgenir yada kararlı olarak kalır. Yüksek potansiyellerde demir,  $Fe^{+3}$ 'e yükseltgenir ve  $Fe_2O_3$ ,  $Fe^{+3}$  oluşturarak çözünür. E'nin (b)'nin altında su ya karalı olur yada oksijene yükseltgenir.

Korozyonun olmadığı bölge: Metalin korozyona uğramadığı katı karalı durum (bağışıklık bölgesi), metalin oksitlerinin bulunduğu bölge (pasiflik bölgesi). Pasifliğin derecesinde oksitlerin çözünürlüğüne bağlıdır. (Üneri, 1981, Erbil, 1980 )

## 1.2. Betonarme Yapı

Beton çok geniş uygulama alanı olan bir yapı malzemesidir. Bu malzemenin basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen, çekme dayanımı düşük olduğundan taşıyıcı sistemlerde kullanılırken içerisine çubuklar yerleştirilir. Bu kompozit yapı malzemesine de betonarme denir. Betonarmede betonun görevi mukavemet yönünden basma kuvvetlerine, çeliğin görevi ise çekme, kayma kuvvetlerine karşı yeterli mukavemet gerilmelerini oluşturabilmesidir. Ancak donatı olarak adlandırılan betonarme demirleri (çelik çubuklar), bazı durumlarda basma kuvvetlerini karşılamada da kullanılırlar (Yılmaz ve Koç, 2003). Beton dayanımını artırmak üzere kullanılan betonarme demirlerindeki korozyon sadece metalin değil beton yapının ömrü açısından da önem taşır. Betonarme yapıtlarda dayanıma etki eden etmenler (karma suyu, çimento türü, agrega bileşimi, betonarme yapının bulunduğu çevre vb.) aynı zamanda betonarme demirinin korozyonuna da etki etmektedir. Olumsuz koşullar oluşmadığı sürece, beton dayanımını artırmak üzere kullanılan betonarme demirinin korozyonu ihmal edilecek düzeydedir (Yalçın, 1999).

Beton içerisindeki demirin korozyonu aşağıdaki tepkimelerle yürümektedir,



Çimento ile su arasındaki hidratasyon reaksiyonları sonucu oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$  (sönmüş kireç) betonun pH'ını yüksek tutar (12-13) ve bu nedenle korozyon reaksiyonları başlayamaz. Ancak havadaki karbondioksitin betonun yüzeyinden içine doğru kılcal boşluklardan sızması, sönmüş kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesine ( $\text{CaCO}_3$ ) ve pH'ın düşmesine (~9) yol açar. Karbonatlaşma, pas payı betonunu geçip donatıya ulaştığında korozyon başlar. Korozyonu kolaylaştıran ve hızlandıran bir başka faktör de klor iyonlarıdır. Korozyon için gerekli unsurlar (rutubet, oksijen, karbondioksit, klor) pas payı beton tabakasını geçerek donatıya ulaşır. Bu geçişi önlemenin en kestirme yolu pas payı betonunu boşluksuz, geçirimsiz kılmaktır, kalıcı, yapısal önlem budur (Öztekın; Ersoy, 1985).

Beton pH değeri yüksek olduğu için beton içinde katotta hidrojen çıkışı olmaz. Katot reaksiyonu ancak 1 ve 2 tepkimeleri ile demir yüzeyi belirli bir oksijen redüksiyonu şeklinde yürür (Kahyaoğlu, 1998 ve Yalçın ve Koç, 1999). Betonun yüksek alkali özelliği nedeniyle de betonarme içindeki demir pasifleşmektedir. Eşitlik 1.15, 1.16 ve 1.17'den de anlaşılacağı üzere betonarme demirlerinin korozyonu için oksijen ve suya ihtiyaç vardır. Ancak poröz bir malzeme olan beton içine oksijen kolaylıkla girebilir. Beton içine oksijen girişi iki yolla olabilir. Birincisi; oksijenle doymuş haldeki su beton içine penetre olurken oksijeni betonarme demirlerine kadar beraberinde taşır. Bu olay periyodik olarak ıslanan ve kuruyan betonlarda etkili olarak yürür. Veya hava doğrudan beton çatlak ve boşluklar içine dolarak oksijeni taşır. Eğer beton boşlukları su ile dolu değil ise bu olay çok hızlı olarak gerçekleşir. Aksi halde oksijenin beton boşlukları içindeki suda çözünerek oradan betonarme demirlerine kadar çözelti içinde difüzenmesi gerekir. Oksijenin çözelti içindeki difüzenme hızı çok düşük olduğundan, bu yolla oksijen difüzyonu son derece yavaştır. Her iki halde de oksijenin betonarme demirleri yüzeyine kadar penetere olması büyük ölçüde beton yapısına ve porozitesine bağlıdır. Beton boşluk suyu içinde çözülmüş olan oksijenin difüzyon katsayısı çok küçüktür. Diğer taraftan betonun su ile doygunluk yüzdesi ve beton yapımı sırasında kullanılan su/çimento oranı da oksijen difüzyon hızını etkiler (Yalçın ve Koç, 1999).

Beton içindeki demirin korozyonu birçok methodla ölçülebilir. Örneğin, potansiyel ölçümleri, kütle kaybı, siklik voltametri, lineer polarizasyon ve

elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) gibi. Bazı metodlar korozyon hızı ve derecesi hakkında bilgi verirken (lineer polarizasyon ve kütle kaybı gibi), bazı metodlar da (EIS ve siklik voltametri gibi) genellikle pasif tabaka ve depasivasyon hakkında bilgi verir (Foulkes ve ark., 1999).

### **1.3. Korozyonun Elektrokimyasal Doğası ve İnhibitörler**

Korozyon tepkimeleri elektrot/elektrolit ara yüzeyinde metalin çözünmesi şeklinde gerçekleşir. Korozyon ürünlerinin yüzeyden uzaklaşması korozyonun sürmesini sağlar. Yukarıda değinilen ve yüzeyde tepkime vermek üzere difüzyonla gelip tepkime ürünlerinin desorpsiyonu ile olayın sürmesini sağlayan iyonlar daha çok katodik tepkimeyi üstlenenlerdir. Korozyon olaylarında hem katodik tepkime ürünlerinin hem de korozyon ürünlerinin uzaklaşması yüzeyin daha sonraki tepkimesi için açık kalmasını sağlar ve elektrolit içerisinde bulunan diğer iyon ve moleküller aracılığıyla elektrot/elektrolit ara yüzeylerinde olay aynı şekilde devam eder.

Elektrot/elektrolit ara yüzeylerinde meydana gelen tepkimelerde en önemli basamak adsorpsiyon kademesidir. Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tür adsorpsiyon vardır. Fiziksel adsorplanmada iyon veya moleküller, yüzeyde Van der Waals kuvvetleri ile tutulur. Bu tür adsorpsiyonlarda adsorplanma ısıları düşüktür (Linsen, 1970). Kimyasal adsorplanmada adsorbe olan moleküller ve iyonlar yüzeyde Valans kuvvetleri tarafından tutulmaktadır. Bu kuvvetler, fiziksel adsorpsiyon kuvvetlerinden daha güçlü olup, kimyasal adsorpsiyon ısıları da fiziksel adsorplanma ısılarına kıyasla çok fazladır (Erbil, 1980).

Metal yüzeyine adsorplanan iyon ya da moleküllerin genel etkileri korozyonda büyük önem taşır. Ortama az miktarda eklendiğinde korozyonu yavaşlatan ya da durduran iyon veya moleküllere inhibitör denir (Erbil, 1980). Bazı inhibitörler metal yüzeyinde adsorplanarak etkin olurlar. Metal yüzeyinde adsorplanan her iyon inhibitör değildir. Adsorplanan iyon ya da moleküller metal yüzeyindeki etkilerine göre, değişik derişimlerde etkin olan inhibitörler veya katalizörler olabilirler.

Metal yüzeyine adsorplanan moleküllerin adsorpsiyonu sonucu beklenen etkileri şu biçimde özetlemek olanaklıdır (Lorenz, El. Miligy, 1974; Erbil, 1980).

Metal yüzeyinde normal kapatma etkisi yapabilirler. Yüzeyde adsorplanan iyonların hiçbir özelliği olmayabilir. Yüzeyi kapatarak korozyon tepkimelerinin olacağı aktif yüzeyi küçültür. Bunun sonucu korozyon hızı yavaşlar. Böyle bir kapatma etkisi, yüzeyin tamamen kapatılması veya yüzeyin aktif noktalarının kapatılması halinde kendini gösterir. Her iki durumda da korozyon hızı yavaşladığı için akım-potansiyel eğrilerinde kaymalar olur.

Metal yüzeyinde adsorplanan iyonlar yüzeyi aktifleştirebilirler veya kendisi aktif olabilir; bu koşullarda değişik olasılıklar söz konusudur:

a) Kapatılmamış yüzeyde normal elektrot tepkimeleri sürebilir,

b) Metal yüzeyinde adsorplanan iyonların katodik indirgenmesi veya anodik yükseltgenmesi olabilir,

c) Kapatılmış yüzeyde normal elektrot tepkimeleri de sürebilir. Bu tür durumlarda gözlenen akım, hem elektrot tepkimelerinden hem de yan tepkimelerden ileri geldiği için, eklenen iyonların gerçek elektrot tepkimesini yavaşlatıp yavaşlatmadığını anlamak zordur, katalizör olması dahi olanaklıdır.

Yüzeyde aktifleştirici bir kaplama olmuşsa, esas tepkime kaplanmış yüzeyde olur. Böyle koşullarda anodik veya katodik tepkimenin aktifleşme enerjisinin iki ayrı enerji engeline bağlı olduğu kabul edilmektedir (Bockris, 1972). Bu enerji de elektrot/elektrolit ara yüzeyi ile metal yüzeyine adsorplanan iyonun oluşturduğu tabakadan meydana gelmektedir (Lorenz ve El. Miligy, 1974).

Korozif ortama az miktarda eklendiklerinde metalin bulunduğu ortamla tepkimesini etkin olarak denetleyen, korozyon hızını azaltan veya durduran maddeler inhibitör olarak adlandırıldığı daha önce belirtilmişti. Metal cinsinin değiştirilmesinin ekonomik olmadığı hallerde, çevrenin korozif özelliğini azaltmak amacıyla inhibitör kullanılması yoluna gidilmektedir. Özellikle soğutma sularında olduğu gibi kapalı sistemlerde, inhibitör kullanımı korozyonla mücadelede en ekonomik yöntemi oluşturmaktadır.

Çok çeşitli tip ve bileşimde inhibitör mevcuttur. İnhibitör olarak adlandırılan maddeler korozyon reaksiyonundan sorumlu olan elektrokimyasal reaksiyonların

kinetiği üzerine etkiyebildikleri oranda korozyon hızını değiştirirler. İnhibitörler etkiledikleri elektrokimyasal reaksiyonun türüne göre Evans tarafından üç gruba ayrılmıştır. Toplam korozyon reaksiyonunun anodik dalını yavaşlatan inhibitörler “anodik inhibitör”, katodik dalının yavaşlatanlar “katodik inhibitör”, her iki dalını da birlikte yavaşlatabilenler ise “karma inhibitörler” olarak adlandırılmışlardır.

İnhibitörler korozyondan sorumlu reaksiyonun kinetiğini değiştirdiğinden, etkinliğin ve etki mekanizmasının sağlıklı olarak belirlenebilmesi için korozyon reaksiyonunun kinetik mekanizmasının sağlıklı olarak bilinmesi gerekir. Korozyon inhibitörleri üzerine yapılan araştırmalar inhibitörlü ve inhibitörsüz elektrolitler için de metalin çözünme mekanizması ile ilgili temel düzenliklerdeki değişmelerin saptanması ve inhibitör etkinliklerinin molekül mekanizmasının belirlenmesi konularında yoğunlaştırılmıştır.

İnhibitörlerin etki mekanizmaları göz önüne alındığında organik inhibitörler ve inorganik inhibitörler olmak üzere inhibitörleri başlıca iki sınıfa da ayırabiliriz. İnorganik inhibitörler çoğunlukla nötr elektrolitler içinde kullanılırlar ve anodik reaksiyon üzerine etki ederek metalin pasifleşmesini sağlarlar. Nötr elektrolitler içinde katodik depolarizatör olan  $O_2$  ortamdan tamamen uzaklaştırılmadıkça, korozyonun yavaşlatılması için sadece katodik reaksiyon kinetiğinin değişimine bağlı önemli bir etkiye çok az rastlanır. Organik inhibitörler çoğunlukla asit elektrolitler içinde kullanılırlar. Metal yüzeyinde oluşturdukları adsorpsiyon tabakası fazla kararlı olmaz ve etki mekanizmaları moleküler yapılarıyla ilgili olarak çok farklıdır. Organik inhibitörlerin kullanımı halinde adsorpsiyon ve katodik reaksiyonun kinetiği üzerine etki çok önemlidir. Asit elektrolitler içinde,  $H^+$  iyonun ya da bir başka soy metal iyonunun indirgenmesi reaksiyonu olan katodik reaksiyonunun hızı azaltılarak korozyon hızı küçültülebilir. Korozyon hızını azaltmanın bir başka yolu da katodik reaksiyona katılan maddenin ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Bazı inhibitörlerin etkileri de sadece bundan ibarettir.

İnhibitör uygulamalarının yapılacağı ortamlar, katı, sıvı ya da gaz olabilir. Her birisi için inhibitör uygulanabilirliği farklıdır. Çoğunlukla kapalı devre çalışan sulu sistemlerde inhibitörlerle koruma yapılabileceği düşünülebilirse de sulu olmayan ortamlarda da uygulama yapmak olanaklıdır. Teknikte kullanılabilirlikleri

açısından daha çok organik yapıdaki inhibitörlerin kullanımları da son zamanlarda hızla artmaktadır. Organik inhibitörler metal yüzeylerine adsorbe olarak metalin çözünme ve metal yüzeyinde indirgenme tepkimelerini azaltabildikleri gibi metali pasifleştirerek korozyon hızının azalmasına da neden olabilirler (Kaesche, 1986). Birinci tip inhibitörler metalin tüm yüzeyine adsorplanabildikleri için genel olarak çift etkiye sahiptirler, yani hem anodik hem de katodik olayları engellerler (Rozenfeld, 1981; Granese, 1992). Özellikle de geçmiş dönemdeki araştırmaları kullanılan organik inhibitörlerin etkinliklerinin, ortamdaki derişimleriyle orantılı bir şekilde değişim gösterdiğini ortaya koymuştur (Fontana, Greene, 1978). Ama sonuç olarak, yeterli konsantrasyonda bulduklarında korozyona uğrayan metalin tamamına etki ederler. Anodik ve katodik bölgelerde metalin potansiyeline, inhibitör molekölü boyutları ve yapısına bağlı olarak yüzeyde değişik oranlarda adsorplanır.

Organik moleküllerin etki mekanizmalarında yer alan özelliklerin başında metal yüzeyini kaplayabilmeleri geldiğine göre, bu konuda moleköler yapıda yer alan fonksiyonel gruplar ön plana çıkmaktadır. Bu gruplar sayesinde organik madde metalik yüzeydeki iyonik çift tabakaya etki ederek metalin sıfır yük potansiyelini değiştirebilir. Organik maddelerin yapısında yer alan fonksiyonel grupların korozyona olan etkileri tam olarak belirlenememiş olmasına rağmen genel olarak inhibisyon etkinliğinin artmasına neden oldukları bilinmektedir.

İhibitörlerin etkinlikleri; çeşitli bilim adamlarınca, adsorpsiyon izotermi olarak matematik bağıntılar halinde verilmiştir. Fiziksel bir adsorpsiyonu belirten Langmuir izotermine göre kaplanma kesri ile inhibitör derişimi arasındaki bağıntı şöyledir:

$$\log (\theta / 1-\theta) = \log a + K \quad (1.18)$$

Burada  $\theta$ ; yüzey kaplanma kesri,  $a$ ; inhibitör aktifliği ve  $K$  bir sabittir. Görüldüğü gibi  $\log (\theta / 1-\theta) - \log a$  değişimi doğrusaldır. Deney sonuçlarının bu değişimi doğrulaması adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğunu gösterir. Kaplanma kesrinin çok küçük ( $\theta \ll 1$ ) ve çok büyük ( $\theta \sim 1$ ) olduğu koşullarda

adsorpsiyonun bu izoterme uyduğu kabul edilmektedir. Langmuir izotermine uyan adsorpsiyonun enerjisi çok düşüktür.

Daha çok kimyasal bir adsorpsiyonu belirten Temkin izotermi ise şu bağıntı ile verilmektedir:

$$\theta = B \log a + C \quad (1.19)$$

Burada  $\theta$  yine kaplanma kesri,  $a$ ; inhibitör aktifliği,  $B$  ve  $C$  sabitlerdir. Temkin adsorpsiyon izotermi daha çok orta büyüklükteki kaplanma kesirlerinde ( $0,2 < \theta < 0,8$ ) geçerli olduğu kabul edilmektedir ve adsorpsiyon enerjisi oldukça yüksektir.

Diğer birçok izoterm, bu izotermle benzer biçimde olup, deneysel sonuçlara uyarlığı sağlamak için bazı yeni terimler ve katsayılar eklenerek türetilmişlerdir ve türeten araştırmacının adı ile anılırlar.

İnhibitör etkinliklerinin adsorpsiyon izotermi yardımıyla belirlenmelerinde, korozyon tepkimelerinin kinetik hız bağıntılarını adsorpsiyon izotermi ile birlikte düşünmek gerekir. Fiziksel adsorpsiyonda kaplanma kesri, inhibitörün koruma yüzdesine eşit alınabilir. Böylece ilk adımda, inhibitörün adsorplandığı metal yüzeyinde korozyon tepkimelerinin durduğu kabul edilmektedir. Bunun her zaman doğru olmadığı belirtilmişse de, düşünme kolaylığı sağlamak için, böyle bir varsayım zorunludur. Buna göre kaplanma kesri,  $\theta$ , için:

$$\theta = 1 - \frac{\text{İnhibitörlü koşullardaki korozyon hızı}}{\text{İnhibitörsüz koşullardaki korozyon hızı}} \quad (1.20)$$

bağıntısı yazılmalıdır. Tepkime hızı yüzeyin kaplanma kesriyle, yüzeyin kaplanma kesri de inhibitör derişimi ile doğru orantılıdır. Varsayımına göre yüzeyin kaplanma kesri büyüdükçe korozyon tepkimelerinin hızı küçülecektir.

İnhibitörlü ve inhibitörsüz koşullarda yapılan deneylerin sonuçlarından  $\theta$  kaplanma kesri hesaplanıp, adsorpsiyonun hangi izoterme uyduğu grafikler çizilerek saptanabilir. Diğer taraftan, bu tür grafikler çizmek için elde yeterli veri olmadığında, korozyon tepkimelerinin kinetik hız bağıntılarından yararlanılır. Kinetik hız



bağıntıları yardımıyla inhibitörsüz koşullarda sağlanan bazı sonuçların inhibitör etkisiyle ne biçimde değiştiğini saptamak olanaklıdır. Çeşitli izotermilerin olası olduğu sınır koşullar, kinetik sonuçlar üzerinde de açıklanabilir.

Metal yüzeyinde adsorplandıkları zaman inhibitör etkisi gösterebilen maddelerin etki mekanizmaları ve etkin olma koşulları, adsorplanan maddenin ve söz konusu maddenin türüne, pH'a, sıcaklığa ve ortamlarda bulunan değişik iyonlara bağlıdır. Bir başka deyişle çözeltilerdeki iyon-metal etkileşmeleri; ortamın bileşimi, metalin türü, sıcaklık ve pH'la değişmektedir. İyon-metal etkileşmelerinin kolay anlaşılabilmesi için denel sonuçları baz alarak ilk açıklayan Freundlich (1880–1941)'dir. Freundlich ve Erbil'e (1991) göre iyon-metal etkileşmeleri aşağıdaki amprik bağıntılarla açıklanmaktadır. Şöyle ki:

### **1.3.1. Korozyon Hızının Ortam Bileşiminden Etkilenmemesi Hali**

Korozyon hızı ortam ve malzemeye bağlı sabitlerle (A ve T) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\log C_R = K + A/T \quad (1.21)$$

Burada  $C_R$ ; korozyon hızı, A ve K; ortam ve malzemeye özgü sabitler, T; sıcaklıktır. Bu bağıntıya göre ortamın bileşimi değişse de korozyon hızı sabit kalmaktadır. Ancak sıcaklığa bağlılık söz konusu olabilir. Sulu ortamlarda  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonları doğal olarak bulunacağından metal yüzeyinde adsorplanarak metalle etkileşecek ve asitli ortamlarda asit korozyonu, kuvvetli bazik koşullarda alkali korozyonu olacak ve zayıf bazik koşullarda ise büyük olasılıkla yüzeyin bir hidroksit tabakası ile kapatılmasını sağlayacaklardır. Bu durumlarda  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonları dışında bir iyon metal yüzeyine ulaşamıyordur. Yani adsorpsiyon enerjisi  $H^+$  ya da  $OH^-$  iyonlarının etkisinden çok farklı olmadığı için her hangi bir etki saptanamamaktadır. Ortam bileşimine bağlı bir korozyon hızı değişiminin gözlenmediği bir başka durum da metalin pasif olduğu koşullardır.  $OH^-$  iyonları ve  $O_2$  etkisi ile ya da başka kimyasalları yardımıyla oluşan pasif tabaka, söz konusu kimyasallar ya da iyonlar

tarafından bozulmamakta ve pasiflik koşulları etkili olup, ortamdaki maddeler etkisiz görülmektedir.

Ortamın kimyasal bileşiminden başka, sıcaklık, basınç, ortamın hareket hızı v.b. koşullar da dikkate alındığında yukarıda yapılan genelleme geçerli olmayabilir. Ancak, kapsamlı bir genelleme yapılamayacağı için, yukarıda değinilen parametrelerden ortam bileşimine ek olarak sıcaklığı da dikkate alarak genellemeler biraz daha genişletilebilir.

#### **1.4. Korozyon Hızının Belirlenmesi**

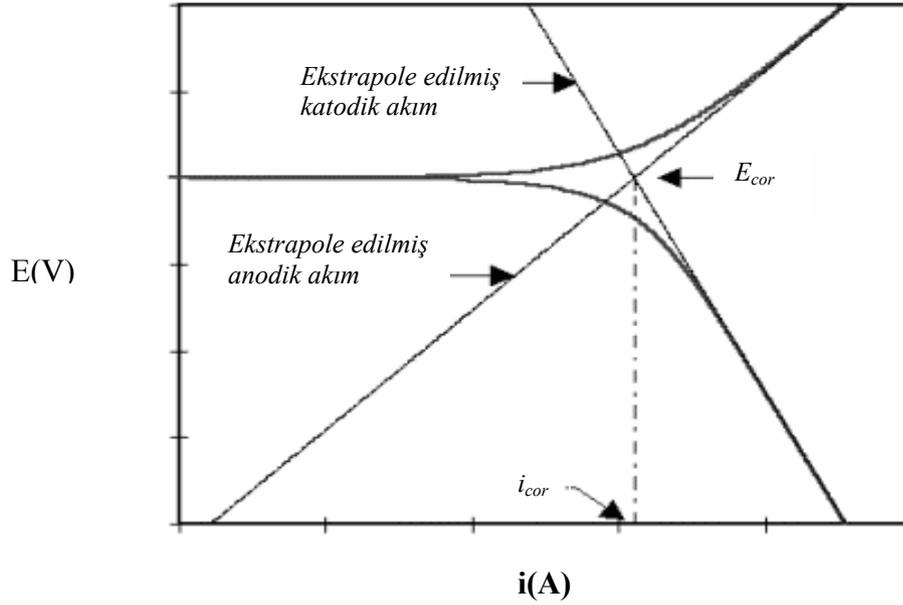
Elektrokimyasal yoldan korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metal üzerindeki anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımın ölçülmesidir. Korozyon olayının kolay anlaşılmasını sağlamak üzere örnek gösterdiğimiz pil modelinde geçen akımın çok küçük dirençli bir galvanometre yardımıyla doğrudan ölçülmesi olanaklıdır. Ancak, gerçekte anot ve katot yüzeyleri birbirinden ayıramadığından, bu iki kutup arasından geçen ve “korozyon hızı” olarak adlandırılan akımın dolaylı yoldan ölçülmesi gerekir.

Dolaylı yoldan korozyon hızı ölçülmesinin de özü akım-potansiyel ölçülmesidir. Akım ya da potansiyelden biri denetimli olarak uygulanarak diğerinin değişimi kaydedilir. Korozyon hızını belirleme yöntemlerinden “Tafel Eğrilerinin Ekstrapolasyonu” yönteminde de, korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ve katodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri Tafel eğrileri olarak bilinir. Tafel eğrilerinin çizgisel kısımları geriye doğru ekstrapole edildiğinde korozyon potansiyelinde kesiştikleri noktanın belirlediği akım, korozyon akımıdır. Tafel ekstrapolasyonu yöntemiyle elde edilen elektrokimyasal veriler kullanılarak elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden korozyon akımı ve potansiyelinin nasıl bulunduğu dair bir örnek diyagram Şekil 1.2.’de verilmiştir. Elektrokimyasal yöntemlerle korozyon hızının belirlenmesi için Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi laboratuvar koşullarında kolayca uygulanabildiği halde pratikte bazı zorlukları vardır.

Bir başka elektrokimyasal korozyon hızı belirleme yöntemi olan, akım-potansiyel eğrilerinin oluşturulup, bunların yorumlanması temeline dayanan “Polarizasyon Direnci” yönteminde ise küçük bir potansiyel aralığında yüzey az miktarda polarize edilir ve akım-potansiyel eğrileri elde edilir. Bu sayede, akım-potansiyel eğrilerinden, korozyon hızı hakkında daha güvenilir bilgi edinilebilir.

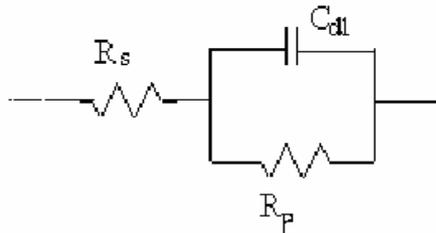
Korozyon hızı ölçmelerinde doğru ve hızlı ölçme sağlayan yöntemler önemlidir. Bunun içinde daha çok elektrokimyasal yöntemlerin uygulandığı daha önceden belirtilmişti. Ancak, bu yöntemlerle elde edilen sonuçların doğruluğu tartışmalıdır. Zira, söz konusu yöntemlerin doğası gereği dıştan uygulanan gerilim, metalin yüzey yapısını bozmaktadır. Ayrıca, elektrokimyasal ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesi için korozyon kinetiğinin iyi bilinmesi gerekir. Korozyonun kinetiğini tam olarak saptamak zordur ve dıştan uygulanan gerilimin yüzey olaylarını daha karmaşık hale getireceği açıktır (Erbil, 1987).

Uygulan gerilimin en küçük olduğu ve bu nedenle yüzey olaylarının en az etkilendiği polarizasyon direnci yöntemi uygulanabilir niteliktedir. Alternatif Akım İmpedans (AC) yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesi çalışmaları yakın geçmişte önem kazanmıştır. AC yöntemi ile metal yüzeyine uygulanan küçük genlikli alternatif akım yüzey yapısını fazla değiştirmeyeceğinden daha doğru sonuç vermesi beklenmektedir. Ayrıca yüksek dirençli ortamlarda da ölçüm yapabilmesi, diğer yöntemlere göre bir üstünlük sayılmaktadır. Yöntemin özü, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım impedansının ölçülmesine dayanmaktadır.



**Şekil 1.2.** Tafel ekstrapolasyonu yöntemiyle korozyon hızının belirlenmesi.

Yöntemin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ve çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak, polarizasyon direnci belirlenmeye çalışılmaktadır. Basit bir korozyon sisteminde metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan elektrokimyasal çift tabakanın C kapasiteli bir kondansatöre eşdeğer olduğu varsayılarak Şekil 1.3.’deki elektronik eşdeğer devre şeklinde tanımlanabilir (Erbil 1987).



**Şekil 1.3.** Metal/çözelti ara yüzeyinin elektronik eşdeğeri olan devre şeması.

Şekil 1.3.’de verilen şemada,  $R_s$  çözelti direncini,  $C_{dl}$ , çift tabakanın kapasite eşdeğeri,  $R_p$  polarizasyon direnci olarak tanımlanabilir. Böyle bir elektronik devre

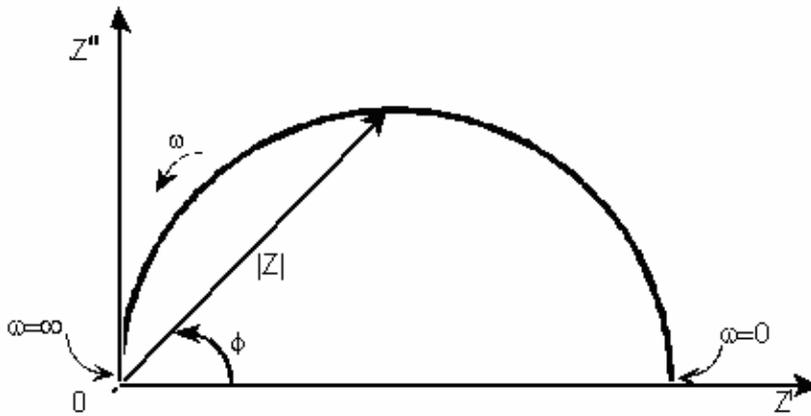
için toplam impedans aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$Z = R_s + \frac{R_p}{1 + jWCR_p} \quad (1.27)$$

Bu bağıntıda ise, W alternatif akım frekansını ( $W=2\pi f$ ) göstermektedir ve  $j=(-1)^{1/2}$  dir. 1.27. bağıntısının düzenlenmesi ile,

$$Z = R_s + \frac{R_p}{1 + (WCR_p)^2} - j \frac{WCR_p^2}{1 + (WCR_p)^2} \quad (1.28)$$

bağıntısı elde edilir. Son bağıntının sağ tarafındaki ilk iki terim gerçekte impedans ( $Z'$ ), son terim ise kompleks impedans ( $Z''$ ) olarak tanımlanır. Bu şekilde elde edilen deneysel veriler aracılığıyla  $Z'$  'e karşı  $Z''$  grafiğe geçirildiğinde Şekil 1.4.'de gösterilen kompleks bir diyagram elde edilir.



**Şekil 1.4.** AC yöntemiyle elde edilen kompleks diyagramın şematik gösterimi.

Teorik olarak AC yöntemiyle verilen  $R_p$  ile korozyon potansiyeli ( $E_{cor}$ ) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$R_p^{ac} = \left( \frac{dE}{di} \right) \cdot E = E_{cor} + R_d \quad (1.29)$$

Bu bağıntıda  $R_d$  difüz tabaka direncidir ve bunu belirlemek teorik olarak güç olmakla birlikte,  $R_d$ 'ni bulmak için teorik olarak elde edilmesi beklenen eğri (yarım daire) ile deneysel olarak elde edilen eğriler arasındaki sapmanın kaynağını bulmak gerekir. Bu amaçla, yukarıdaki diyagramın daha çok düşey eksenindeki impedansın sapan kısmı için bazı düzeltme faktörleri sayesinde elektrokimyasal yolla, çözünmekte olan metalin korozyon hızı için güvenilir bilgiler edinilebilir.

### **1.5.Çalışmanın Amacı**

Mühendislik alanlarında en yaygın biçimde kullanılan metal çeliktir. Mekanik özellikleri yönünden çok nitelikli olan bu malzemenin en büyük kusuru korozyona dayanıklılığının çok düşük olmasıdır. Betonarme elemanların korozyonunda betonun ve çeliğin korozyon süreçleri birbirlerinin etkisindedir ve her iki süreç birleşerek yapı elemanlarının daha yoğun ve hızlı bir biçimde yıpranmasına yol açar.

Dayanıklı, ekonomik ve güvenilir betonarme yapılar elde edebilmek için betonarme yapılarda korozyonun araştırılması, betonu koruyucu ve betonarme demirinin korozyonunu önleyici yöntemlerin geliştirilmesi çok önemlidir. Beton dayanımını artırmak için kullanılan betonarme demirindeki korozyon sadece metalin değil beton yapının ömrü açısından da önem taşır. Betonarme yapılarda dayanıma etki eden etkenler (karma suyu, çimento türü, agrega bileşimi, betonarme yapının bulunduğu çevre vb.) aynı zamanda betonarme demirinin korozyonuna da etki etmektedir. Bu çalışmada ise beton karma suyuna uygun bir organik inhibitör ilave edilerek (sodyum asetat) korozyon hızındaki değişim incelenmiştir.

Bir beton yapının muhtelif kısımları aynı anda atmosferde, su içinde ve zeminde olmak üzere üç değişik ortamda bulunabilir ve bu faktörlerin hepsi beton yapının üzerinde etkili olmaktadır. Bu çalışmada karma suyu ve çevresel etkilerle beton yapısına difüzlenen  $Cl^-$  iyonlarının, asetat ve yapı kimyasalının betonarme demirinin korozyonuna etkileri araştırılmıştır.

Temas suyu olarak kullanılan klorürlü ortamda ve karma suyu olarak kullanılan, saf su, klorürlü, asetatlı, yapı kimyasallı veya klorür + asetat, klorür + yapı kimyasallı,

asetat + yapı kimyasallı, klorür + asetat + yapı kimyasallı çözeltiler olan koşullarda betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları incelenmiştir.

### **1.6. Beton**

Beton, kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra katılaşıyor ve zamanla dayanım kazanır. Betonun özellikleri beton karışımında kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir (Ersoy, 1985).

### **1.7. Çimento**

Çimento, kalker ve kil taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılarak taşlaşmaya başlar. Priz olarak adlandırılan bu katılmanın süresi, ortamın koşullarına bağlıdır. Normal koşullar altında katılma 1 ile 10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılma hızlanır. Katılma ile birlikte sertleşme olarak tanımlanan betonun dayanım kazanma olayı başlar. Dayanım zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanımı ulaşması uzun bir süre alır (Ersoy, 1985).

#### **1.7.1. Çimento Türleri**

Çimento inşaat sektöründe çok geniş uygulama alanı bulan bir malzeme olduğundan kullanılacağı ortamın durumuna göre katkı maddeleri ile ana bileşenlerin değişik kompozisyonları oluşturulmuş ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri

geliştirilmiştir. Beton yapımında en önemli rolü üstlenen bileşenlerden biri çimentodur. Her yapının özelliğine göre kullanılacak çimentonun cinsi değişir (Kahyaoğlu, 1998).

Türkiyede üretilen ve TS’de yer alan çimento çeşitleri ve kullanıldıkları yerler çizelge 1.1’de verilmiştir.

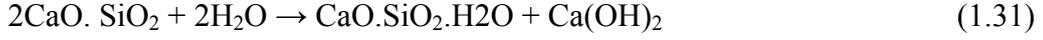
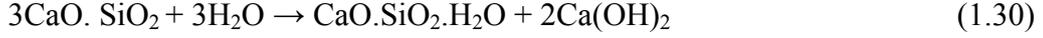
**Çizelge 1.1:** Türkiye’de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldıkları Alanlar

<b>ÇİMENTONUN ADI</b>	<b>STANDART NO</b>	<b>KULLANILDIĞI ALANLAR</b>
Portland Çimentosu (PÇ325)	TS 19	Normal inşaatlarda
Portland Çimentosu(PÇ400)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Portland Çimentosu(PÇ500)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Katkılı Portland Çimentosu(KPÇ325)	TS 10156	Normal inşaatlarda
Demirli Portland Çimentosu(DPÇ325)	TS 20	Düşük hidratasyon ısısı istenen kütle betonlarda
Cüruf Çimentosu(CC325)	TS 20	Su altı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Beyaz Portland Çimentosu(BPÇ325)	TS 21	Normal dayanımlı ve dekoratif inşaatlarda
Harç Çimentosu(HÇ160)	TS 22	Harç sıvalarında
Trashlı Çimento(TÇ325)	TS 26	Düşük hidratasyon ısısı istenen kütle betonlarda
Uçucu Küllü Çimento(UKÇ325)	TS 640	Sualtı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Sülfatlı Cüruf Çimentosu(PC325)	TS 809	Sualtı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Erken Dayanımlı Yüksek Çimentosu(EYÇ510)	TS 3646	Demiryolu traverslerinde

### 1.7.2. Çimentonun Hidratasyonu

Çimento bünyesindeki ana bileşenler, su ile etkileşerek aşağıda gösterildiği gibi bir dizi ekzotermik reaksiyon verirler ve hidrate ürünler oluştururlar. Bu olaya çimentonun prizlenmesi denir, çimentonun prize başlama süresi 1 saatten az 10 saatten fazla olmamalıdır, genelde 2-3 saat kadar sürer.





Çimento su ile birlikte önce hafif bir katılaşma gösterir, buna priz başlangıcı denir. Ortam  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bakımından doygunluğa erişince  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  çökmeye başlar. Gerek bu kristaller ve gerekse kalsiyum hidroksit kristalleri ile şekilsiz silikatların çökmesi, ortamın suyunu kaybetmesi priz oluşumunu sağlar. Katılan çimento zamanla mukavemet kazanır. Bu sürece çimentonun olgunlaşması denir (Ersoy, 1985; Yalçın ve Koç, 1999).

### 1.7.3. Sertleşme Olayı (Hidratasyon Yapmış Çimentonun İç Yapısı)

Hidratasyon ve onu izleyen katılaşma olayı sonunda sertleşmekte olan çimento hamurunun iç yapısı değişik mikroskobik incelemeler sonucunda belirlenmiştir. Bu yapıda hidratasyon sonunda meydana gelen hidrate elemanlar bulunmaktadır. Bunlar gelişmesini tamamlamamış ve bu nedenle düzenli bir kristal yapıya kavuşmamıştır. Bir de hegzagonal kristal şekilde serbest kireç veya portlandit elemanları vardır. Hidratasyon sonucunda meydana gelen bütün bu hidrate elemanları aralarında muhtelif boşluklar bırakarak biraraya gelmişlerdir. Çimento hamurundaki boşluklar boyut bakımından şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a) Makro boşluk : Bu tür boşlukların boyutları  $10^4$  °A'den büyüktür
- b) Kılcal boşluk : Bu gruptaki boşlukların boyutları  $10^4 - 10^2$  °A arasındadır.
- c) Mikro boşluk : Burada boşlukların boyutları  $10^3 - 10^2$  °A arasında kalmaktadır.
- d) Jel boşlukları : Bu boşluklarda boyutlar  $10^2$  °A'den küçüktür.

Zaman ilerledikçe makro boşluklar azalır, buna karşılık mikro boşluklar ve jel boşlukları artar, (Postacıoğlu, 1986).

**1.7.4. Porozite ve Geçirgenlik**

Beton içine zararlı iyonların girişi betonun porozitesi ile ilişkilidir. Yalnız porozite geçirgenlikle eş anlamlı değildir. Betonun bütünündeki porozite esas olarak çimento pastasının porozitesine bağlıdır, jel halindeki gözeneklerden (por) ve kapiler gözeneklerden (por) oluşur. İlk etapta jel porları pasta hacminin yaklaşık %28'ini oluşturur. Pastadaki kapiler gözeneklerin hacmi pasta hacminin %0-40 kadarlık kısmını oluşturur ve jelden daha önemli boyutlara sahiptir. Kapiler gözeneklerin birbirlerine kolayca geçebilmeleri nedeniyle geçirgenlikteki katkıları çok önemlidir (Kahyaoğlu, 1998). Pasta geçirgenliğini etkileyen önemli faktörler;

- W/C oranı
- Kür süresinin kuruma derecesi

Pastanın geçirgenliğini etkileyen faktörler beton içinde geçerlidir. Bunların dışında aşağıdaki faktörler de betonun geçirgenliğini etkiler;

- Çimento bileşenleri
- Agreganın maksimum boyutu
- Dökme homojenliği
- Sıkıştırma derecesi
- Agreganın derecelenmesi
- Çimento tipi

Çimento bileşenlerindeki artış betonun geçirgenliğini düşürmektedir. Çimentolardaki karmaşık bileşen miktarları, hidrasyonun gelişme seyrini değiştirmeleri ve rötre ile şişme olaylarına neden olmalarından dolayı etkindirler. Hidrasyon hızının zamanla gelişmesi geçirimsizliğin zamanla azalmasına yol açar. İri agrega olarak kırmataş değil de doğal malzeme yani çakıl kullanılırsa geçirimsizliği az beton elde edilir. Diğer taraftan beton üretiminde kullanılacak agregaların porozitesinin küçük olması gerekir, (Postacıoğlu, 1987).

**1.8. Agregalar**

Kum ve çakıl (veya kırma taşı) karışımı agregası olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 0,7 mm arasında olan agregası kum, 7-70 mm. arasında olan ise çakıl olarak adlandırılmaktadır. Agregası esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betondaki hacim değişikliklerini azaltmaktır. Su ve çimentodan oluşan hamur, büyük hacim değişiklikleri gösterir. Agregasının betona girmesi hem bu hacim değişikliğini azaltır, hem de agregası çimentodan daha ucuz olduğundan ekonomiyi sağlar. Betonun iyi işlenebilmesi için agregasının granülometresi çok önemlidir.

Granülometre, geçirimsizlik, rötre ve sünmeyi de önemli çapta etkiler. Betonda kullanılacak kumun temiz olması ve batona veya donatıya zarar verecek kimyasal maddeleri içermemesi gerekir. Pratikte en sık rastlanan sorun kumun içinde fazla miktarda kil ve siltin bulunmasıdır. Kalın agregası da (7-70 mm.) doğal veya yapay olabilir. Doğal agregası dere yataklarından, özel ocaklardan veya deniz kenarlarından elde edilir ve çakıl olarak adlandırılır. Yapay olanı ise, uygun nitelikteki taşların konkasörle kırılmasıyla elde edilir ve kırma taş olarak adlandırılır.

İyi kalitede ve kullanılabilir kıvamda beton yapılabilmesi için kullanılan kum ve çakıldaki dane çaplarının karışım içinde belirli oranlarda bulunması gerekir. Başka bir deyişle, Türk Standardından TS-706'ya göre kum ve çakıl karışımının granülometrik bileşimi belli sınırlar içinde kalmalıdır (Ersoy, 1985).

**1.9. Beton Karma Suyu**

Beton harcının hazırlanmasında kullanılan suyun priz sırasında, çimentonun hidrasyonunu sağlamak, karışıma istenen işlenebilirliği vermek ve agregayı doymuş hale getirmek gibi üç ana fonksiyonu vardır. Bu nedenle karma suyunun betonun yoğunluk, dayanıklılık, su geçirimsizliği, aşınmaya direnci vb. özelliklerini olumsuz yönde etkilememesi gerekmektedir. Karma suyu üzerindeki test ve analizler, ilgili standart deney metodlarıyla yapılmaktadır.

Su, betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Betonun karılmasında kullanılan karışım suyu, iki önemli görevi yerine getirmektedir;

Çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yağlayıcı etki yaratmak ve böylece betonun kolay karıştırılabilmesini, taze betonun yerleştirilmesini, sıkıştırılabilmesini, özetle işlenebilmeyi sağlamak. Toz halindeki çimento taneleriyle birleşerek ortaya çıkan çimento hamurunda hidrasyon denilen kimyasal reaksiyonları sağlamak.

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz vb... betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir (betonsa.com.tr).

### **1.10. Su / Çimento (W/C) Oranı**

Beton dayanımı ile W / C oranı ters olarak değişir. Dayanım betonu en önemli karakteristik özelliğidir. Diğer birçok beton özelliği, genel hatlarıyla, dayanımıyla ilişkilendirilebilir. Kullanılan beton bileşenlerinin özellikleri ve ortam koşulları sabit olduğu sürece, su/çimento oranıyla dayanım arasında birebir ilişki vardır. Su/çimento oranı arttıkça dayanım azalır. Öte yandan, sabit bir su/çimento oranı için beton dayanımı;

- a) En büyük agrega boyutundan,
- b) Agrega tane boyut dağılımı (granülometri), şekil ve yüzey pürüzlülüğünden,
- c) Kullanılan çimento cinsinden,
- d) Betondaki hava miktarından,
- e) Kullanılan katkıların cins ve miktarından etkilenir.

Betonun geçirimliliğini azaltmak için de su/çimento oranı azaltılmalıdır. TS 802 (1985); soğuk bölgelerde W/C oranını 0,53, ılıman bölgelerde ise basınç dayanımına göre seçilmesi gerektiğini belirtmiştir.

#### **1.10.1. Betona Zarar Veren Kimyasal Olaylar**

TS 3440 (1982)'de bileşimlerinde serbest asitler, sülfürler, sülfatlar, klorürler, amonyum tuzları, bazı organik bileşikler bulunan su ve zeminlerin beton üzerine zararlı etki yaptığı belirtilmiştir ve bunların önemlileri Çizelge 1.2.'de verilmiştir

Zararlı etkilerin bulunduğu suyun basınç ve sıcaklığının artması veya bu suyun çalkantılı ya da hızlı akıntı gibi mekanik etkiler karşısında kalması durumunda etkinlik derecesi artar, tersine suyun basınç ve sıcaklığının azalması etkinlik derecesinin de azalmasına neden olur (Kahyaoğlu, 1998).

**Çizelge 1.2:** Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler

Zararlı Kimyasal etkisi olan iyonlar	Zarar Etkinlik Derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
pH değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Kireç Çözücü mg/1 (CO <sub>2</sub> )	15-30	30-60	>60
Amonyum mg/1 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	15-30	30-60	>60
Mg <sup>+2</sup> mg/1	100-300	300-1500	>1500
Sülfat(SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) mg/1	200-600	600-3000	>3000

### 1.10.2. Klorür Tuzlarının Etkisi

Sertleşmiş bir beton bünyesine çevreden klorür penetrasyonu hızı, betonun fiziksel yapısı ile doğrudan ilgilidir. Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine çevreden penetre olabilen klorür miktarı da o derece azalır. Beton permeabilitesi, başta su/çimento oranı olmak üzere, beton yapımında kullanılan agrega granülometresine, çimento dozajına, betonun kalıp içinde sıkıştırılmasına ve dökümden sonraki ilk günlerde uygulanan kür koşullarına bağlıdır.

Beton içine klorür başlıca iki yoldan girer. Bunlardan birincisi ve önlenebilir olanı, beton karışımı hazırlanırken kum, çakıl, karışım suyu ve çeşitli katkı maddeleri ile giren klorür bileşikleridir. İkincisi ve pratikte daha sık rastlanani beton sertleştikten sonra çevreden beton içine difüzlenen klorür iyonlarıdır. Betonarme demirlerinin korozyonu üzerine başlangıçta ve sonradan giren bu klorürlerin etkisi farklıdır. Başlangıçta beton içine giren klorür iyonlarının bir kısmı çimento hidrasyon reaksiyonu sırasında çimento klinker bileşiklerinden tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik olan tri kalsiyum

alümino klorürü (Friedel tuzu) ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) oluşturur. Böylece klorür iyonunun bir kısmı bağlanmış olur. Bu bağlı klorürün pasifliği bozucu etkisi yoktur. Korozyon üzerine beton boşluk suyu içinde çözülmüş halde bulunan klorür iyonları etkili olur.

Beton içinde bulunan klorür iyonlarının pasifliği bozucu etkisi, klorür iyonlarının elektronegativitesi yüksek bir iyon oluşuyla açıklanabilir. Bu nedenle metal yüzeyinde oksijen ve hidroksit iyonlarından daha sağlam şekilde adsorbe edilir. Adsorbe olan bu klorür iyonları korozyon sonucu oluşan demir iyonları ile birleşerek demir klorür halinde çözeltiliye geçer. Böylece metal yüzeyinde  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  çökmesi ve pasif filmin oluşması önlenmiş olur. Bu bölgede korozyon olayı artık oto katalitik olarak devam eder. Çünkü çözelti içine giren demir klorür su ve oksijenle birleşerek pası oluştururken, klorür iyonu yeniden çözelti içine karışır. Aşağıda verilen 1.34, 1.35, 1.36 eşitliklerinden açıkça görüldüğü üzere klorür iyonu doğrudan korozyon yaratmaz. Ancak bir katalizör gibi korozyon olayının hızını arttırıcı olarak rol oynar (Yalçın ve Koç, 1999;Jamil ve Ark., 2003).



**2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

**Erbil, Yazıcı, Dehri, Kılınççeker (1993)**, Yapay deniz suyundaki demirin korozyonuna pH'nın 6,0 ve 8,0'de farklı derişimlerdeki glikozun inhibitör etkilerini de kapsayan bir proje yapılmıştır. Yapay deniz suyu içindeki demirin korozyon hızını  $10^{-1} - 1$  M gibi yüksek derişimdeki glikozun azalttığı, daha düşük derişimdeki glikoz kullanımıyla birlikte demirin korozyon hızında bir artış gözlenmiştir. Özellikle pH=6,0 iken yeterli miktarda glikoz varlığında demir yüzeyinde poröz olmayan koruyucu bir tabakanın oluştuğu ve oluşan bu tabakanın demirin korozyon hızında büyük bir düşüşe neden olduğu belirlenmiştir.

**B.Yazıcı ve ark.,(1994)**, Demir ve alüminyumun değişik derişimlerde (0,30,150,300 ppm) LAB ve LAS içeren % 3,4 NaCl çözeltisi içinde korozyon davranışı incelenmiştir. Bu amaçla korozyon hızı ölçülmüş, kimyasal oksijen ihtiyacı, yüzey aktif madde miktarı, çözünmüş oksijen ve çözelti pH'nın zamanla değişimleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda LAB ve LAS gibi organik moleküllerin % 3,4 NaCl çözeltisi içinde ilavesi ile demir ve alüminyumun korozyon hızının azalttığı, korozyon potansiyellerini daha soy değerlere kaydırıldığı ve polarizasyon dirençlerini arttırdığı gözlenmiştir.

% 3,4 NaCl çözeltisi içinde LAB ve LAS derişimleri artıkça demir ve alüminyumun korozyon hızları azalmaktadır. Ancak demirde LAS, alüminyumunda ise LAB daha etkili olduğu belirlenmiştir.

**Yazıcı B., Erbil M., Dehri İ., Tatlı G., Galip H., (1995)**, Klorür ve klorürsüz ortamda demirin korozyonu üzerine asetat iyonunun etkisi araştırılmıştır. Korozyon hızları , korozyon potansiyelleri ve polarizasyon direnci belirlenmiştir. Çalışma elektrotu olarak % 99,9 saflıkta Armco demir , % 12,5 Cr ve % 0,15 C içeren demir , referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (SCE) ve yardımcı elektrotu olarak da platin elektrot kullanılmıştır. Tüm çalışmalar% 3,4 NaCl içeren çözeltilerde ve 20°C sıcaklıkta yapılmıştır. Anodik polarizasyon eğrileri katodik ön işlemden sonra alınmış ve bazı çözeltilerde kullanılan farklı türdeki demir

elektrotlardan ve farklı tekniklerden benzer sonuçlar alınmıştır. Elde edilen kinetik veriler daha önce Takahashi tarafından önerilen çözünme mekanizmasını doğrular niteliktedir. Demir çözünmesinin asetat konsantrasyonundaki ve pH daki değişime bağlı olarak değişim gösterdiği bulunmuştur.

**Balbanic G. ve ark., (1996)**, Beton içindeki çeliğe klorürün neden olduğu korozyonda beton kalitesinin etkisi, beton örtüsünün kalınlığı, su ile doygunluk derecesinin korozyon akım yoğunluğu üzerine etkisi matematiksel model için analizler uygulanarak araştırılmıştır.

Yapılan deneylerde sonuçlar incelendiğinde (W/C = 0,40 iyi kalite beton ve W/C = 0,70 kötü kalite beton ) her iki betonda , su doygunluk derecesi arttığında oksijen difüzyonu hızı yavaşlamış fakat elektriksel iletkenliğin artmışlığı tespit edilmiştir. W/C = 0,70 olan betonlarda oksijen difüzyonu hızı diğer betona göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Beton kalınlıklarına göre elde edilen sonuçlarda ise W/C = 0,40 olan betonlarda beton kalınlığı 5 ve 10 cm olduğunda korozyon akım yoğunlukları birbirine çok yakındır. W/C = 0,70 olduğunda ise korozyon akım yoğunluğunun beton kalınlığı 5 cm olduğunda daha fazla olduğu belirlenmiştir.

**Yılmaz A.B. ve ark., (1997)**, Sülfat iyonlarının ve pH'ın beton dayanımına ve betonarme çeliğine etkileri galvanik akım değişimleri ve potansiyelleri ölçülerek araştırılmıştır. Beton ve betonarme örnekleri farklı sülfat iyonu içeren karma suyuyla (standart, 400ppm ve 3500 ppm ) hazırlanmış , karma suyu ile aynı veya saf suda iki farklı pH'da ( 8 ve 5 ) kür uygulanmıştır. Örnekler bu temas sırasında 90 gün bekletilmiştir. Betonların dayanım gücü beton örneklerin bekletildiği temas sularının pH değeri , betonarme çeliğinin galvanik akım değişimleri ve potansiyelleri ölçülmüştür. Sülfat iyonunun konsantrasyonu arttıkça betonların basınç dayanım güçlerinin azaldığı gözlenmiştir. Galvanik akımlar ilk 38 günde yükselmiş ve daha sonra akım azalmıştır.

a) Sonuç olarak ideal karma suyu ile mukayese edildiğinde sülfat iyonları basınç dayanımlarında %12,5 – 15 azalmaya neden olmaktadır.

b) Beton içindeki porlarda dışarıya difüzlendi sülfat dış çözelti ile beton içerisindeki



konsantrasyon gradientine bağlı olarak gerçekleşmiştir.

c)Yüksek sülfat iyonu içeren koşullarda betonarme demirinde korozyon gözlenmiştir.

d) Temas suyu saf su olduğunda betonarme çeliğinin potansiyelleri daha pozitif değerlere ulaşmıştır

**Kılınççeker G., (1998)**, Demir, bakır, çinko ve pirincin sülfatlı ortamlardaki korozyon davranışlarına fosfat iyonlarının etkileri farklı sıcaklık ve pH'larda araştırılmıştır. Çalışmada akım-potansiyel eğrilerinden faydalanılmıştır. Üç elektrot tekniği ile betonarme demirinin denge potansiyelleri belirlenip, denge potansiyel-pH değişimleri tartışılarak betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları açıklanmıştır.

Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar kısaca şöyle verilebilir :

- a) Betonarme demiri %3,5 Cl<sup>-</sup> iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda korozyona uğramaktadır.
- b) Betonarme demiri sade 0,1 M PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda korozyona uğramamaktadır. Betonarme demiri bu ortamlarda pasifleşmektedir.
- c) Betonarme demiri %3,5 Cl<sup>-</sup> + 0,1 M PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda kısmen korozyona uğramaktadır. Klorür iyonları betonarme demirinin pasifleşmesini güçleştirmektedir.
- d) Betonarme yapılar hazırlanırken; karma suyundan Cl<sup>-</sup> iyonlarının uzaklaştırılması ( 300 ppm'e kadar ), karma suyunun pH'ının denetlenmesi ve betonarme demirinin zamanla potansiyelinin ölçülerek uyum görülmesi halinde, betonarme donatıya katodik koruma uygulanabileceğini önerilmektedir.

**Kikuchi T. ve Aramaki K., (2000)**, FeCl<sub>3</sub> içeren asetonitril anhidrit elektrolitinde, demirin korozyonu, polarizasyon ölçümleri, XPS ve Fourier transform infrared elektron spektroskopileri ile incelenmiştir. Korozyon hızının FeCl<sub>3</sub> konsantrasyonu ile belirgin bir şekilde arttığı gözlenmiştir.ACN FeCl<sub>3</sub> çözeltisindeki demirin korozyonun, katodik ve anodik reaksiyonları sırasıyl, Fe<sup>+3</sup>,ün Fe<sup>+2</sup>,ye

indirgenmesi,  $Cl^-$  iyonlarının katalizi ile demirin çözünmesi olarak kaydedilmiştir. Bromür iyonunun, demir korozyonunun anodik dalını 0,01 M  $FeCl_3$  ACN çözeltisi içinde yüzeydeki kimyasal adsorpsiyonu ile çoğunlukla önlediği tespit edilmiştir.  $C_{16}TMA^+$  iyonu negatif yüklü yüzey tarafından elektrostatik etkileşme ile adsorplanarak katodik inhibisyonun sağladığı gözlenmiştir. Eşit miktarda bromür ve  $C_{16}TMA^+$  karışımının demirin korozyonundaki her iki dalı (0,01 M  $FeCl_3$  ACN çözeltisinde) yüzeyde nokta adsorpsiyon ile daha etkili bir inhibisyon sağladığı bulunmuştur.

**Jinagyuang ve ark., (2000)**, Betonarme çeliğinin korozyonuna çimento karışımının (silika gaz, lateks, metilselüloz ve karbon lifler) etkisi  $Ca(OH)_2$  ve NaCl'li çözeltilerde korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu ölçülerek bulunmuştur. Tüm örnekler 24 saatlik kür ile ve %40 bağıl nemlilikte, oda sıcaklığında 28 gün boyunca test edilmiştir. Korozyon potansiyeli hem doygun  $Ca(OH)_2$  hem de 0.5 N NaCl çözeltisinde çalışılmıştır. Ecor ölçümleri SCE'ye göre yüksek impedans voltmetre kullanılarak yapılmıştır. Örnekler haftada bir kez, 44 hafta boyunca  $Ca(OH)_2$  çözeltisinde ve 25 hafta NaCl çözeltisinde test edilmiştir. Korozyon akım yoğunluğu polarizasyon direnci  $i_{corr} = BR_p^{-1}$  bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.

- a) Silika fume su absorptivitesini azalttığı ve kısmen elektriksel arttırdığı için her iki çözeltide de korozyona direnci arttırmıştır.
- b) Metilselüloz  $Ca(OH)_2$  çözeltisi içinde çok az da olsa betonarme çeliklerin korozyon direncini arttırmıştır. Bunun nedeni metilselülozun küçük boşlukları doldurmasındandır.
- c) Karbon lifler elektriksel direnci düşürdüğünden betonarme çeliğinin korozyon direncini de düşürmektedir. Ancak bu negatif etki gidermek için karışım içine su absorptivitesini azaltacak silika fume ya da lateks eklenmesi önerilmektedir.
- d) Lateks su absorptivitesini azalttığı ve elektriksel direnci arttırdığından dolayı korozyon direncini arttırdığı gözlenmiştir. Lateksin silika fume'den daha az etkili olduğu gözlenmiş çünkü silika fume latekse göre su absorptivitesini azaltmada

daha etkili olduğu gözlenmiştir.

**Kılınççeker G., Dehri I., Erbil M., (2003)**, tarafından yapılan çalışmada, hava ile doymuş pH değeri 8,5 olan sulu çözeltilerde bakırın (% 99,99 Cu) korozyon davranışlarına klorürlü, sülfat, asetat ve fosfat iyonlarının etkileri sabit sıcaklıkta (298 K) kararlı hal polarizasyon ölçme tekniği ile belirlenmiştir. Anodik ve katodik olaylarda, iyon türünün rolü ve oksit filmi oluşumunun etkisi tartışılmıştır. Asetat ve fosfat iyonlarının bakırın korozyon hızında bir düşüşe neden olduğu sonucuna varılmıştır.

**Jamil H. ve ark., (2003)**, Betonarme çeliğinin aminalkol inhibitörü ve Cl<sup>-</sup> iyonu varlığında elektrokimyasal ölçümler ile korozyon davranışı incelenmiş ve XPS metodu ile inhibitör filminin Cl<sup>-</sup> iyonu ile kompleks oluşturabildiği gözlenmiştir. Su / çimento oranı 0.5 olan ve pH'ı 12,5 - 13 olan betona daldırılmış çeliğin açık devre potansiyelleri 2 ve 4 g/L NaCl içeren çözeltilerde inhibitörlü inhibitörsüz ortamda ölçülmüştür. İnhibitörsüz koşullarda Anodik yönde potansiyel eğrilerinin arttığı (-370 den -570 mV'a keskin bir geçiş yaptığı gözleniyor.). potansiyelin bu düşüşünden pasivasyonun zarar gördüğü belirlenmiştir. İnhibitörlü ortamda Anodik akımın kuvvetli düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Pasif tabakanın oluşumunu incelemek için EIS kullanılmıştır. Hem 2 hem de 4 G/L NaCl içeren inhibitörlü çözeltilerde empedans değerlerinin güçlü bir şekilde zamanla arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlarla karakteristik kaplama ile değişmez ve koruyucu tabakanın çelik yüzeyinde oluştuğu kanıtlanmıştır.

**Jamil H. ve ark., (2004)**, Organik inhibitörlerin mekanizması ve betonarme çeliğinin korozyon hızına etkisi NaCl'li ortamda elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve taramalı elektron titreşimi tekniği (SVET) ile araştırılmıştır. İnhibitör olarak aminoalkol seçilmiştir hacimce %4 kullanılmış ve deneyler %2'lik NaCl çözeltisi içinde gerçekleştirilmiştir. Bu inhibitörlerin koruyuculuğu ya da kontrol ediciliği tartışılmıştır. Koruyucu inhibitörün mekanizması, inhibitörün çelik yüzeyinde adsorplanarak yüzeyin aktivitesini düşürdüğü daha sonra Anodik aktiviteyi tamamen engellediği görülmüştür. İyileştirici inhibitörlerin etkisi, çelik

yüzeyinde güçlü korozyon aktivitesi hala devam ederken İnhibitör aktif noktalara adsorbe olarak koruyucu ve sağlam bir film oluşturduğu gözlenmiştir.

**Blanca M.T. ve ark., (2004)**, CAC'nin öngerilimli bir kırıta betona neden zarar verdiği ve agrega ve çimento arasındaki reaksiyonu tanımlayarak zararlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Betonun hem iç hem de dış bölgelerinden alınan mikro örneklerle XRF,XRD,FTIR,OM,SEM/EDX ve BSE teknikleri kullanılarak mekanik güç tayin edilmiştir.

Bu analizlerin sonunda alkali hidrolizi beton yüzeyinde veya yüzey yakınında anlaşılmıştır. Alkali içeren yığışım etrafında gözlenen beyaz tortu aslında bayerite'den meydana geldiği bulunmuş ve bunun agrega matriks bağlarına yavaş yavaş zarar verdiği ve materyali büyük ölçüde zayıflattığı görülmüştür.

**Sakr K., (2004)**, Çimento bileşenlerinin farklı yüzdelinde betonarme demirinin korozyonu (%5 NaCl veya %5 MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içinde) yarı hücre potansiyeli ölçümü, etkili voltaj metodu ve etkili akım metodu uygulanarak incelenmiştir. Klorürlü çözeltide C<sub>3</sub>A'nın yüzdesi 2'den 10'a yükseltildiğinde çelik korozyonu da orantılı olarak artmıştır. %5 MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içindeki çeliğin korozyonu C<sub>3</sub>A'nın yüzdesi 2'den 6'a yükseltildiğinde çelik korozyonu hızla yükselmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ;

- a) Klorür iyonları sülfat iyonlarına göre betonarme çeliği için daha saldırgan olduğu,
- b) C<sub>3</sub>A klorür ve sülfat iyonlarına maruz bırakılan betonarme çeliğinin korozyonunu azaltmada önemli rol oynadığı,
- c) C<sub>3</sub>A'nın %2 den 10' a yükselişi %5 lik NaCl çözeltisi içerisindeki betonarme çeliğin korozyonunu arttırdığı,
- d) C<sub>3</sub>A yüzdesi 2'dan 6'a yükseldiğinde %5 MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içindeki çeliğin korozyonu düşer ancak 6'dan 10'a yükseldiğinde korozyon hızının arttığı,
- e) Klorür ve sülfat iyonlarının bir arada bulunması ile sülfat iyonlarının atağı azaldığı,
- f) Çelik çubukların korozyonunu kontrol altına almak için klorürlü ve sülfatlı

ortamda optimum C<sub>3</sub>A yüzdesinin 6 olduğu tespit edilmiştir.

**Jamil H.E., (2004)**, Korozyon inhibitörü olarak amino alkollerin kullanıldığı, bu çalışmada klorür iyonları varlığındaki betonarme çeliğinin korozyonu elektrokimyasal empedans ölçümleri ile belirlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler amino alkollerin klorürlü ortamda betonarme çeliğinin korozyon direncini arttırdığı gözlenmiş ayrıca yüzey analizi için XPS tekniği kullanılarak çelik yüzeyinde oluşan film tabakasında klorür iyonları ile kompleks yapmış azot bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada iki farklı düzenek kurulmuş. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi 3 elektrot yöntemi ile yapılmıştır. Çalışma elektrodu (yüzey alanı 3.14 cm<sup>2</sup> olan çelik ), Pt karşı elektrotu ve SCE referans elektrotu. Çalışma çözeltisinin pH'ı ≈12.5 – 13 arasındadır.

**Morris W. ve ark., (2004)**, Bu çalışma elektrokimyasal parametrelerin matematiksel ilişkisine dayanmaktadır. Bu parametreler ; korozyon potansiyeli ve akım yoğunluğu, bununla birlikte beton direnci ve klorür konsantrasyonu verileridir. Çalışmada betonarme çeliğinin korozyonunu tetikleyen klorür eşik konsantrasyonu belirlenmeye çalışılmış ve matematiksel bir ilişki bulunmuştur.  $CITH = 0.019 \rho + 0.401$  (CITH: klorür konsantrasyonu eşik değeri ve  $\rho$  : direnç k $\Omega$ cm )

Yapılan elektrokimyasal ölçümler sonucu aktif korozyon bölgesi  $E_{cor} < -0.35V$  (CSE) veya  $i_{cor} > 0.2 \mu Acm^{-2}$  olduğu gözlenmiştir. Pasif bölge ise korozyon potansiyelinin  $-0.2V$ 'dan daha pozitif (SCE) ve  $i_{cor}$ 'un  $0.1 \mu Acm^{-2}$  olduğu bölge olduğu anlaşılmıştır.

**Zor S., Yazıcı B., Erbil M., (2004)**, tarafından yapılan çalışmada demirin gravimetrik ve potantiodinamik yöntemler kullanılarak farklı sıcaklıklarda liner alkil benzen (LAB), liner alkil benzen sülfonat (LABS) ve klorür içeren ortamlardaki elektrokimyasal davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel verilerden LABS'ın demirin korozyonunu önlemede LAB'den daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık artışı ile her iki maddenin inhibisyon etkinliklerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Yüzey analiz yöntemleri aracılığı ile LAB ve LABS'ın yüzeyde koruyucu bir film tabakası oluşturduğu belirlenmiştir.

**Cheng A. ve ark., (2005)**, Bu çalışmanın amacı beton ve betonarme çeliği arasındaki bağlar üzerine çinko kaplamanın korozyon direncine etkisini belirlemeye çalışmaktır. Potansiyodinamik polarizasyon yöntemi pH'ın 12 olduğu ve %3.5 NaCl içeren çözeltilerde karbon çeliği ve çinkonun korozyon hızını belirlemede kullanılmış açık devre potansiyeli, doğru akım polarizasyon direnci korozyon değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri pH'ın 12 olduğu çözeltideki çinkonun korozyon hızı karbon çeliğinin korozyon hızından daha büyük olduğunu gösterilmektedir. Fakat %3.5 NaCl içeren çözeltiden elde edilen sonuçlarla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Çözeltide bekletme testinden önce kaplamasız çubukların bağ kuvveti, çinko kaplamalı çubuklardan %5-10 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bağ kuvveti, kaplamasız ve çinko kaplamalı çubuklar için korozyon hızındaki artışla azaldığı belirlenmiştir. 14 günlük hızlandırılmış korozyon testinden sonra, çinko kaplanmış çubuk için bağ kuvvetinin indirgenme oranı kaplamasız çubuktan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

**Kayalı O., Zhu B., (2005)**, Yüksek mukavemetli silika fume çimentolu beton dilimleri %2'lik NaCl'lü çözeltide bekletildikten sonra 70 MPa basınçla pres yapılarak klorür difüzyonu ve korozyon aktivitesi test edilmiştir. Benzer dilimler 32 MPa basınçla benzer şekilde basınç uygulanarak aynı koşullarda test edilmiştir. Yüksek mukavemetli betona klorür difüzyonu düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun aksine klorür iyonu konsantrasyonu 32 MPa basınçla preslenmiş betonda oldukça yüksek bir seviyede olduğu belirlenmiştir. 32 MPa basınçlı betonda korozyon potansiyeli başlangıç değeri olan -350 mV'dan (SCE) çok daha farklı negatif bir değere doğru ilerlemekte olduğu gözlenmiştir. Yüksek mukavemetli betonda ise potansiyel değerleri daha stabil olmakta ve yaklaşık -200 mV (SCE) değerinde olduğu saptanmıştır. 32 MPa'lık betonda akım yoğunluğu bağıl zamanlarda aktif değerlere sahip olduğu anlaşılmıştır. Yüksek mukavemetli betonda korozyon akımı yoğunluğu başlangıçtaki aktivasyon değerine yaklaştığı, yüksek mukavemetli beton için ilk 28 saatlik bekleme süresi sonunda korozyon direnci 32 MPa'lık betonun aksine artmaya devam ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar %10 silika fume içeren

yüksek mukavemetli betonun son derece korozyon direncini arttırdığı gözlenmiştir.

**Batis G., Rakanta E., (2005),** S220, S400, S500 Tempcore ve S500 Vanadus olmak üzere dört farklı betonarme çeliğinin performansını Yunanistan atmosferinde belirlemiştir. Çelik çubukların atmosferik korozyonuna değinmeden önce mikroskopik teknikler ve korozyon hızı belirleme yöntemleri belirlenmiştir. Çimentonun hidrasyonu sonunda betonarme çeliğinin korozyon ürünlerinin çelik çubuklarla beton arasındaki bağ kuvvetlerine olan etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar yüksek direnç gösteren çelik türlerinin S220 betonarme çeliği olduğunu göstermiştir. S500 Tempcore'un ise daha düşük korozyon direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Beton ile çelik çubukların arasındaki bağ kuvveti morfoloji ve ESEM tarafından açıklandığı gibi yüzeyde oluşan pasın kalınlığından dolayı havalandırma zamanındaki artışla birlikte azaldığı belirlenmiştir.

**Masadeh. S., 2006.** Elektrokimyasal Klorür Ekstraksiyon (ECE) davranışı 1 aylık ve sekiz aylık süreler zarfında potansiyel – zaman eğrileri elde edilerek belirlenmeye çalışılmıştır. Sabit karışımdaki betonlar için, daha büyük beton kaplama kalınlıklarında w/c oranındaki artışın genel olarak korozyonu arttırdığı tespit edilmiştir. ECE diyagramlarından, betonarme çubuk yüzeylerinde elektro deposizyonun meydana geldiği, yüksek alkaliteden dolayı çeliğin korozyon olayının bastırıldığı ve dolayısıyla bu sayede de korozyon hızının azaldığı sonucuna varılmıştır.

**Zhang, J., Lounis, Z., 2006.** Klorürlü ortamların, betonarme çeliğinin korozyon olayının başlamasında etkisi araştırılmıştır. Analitik diferansiyel teknikler uygulanarak beton harcının içine klorür iyonu difüzyonu, betonarme çeliği yüzeyinde klorür iyonun başlangıç seviyesi, beton kaplamanın dip kısımları ve metal yüzeyi klorür iyonu derişimi gibi dört farklı parametredeki değişimin korozyon olayının başlangıcına etkileri araştırılmıştır. Korozyona dayanıklı çelikler için, korozyon başlama zamanları yüzeydeki klorür iyonu konsantrasyonuna karşı oldukça duyarlıdır ve beton kaplamanın dibindeki klorür başlangıç seviyesine ve klorür iyonu difüzyon katsayısına bağlı olarak bu niceliğin değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen dört parametrenin her birindeki değişim ile birlikte betonarme çeliğinin korozyon hızındaki değişim hassas yöntemler uygulanarak belirlenmiştir.

**Ülger E., Kılıççeker G., 2006.** Bu çalışmada glikozun, betonarme çeliği üzerine etkisi oda sıcaklığında araştırılmıştır. Hazırlanan beton örneklerinde su/çimento oranı 0,45 seçilmiş, polarizasyon dirençleri akım potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre glikoz iyonu betonarme demirinin korozyonunu zayıf bir inbisyon etkisi ile azaltıcı bir etki yaptığı anlaşılmıştır.

**Gürten, A.A., Kayakırılmaz, K., Erbil, M., 2007.** Betonarme çeliğinin korozyonuna ve betonun basınç dayanımına tiyosemikarbazitin etkileri araştırılmıştır. 60 gün süreli çalışmalarda, korozif ortam olarak NaCl içeren çözeltiler kullanılmıştır. Yapılan Elektrokimyasal yöntemler sonucu elde edilen deneysel bulgulardan, tiyosemikarbazit içeren ortamlarda elde edilen polarizasyon dirençlerinin, tiyosemikarbazit içermeyen ortamlarda elde edilen polarizasyon dirençlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir.

**Koleva, D.A., Hu, J., Fraaij, A.L.A., Stroeven, P., Boshkov, N., De Wit, J.H.W., 2007.** Bu çalışmada, betonarme çeliğinin korozyon olayını başlatacak ve korozyon hızını hızlandırabilecek türden zararlı bir ajan olan klorür iyonunun etkileri araştırılmıştır. Beton harcının mikroyapısı (hidrasyon ürünleriyle ve por yapılarından kaynaklanan farklılıklardan dolayı her durum için mikroyapı farklı olabilmektedir) üzerine klorür iyonunun girişim etkisi araştırılmıştır. Çalışmada çelik yüzeyinde oluşan korozyon ürünlerinin kimyasal dağılımları ve yüzeyin morfolojik yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Scanning Electron Image (SEM), X-Ray Analiz (EDXA) ve X-Ray Diffraction (XRD) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca betonarme harcında korozyon hızı ve korozyon akımıyla ilgili bilgiler elektrokimyasal impedans spektroskopisiyle (EIS) belirlenmiştir. EIS sonuçları, diğer yüzey inceleme yöntemleriyle elde edilen deneysel sonuçlarla çok iyi bir şekilde örtüşmektedir. Deneysel sonuçlar genel olarak klorür iyonunun varlığının korozyon hızını arttırıcı yönde etki ettiğini göstermektedir.

**Qiao, G., Ou, J., 2007.** Bu çalışmada, çimento harcındaki betonarme



çeliğinin çukurcuk korozyonu davranışlarının karakteristik özellikleri hakkında bilgi edinebilmek için EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) ve ENA (Electrochemical Noise Analysis) yöntemleri kullanılmıştır. EIS sonuçlarından, kapasitans, açık devre modeli ve oksijen difüzyonunun etkisi gibi bazı parametlerle ilgili bilgiler edinilmiştir. Yüksek frekans ve orta frekans bölgelerinde çimento harcına ve çift tabakaya ait iki tane kapasitif cevap belirgin bir şekilde görülmüştür. AC impedans eğrilerinden, elde edilen çift tabaka karakteristiğinin saf kapasitanstan farklı olduğu belirlenmiştir. Düşük frekans bölgesinde korozyon olayının oksijen difüzyonlu gerçekleştiği tespit edilmiştir. Warburg impedansı düşük frekansa benzer şekilde tam olarak difüzyon etkisiyle açıklanamamıştır. NaCl çözeltisinin konsantrasyonu ve çözelti sıcaklığı artışının aşamalı bir şekilde yük transfer direncini arttırdığı belirlenmiştir.

**3. MATERYAL VE METOD****3.1. Materyal**

**Çimento:** Beton karışımlarında bağlayıcı madde olarak Adana Çimento Fabrikasında üretilen SDC 32.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Kullanılan Çimentonun Kimyasal Analizleri ve Fiziksel Özellikleri

<b>Kimyasal Analizler</b>	<b>%</b>	<b>Fiziksel Özellikler</b>	
SiO <sub>2</sub>	20,86	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,76	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3590
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,53	0,200 mm. elekte kalıntı (%)	0,0
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,090 mm. elekte kalıntı (%)	0,0
CaO	61,53	Litre Ağırlığı (g/lt)	945
MgO	1,44	Hacim Sabitliği	1
SO <sub>3</sub>	2,23		
K.K.	2,48		
K <sub>2</sub> O	0,51		
Na <sub>2</sub> O	0,07		
S.CaO	1,36		
Cl <sup>-</sup>	0,018		
Erimez Kalıntı	0,48		
Toplam Alkaliler (Na <sub>2</sub> O +0,658 K <sub>2</sub> O)	0,41		

**Agrega:** Araştırmada agrega olarak Çukurova Üniversitesi inşaat mühendisliğinden alınan doğal agrega kullanılmıştır. Agregası 8;2;1;0,5;0,25 mm göz açıklığı olan elekler ile eilenmiş ve 8/4 mm 4/0,5 mm arasında kalan agrega beton yapımında kullanılmıştır.

**Karma Suyu:** Destile su ve destile suya ilave edilen kimyasal maddelerle hazırlanmıştır. Klorür iyonu için NaCl, asetat için CH<sub>3</sub>COONa ve yapı kimyasalı olarak skamet ferrograd 911 kullanılmıştır.

**Temas Suyu:** Destile suya %3.5 NaCl ilave edilerek hazırlanmıştır.

**Betonarme Çeliği:** İnşaatlarda kullanılan 10'luk teknik demir deneylerde kullanılmıştır. Kullanılan teknik demirin kimyasal bileşimi % 0,13 C, % 0,65 Mn, % 0,03 S, % 0,013 P ve % 0,017 Si'dir.

**Elektrokimyasal Analiz Cihazı ( CHI 604 Electrochemical Analyzer, Seri No. 64721A):** AC impedans ölçümleri ve akım-potansiyel eğrilerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

**Çalışma Elektrotu:** Teknik saflıkta betonarme çelik elektrot

**Referans Elektrot:** Gümüş-gümüş klorür elektrot (Ag, AgCl/Cl<sup>-</sup>) referans elektrot olarak kullanılmıştır.

**Karşı Elektrot:** 1 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip platin elektrot karşı elektrot olarak kullanılmıştır.

**pH Metre:** Temas ve karma suyunun pH değerlerinin ölçülmesinde kullanılmıştır.

## **3.2. Metod**

### **3.2.1. Elektrotların Hazırlanması**

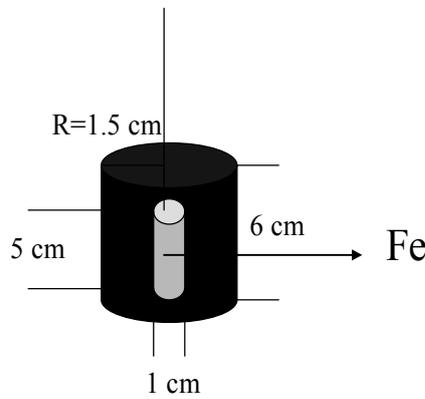
Çalışma elektrotları 10 mm çapında 5 cm uzunluğunda teknik saflıkta demir çubukları sıradan TSE ye uygun portland çimentosu kullanılarak hazırlanan beton harcına gömülerek hazırlanmıştır. Değişen konsantrasyonlarda organik inhibitör ( 0.1M asetat ), %3.5 NaCl ve yapı kimyasalı (skamet ferrograd 911) içeren ve

içermeyen karma suyu ile hazırlanan çalışma elektrotları %3.5 NaCl içeren temas sularına daldırılarak;

1. Akım-potansiyel eğrileri ( yarı logaritmik tafel eğrileri )
2. Açık devre potansiyelinde ve açık devre potansiyelinden itibaren uygun potansiyellerde impedans ölçümleri,
3. Hazırlanan farklı ortamlardaki betonarme çeliğinin elektrokimyasal davranışları incelenmiştir.

**Çizelge. 3.2.** Kullanılan Temas ve Karma Suları

Temas Suyu		Karma Suyu
1	% 3,5 NaCl	Destile Su
2	% 3,5 NaCl	Destile Su+Yapı Kimyasalı
3	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl
4	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı
5	% 3,5 NaCl	0,1 M Asetat
6	% 3,5 NaCl	0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı
7	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl + 0,1 M Asetat
8	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl + 0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı

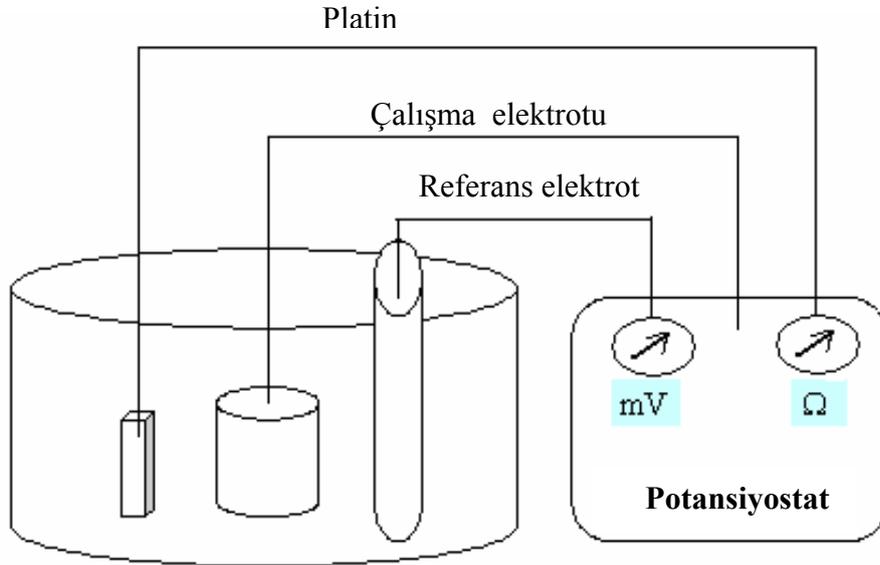


**Şekil 3.1.** Çalışma Elektrotu

**3.2.2 Elektrokimyasal Ölçümler**

Elektrokimyasal ölçümler için kullanılan beton kalıpları şekil 3.1’de verilen çalışma elektrotlarıdır. Çalışma elektrotları beton döküldükten 24 saat sonra kalıptan çıkartılmış ve temas suyunda 24 saat bekletildikten sonra ölçüm alınmaya başlanmıştır. Ölçümler şekil 3.2’de gösterildiği gibi hazırlanan düzende üç elektrot tekniği ile yapılmıştır. Referans olarak Ag, AgCl, Cl<sup>-</sup> elektrot, karşıt elektrot olarak Pt (1 cm<sup>2</sup>) elektrot kullanılmıştır. Ölçümler 1,2,7,28,60 ve 90. günlerde yapılmıştır.

Atmosfere açık koşullarda 4 mV tarama hızı ile -1.8 V - +2.0 V aralığında anodik ve katodik yöndeki akım değerleri belirlenmiştir. Açık devre potansiyelinde AC impedans ölçümleri alınmıştır. Lineer polarizasyon (LPR) tekniği ile korozyon potansiyelinden itibaren  $\pm 7$  mV potansiyel aralığında 1 mV/s tarama hızıyla polarizasyon dirençleri belirlenmiştir.

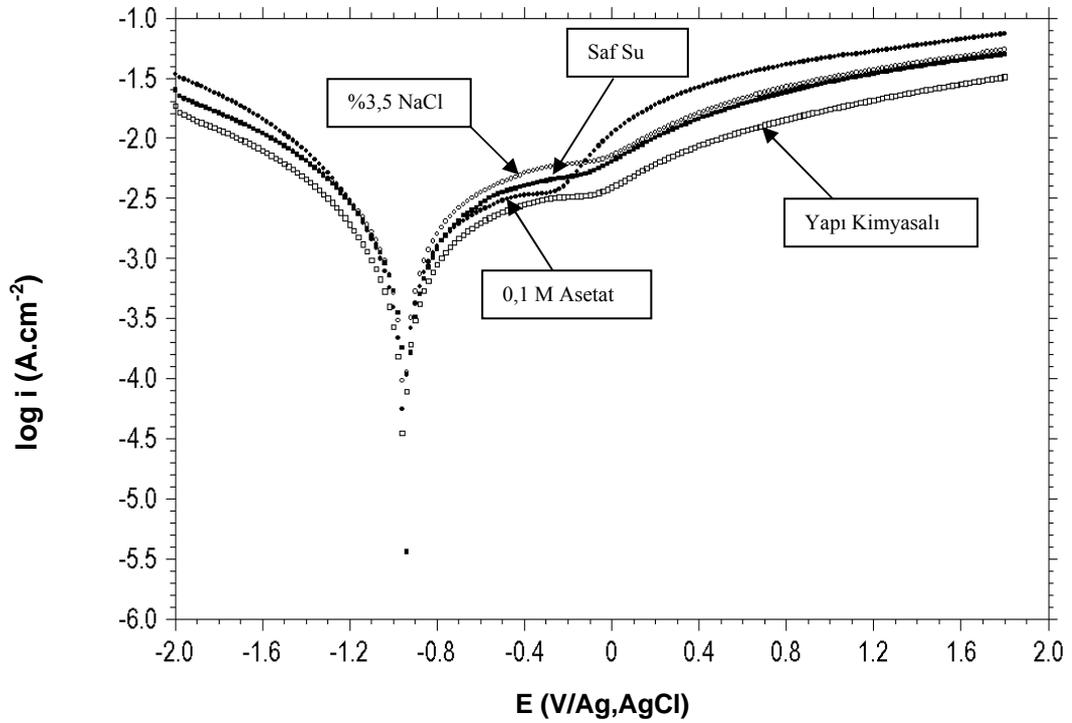


Şekil 3.2. Deney düzeneği

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

## 4.1. Karma Suyu Karışımında Sadece Saf Su, 0,1 M Asetat, %3,5 NaCl ve Yapı Kimyasalı İçeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışları

Betonarme çeliği'nin; sabit sıcaklıkta (298 K), temas suyunda sadece % 3,5 NaCl içeren ortamlarda elde edilen akım potansiyel eğrisi 4.1.'de verilmektedir.

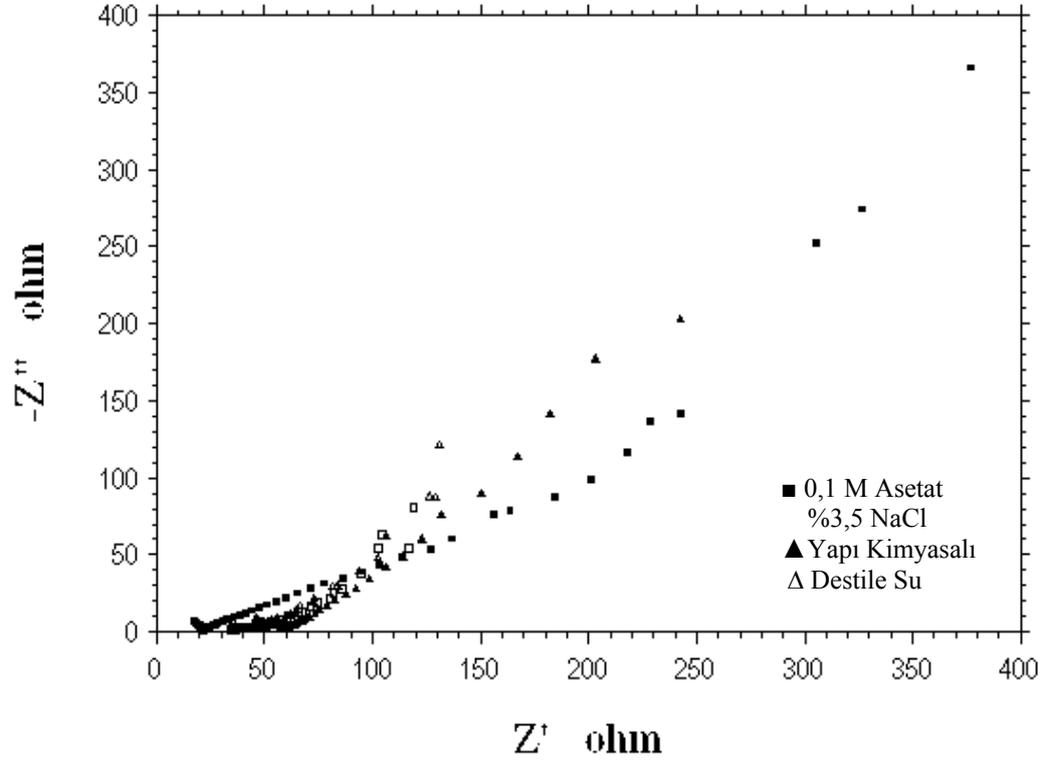


**Şekil 4.1.** Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; saf su, 0,1 M Asetat, %3,5 NaCl ve Yapı Kimyasalı içeren) akım potansiyel eğrileri.

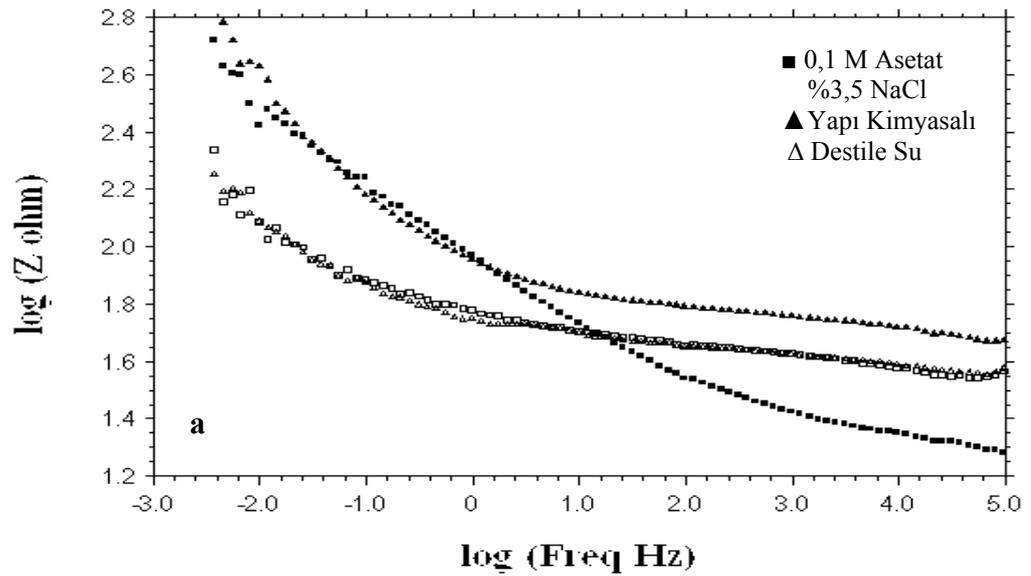
Şekil 4.1.'de verilen akım-potansiyel eğrilerinden, karma suyu yapı kimyasalı içeren katodik (-1,700 V) ve anodik (-0,400 V) sabit potansiyellerde belirlenen akım yoğunlukları (sırasıyla  $0,9763 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,2791 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), karma suyu 0,1M asetat içeren koşullarda katodik ve anodik akım yoğunlukları (sırasıyla  $1,367 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,3996 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), karma suyu hiçbir bileşen bulunmayan koşullarda katodik ve anodik akım yoğunlukları (sırasıyla  $1,350 \times 10^{-2}$

$A/cm^2$  ve  $0,5129 \times 10^{-2} A/cm^2$ ) ve karma suyunda sadece %3,5 NaCl içeren koşullarda ise katodik ve anodik akım yoğunlukları (sırasıyla  $2,244 \times 10^{-2} A/cm^2$  ve  $0,5371 \times 10^{-2} A/cm^2$ ) olarak bulunmuştur. Akım potansiyel eğrilerinden, ortama hiçbir kimyasal ilavesi yapılmadan (sadece saf su ilavesi ile hazırlanan elektrot) hazırlanan betonarme çeliği referans alındığında, betonarme çeliğinin korozyonunu, ortamda bulunan klorür iyonlarının etkisi ile hızlandırdığı, yapı kimyasalı ve asetat iyonlarının etkisi ile de betonarme çeliğinin yüzeyini çok iyi bir şekilde kapladığı ve metal-çözelti ara yüzeyinde büyük bir direnç meydana getirerek hem anodik hem de katodik yarı tepkime hızlarını etkileyerek, oldukça küçük bir korozyon akımının oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle de; betonarme çeliğinin anodik korozyon davranışı üzerine yapı kimyasalının asetat'a göre daha etkili olarak metal-çözelti ara yüzeyinde daha büyük bir direnç meydana getirerek daha küçük bir korozyon akımının oluşmasına neden olduğu görülmektedir.

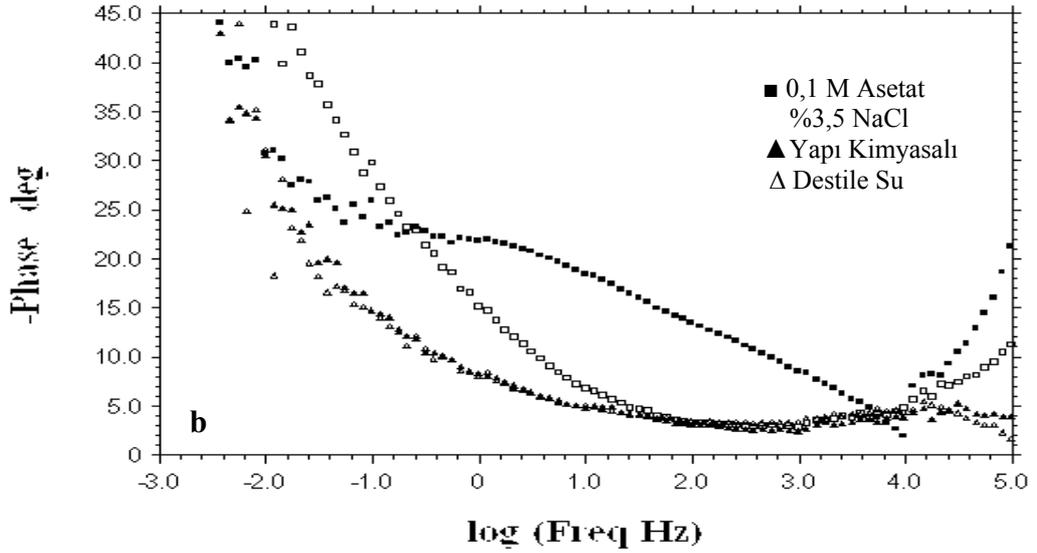
Temas suyunda %3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu karışımında saf su, klorür iyonu, yapı kimyasalı ve asetat iyonu içeren betonarme elektrotların 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.2 ve 4.3(a-b)'de verilmektedir. Şekil 4.2 ve 4.3(a-b)'ye bakıldığında, 90. günde betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin en fazla yapı kimyasalı içeren ortamda olduğu görülmektedir. Polarizasyon direncinin en az olduğu ortamın ise klorür iyonu içeren ortam olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu diyagramlardan, 90. gün sonunda betonarme çeliğinin yüzeyinde yapı kimyasalı ve asetat iyonunun kararlı bir pasif tabakanın oluşmasına yardımcı olarak korozyon hızını destile su ve klorür iyonuna göre azalttığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.2. Karma suyu karışımında Destile Su, %3,5 NaCl, Yapı Kimyasalı ve 0,1 M Asetat içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.



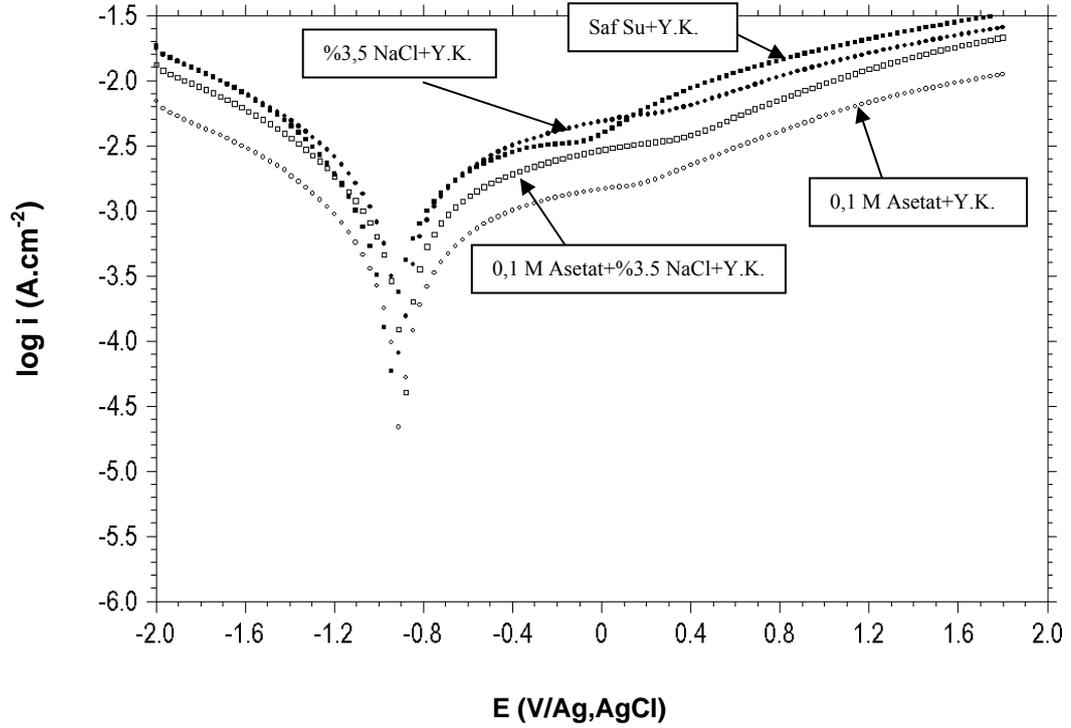




**Şekil 4.3.** Karma suyu karışımında Destile Su, %3,5 NaCl, Yapı Kimyasalı ve 0,1 M Asetat içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.

#### 4.2. Karma Suyu Karışımında Saf Su+Yapı Kimyasalı, 0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı, %3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve 0,1 M Asetat+%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı içeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışları

Sabit sıcaklıkta (298 K), karma suyu saf su+yapı kimyasalı, 0,1 M asetat+yapı kimyasalı, %3,5 NaCl+yapı kimyasalı ve 0,1 M asetat+%3,5 NaCl+yapı kimyasalı içeren farklı ortamlardaki betonarme çeliği'nin korozyon hızına olan etkileri incelenmiştir. Korozyon hızı belirleme yöntemleri sonucunda elde edilen akım potansiyel eğrisi 4.4.'de verilmektedir.

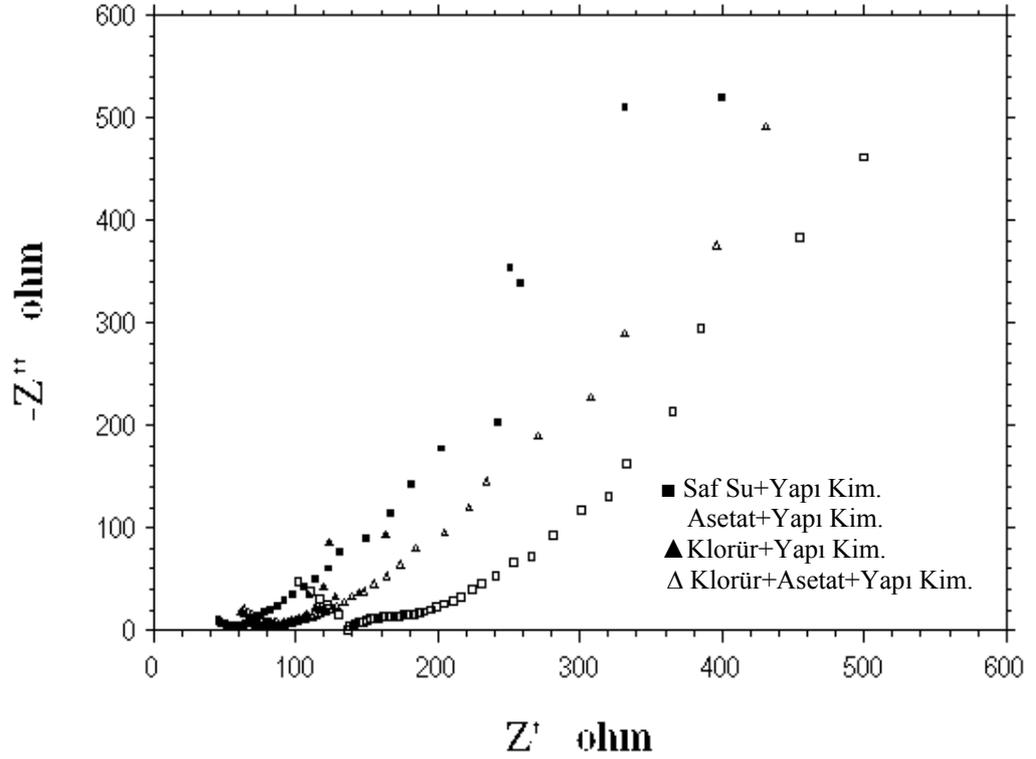


**Şekil 4.4.** Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; Saf Su+ Yapı Kimyasalı, 0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı, %3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve 0,1 M Asetat+%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı içeren) akım potansiyel eğrileri

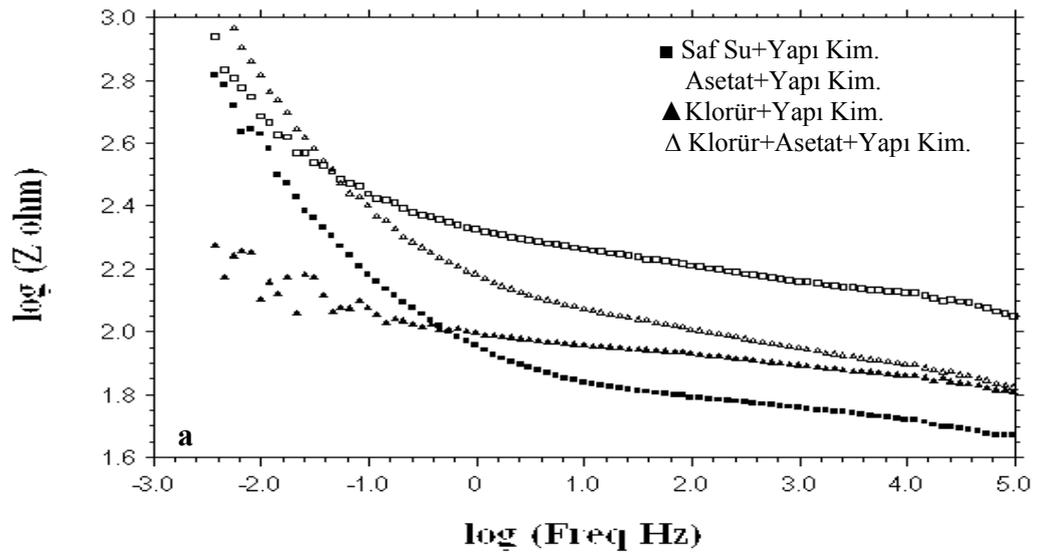
Şekil 4.4.'de verilen akım-potansiyel eğrilerinden, karma suyu 0,1 M Asetat + yapı kimyasalı içeren katodik (-1,700 V) ve anodik (-0,400 V) sabit potansiyellerde belirlenen akım yoğunluklarının (sırasıyla  $0,3702 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,1001 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), karma suyu 0,1 M Asetat+%3,5 NaCl+yapı kimyasalı içeren koşullarda katodik ve anodik akım yoğunlukları (sırasıyla  $0,7361 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,1905 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), karma suyu %3,5 NaCl +yapı kimyasalı içeren koşullarda katodik ve anodik akım yoğunlukları (sırasıyla  $0,9682 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,3156 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>) ve karma suyu saf su+yapı kimyasalı içeren koşullarda katodik ve anodik akım yoğunlukları ise (sırasıyla  $0,9763 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,2791 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Burada akım yoğunluğun en az 0,1 M Asetat + yapı kimyasalı içerende, daha sonra 0,1 M Asetat+%3,5 NaCl+yapı kimyasalı içeren, daha sonra ise %3,5 NaCl + yapı kimyasalı içeren ve en fazla akım yoğunluğuna sahip olanın ise saf su+yapı

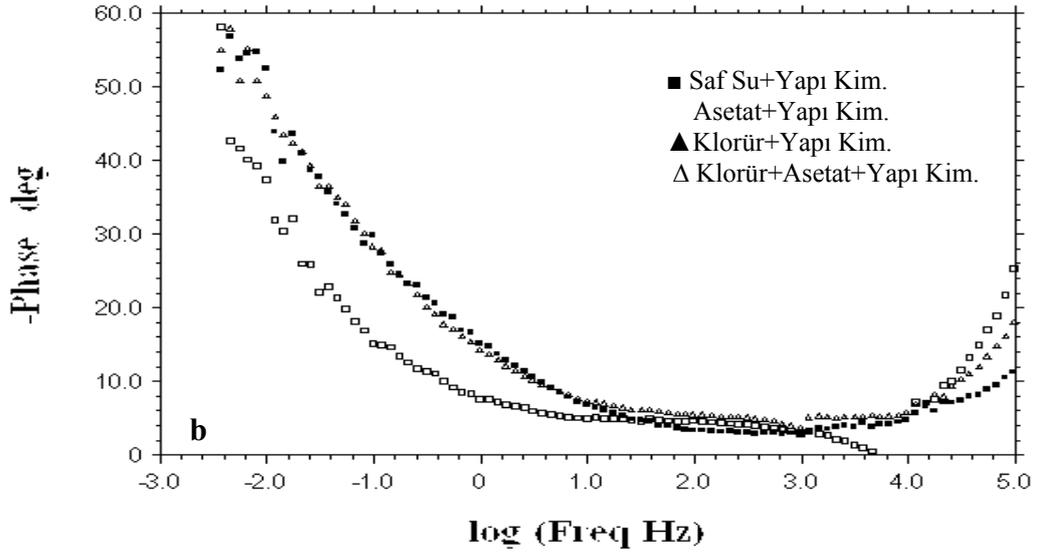
kimyasalı içeren betonarme çeliğinin sahip olduğu görülmektedir. Akım potansiyel eğrilerinden, klorür iyonlarının yokluğunda asetat ve yapı kimyasalının birlikte kullanılmasıyla betonarme çeliğinin yüzeyini çok iyi bir şekilde kapladığı ve metal-çözelti ara yüzeyinde büyük bir direnç meydana getirerek hem anodik hem de katodik yarı tepkime hızlarını etkileyerek, oldukça küçük bir korozyon akımının oluşmasına neden olduğu, klorür iyonu içeren ortamlarda ise asetat ve yapı kimyasalı ilavesinin yalnızca yapı kimyasalı ilaveliden daha büyük bir direnç meydana getirdiği ve dolayısı ile daha küçük bir korozyon akımının oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.

Temas suyunda %3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu karışımında Destile Su+Yapı Kimyasalı, 0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı, %3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren betonarme çeliğinin 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.5 ve 4.6(a-b)'da verilmektedir. Şekil 4.5 ve 4.6(a-b)'ya bakıldığında, yapı kimyasalı ilave edilmiş olan ortamlarda 90. günün sonunda betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin asetat iyonu ile birlikte kullanılan ortamın en fazla olduğu görülmektedir. Asetat+yapı kimyasallı ortama klorür iyonunun girmesi ile asetat+yapı kimyasallı ortama göre polarizasyon direncinin düştüğü anlaşılmıştır. Yapı kimyasalının ilave edilen ortamlarda polarizasyon direncinin en az olduğu ortamın ise klorür iyonuna ilave edilen ortam olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Nyquist ve Bode diyagramlarından da anlaşılacağı üzere, 90. gün sonunda betonarme çeliğinin yüzeyinde yapı kimyasalının asetat iyonu ile birlikte kullanılmasıyla polarizasyon direncinin artarak daha kararlı bir pasif tabakanın oluşmasına yardımcı olmaktadır. Buda korozyon hızını sadece yapı kimyasalı kullanılan ortamlara oranla daha da azalttığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.5. Karma suyu karışımında Destile Su+Yapı Kim., 0,1 M Asetat+Yapı Kim., %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.

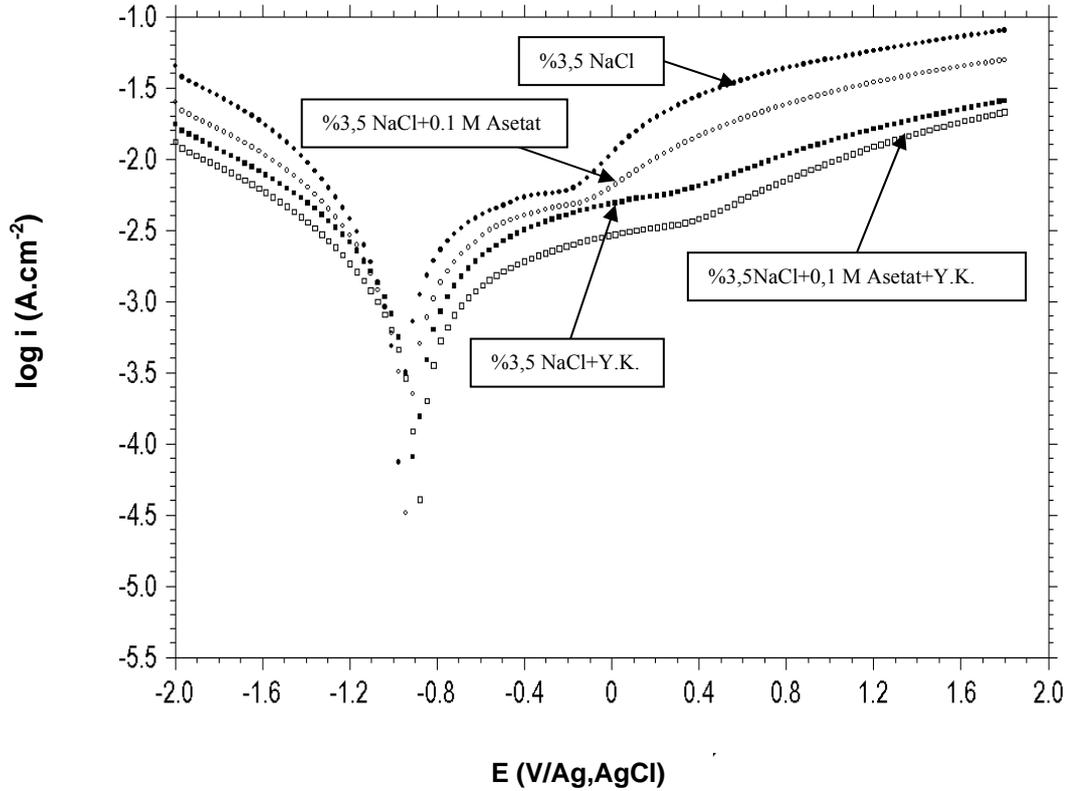




**Şekil 4.6.** Karma suyu karışımında Destile Su+Yapı Kim., 0,1 M Asetat+Yapı Kim., %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.

#### 4.3. Karma Suyu Karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışları

Sabit sıcaklıkta (298 K), karma suyu %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren ortamlarda; betonarme çeliği'nin elektrokimyasal davranışları ve korozyon hızına etkileri incelenmiştir. Korozyon hızı belirleme yöntemleri sonucunda elde edilen akım potansiyel eğrisi 4.7.'de verilmektedir.

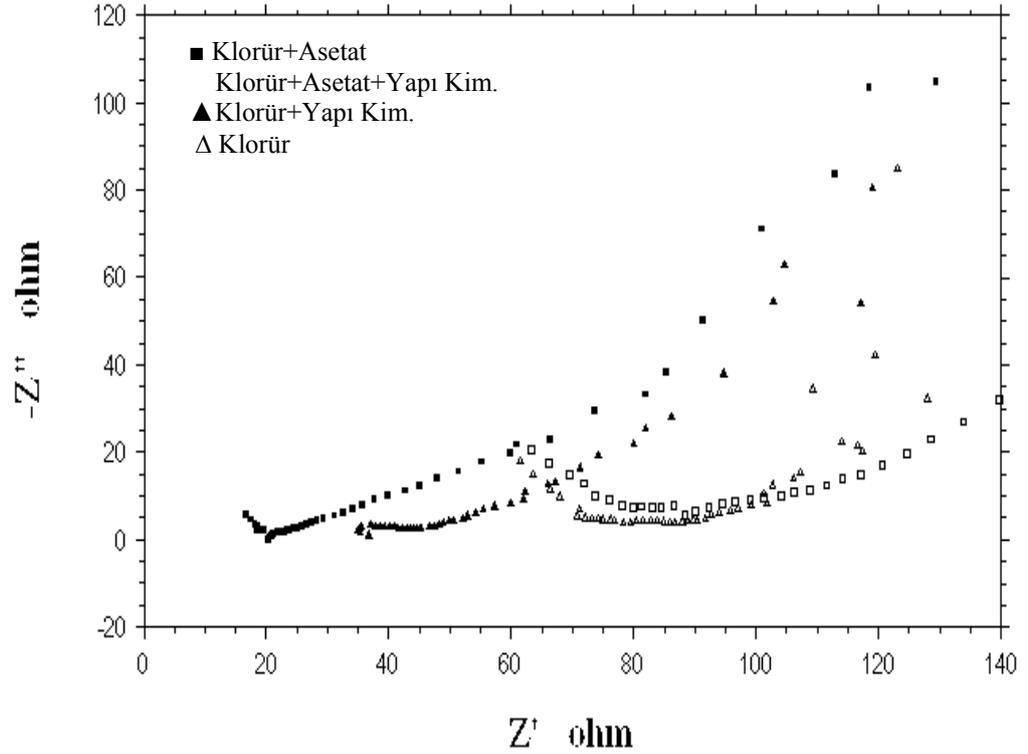


**Şekil 4.7.** Temas suyu %3,5 NaCl olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (karma suyu; %3,5 NaCl, %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat, %3,5 NaCl + Yapı Kimyasalı ve %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı olan) akım potansiyel eğrileri

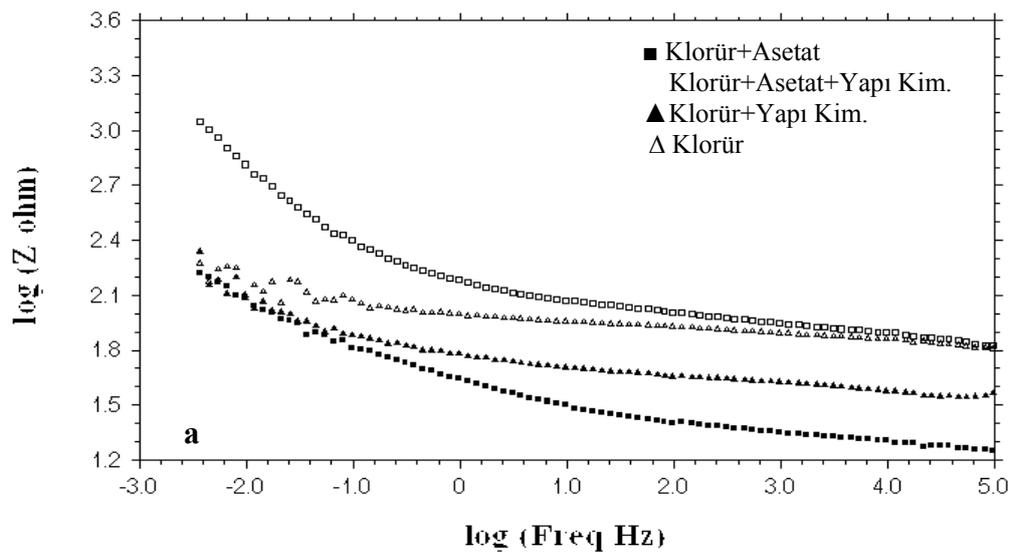
Şekil 4.7.'de verilen akım-potansiyel eğrilerinden, karma suyu %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren, katodik (-1,700 V) ve anodik (-0,400 V) sabit potansiyellerde belirlenen akım yoğunluklarının (sırasıyla  $0,7361 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,1905 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), karma suyu %3,5 NaCl+ Yapı Kimyasalı olan koşullarda ki katodik ve anodik akım yoğunluklarından (sırasıyla  $0,9672 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,3156 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>), %3,5 NaCl+0,1M Asetat içeren ortamlarda ki anodik ve katodik akım yoğunlukları (sırasıyla;  $1,8631 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,3357 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>) ve son olarak karma suyunda sadece %3,5 NaCl bulunan betonarme çeliğinin anodik ve katodik akım yoğunlukları (sırasıyla;  $2,244 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup> ve  $0,5371 \times 10^{-2}$  A/cm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Burada akım yoğunluğun en az %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+yapı kimyasalı içerende, daha sonra %3,5 NaCl+yapı kimyasalı ve daha sonra ise %3,5 NaCl+0,1 M Asetat içeren betonarme çeliğinde fazla olduğu belirlenmiştir. Karma

suyunda sadece %3,5 NaCl içeren betonarme çeliğinin ise akım yoğunluğunun en fazla olduğu görülmektedir. Akım potansiyel eğrilerinden, klorür iyonlarına asetat ve yapı kimyasalının eklenmesi ile betonarme çeliği yüzeyini çok iyi bir şekilde kapladığı ve metal-çözelti ara yüzeyinde büyük bir direnç meydana getirerek betonarme çeliğinin hem anodik yarı tepkimesine hem de katodik davranışına etki ederek, oldukça küçük bir korozyon akımının oluşmasına neden olduğu, asetat ve yapı kimyasalının birlikte ilave edilmesiyle de metal-çözelti ara yüzeyinde çok daha büyük bir direnç meydana geldiği anlaşılmaktadır.

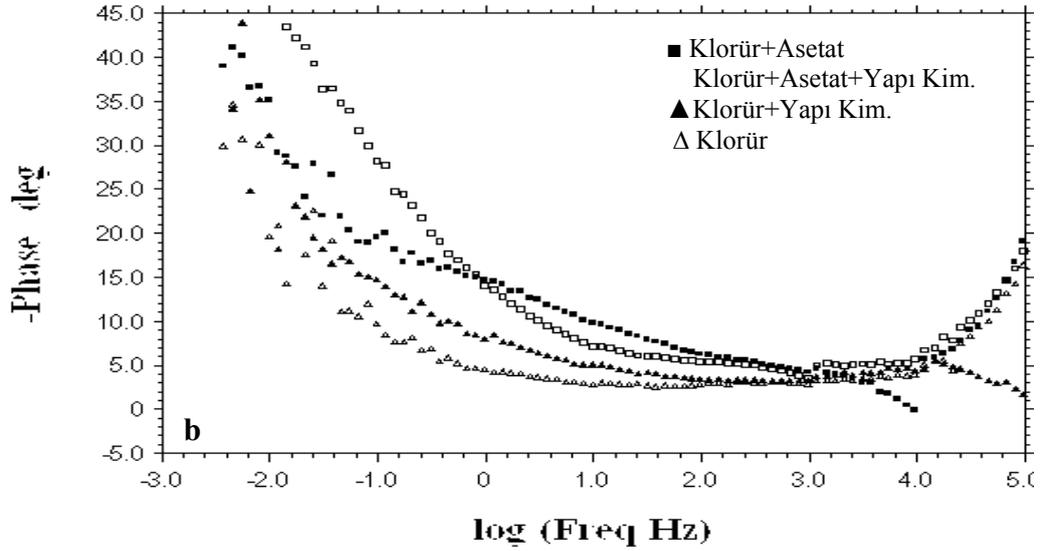
Temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.8 ve 4.9(a-b)'da verilmektedir. Şekil 4.8 ve 4.9(a-b)'a bakıldığında, karma suyunda klorür iyonu içeren ortamlarda 90. günün sonunda betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin asetat iyonu ve yapı kimyasalının birlikte kullanılmış olan ortamlarda en fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca karma suyunda klorür iyonu bulunan ortamlara ilave edilen asetat iyonunun etkisinin, yapı kimyasalı bulunan ortamdaki etkisine oranla daha yüksek olduğu ve dolayısı ile asetat iyonu ilave edilen ortamın polarizasyon direncinin, yapı kimyasalı ilave edilen ortama göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Burada Nyquist ve Bode diyagramlarından da anlaşılacağı üzere, karma suyu karışımında klorür iyonu bulunan ortamlara asetat iyonunun yapı kimyasalı ile birlikte kullanılmasıyla 90. gün sonunda polarizasyon direncinin artarak daha kararlı bir pasif tabakanın oluşmasına yardımcı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Karma suyu karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim. içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.







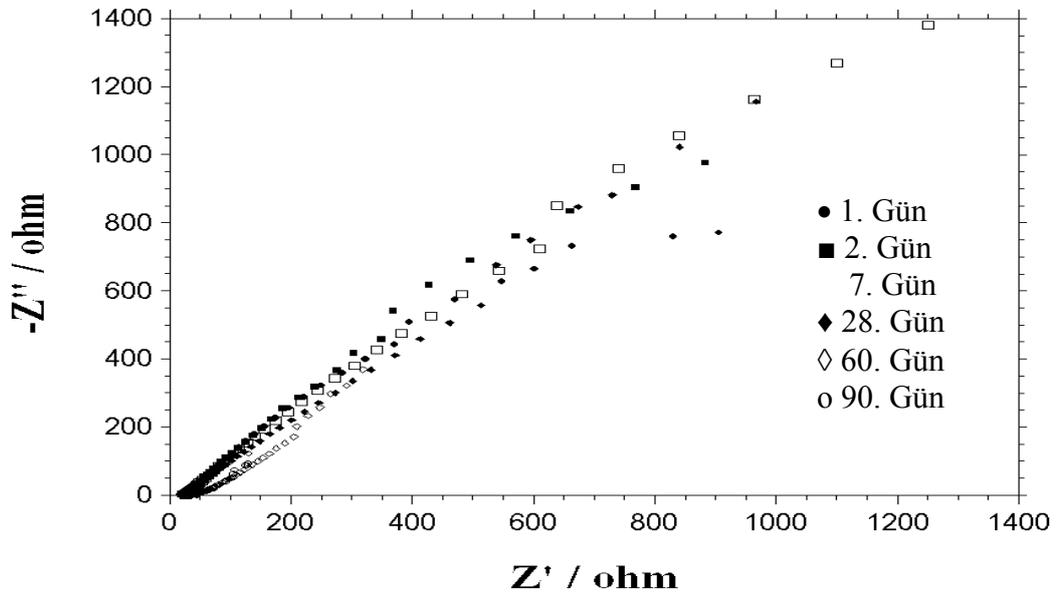
**Şekil 4.9.** Karma suyu karışımında %3,5 NaCl, %3,5 NaCl+0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+Yapı Kim. ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kim içeren betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.

#### 4.4. Karma Suyu Karışımında Destile Su, 0,1 M Asetat, %3,5 NaCl+0,1M Asetat ve Bu Ortamlara Yapı Kimyasalı İlave Edilen Ortamlardaki Betonarme Çeliğinin (1.Günden 90. Güne Kadar) Nyquist ve Bode Diyagramlarının Değerlendirilmesi

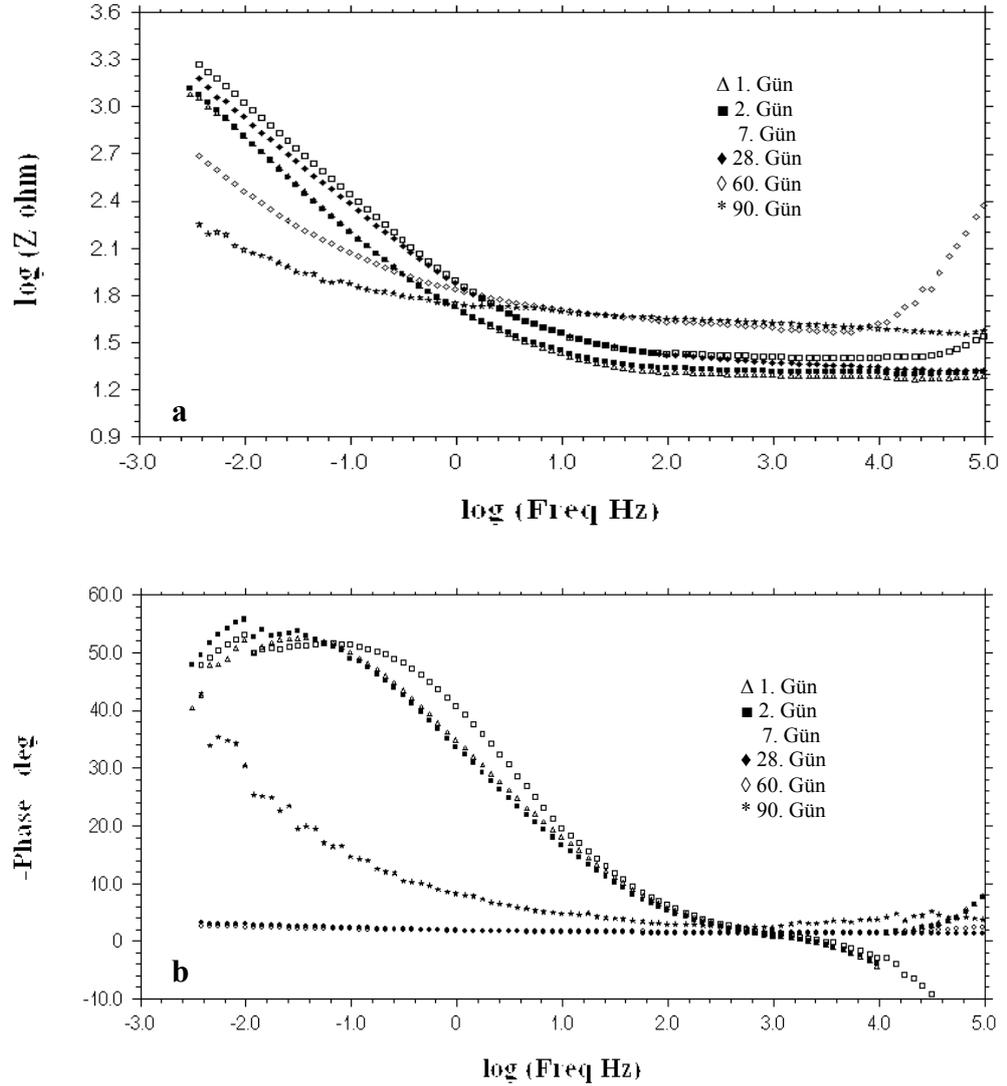
Korozyon reaksiyonu, metal/çözelti ara yüzeyinde gerçekleşen yük transferi kontrolünde olduğu zaman elde edilen eğrinin gerçek impedans ekseninde en düşük ve en yüksek frekans bölgeleri arasındaki fark (eğrinin çapı) yük transfer direncine karşılık gelir. Ancak korozyon sırasında metal/çözelti ara yüzeyinde iyon difüzyonundan kaynaklanan dirençlerinde (difüzyon direnci) dikkate alınması gerekmektedir. Bununla birlikte yüzeydeki birikintilerin direnci (korozyon ürünleri, iyonlar, inhibitör molekülleri vb gibi), yüzeyde oluşan filmin direnci gibi diğer dirençlerin katkısı da unutulmamalıdır. Dolayısı ile gerçek impedans ekseninde en düşük ve en yüksek frekanslar arasındaki fark bütün bu dirençlerin katkısı olan polarizasyon direnci ( $R_p$ ) olarak düşünülmelidir. Çift tabakada metal tarafında yükü oluşturan elektronların çapı, çift tabakanın çözelti tarafında yükü

oluşturan iyonlardan çok daha düşüktür. Dolayısı ile çift tabakadaki yükü dengelemek için iyonlar dış Helmholtz tabakasından çözelti içerisine doğru sıralanmakta ve bu da ideal bir kapasitör oluşumunu engellemektedir. Elde edilen Nyquist eğrisinin yarım daireden sapmasının nedeni de bu olmalıdır. Elde edilen Nyquist eğrilerini açıklamak için Erbil tarafından ileri sürülen yarım-elips modeli kullanılmıştır (Erbil, 1987).

Temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrotların 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.10 ve 4.11(a-b)'de verilmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11(a-b)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 28. güne kadar arttığı ve sonra azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 28. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonra pasif tabakanın zamanla kararlılığını yitirmeye başladığı anlaşılmaktadır. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1. , 2. , 7. , 28. ,60. ve 90. günler olmak üzere sırasıyla 1122  $\Omega$ , 1995  $\Omega$ , 1585  $\Omega$ , 1778  $\Omega$ , 501  $\Omega$ , ve 200  $\Omega$  olarak belirlenmiştir.



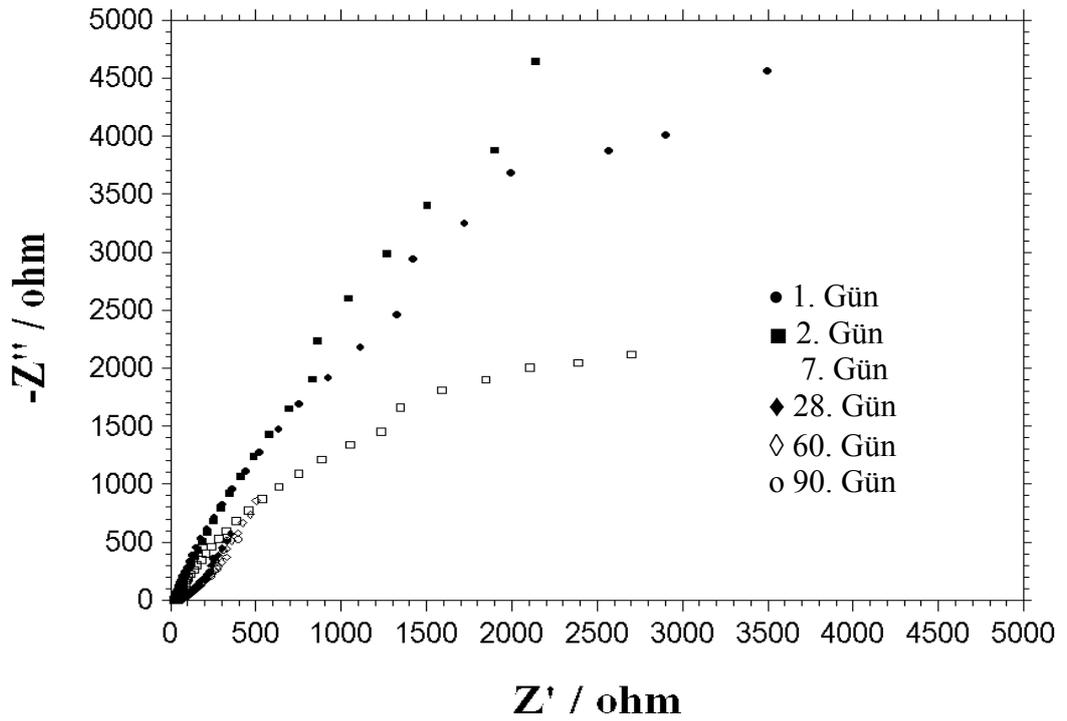
Şekil 4.10. Karma suyu Destile Su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.



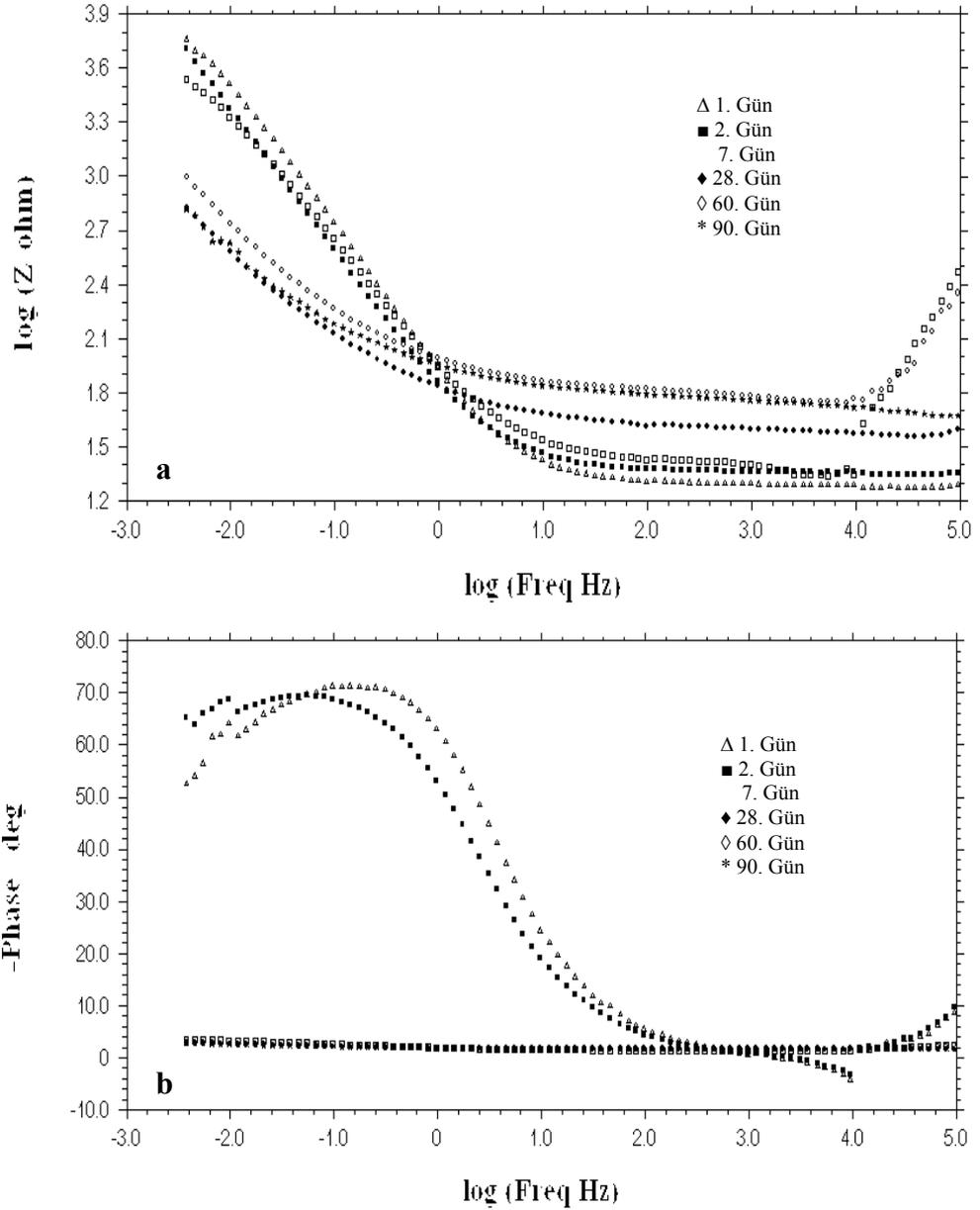
Şekil 4.11. Karma suyu Destile Su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı.

Temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu saf su + yapı kimyasalı olan betonarme elektrotların 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.12 ve 4.13(a-b)'de verilmektedir. Şekil 4.12 ve 4.13(a-b)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 28. güne kadar az miktarda olsa azaldığı ve 28. günden sonra 90. güne kadar ise sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan da anlaşılacağı üzere, betonarme çeliği için yüzeyinde 28. güne

kadar kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve 90. günün sonunda ise betonarme çeliğinin yüzeyindeki pasif tabakanın bozularak korozyona uğradığı gözlenmektedir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1. , 2. , 7. , 28. , 60. ve 90. günler olmak üzere sırasıyla 6310  $\Omega$ , 5112  $\Omega$ , 3548  $\Omega$ , 794  $\Omega$ , 1122  $\Omega$ , 794  $\Omega$  olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.12.** Karma suyu Destile Su+Yapı Kimyasalı olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı.



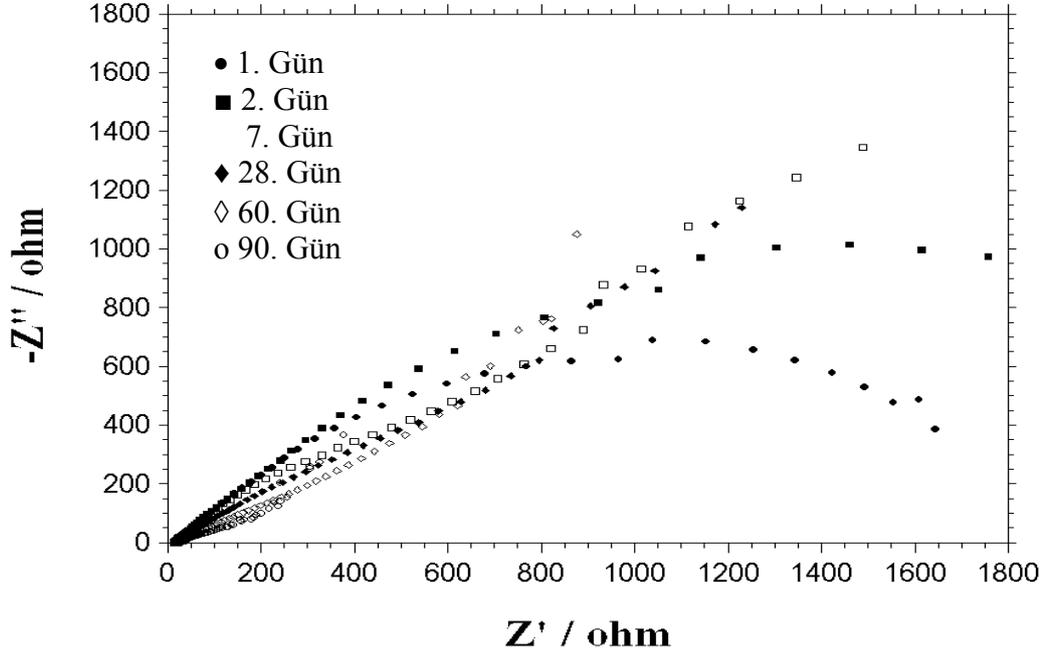
**Şekil 4.13.** Karma suyu Destile Su+Yapı Kimyasalı olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı

Şekil 4.10'da görülen 1. gündeki Bode diyagramından belirlenen polarizasyon direncinin, sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrodun şekil 4.12'de görülen ve saf su+yapı kimyasalı içeren 1. gündeki Nyquist diyagramından belirlenen polarizasyon direncinin yaklaşık 1/6 katı olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler sonucu 90. günün sonunda polarizasyon

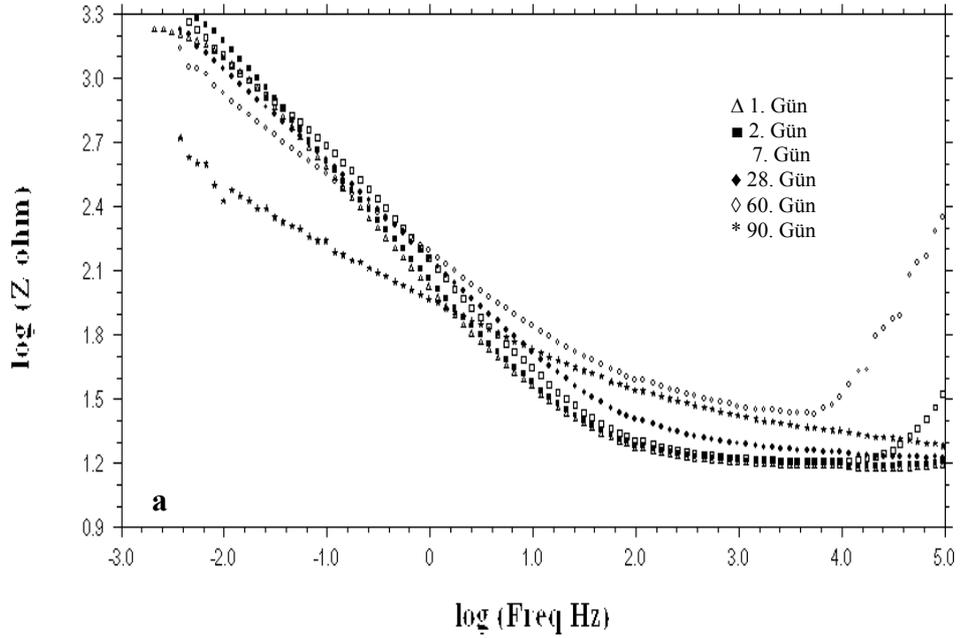
direncinin aynı olduğu ve korozyon hızının yapı kimyasalı içerenin içermeyene göre daha hızlı bir şekilde pasifleşerek korozyon hızının diğerine oranla daha yavaş olduğu görülmektedir.

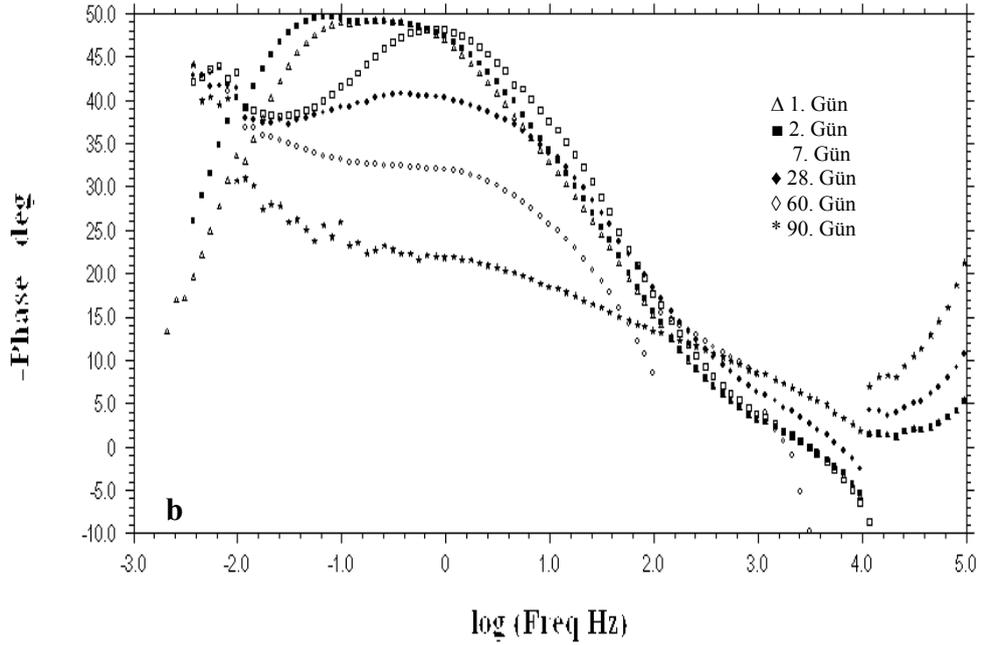
Genel olarak, karma suyu saf su olan betonarme çeliğindeki elde ettiğimiz ohmik direncin, karma suyu saf su+yapı kimyasalı olan şartlarda elde edilenden daha küçük olduğu ve 90. gün sonunda ise ohmik direncin aynı olduğu belirlenmiştir (karma suyu saf su+yapı kimyasalı olan betonarme çeliğinin ohmik direnci, karma suyu saf su olan betonarme çeliğindeki ohmik direncinin 1. günde 6, 2. ve 3. günde 2 katı olduğu ve 90. gün sonunda ise ohmik direncin 4 katı olduğu). Elde ettiğimiz veriler sonucunda karma suyunda yapı kimyasalı kullanılan betonarme çeliğinin yapı kimyasalı kullanılmayana göre yüzeyinin 7. güne kadar daha hızlı bir şekilde pasifleşerek korozyona karşı bir direnç oluşturmuştur. Fakat 7. gün sonunda bu direncini kaybederek korozyona uğramaya başlamıştır ve 90. gün sonunda kullanılan yapı kimyasalının kullanılmayan ortama oranla pasifliğini tamamen yitirmediği anlaşılmıştır.

Temas suyunda % 3.5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan, karma suyu 0,1 M asetat içeren betonarme elektrotların 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.14 ve 4.15(a-b)'de verilmektedir. Şekil 4.14 ve 4.15(a-b)'e bakıldığında, 1. günden 28. güne kadar betonarme çeliğinin üzerinde polarizasyon direncinin yüksek olduğu ve 28. günden 60. güne kadar yavaş bir şekilde 60. günden sonra ise hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 1. günden 28. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonra bu pasif tabakanın 60. güne kadar yavaş 60. günden sonra ise hızlı bir şekilde kararlılığını yitirmeye başladığı 90. günün sonunda ise polarizasyon direncinin ilk günden yaklaşık 1/3 oranın gelerek polarizasyon direnci en alt seviyeye indiği anlaşılmaktadır. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günler olmak üzere sırasıyla 1778  $\Omega$ , 1995  $\Omega$ , 1995  $\Omega$ , 1905  $\Omega$ , 1000  $\Omega$  ve 501  $\Omega$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Karma suyu 0,1 M Asetat olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı



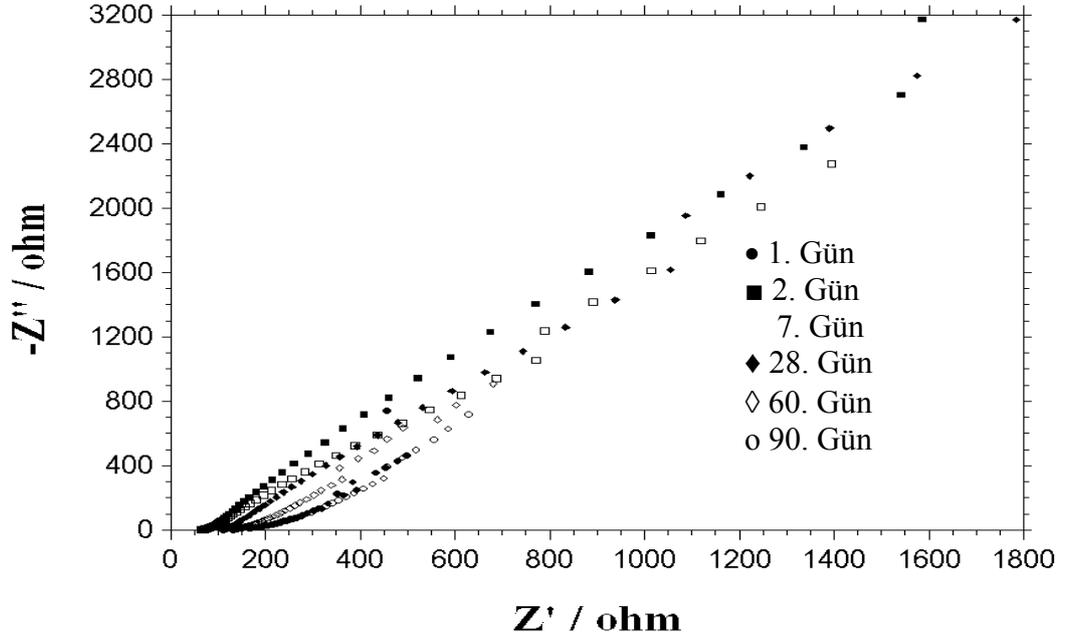


**Şekil 4.15.** Karma suyu 0,1 M Asetat olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Bode(a-b) diyagramı

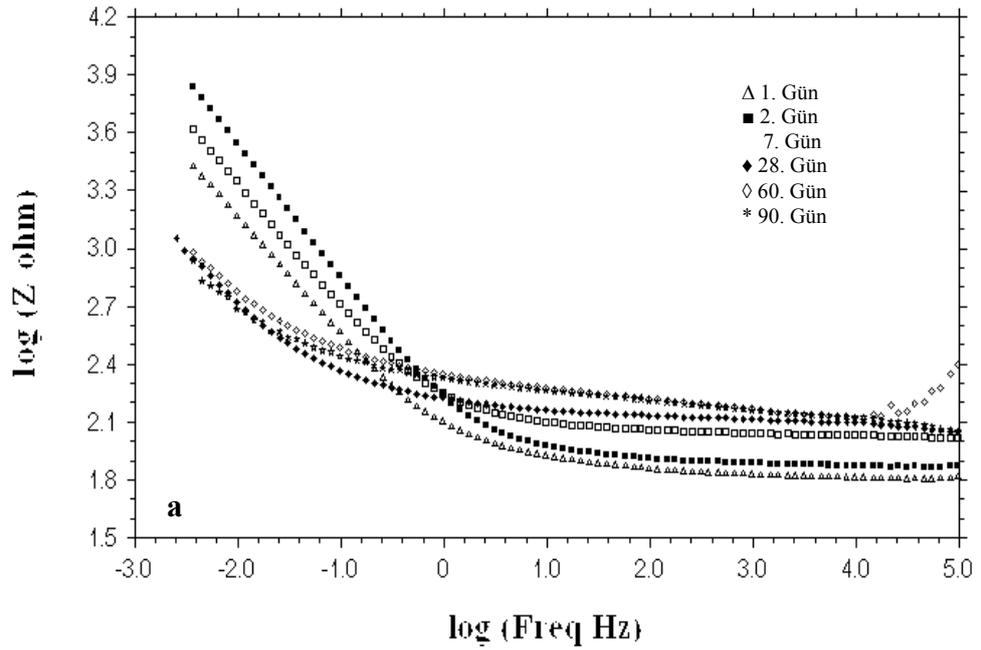
Temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan içeren ortamlara daldırılan, karma suyu 0,1 M asetat ve yapı kimyasalı içeren betonarme elektrotların 90. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.16 ve 4.17(a-b)'de verilmektedir. Şekillere bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 7. güne kadar çok hızlı bir şekilde arttığı ve 7. günden 28. güne kadar ise çok hızlı bir şekilde azaldığı 28. günden 90. güne kadar ise sabit bir polarizasyon direncine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 7. güne kadar çok kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonrasında 7. günden sonra bu pasif tabakanın 28. güne kadar çok hızlı bir şekilde kararlılığını yitirmeye başladığı ve 28. günde 60. günün sonuna kadar pasif tabakanın sabit kaldığı, 90. günün sonunda ise azalarak iyonların etkinliğini kaybetmeye başladığı anlaşılmaktadır. 1. günden (2818  $\Omega$ ) 28. güne (1259  $\Omega$ ) kadar Bode diyagramlarından belirlenen polarizasyon dirençleri kıyaslandığında çok hızlı bir şekilde düşmenin olmadığı görülmektedir. Elde edilen verilerden hesaplanan

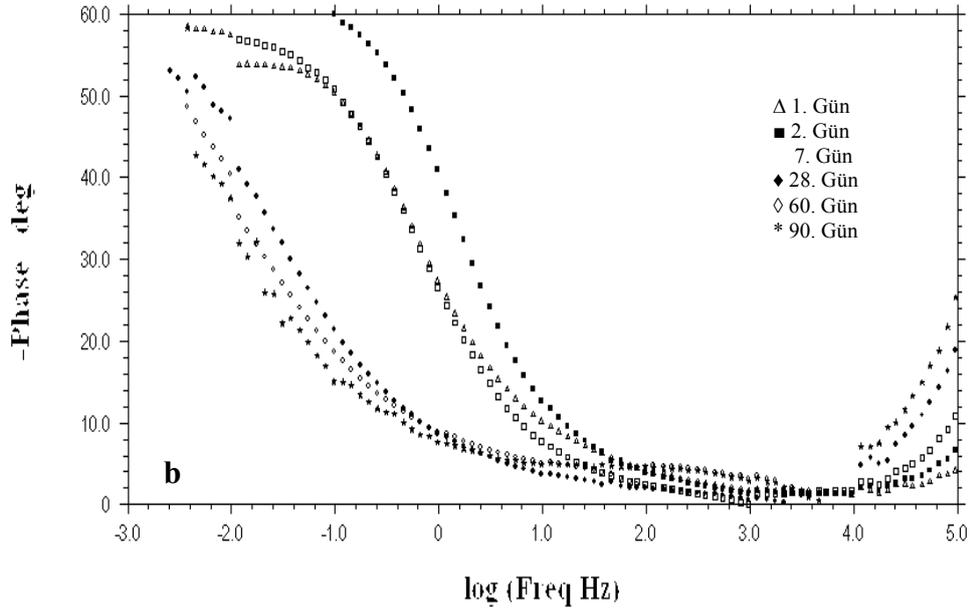


polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28., 60., ve 90. günler olmak üzere sırasıyla 2818  $\Omega$ , 7079  $\Omega$ , 3981  $\Omega$ , 1259  $\Omega$ , 1000  $\Omega$  ve 631  $\Omega$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Karma suyu 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı içeren elektrotlardan elde edilen Nyquist Diyagramları.



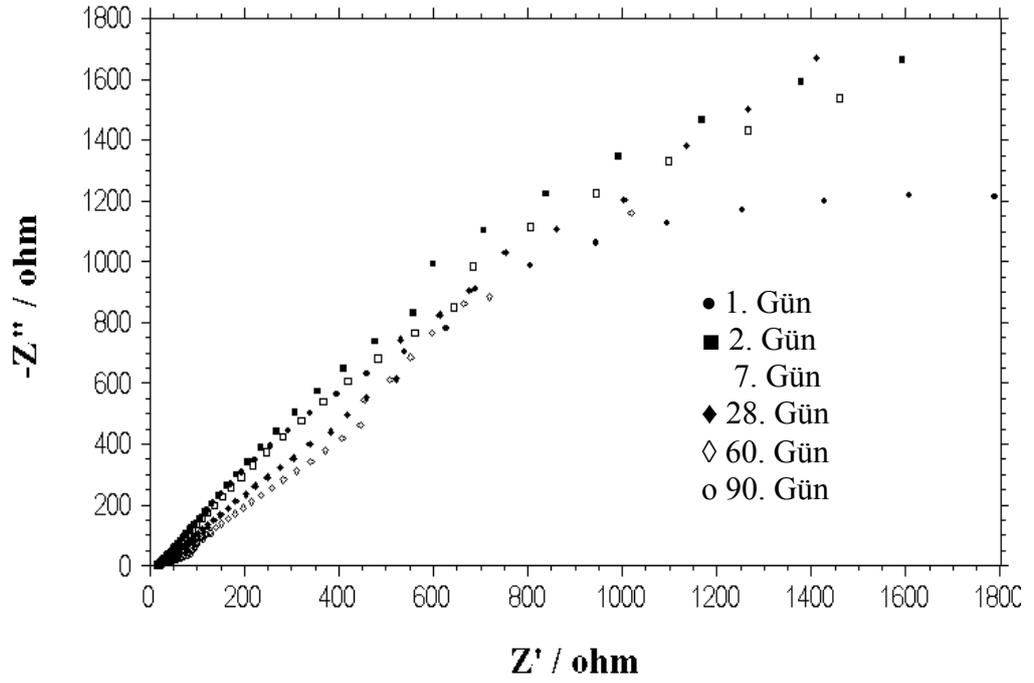


**Şekil 4.17.** Karma suyu 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı içeren elektrodlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları

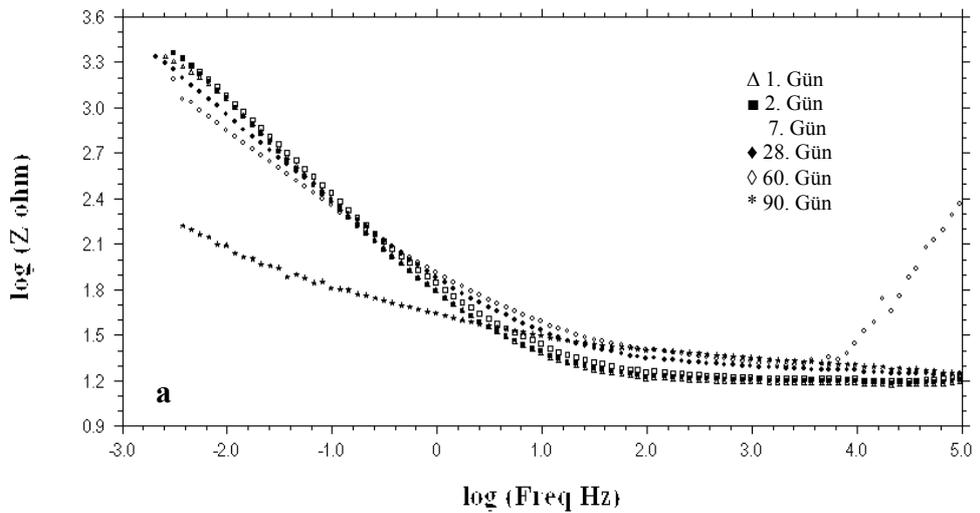
Şekil 4.14’de görülen 1. gündeki Bode diyagramında belirlenen polarizasyon direncinin, sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu 0,1 M Asetat olan betonarme elektrodun, şekil 4.16’da görülen ve karma suyu 0,1 M Asetat ve yapı kimyasalı ilavesi içeren 1. gündeki Bode diyagramında belirlenen polarizasyon direncinin 1/2 ve 2. günde ise polarizasyon direncinin yaklaşık 2/5 katı olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler sonucunda 90. günde polarizasyon direncinin 0,1 M Asetat+yapı kimyasalı içerenin, karma suyu sadece 0,1 M Asetat içerenle hemen hemen aynı olduğu ve yapı kimyasalı içerenin içermeyene göre daha hızlı bir şekilde pasifleşerek korozyon hızında düşük olduğu görülmektedir. Yapı kimyasalının betonarme çeliği üzerinde hızlı bir pasiflik tabakası oluşturarak metal yüzey üzerinde koruyucu bir tabaka oluşmasını sağlamaktadır.

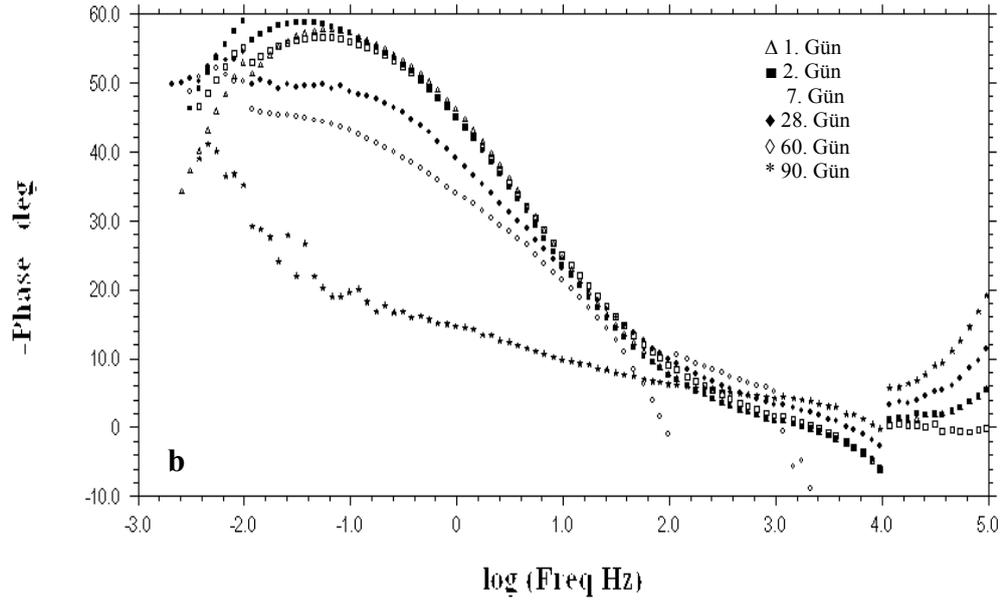
Temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan ve karma suyunda %3,5 NaCl ile 0,1 M asetat iyonu içeren betonarme elektrotların Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi yöntemi sonucu elde edilen Nyquist ve Bode diyagramlarında Şekil 4.18 ve 4.19(a-b)’a bakıldığında, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. gün koşullarındaki direnç değerlerinin sırasıyla; 2371  $\Omega$ , 2512  $\Omega$ , 2512  $\Omega$ , 2239  $\Omega$ , 1585  $\Omega$  ve 200  $\Omega$ , olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme

çeliği için yüzeyinde 1., 2., 7. ve 28. günde kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonra bu pasif tabakanın 60. güne kadar yavaş 60. günden sonra ise hızlı bir şekilde kararlılığını yitirmeye başladığı anlaşılmaktadır.



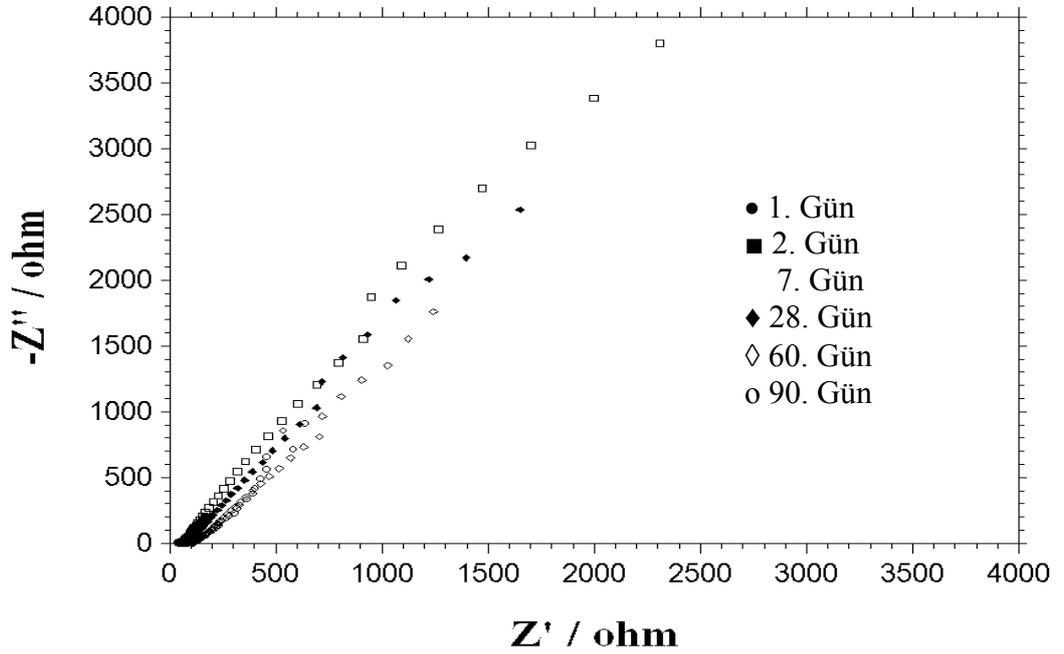
Şekil 4.18. Karma suyu %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat içeren elektrotlardan elde edilen Nyquist Diyagramları.



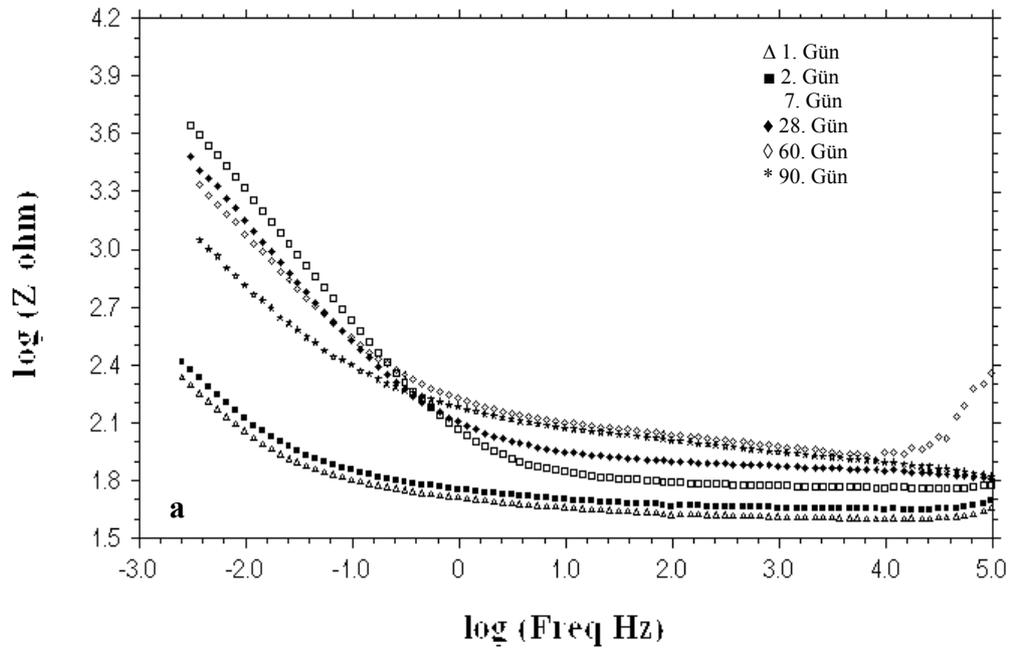


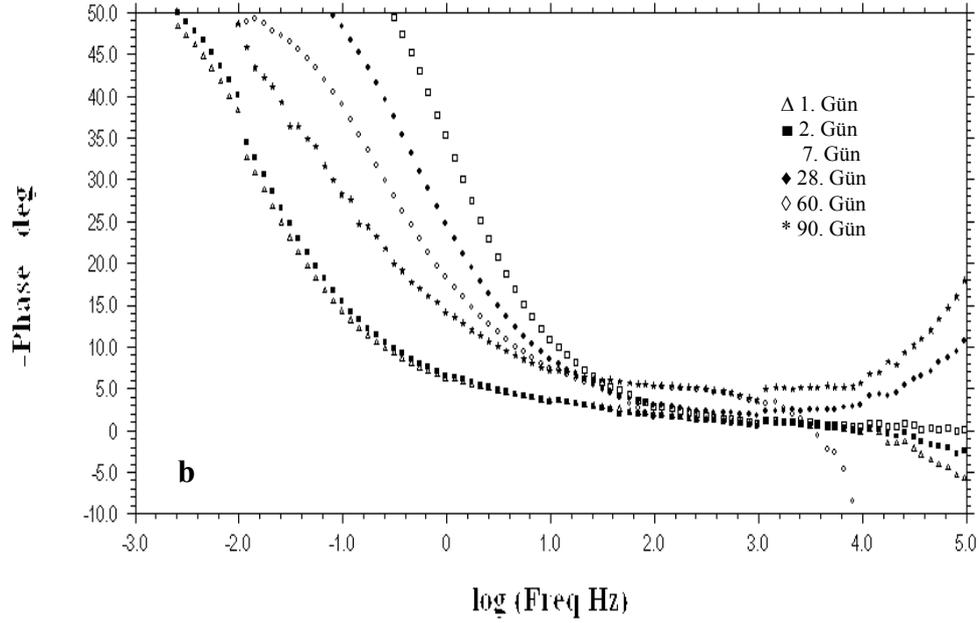
**Şekil 4.19.** Karma suyu %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat içeren elektrotlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları

Şekil 4.20 ve 4.21(a-b)'de verilen, temas suyunda % 3,5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan ve karma suyunda %3,5 NaCl ve 0,1 M asetat iyonuna ilaveten yapı kimyasalı içeren betonarme elektrotların ve Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopi yöntemiyle elde edilen Nyquist ve Bode diyagramlarından, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. gün koşullarındaki direnç değerlerinin sırasıyla; 229  $\Omega$ , 282  $\Omega$ , 5012  $\Omega$ , 3162  $\Omega$ , 2239  $\Omega$  ve 1122  $\Omega$ , olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 1. ve 2. günde kararlı bir pasif tabakanın oluşmadığı ve 7. güne kadar betonarme çeliği üzerinde kararlı bir pasif tabakanın oluşarak 90. gün sonuna kadar bu pasif tabakanın zamanla çok az bir şekilde azalarak 90. gün sonunda (1122  $\Omega$ ) 7. günde (5012  $\Omega$ ) oranla yaklaşık 1/4 katına azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.20. Karma suyu %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı içeren elektrodlardan elde edilen Nyquist Diyagramları





**Şekil 4.21.** Karma suyu %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat + Yapı Kimyasalı içeren elektrotlardan elde edilen Bode(a-b) Diyagramları

Şekil 4.18’de görülen 1. ve 2. gündeki Bode diyagramında belirlenen polarizasyon direncinin, temas suyu sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat olan betonarme elektrodun, şekil 4.20’de görülen ve karma suyu %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat ve yapı kimyasalı ilavesi içeren 1. ve 2.gündeki Bode diyagramında belirlenen polarizasyon direncinin yaklaşık 10 katı olduğu, 7. günde ise polarizasyon direncinin yaklaşık 1/2 katına düştüğü görülmektedir. Elde edilen veriler sonucunda 90. günde polarizasyon direncinin %3,5 NaCl+0,1 M Asetat ve yapı kimyasalı içerenin, karma suyunda yapı kimyasalı içermeyene (%3,5 NaCl+0,1 M Asetat içeren) oranla polarizasyon direncinin 6 katı olduğu ve yapı kimyasalı içerenin içermeyene göre daha geç bir şekilde pasifleştiği ve bu pasif tabakanın 90. gün sonunda daha geç kaybettiği görülmektedir. Yapı kimyasalının betonarme çeliği üzerindeki pasif tabakanın daha geç bozularak metali daha uzun süre korozyona karşı koruduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca 90. gün sonunda yapı kimyasalı içermeyenin yüzeyindeki polarizasyon direncinin hızlı bir şekilde düşmesinin ana nedeninin, yüzeydeki korozyon ürünleri sayesinde oluşan koruyucu pasif tabakasının yapısını bozduğu anlaşılmıştır.

#### 4.5. Betonarme Çeliği'nin, NaCl, Asetat ve Yapı Kimyasalı'nın Kullanıldığı Ortamlarda Elde Edilen Elektro Kimyasal Nicelikler

Sabit sıcaklıkta (298 K), saf su, saf su+yapı kimyasalı, NaCl, NaCl+yapı kimyasalı, asetat, asetat+yapı kimyasalı, NaCl+asetat ve NaCl+asetat+yapı kimyasal'lı ortamlarda elde edilen betonarme çeliği'nin polarizasyon dirençleri ( $R_p$ ) Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği'nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan potansiyel dirençleri.

Karma Suyu	1. Gün $R_p(\text{ohm})$	2. Gün $R_p(\text{ohm})$	7. Gün $R_p(\text{ohm})$	28. Gün $R_p(\text{ohm})$	60. Gün $R_p(\text{ohm})$	90. Gün $R_p(\text{ohm})$
Saf Su	1122	1995	1585	1778	501	200
Saf Su+Yapı Kimyasalı	6310	5112	3548	794	1122	794
%3,5 NaCl	<b>89</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>159</b>	<b>251</b>	<b>188</b>
%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı	2239	1778	2239	1413	355	224
0,1 M Asetat	1778	1995	1995	1905	1000	501
0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	2818	7079	3981	1259	1000	631
%3.5 NaCl+0,1 M Asetat	2371	2518	2512	2239	1585	200
%3.5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	229	282	5012	3162	2239	1122

Çizelge 4.1'de verilen polarizasyon dirençlerinde, saf su için 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 28. güne kadar arttığı, yapı kimyasalı içeren ortamda ise polarizasyon direncini saf suya oranla ilk günlerde yaklaşık 6 kat fazla olduğu görülmektedir. Klorür iyonu içeren ortamda ise polarizasyon direncinin 1. günden 90. güne kadar sabit gittiği, klorür iyonu+yapı kimyasalı ve asetat iyonu içeren ortamlarda ise 1. günden 28. güne kadar sabit bir şekilde giderken 28. günden sonra polarizasyon direncinde hızlı bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Asetat iyonu+yapı kimyasalı içeren ortamlarda

polarizasyon direncinin 7. güne kadar çok yüksek olduğu 7. günden itibaren bir düşüşe geçtiği görülmektedir. Karma suyunda klorür ve asetat iyonu bir arada bulunduran ortamda ise, 28. güne kadar polarizasyon direncinin sabit olduğu, 28. günden 60. güne kadar azaldığı ve 90. günün sonunda ise kararlılığını kaybettiği, bu ortama yapı kimyasalının ilavesi ile ise, 1. ve 2. günde betonarme çeliği üzerinde kararlı bir pasif tabakanın oluşmadığı ve 7. günde betonarme çeliği üzerinde kararlı bir pasif tabakanın oluşarak 90. gün sonuna kadar bu pasif tabakanın zamanla azaldığı görülmektedir.

Organik maddelerin metal yüzeyi ile etkileşiminin ölçüsü olarak, yüzde inhibisyon etkinlikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen akım-potansiyel eğrilerinde Tafel bölgeleri belirlenmediği için, korozyon akımları bulunamamıştır. Bu nedenle elde edilen bode diyagramlarından yararlanılarak belirlenen polarizasyon dirençlerinden yola çıkarak yüzde inhibisyon etkinlikleri 1. günden 90. güne kadar hesaplanarak Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Temas suyunda %3,5 NaCl içeren ortamlarda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği'nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan yüzde inhibisyon etkinlikleri.

<b>Karma Suyu</b>	<b>1. Gün % I</b>	<b>2. Gün % I</b>	<b>7. Gün % I</b>	<b>28. Gün % I</b>	<b>60. Gün % I</b>	<b>90. Gün % I</b>
<b>Saf Su</b>	92	96	94	91	50	6
<b>Saf Su+Yapı Kimyasalı</b>	98	98	97	80	77	76
<b>%3,5 NaCl</b>	-	-	-	-	-	-
<b>%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı</b>	96	95	95	89	29	16
<b>0,1 M Asetat</b>	95	96	95	92	75	62
<b>0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı</b>	97	99	97	87	75	70
<b>%3,5 NaCl+0,1 M Asetat</b>	96	97	96	93	84	6
<b>%3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı</b>	61	72	98	95	89	83



$$\% I = \frac{R_{P,inh} - R_{P,0}}{R_{P,inh}} \times 100 \quad (4.1.)$$

4.1 bağıntısı sayesinde elde edilen yüzde inhibisyon etkinlikleri Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Çizelge 4.2.'e göre, polarizasyon dirençleri aracılığı ile bulunan inhibisyon etkinlikleri dikkate alındığında, 1. günden 90. günün sonuna kadar yapılan hesaplamalarda; karma suyunda klorürü iyonu içermeyen ortamlarda kullanılan organik maddeler arasında yapı kimyasalının asetat iyonuna göre daha etkin inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. Karma suyunda klorür iyonu içeren ortamlarda ise yapı kimyasalı ve asetat iyonunun birlikte kullanılması ile inhibisyon etkinliğinin daha fazla olduğu görülmüştür. Elde edilen verilerden yola çıkılarak, kullanılan organik maddelerin, metal yüzeyini kaplayarak korozyon hızını yavaşlattığı kanısına varılmaktadır.

Sabit sıcaklıkta (298 K), saf su, saf su+yapı kimyasalı, NaCl, NaCl+yapı kimyasalı, asetat, asetat+yapı kimyasalı, NaCl+asetat ve NaCl+asetat+yapı kimyasal'lı ortamlarda 90 günün sonunda elde edilen betonarme çeliği'nin akım-potansiyel değerleri (hem anodik, hemde katodik ortamlar için) ve yüzde inhibisyon etkinlikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3' de verilen anodik ve katodik akım yoğunluğu, yine çizelgede belirtilen ortamlardan elde edilen akım potansiyel eğrilerinde belirli sabit potansiyel değerler dikkate alınarak bulunmuştur. Bu potansiyeller, katodik akım yoğunluğu ve anodik akım yoğunluğu için sırasıyla, -1700 V ve +800 V'dur. Ayrıca Çizelge 4.3.'de verilen yüzde inhibisyon etkinlikleri bode diyagramlarından yararlanılarak belirlenen polarizasyon dirençlerinden yola çıkarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.3.** Temas suyu %3,5 NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği'nin, akım-potansiyel eğrilerinden (Katodik; -1700 mV, Anodik; -400 mV) elde edilen elektrokimyasal nicelikler ve yüzde inhibisyon etkinlikleri.

Karma Suyu	$\dot{I}_K (A/cm^2) \times 10^{-2}$	$\dot{I}_a (A/cm^2) \times 10^{-2}$	% I
Saf Su	1,3500	0,5129	6
Saf Su+Yapı Kimyasalı	0,9763	0,2791	76
%3,5 NaCl	2,244	0,5371	-
%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı	0,9672	0,3156	16
0,1 M Asetat	1,3670	0,3996	62
0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	0,3702	0,1001	70
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat	1,8630	0,3357	6
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	0,7361	0,1905	83

Çizelge 4.3'den, yapı kimyasalı içeren ortamlardaki akım yoğunluklarının, yapı kimyasalı içermeyen ortamlardaki akım yoğunluklarına oranla hem anodik (-1700) hemde katodik (-400) akım yoğunluklarında dikkate değer oranlarda azalmayla karşılaşılmıştır. Ayrıca yapı kimyasalının, asetat iyonlarına göre akım yoğunluğu daha düşük olduğu görülmüştür. Asetat iyonlarının bulunduğu ortamlarda ise, klorür iyonları ile birlikte kullanıldığında etkili olarak anodik ve katodik akım yoğunluklarında büyük oranda azalma ile karşılaşılmıştır. Asetat ve yapı kimyasalının birlikte kullanılmasıyla da klorür iyonu içeren ortamlarda çok etkili olarak akım yoğunluğunu en alt seviyeye indirdiği görülmüştür. 90. gün sonunda yukarıdaki çizelgeden de anlaşıldığı üzere yüzde inhibisyon etkinliğinin en fazla olanının karma suyunda klorür iyonu bulunan ortamlara asetat ve yapı kimyasalının birlikte ilavesi ile olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca 90. gün sonunda karma suyunda klorür iyonu bulunmayan ortamlarda, karma suyunda yapı kimyasalı içerenin inhibisyon etkisinin asetat iyonuna oranla daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Sabit sıcaklıkta (298 K), saf su, saf su+yapı kimyasalı, NaCl, NaCl+yapı kimyasalı, asetat, asetat+yapı kimyasalı, NaCl+asetat ve NaCl+asetat+yapı kimyasal'lı ortamlarda elde edilen betonarme çeliği'nin korozyon potansiyel değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği'nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan korozyon potansiyelleri.

Karma Suyu	1. Gün ( $E_{cor}$ )	2. Gün ( $E_{cor}$ )	7. Gün ( $E_{cor}$ )	28. Gün ( $E_{cor}$ )	60. Gün ( $E_{cor}$ )	90. Gün ( $E_{cor}$ )
Saf Su	-0,458	-0,478	-0,508	-0,529	-0,551	-0,568
Saf Su+Yapı Kimyasalı	-0,447	-0,468	-0,510	-0,539	-0,549	-0,554
%3,5 NaCl	<b>-0,575</b>	<b>-0,588</b>	<b>-0,596</b>	<b>-0,612</b>	<b>-0,646</b>	<b>-0,671</b>
%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı	-0,547	-0,526	-0,544	-0,563	-0,586	-0,598
0,1 M Asetat	-0,531	-0,527	-0,535	-0,554	-0,565	-0,571
0,1 MAsetat+Yapı Kimyasalı	-0,427	-0,432	-0,430	-0,448	-0,452	-0,463
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat	-0,507	-0,523	-0,524	-0,546	-0,455	-0,453
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	-0,445	-0,433	-0,474	-0,408	-0,404	-0,398

Çizelge 4.4'den, karma suyunda klorür iyonu içermeyen ortamlarda 90. gün sonunda elde edilen korozyon potansiyellerinde, karma suyunda yapı kimyasalı bulunduran ortamların asetat iyonu içeren ortamlara oranla korozyon potansiyelini daha pozitif değerlere kaydırıldığı görülmektedir. Aynı zamanda karma suyunda klorür iyonu bulunduran ortamlarda ise korozyon potansiyelinin yapı kimyasalı ve asetat iyonunun ilavesiyle birlikte, daha pozitif değerlere kaydığı ve 90. gün sonunda

klorürlü ortamlarda yapı kimyasalının asetat iyonuna göre daha etkin olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4.'e göre, korozyon potansiyelinin klorür iyonu içeren ortamda en negatif değerlerde olduğu, ancak klorür iyonunun bulunduğu ortama yapı kimyasalı ve asetat iyonunun birlikte ilavesi ile 90. gün sonunda korozyon potansiyelini daha pozitif değerlere kaydırarak en etkili ortam olduğu anlaşılmaktadır.

Sabit sıcaklıkta (298 K), temas suyunda klorür iyonu içeren ve karma suyunda saf su, saf su+yapı kimyasalı, NaCl, NaCl+yapı kimyasalı, asetat, asetat+yapı kimyasalı, NaCl+asetat ve NaCl+asetat+yapı kimyasal'lı ortamlarda elde edilen betonarme çeliği'nin 1. günden 90. güne kadar yapılan ölçümlerden önce temas suyundaki pH değişimleri aşağıdaki Çizelge 4.5'de verilmiştir

**Çizelge 4.5.** Temas suyu %3,5NaCl olan ortamda, farklı karma sularında hazırlanmış olan betonarme çeliği'nin, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. günde alınmış olan pH değerleri.

Karma Suyu	1. Gün pH	2. Gün pH	7. Gün pH	28. Gün pH	60. Gün pH	90. Gün pH
Saf Su	8,00	8,21	8,86	9,36	9,71	10,27
Saf Su+Yapı Kimyasalı	8,00	8,27	8,98	9,48	9,79	10,38
%3,5 NaCl	8,00	8,13	8,69	9,31	9,66	9,78
%3,5 NaCl+Yapı Kimyasalı	8,00	8,24	8,90	9,46	9,95	10,13
0,1 M Asetat	8,00	8,33	9,07	9,58	9,89	10,43
0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	8,00	8,42	9,11	9,67	9,98	10,72
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat	8,00	8,54	9,17	9,85	10,46	10,97
%3,5 NaCl+0,1 M Asetat+Yapı Kimyasalı	8,00	8,59	9,24	9,96	10,79	11,07

**5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Betonarme çeliğinin klorürlü ortamlardaki korozyon davranışları ortamda bulunan iyon, moleküllere ve pH'a bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen sonuç ve öneriler kısaca aşağıda verilmiştir:

1. Farklı karma suları (destile su, %3,5 NaCl, 0,1 M Asetat ve yapı kimyasalı) ile hazırlanan, temas suyunda %3,5 NaCl içeren ve karma suyunda yapı kimyasalı ve asetat iyonu bulunan betonarme çeliğinin katodik akım yoğunluğu ve korozyon potansiyeli dolayında anodik akım yoğunluğu dikkate alındığında korozyon hızında önemli miktarda azalma belirlenmiştir. Bu azalma özellikle yapı kimyasalı ve asetat iyonunun klorürlü ortamda birlikte kullanılması ile korozyon hızını en alt seviyelere kadar indirmiştir.

2. Farklı ortamlara ilave edilmiş olan yapı kimyasalının (destile su+yapı kimyasalı, %3,5 NaCl + yapı kimyasalı, 0,1 M Asetat + yapı kimyasalı ve %3,5 NaCl+0,1 M Asetat+yapı kimyasalı), temas suyunda %3,5 NaCl içeren betonarme çeliğinin akım potansiyel eğrilerinden, belli potansiyellerde belirlenen akım yoğunluğu değerlerine göre, asetat iyonu bulunan ortama yapı kimyasalının ilavesiyle korozyon hızı en alt seviyelere inmiştir.

3. Karma sularında klorür iyonu (%3,5 NaCl, %3,5 NaCl + yapı kimyasalı, %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat ve %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat+yapı kimyasalı) ile hazırlanan ve temas suyunda %3.5 NaCl içeren betonarme çeliğinin akım potansiyel eğrilerinden, belli potansiyellerde belirlenen akım yoğunluğu değerlerine göre, karma suyu klorürü iyonu ile hazırlanmış olan ortamlara asetat iyonunun ve yapı kimyasalının birlikte ilave edilmesi ile betonarme çeliğinin korozyon hızında büyük ölçüde azalma sağlanmıştır.

4. Farklı karma suları (destile su, destile su+yapı kimyasalı, %3,5 NaCl, %3,5 NaCl + yapı kimyasalı, 0,1 M asetat, 0,1 M asetat + yapı kimyasalı, %3,5 NaCl + 0,1 M asetat, %3,5 NaCl + 0,1 M asetat + yapı kimyasalı) ile hazırlanan ve temas sularında %3,5 NaCl içeren çözeltilerle maruz bırakılan betonarme elektrodların, 1., 2., 7., 28.,60. ve 90. günlerinde AC impedans tekniği ile açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist ve Bode diyagramlarından; betonarme çeliği üzerinde oluşan

polarizasyon direncinin en yüksek değerini karma sularına ilave edilen asetatlı ve yapı kimyasallı ortamlarda gösterdiği, asetat ve yapı kimyasalının beraber kullanılmasıyla polarizasyon direnci en yüksek seviyeye ulaşmış ve korozyon hızını büyük ölçüde yavaşlatmıştır.

5. Karma ve temas sularında klorür iyonu içeren ortamlara göre, asetat ve yapı kimyasalı içeren ortamlarda betonarme çeliğinin korozyon hızı zamanla azalmaktadır (Çizelge 4.2).

6. Çalışılan tüm pH'larda; başlangıç pH'sına (pH=8,00) göre, pH değerleri artmaktadır. Ortam pH'ının artması, oluşan korozyon ürünlerinin yapı içindeki çözünürlüğünü azaltmaktadır, böylece betonarme demiri ile asetat iyonu ve yapı kimyasalının oluşturduğu kompleks yapının kararlılığı artmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, yapı kimyasalının ve asetatın betonarme çeliğinin korozyon hızını yavaşlattığından dolayı, betonarme yapılarda kullanılması önerilebilir.

## **KAYNAKLAR**

- BALBANIC, G., BIANIC., DUREKOVIC, A.,** 1996. The influence of W/C ratio, concrete cover thickness and degree of water saturation on the corrosion rate of reinforcing steel in concrete. *Cement and concrete research.* 26, No:5, pp. 761-769.
- BATİS G. AND RAKANTA E.,** 2005. Corrosion of steel reinforcement due to atmospheric pollution, *Cement and Concrete Composites*, Volume 27, pp. 269-275.
- BLANCO M.T VARELA, MARTİNEZ-RAMİREZ S., VAZQUEZ T., SANCHEZ-MORAL S.,** 2004. Role of alkalis of aggregate origin in the deterioration of CAC concrete–*Cement and Concrete research.*
- BOCKRIS, J. O. M., AND REDDY, A. K. N.,** 1977. *Modern Electrochemistry.* Vol: 2, Plenum Press, New York.
- BOCKRIS, J. O'M.,** 1972. *Modern Aspects of Electrochemistry*, No. 7, Plenum, New York, p. 314.
- EL MILIGY, A.A., LORENZ, W.J.,** 1974. Electrochemical Behaviour of Iron in Alkaline Sulphate Solutions. *J. Appl. Electrochem.* 4, p. 337.
- ERBİL, M.,** 1980. Demirin Korozyonu Üzerine Bazı İnhibitörlerin Etkilerinin Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizikokimya Kürsüsü, Tez, 117.
- ERBİL, M.,** 1980. Korozyon İnhibitörleri ve Etkinliklerinin Saptanması. Çukurova Üniversitesi Matbaası, Adana, 148s.
- ERBİL, M.,** 1987. Alternatif Akım (AC) İmpedansı Yöntemiyle Korozyon Hızının Belirlenmesi. *Doğa Türk Kimya Dergisi*, C. 11 S. 3.
- ERBİL, M.,** 2002. VII. Uluslar arası Korozyon Sempozyumu Bildiri Kitabı, Eskişehir, 29.
- ERBİL, M., DEHRİ, İ.,** 2000. *Corrosion Science*, 42, p. 96,
- ERSOY U.,** 1985. *Betonarme Cilt 1 (Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı )* 2. Baskı.
- FONTANA, M. G., GREENE, N. D.,** 1978. *Corrosion Engineering.* McGraw–Hill, New York chapter 6, pp. 200–202.

- FOULKES F.R. VE MCGRATH P.**, 1999. A rapid cyclic voltammetric method for studying cement factors affecting the corrosion of reinforced concrete cement concrete research 29, pp. 873 – 883.
- GRANESE, S. L., ROSALES, B. M., OVIEDO, C., ZERBINO, J. O.**, 1992. The Inhibition Action of Heterocyclic Nitrogen Organic Compounds on Fe and Steel in HCl Media, Corrosion Science, pp. 1439-1453.
- GÜRTEN, A.A., KAYAKIRILMAZ, K., ERBİL, M.**, 2007. The Effect of Thiosemicarbazide on Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Concrete. Construction and Building Materials 21, pp. 669-676.
- HOU JIANGYUAN, CHUNG D.D.L.**, 2000. Effect of admixtures in concrete on the corrosion resistance of steel reinforced concrete corrosion science 42, pp. 1489 – 1507.
- JAMİL H. E., MONTEMOR M. F., BOULIF R., SHRIRI A. AND FERREIRA M. G. S.**, 2004. Electrochemical Behaviour Of Amino Alcohol-Based Inhibitors Used To Control Corrosion Of Reinforcing Steel Electrochimica Acta, 49, 17-18, pp. 2753-2760.
- JAMİL H. E., MONTEMOR M. F., BOULIF R., SHRIRI A. AND FERREIRA M. G. S.**, 2003. Erratum To “An Electrochemical And Analytical Approach To The Inhibition Mechanism Of An Amino-Alcohol-Based Corrosion Inhibitor For Reinforced Concrete”: [Electrochim. Acta 48, pp. 3509–3518.
- KAYALI O. ve ZHU B.**, 2005. Corrosion Performance Of Medium-Strength And Silica Fume High-Strength Reinforced Concrete In A Chloride Solution Cement And Concrete Composites, 27, pp. 117-124.
- KAESCHE, H.**, 1986. Metallic Corrosion, National Association of Corrosion Engineers, Houston, p.16.
- KAHYAOĞLU H.**, 1998. Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı.
- KIKUCHI T., ARAMAKI K.**, 2000. The Inhibition Effects Of Anion And Cation Inhibitors On Corrosion Of Iron In An Anhydrous Acetonitrile Solution Of FeCl<sub>3</sub> Corrosion Science 42, pp. 817-829.



- KILINÇÇEKER G.**, 1998. Cu, Zn, Pirinç ve Demirin Sulu Çözeltideki Davranışları Üzerine Fosfat İyonlarının Etkileri. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı.
- KILINÇÇEKER G., YAZICI B., ERBİL M., GALİP H.**, 1999, Turk. J. Chem. 23, p. 41.
- KILINÇÇEKER G., YAZICI B., YILMAZ A.B., ERBİL M.**, 2002, British Corrosion Journal., 37, p. 23.
- KILINÇÇEKER, G., YAZICI, B., ERBİL, M.**, 2000 Corrosion (TR), 10, No: 1-3, pp. 19-26.
- KOLEVA, D.A., HU, J., FRAAIJ, A.L.A., STROEVEN, P., BOSHKOV, N., DE WIT, J.H.W.**, Quantitative Characterisation of Steel/Cement Paste Interface Microstructure and Corrosion Phenomena in Mortars Suffering from Chloride Attack. Corrosion Science 48, pp. 4001-4019.
- LINSEN, B.G.**, 1970. Physical and Chemical Aspects of Adsorbent and Catalysts, Academic Press, London.
- MASADEH S**, 2006. Corrosion and Rehabilitation of Steel Reinforced Concrete Structure Exposed to Dead Sea Water X. International Corrosion Symposium- Adana. p. 198-206.
- MOORE, W. J.**, 1972. Physical Chemistry, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- MORRIS W., VICO A. AND VÁZQUEZ M.**, 2004. Chloride Induced Corrosion Of Reinforcing Steel Evaluated By Concrete Resistivity Measurements Electrochimica Acta ,49, pp.4447-4453
- POSTACIOĞLU B.**, 1986. Beton (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton) Cilt 1 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 175 S.
- POSTACIOĞLU B.**, 1987. (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton) Cilt 2 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 229 S.
- ROZENFELD, I. L., AND HARDIN, R.**, 1981. Corrosion Inhibitors. Mc Graw-Hill, New York.
- QIAO, G., OU, J.**, 2007, Corrosion Monitoring of Reinforcing Steel in Cement Mortar by EIS and ENA. Electrochimica Acta 52. 8008-8019.

- SAKR K.**, 2004. Effect Of Cement Type On The Corrosion Of Reinforcing Steel Bars Exposed To Acidic Media Using Electrochemical Tecniques, Cement And Concrete Research.
- SARIKAYA Y.**,1997, Fizikokimya,Gazi Büro Kitabevi 2. Baskı, p. 597.
- UHLING, H. H.**, 1967, Corrosion and Corrosion Control, John Wiley Sons Inc., New York.
- ÜLGER E., KILIÇÇEKER G.**, 2006. Glikozun Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkisi, X. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, Adana p. 346-351.
- ÜNERİ S.**, 1998. Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği Yayınları, Ankara
- YALÇIN H. ve KOÇ T.**, 1999, Katodik Koruma, Palme Yayıncılık, Ankara pp. 269-295.
- YAZICI, B., ERBİL, M., DEHRİ, İ., TATLI, G., GALİP, H.**, 1996. The Effect of Acetate Ion on the Corrosion of Iron in Weakly Alkaline Solutions. Chimica Acta Turcica. 24, pp. 129-138.
- YILMAZ A.B., DEHRİ İ., ERBİL M.**, (2003) Karma Suyu Ph Değişiminin Beton Basınç Dayanımına Ve Betonarme Demirinin Korozyon Potansiyeline Etkisi IV. Elektrokimya Günleri, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- ZHANG, J., LOUNIS, Z.**, 2006. Sensitivity Analysis of Simplified Diffusion-Based Corrosion İnitiation Model of Concrete Structure Exposed to Chlorides, Cement and Concrete Research 36, pp. 1312-1323.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1979 yılında Adana'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi İskenderun Demir Çelik'te tamamladım. 1998 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne başladım ve 2002 yılında mezun oldum. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında tezli yüksek lisans öğrenimime başladım. 2005 yılından beri özel kuruluşlarda mühendislik mesleğimi devam ettirmekteyim.