ISSN 1306-3588 Korozyon

# Korozyon

MİLLİ GELİRDEN ÖNEMLİ BİR KAYBIMIZ!

## BU SAYIDA | IN THIS ISSUE


3 BİYOKOROZYONDA SULFAT İNDİRGEYEN BAKTERİLERİN ROLÜ
ROLE OF SULFATE REDUCING BACTERIA IN BIOCORROSION
Demet ÇETİN

12 THE USE OF SEMIEMPRICAL CALCULATIONS IN CORROSION INHIBITOR STUDIES
KOROZYON İNHİBİTÖRÜ ÇALIŞMALARINDA YARI DENEYSEL HESAPLAMALARIN KULLANIMI
Gökhan GECE

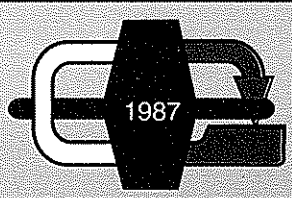
22 KLORÜRLÜ ORTAMLARDA BETONARME ÇELİĞİNİN ELEKTROKİMYASAL DAVRANIŞLARINA ASETAT İYONLARININ ETKİLERİ
THE EFFECT OF ACETATE ION ON ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF REINFORCING STEEL IN CHLORIDE SOLUTIONS
Caner MENEKŞE, Güray KILINÇÇEKER

28 EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THE SUSCEPTIBILITY TO HYDROGEN CRACKING IN LINE PIPE STEELS IN SOUR ENVIRONMENTS
EKŞİ PETROL ORTAMLARINDA KULLANILAN ÇELİKLERİN HİDROJENLE ÇATLAMA DUYARLILIĞINA KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİSİ
Özgür YAVAŞ, Mustafa DORUK

34 MATERIALS CHALLENGES IN REFINING OF HEAVY CRUDE OIL
AĞIR HAM PETROLÜN RAFİNASYONUNDA MALZEME SORUNLARI
H.M. SHALABY

44 INDUSTRIAL APPLICATIONS OF ANODIC PROTECTION IN THE CZECH REPUBLIC
ÇEK CUMHURİYETİ'NDE ANODİK KORUMANIN SANAYİDE UYGULAMALARI
P. NOVAK, M. MOKRA


Cilt 15 / Sayı 1-2 / 2007 Volume 15 / Number 1-2 / 2007




KOROZYON DERNEĞİ
THE CORROSION ASSOCIATION
ANKARA - TURKEY

# Korozyon

## MİLLİ GELİRDEN ÖNEMLİ BİR KAYBIMIZ!

**"KOROZYON" DERGİSİ**

Derginin amacı, korozyonu önlemenin bilimsel ve teknolojik altyapısına ilişkin gelişmelerin izlendiği, ve bunların özümlenmesi ve uygulamaya aktarılması imkan ve mekanizmalarının tartışılarak değerlendirildiği bir forum olarak etkili olabilmektir.

"Korozyon" Dergisinde konu ile ilgili olmak üzere Türkçe ve İngilizcede özgün makaleler, çeviri yazıları, öncelikle uygulama alanına hitap eden araştırma sonuçları, uygulama alanında edinilen bilgi ve deneyimlerin konu alındığı yazılar, tarama ve tanıma yazıları, konferans raporları ve kitap eleştirileri yayınlanır.

"Korozyon" Dergisine gönderilecek yazılar 14 daktilo sayfasını geçmeyecek şekilde aşağıdaki düzende hazırlanmalıdır: (1) Makale başlığı (Türkçe ve İngilizce), (2) Yazar(lar)ın ad(lar)ı, (3) Yazar(lar)ın 50 kelimeyi geçmeyen kısa özgeçmiş(ler)i, (4) 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe ve İngilizce özetler, (5) Makale, (6) Kaynakça.

Yazarların makale yazım kuralları ile ilgili olarak "Korozyon" Dergisinde daha önce yayınlanmış yazıları örnek almaları önerilir.

***JOURNAL OF CORROSION***

*The objective of the journal is to provide an effective forum for the investigation of developments related to the scientific and technological infrastructure of corrosion prevention, as also for the discussion and evaluation of adoption and application possibilities and procedures for these developments.*

*The journal publishes original articles, translations, research results especially related to practical applications, papers treating information from case-studies, survey and review articles, conference reports and book reviews in English and Turkish on the subject of corrosion.*

*Contributions to the journal should not exceed 14 typed pages in length and be prepared in the manner given below: (1) Title of article (Turkish and English) (2) Name(s) of author(s) (3) Biographical data of author(s) not to exceed 50 words (4) Turkish and English summaries not to exceed 100 words each (5) Text of the article (6) References.*

*Authors may consult articles published in back issues of the journal for guidance in the preparation of their manuscripts.*


**SAHİBİ / OWNER**
KOROZYON DERNEĞİ
THE CORROSION ASSOCIATION

●●●

**YAYIN YÖNETMENİ**
PUBLISHING DIRECTOR
Mustafa Doruk
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

●●●

**YAYIN KURULU**
PUBLISHING BOARD
Mustafa Doruk
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
Saadet Üneri
Ankara Üniversitesi, Ankara
Ali Fuat Çakır
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Necil Kurtkaya
BOTAŞ Gen. Müd., A.Ş. Ankara
Oktay Akat
AKAT Mühendislik A.Ş. Ankara
Necla Haliloğlu
KOSGEB, Ankara

●●●

**YAYIN DANIŞMA KURULU**
PUBLISHING ADVISORY BOARD
Hayri Yalçın
Gazi Üniversitesi, Ankara
Mehmet Erbil
Çukurova Üniversitesi, Adana
Ahmet Çakır
Dokuz Eylül Üniversitesi,İzmir
Mustafa Ürgen
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Melike Kabasakaloğlu
Gazi Üniversitesi, Ankara
Semra Bilgiç
Ankara Üniversitesi, Ankara
Filiz Sarıoğlu
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
Necati Karavaizoğlu
Türkiye Şeker Fab. A.Ş., Ankara
Vedat Fidan
İller Bankası, Ankara
Ulvi Yıldırım
YUY Katodik Koruma, İstanbul
Münir Alpsoylu
Su-Yapı A.Ş. Ankara
Vedat Yalçın
Noksel Çelik Boru Sanayi A.Ş.
Yves M.Günaltun
TOTAL S.A, Paris/Fransa
Kemal Nişancıoğlu
Norwegian Institute of Technology
NTH-Trondheim, Norveç
M. Tettemanti
De Nora S.p.A., Milano İtalya



"KOROZYON" Dergisi yılda iki defa olmak üzere Korozyon Derneği tarafından yayımlanır.
Yazışma adresi : Korozyon Derneği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA

"JOURNAL OF CORROSION" is published **two** times a year by the Corrosion Association, Deparment of Metalurgical and Materials, Engineering, Middle East Technical University, 06531 ANKARA/TURKEY.

Tel : (90-312) 210 25 29 Tele-Fax : (90-312) 210 25 18, E-mail : korozyon@korozyondernegi.org.tr
www.korozyondernegi.org.tr

Dizgi ve Baskı : Poyraz Ofset Tel: (312) 384 19 42 - 15 • Fax : (312) 384 18 77

KOROZYON BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
CORROSION SCIENCE AND ENGINEERING

# KLORÜRLÜ ORTAMLARDA BETONARME ÇELİĞİNİN ELEKTROKİMYASAL DAVRANIŞLARINA ASETAT İYONUNUN ETKİLERİ

Caner MENEKŞE
Güray KILINÇÇEKER*

**ÖZET**

Bu çalışmada %3.5 NaCl içeren ortamdaki betonarme çeliğinin korozyonuna oda sıcaklığında asetat iyonunun etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda elektrokimyasal üç elektrot tekniği uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar da, asetat iyonunun betonarme çeliğinin korozyon hızını azaltacak yönde etki ettiği saptanmıştır. Ayrıca, değişik bekleme süreleri için korozyon potansiyeli ile polarizasyon direnci arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir.

***THE EFFECT OF ACETATE ION ON ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR OF REINFORCING STEEL IN CHLORIDE SOLUTIONS***

*In this work ,the effect of acetate ion on the corrosion of reinforcing steel in chloride solutions at room temperature were investigated through using the three electrode technique in electrochemical studies. The results obtained indicate, that the acetate ion reduces the corrosion rate of reinforcing steel. In addition, it was observed, that there is no direct correlation between corrosion potential and polarization resistance for various waiting times.*

## 1. GİRİŞ

Korozyon, metallerin içinde bulundukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp normal koşullar altında bile korozyona uğrayabilir. Bütün metaller doğada mineral olarak bulundukları 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[1,2].

Betonarme yapılarda donatı korozyonunun gözlenen en belirgin göstergesi beton örgünün çatlamasıdır. Bu yapılarda olası hasarların teşhis ve kontrolü için, gözle görülen semptomlar yardımlar ile korozyonun kalitatif olarak belirlenmesine ve korozyonla ilgili bazı parametrelerin tespit edilmesine ihtiyaç vardır. Betonarme yapılaşmalarda kendisine oldukça fazla kullanım alanı bulmuş olan demir ve demirli malzemelerin korozyonuna yönelik birçok çalışma vardır. Son yıllarda, ekonomik ve sosyal problemler nedeni ile önem kazanan donatı korozyonu ile ilgili araştırmaların sayısı artmakta, donatı korozyonu deney yöntemleri geliştirilmektedir. Gerek bu deneylerin gerekse korozyon hasarı sonrası tespit ve onarımın zahmetli ve pahalı bir iş olduğu belirlenmiştir. Hasarın geciktirilmesi ve en aza indirilmesi için projenin hazırlanmasından itibaren donatının korozyonu ve neden olacağı hasarlar dikkate alınmalıdır. Bu amaçla deneysel verilerin elde edilmesindeki kolaylık ve sonuçların güvenilirliği açısından elektrokimyasal yöntemlerle korozyon hızının belirlenmesi oldukça kullanışlıdır. Son zamanlarda, betonarme yapılardaki çeliğin korozyonunu önlemek amacıyla kullanılabilecek organik maddeler belirlenmeye çalışılmıştır[3].

Beton en kuru koşullarda bile bir elektrolit ortamı kabul edilebilir. Beton boşlukları içinde daima bir miktar su bulunur. Bu su, çimento klinker bileşiklerinin hidratasyonu sırasında açığa çıkan kalsiyum hidroksit ve az miktarda alkali hidroksitleri nedeni ile alkali özelliktedir.

Beton boşluk suyunun pH değeri doygun halde yaklaşık olarak 12,5 civarındadır. Beton yüksek pH derecesinde bir elektrolit olduğundan beton içinde yürüyen korozyon olayında anod ve katod reaksiyonları aşağıdaki gibidir[4-6].

Anot reaksiyonu : $Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^-$

$Fe^{+2} + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+$

Katot reaksiyonu : $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

Toplam reaksiyon : $Fe + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2$

Katodik reaksiyonun yürümesi için katot yüzeyine oksijen difüzyonu zorunludur. Atmosferden beton içindeki çelik yüzeylerine oksijen taşınımı iki yolla mümkün olabilir:

1. Eğer beton kuru halde

* İletişimle görevli yazar: E-mail: gkilinc@cu.edu.tr

ise, yani beton boşlukları su ile dolu değilse, atmosferde beton iç bölgelerine oksijen taşınım hızı oldukça yüksektir.

2. Aksi halde oksijenin su içinde çözünmüş olarak metal yüzeyine kadar yayınmış olması gerekecektir.

Beton içine oksijen yayınma hızı; beton kalitesine, özellikle beton permeabilitesine bağlıdır. Beton permeabilitesi başta su / çimento oranı olmak üzere betonun hazırlanması ve kürü sırasında bir çok faktöre bağlıdır. Beton hazırlanması sırasında kullanılmış olan su / çimento oranı ne kadar küçük tutulabilirse, beton boşluk yüzdesi ve permeabilitesi de o kadar yüksek olacaktır. Çimento havada veya su altında su ile etkileşerek katılaşabilen ve katılaştıktan sonra suya dayanıklı, temelde kireç, kil, silis ve demir oksitten oluşan hidrolik bağlayıcı bir maddedir. Çimentonun ilkel maddeleri kil ve kalkerdir. Bu maddeler belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra yüksek sıcaklıkta pişirilir. Yüksek sıcaklıkta ilkel maddeler önce ayrılır[7]. Kalker'in ayrışması sonucunda $SiO_2$, $Al_2O_3$ ve $Fe_2O_3$ oluşur:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ (900°C)

Kil içinde bulunan en önemli madde $2SiO_2.Al_2O_3.2H_20$ formülüne sahip kaolinittir.

- $2SiO_2.Al_2O_3.2H_20 \rightarrow 2SiO_2 + Al_2O_3 + 2H_20$

Sıcaklık artışı ile kaolinik

- 700 - 900°C'de $CaO.Al_2O_3$, $CaO.SiO_2$, ve az miktarda $CaO.Fe_2O_3$
- 900 - 950°C'de $5CaO.3Al_2O_3$
- 940 - 1200°C'de $2CaO.SiO_2$
- 1200 - 1300°C'de $3CaO.Al_2O_3$, $4CaO.Fe_2O_3$, ve
- 1200 - 1450°C'de $3CaO.SiO_2$

yapılarına dönüşür. Bu karmaşık ürünlere klinker adı verilir.

Çimentonun içindeki oksitlerin her biri kısaltılmış olarak bir sembolle gösterilir:

$CaO = C$, $Al_2O_3 = A$, $SiO_2 = S$, $Fe_2O_3 = F$, $H_20 = H$

## 2. MATERYAL VE METOD

Betonarme çeliğinin elektrokimyasal davranışları, pH'sı 8 olan %3,5 NaCl, 0,1 M asetat ve %3,5 NaCl + 0,1M asetat içeren ortamlarda; oda sıcaklığında (298 K) incelenmiştir. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler analitik saflıktadır. Çalışma elektrodu olarak, 10 mm çapında 5 cm uzunluğunda teknik saflıkta nervürlü demir çubuklar, TSE'ye uygun portland çimentosunun kullanıldığı beton harcına gömülerek çalışma elektrodu hazırlanmıştır. Karşı elektrot olarak alanı 1,0 $cm^2$ olan pilatin levha, ve karşılaştırma elektrodu olarak da standart kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Çalışmalarda, akım-potansiyel eğrileri potansiyokinetik olarak üç elektrot tekniği ile elde edilmiştir (CHI 604 Elektrokimyasal Analiz Cihazı). Deney süresince çalışma elektrodu %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde bekletilerek çözelti derişimi sabit kalması için destile su ilavesi yapılmıştır. Çalışma elektrotları, kalomel elektroda karşı ölçülen denge potansiyelinden itibaren 0,004 $V.s^{-1}$ hızla, katodik yönden anodik yöne doğru polarize edilerek akım-potansiyel eğrileri çizilmiştir (-2.0 V - + 1.8 V aralığında). Ayrıca, polarizasyon direnci elektrokimyasal impedans spektroskopisiyle 100 kHz - 0,01 Hz aralığında 0,01 mV'luk genlikler uygulayarak belirlenmiştir.

**Çizelge 1.** Portland çimentosu içindeki fazlar.
***Table 1.*** *Phases present in portland cement.*

| Bileşiğin Adı | Oksitleri | Kısa Gösterilişi |
|---|---|---|
| Tri kalsiyum silikat | $3CaO.SiO_2$ | $C_3S$ |
| Di kalsiyum silikat | $2CaO.SiO_2$ | $C_2S$ |
| Tri kalsiyum alüminat | $3CaO.Al_2O_3$ | $C_3A$ |
| Tetra kalsiyum alümina ferr | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ | $C_4AF$ |

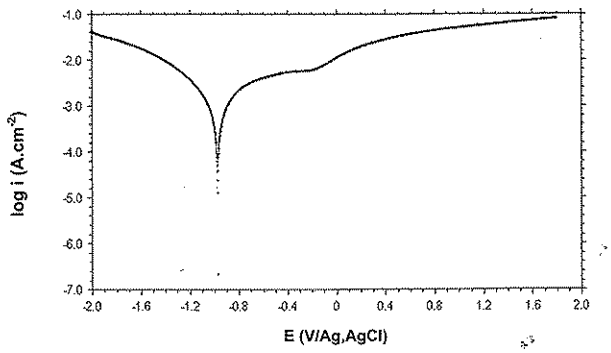
## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Karma Suyu Karışımında Sadece %3.5 NaCl İçeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışı

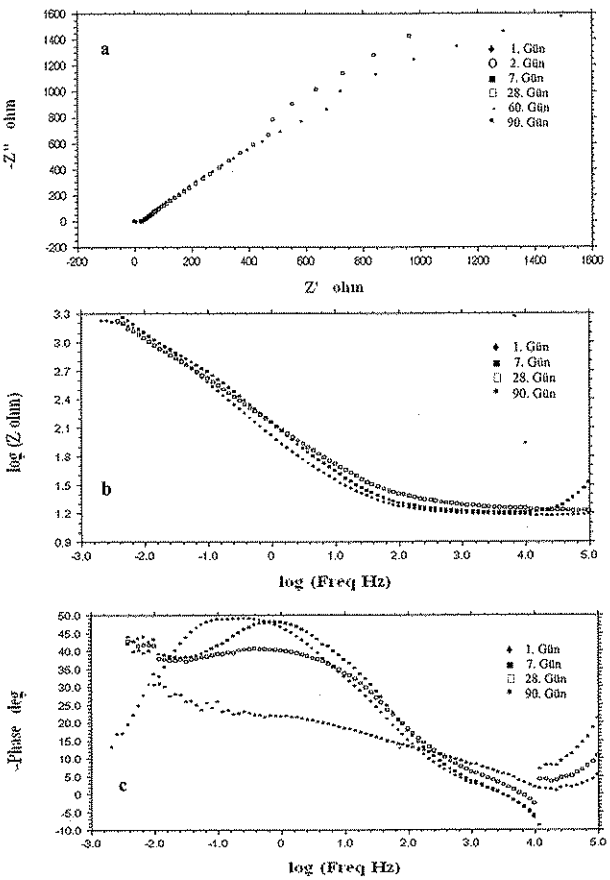
Betonarme çeliğinin sabit sıcaklıkta (298 K), karma suyunda sadece % 3,5 NaCl içeren sulu ortamda elde edilen Tafel eğrileri, Nyquist ve Bode diyagramları sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3' de verilmektedir. Bekleme sürelerinden sonra belirlenen açık devre potansiyeli; 1. günde -0,535 V, 2. günde -0,578 V, 7. günde -0,536 V, 28. günde -0,557 V, 60. günde -0,846 V ve 90. günde -0,669 V olarak ölçülmüştür. Şekil 1' de verilen akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen anodik (+0,800 V) ve katodik (-1,700 V) potansiyellere karşı gelen akım yoğunlukları sırasıyla $2,2440.10^{-2}$ A/$cm^2$ ve $4,3410.10^{-2}$ A/$cm^2$ dir.. Betonarme çeliğin'in; %3,5NaCl içeren ortamda elde edilen Tafel eğrilerinde, katodik tepkime $O_2$ iyonlarının indirgenmesidir. Anodik tepkimeyi ise; düşük potansiyellerde $Fe^{+2}$ iyonları, yüksek potansiyellerde de $Fe^{+3}$ iyonlarının çözünme-çökmesinin oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 2'de verilen Nyquist ve Bode diyagramlarında klorürlü ortam koşullarında betonarme çeliği'nin yüzeyinde 1. günden 7. güne kadar yaklaşık 1000 Ω' luk direncin oluştuğu, bu direncin 7. gün-

den sonra hızla düştüğü ve 90. Gün sonunda yaklaşık 1/10 oranında azalarak 100 Ω seviyelerine düştüğü görülmektedir.




**Şekil 1.** Betonarme Çeliği'nin; % 3,5 NaCl içeren ortamlardaki akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri.
***Figure 1.** Current density-potential curves of Reinforcing Steel in solutions of 3.5 % NaCl.*

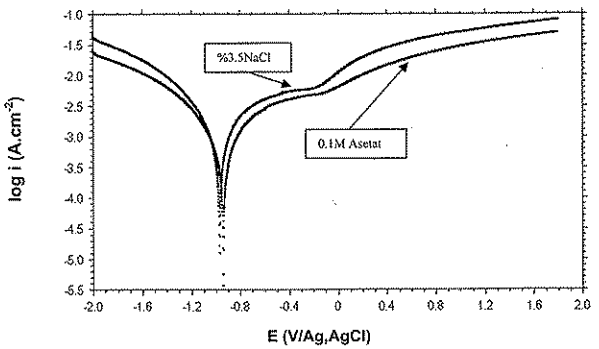



**Şekil 2.** Betonarme çeliği'nin; sadece % 3,5 NaCl içeren ortamlardaki Nyquist (a) ve Bode (b-c) diyagramları.
***Figure 2.** Nyquist (a) and Bode (b-c) diagrams of reinforcing steel in solutions of 3.5 % NaCl.*

### 3.2 Karma Suyu Karışımında Asetat İyonu İçeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışı

0.1M asetat içeren ortamdaki betonarme çeliği'nin akım yoğunluğu- potansiyel eğrisi, Nyquist ve Bode diyagramı Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. 0.1M asetat içeren ortamda elde edilen akım-potansiyel eğrisinden (Şekil 3), betonarme çeliği'nin korozyon potansiyeli; 1. günde -0,531 V, 2. günde -0,522 V, 7. günde -0,493 V, 28. günde -0,514 V, 60. günde -0,711 V ve 90. günde -0,589 V olarak ölçülmüştür. Anodik (+0,800) ve katodik (-1,700) yöndeki korozyon akım yoğunluklarında dikkate değer bir azalma meydana gelmiştir (0,1M asetat iyonu için anodik ve katodik akım yoğunlukları sırasıyla $1{,}3670.10^{-2}$ ve $2{,}4110.10^{-2}$ A/cm$^2$ dir). Asetat iyonunun betonarme çeliğinin yüzeyindeki çözünmüş oksijen derişimini düşürerek katodik tepkime hızının azalmasına neden olduğu anlaşılmaktadır[8-9].

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.a ve 4.b'de verilmektedir. Şekil 4.a ve 4.b'ye bakıldığında, 1. ve 2. günden itibaren betonarme çeliğinin üzerinde polarizasyon direncinin yüksek olduğu ve 7. günden 60. güne kadar yavaş bir şekilde 60. günden sonra ise hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 1. ve 2. 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 90. günün sonunda ise polarizasyon direncinin ilk gündekinden yaklaşık 1/3 oranında azalarak polarizasyon direncinin en alt seviyeye indiği anlaşılmaktadır.

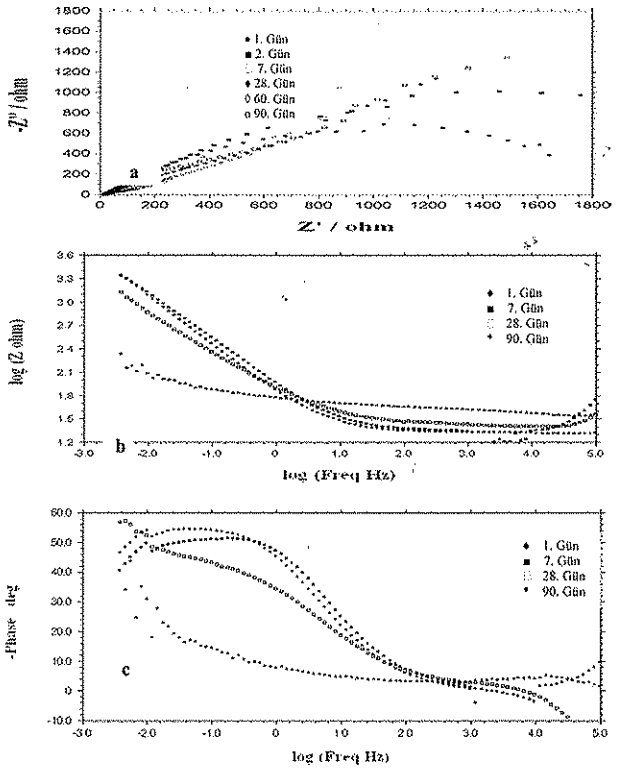



**Şekil 3.** Betonarme çeliği'nin; 0,1M asetat iyonu içeren ortamlardaki akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri.
***Figure 3.** Current density-potential curves of reinforcing steel in solutions of 0,1M acetate ion.*

### 3.3 Karma Suyu Karışımında %3.5 NaCl + Asetat İyonu İçeren Betonarme Çeliğinin Elektrokimyasal Davranışı

Korozyon hızı belirleme yöntemleri sonucunda elde edilen Tafel eğrileri, Nyquist ve Bode diyag-

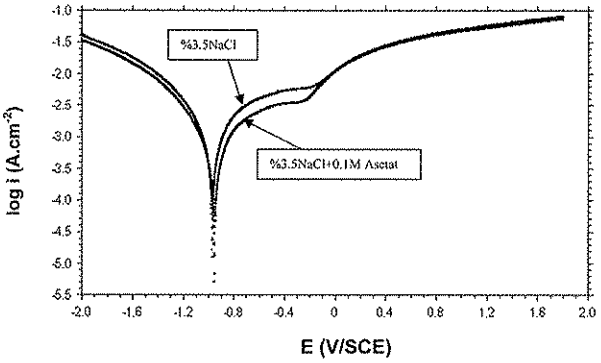
ramları Şekil 5 ve 6'da verilmektedir. Akım-potansiyel eğrisinden (Şekil 5) korozyon potansiyelleri dikkate alındığında, ortama asetat iyonu ilave edilmesiyle korozyon potansiyellerinin daha pozitif değerlere kaydığı anlaşılmaktadır (1. günde -0,507 V, 2. günde -0,523 V, 7. günde -0,534 V, 28. günde -




**Şekil 4.** Betonarme çeliğinin; sadece 0,1 M asetat iyonu içeren ortamlardaki Nyquist (a) ve Bode (b-c) diyagramları.
***Figure 4.*** *Nyquist (a) and Bode (b-c) diagrams of reinforcing steel in solutions of 0.1 M acetate ion.*

0,546 V, 60. günde -0,655 V ve 90. günde -0,653 V). Asetat iyonunun betonarme çeliğinin yüzeyine adsorbe olması sonucu korozyon tepkimesinin katodik yöndeki akım yoğunluklarında dikkate değer bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir (0.1M asetat iyonu içeren çözeltideki katodik akım yoğunluğu $1,8630.10^{-2}$ A/cm$^2$ dir). Bununla birlikte, anodik polarizasyon davranışları, sadece klorür içeren ortamlarda elde edilenlere kısmen benzemektedir. Ortamda bulunan asetat iyonunun, hem yüzeyi kapatma etkisi yaparak, hem de korozif bileşenleri uzaklaştırarak (çözünmüş oksijeni azaltarak) akım yoğunluklarının azalmasına neden olduğu görülmektedir. Bu davranışın nedenin yüzeyde oluşan oksit tabakasının zamanla poröz yapı kazanması ve su difüzyonunun artması gösterilebilir[10,11].

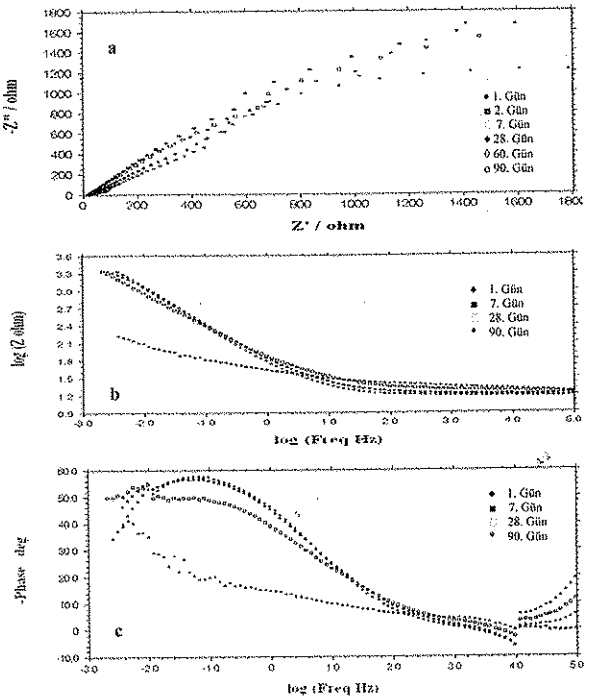
Temas suyunda % 3.5 NaCl bulunan ortamlara daldırılan ve karma suyunda %3.5 NaCl ile 0.1 M asetat içeren betonarme elektrotların Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi yöntemi sonucu elde edilen Nyquist ve Bode diyagramlarında Şekil 5 ve 6'ya bakıldığında, 1., 2., 7., 28., 60. ve 90. gün koşullarındaki direnç değerlerinin sırasıyla; 1082 Ω, 1211 Ω, 1164 Ω, 832 Ω, 644 Ω ve 107 Ω, olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 1., 2. ve 7. günde kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonra bu pasif




**Şekil 5.** Betonarme çeliği'nin; %3,5 NaCl + 0,1 M asetat iyonu içeren ortamlardaki akım yoğunluğu potansiyel eğrileri.
***Figure 5.*** *Current density-potential curves of reinforcing steel in solutions of %3.5 NaCl + 0.1 M acetate ion.*

tabakanın 60. güne kadar yavaş 60. günden sonra ise hızlı bir şekilde kararlılığını yitirmeye başladığı anlaşılmaktadır.

Temas suyunda %3,5 NaCl, karma sularında ise; %3,5 NaCl, 0,1M asetat iyonu ve %3,5 NaCl+0,1M asetat iyonu içeren ortamlarda elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen anodik (+0,800 V) ve katodik (-1,700 V) akım yoğunlukları ile, kurulan denge anındaki potansiyel değerleri, açık devre potansiyelinden itibaren ±7 mV potansiyel aralığında elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden belirlenen polarizasyon dirençleri ile birlikte Çizelge 2'de verilmektedir. Nyquist diyagramlarından bulunan polarizasyon dirençleri; NaCl için 1. günden 28. güne kadar sabit gittiği 28. günden sonra hızlı bir şekilde azaldığı, asetatlı ortamlarda ise 1. ve 2. günden itibaren betonarme çeliğinin üzerinde polarizasyon direncinin yüksek olduğu ve 7. günden 60. güne kadar yavaş bir şekilde 60. günden sonra hızlı bir şekilde azaldığı ve NaCl + asetatlı ortamlarda ise, 7. güne kadar polarizasyon direncinin arttığı, 7. günden 60. güne kadar azaldığı ve 90. gün sonunda kararlılığını kaybettiği görülmektedir. Akım-potansiyel eğrisinden ise akım yoğunluğu en fazla olan %3,5 NaCl içeren, en az akım yoğunluğuna sahip olanın ise 0,1 M asetat iyonu içeren ortamlar olduğu anlaşılmaktadır.




**Şekil 6.** Betonarme Çeliği'nin; sadece %3,5 NaCl + 0,1 M Asetat iyonu içeren ortamlardaki Nyquist (a) ve Bode (b-c) diyagramları.
***Figure 6.*** *Nyquist(a) and Bode (b-c) diagrams of Reinforcing Steel in solutions of 3.5 % NaCl + 0.1 M Acetate ion.*

**Çizelge 2.** Karma suyu içeriğine göre farlı bileşimlerde olan betonarme elektrotlardan potansiyokinetik yöntemlerle elde edilen elektrokimyasal nicelikler.
***Table 2.*** *Electrochemical data obtained through potentiokinetic techniques from concrete specimens of different compositions.*

| Karma Suyu İçeriği | Ölçüm | $E_{cor}$ (V/SCE) | Rp (ohm) | $I_a$ ($A/cm^2$) $x10^{-2}$ |
|---|---|---|---|---|
| %3.5 $Cl^-$ | 1 | -0,535 | 1132 | --- |
| %3.5 $Cl^-$ | 2 | -0,578 | 930 | --- |
| %3.5 $Cl^-$ | 7 | -0,536 | 1190 | --- |
| %3.5 $Cl^-$ | 28 | -0,557 | 638 | --- |
| %3.5 $Cl^-$ | 60 | -0,846 | 177 | --- |
| %3.5 $Cl^-$ | 90 | -0,669 | 108 | 2,244 |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 1 | -0,531 | 1094 | --- |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 2 | -0,522 | 1348 | --- |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 7 | -0,493 | 1126 | --- |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 28 | -0,514 | 928 | --- |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 60 | -0,711 | 760 | --- |
| 0.1 M $CH_3COO^-$ | 90 | -0,589 | 302 | 1,3670 |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 1 | -0,507 | 1082 | --- |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 2 | -0,523 | 1211 | --- |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 7 | -0,534 | 1164 | --- |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 28 | -0,546 | 832 | --- |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 60 | -0,655 | 644 | --- |
| %3.5 $Cl^-$+ 0.1 M $CH_3COO^-$ | 90 | -0,653 | 107 | 1,8630 |

## 4. SONUÇLAR

Betonarme çeliğinin; Cl-, $CH_3COO$- ve Cl- + $CH_3COO$- içeren ortamlardaki korozyonunu konu alan bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Asetat iyonlarının bu koşullarda betonarme çeliğinin yüzeyinde sınırlı seviyede bir inhibisyona neden olduğu akım-potansiyel eğrileri ve Nyquist diyagramlarından anlaşılmaktadır[12,13].
2. Asetat iyonu içeren klorürlü ortamlarda, betonarme çeliğinin katodik akım yoğunluğu ve korozyon potansiyeline karşı gelen anodik akım yoğunluğu dikkate alındığında, korozyon hızında önemli miktarda azalma görülmektedir. Ayrıca, betonarme çeliğinin yüzeyinde meydana gelen polarizasyon direnci 1. günden 90. güne kadar oldukça büyüktür.
3. Klorürlü ortamlara Asetat iyonu ilavesi ile hazırlanan betonarme elektrodun polarizasyon direncinin, sadece klorür iyonu ile hazırlanmış olan ortamlara oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Akım yoğunluğu-potansiyel eğrilerinden, polarizasyon direncindeki artışla orantılı olarak, korozyon potansiyeli dolayında korozyon hızında belirgin bir azalmanın meydana geldiği anlaşılmaktadır.


## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederler. (Proje No: FEF2006YL46).


## KAYNAKÇA


1. S. Üneri, (1980), Korozyon 1, Korozyon Mühendisliği, SEGEM Yayınları, Ankara.
2. M. Erbil, (1980), Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması, Ankara
3. Üniversitesi Fen Fakültesi Fizikokimya Kürsüsü, Ankara.
4. H. Kahyaoğlu, (Ekim 1998 ), Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya
5. Anabilim Dalı.
6. 4. Batis ,E.Rakanta, (2005), Corrosion of Steel Reinforcement Due to Atmospheric Pollution Cement
7. and Concrete Research 27, 269-275.
8. A.B. Yılmaz, İ. Dehri ve M. Erbil, ( 2003 ), Karma Suyu pH Değişiminin Beton BasınçDayanımınave Betonarme Demirinin Korozyon Potansiyeline Etkisi, IV. Elektrokimya Günleri 146-149.
9. T. Kikuchi, K. Aramaki, ( 2000 ), The Inhibition Effects of Anion and Cation Inhibitors on
10. Corrosion of Iron in an Anhydrous Acetonitrile Solution of FeCl3 Corrosion Science 42, 817- 829.
11. 7. O. Kayali . B. Zhu, ( 2005 ), Corrosion Performance of Medium-Strength and Silica Fume High
12. Strength Reinforced Concrete in a Chloride Solution Cement & Concrete Composites 27, 117-124.
13. 8. G. Kılınççeker, B.Yazıcı, A.B. Yılmaz, M. Erbil, British Corrosion Journal, (2002), Vol. 37(1), p. 1-8.
14. 9. Jinagyuan Hou, D.D.L. Chung, ( 2000 ), Effect of Admixtures in

Concrete on the Corrosion Resistance of Steel Reinforced Concrete Corrosion Science 42, 1489 -1507.
15. 10. S. Masadeh , Corrosion and Rehabilitation of Steel Reinforced Concrete Structure Exposed to Dead Sea Water 2006. X. International Corrosion Symposium- Adana. 198-206.
16. 11. A.A. Gürten, K. Kayakırılmaz, M. Erbil, The Effect of Thiosemicarbazide on Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Concrete 2007. Construction and Building Materials 21. 669-676.
17. 12. G. Qiao, , J. Ou, 2007, Corrosion Monitoring of Reinforcing Steel in Cement Mortar by EIS and ENA. Electrochimica Acta 52. 8008-8019.
18. 13. G. Kılınççeker, B. Yazıcı, M. Erbil, H. Galip, "The effect of phosphate ions (PO3-4) on the corrosion of iron in sulphate solutions," Turk. J. Chem., 1999, 23, 41-50.

## YAZARLAR

Caner Menekşe, *Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Böl., Adana.*

Güray Kılınççeker, *Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Böl., Adana.*