

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif ÜLGER

GLİKOZUN BETONARME ÇELİĞİ KOROZYONUNA ETKİSİ

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA, 2006

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GLİKOZUN BETONARME ÇELİĞİ KOROZYONUNA ETKİSİ

**Elif ÜLGER
YÜKSEK LİSANS
KİMYA ANABİLİM DALI**

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

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

Bu tez Enstitümüz Kimya Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

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

Proje No: FEF2005YL23

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

GLİKOZUN BETONARME ÇELİĞİ KOROZYONUNA ETKİSİ

Elif ÜLGER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Güray KILINÇÇEKER

Yıl: 2006

Sayfa: 56

Jüri: Yrd.Doç.Dr. Güray KILINÇÇEKER

Prof.Dr. Mehmet ERBİL

Doç.Dr. Hatice GÜVENMEZ

Betonarme çeliğinin klorürlü ve klorürsüz ortamlarda korozyon davranışlarına glikozun etkisi potansiyokinetik olarak incelenmiştir. Çalışmalarda elektrokimyasal üç elektrot tekniği uygulanmıştır. Betonarme elektrod, Ag/AgCl elektroda karşı korozyon potansiyelinden itibaren önce katodik yönde sonra da anodik yönde polarizlenerek akım-potansiyel eğrileri çizilmiştir. Ayrıca Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisiyle polarizasyon dirençleri belirlenmiştir. Hazırlanan beton örneklerinde su çimento oranı 0,45 seçilmiştir. Ayrıca betonarme örneklerin 60 gün boyunca temas suyu pH'ları ve iletkenlikleri takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Korozyon, Betonarme Çeliği, Korozyon Potansiyeli, Glikoz.

ABSTRACT

Msc THESIS

THE EFFECT OF GLUCOSE ON THE CORROSION OF REINFORCING STEEL

Elif ÜLGER

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

Supervisor : Asst Prof. Güray KILINÇÇEKER

Year: 2006 **Page:** 56

Jury: Asst. Prof.Dr. Güray KILINÇÇEKER

Prof. Dr. Mehmet ERBİL

Assoc. Prof.Dr. Hatice GÜVENMEZ

The effects of glucose on the corrosion behaviour of reinforced steel in chloride and without chloride solutions have been investigated. The three-electrode technique has been employed as the electrochemical method. The cathodic and anodic current-potential curves of reinforcing steel were drawn starting from the open circuit potential measured against Ag/AgCl. Polarization resistances were determined by electrochemical impedance spectroscopy. By embedding the electrodes into the concrete specimens having W/C ratio of 0.45.

Key Words: Concrete, Corrosion, Reinforcing steel, Corrosion Potential, Glucose.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bana yardımcı olan, sürekli ilgilenip bilgi aktarımı ve yönlendirmede bulunan çok değerli danışmanım, Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr.Güray KILINÇÇEKER'e, ve Sayın Hocam Prof.Dr.Mehmet ERBİL'e, Sayın Hocam Prof.Dr.Birgül YAZICI'ya, Sayın Hocam Prof.Dr.İlyas DEHRİ'ye ve Yrd.Doç.Dr.Gülfeza KARDAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarında her konuda desteklerini gördüğüm Arş.Gör.Hülya KELEŞ, Arş.Gör.Ramazan SOLMAZ ve Arş.Gör.Süleyman YALÇINKAYA'ya ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

SAYFA

NO

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	
III	
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Beton	3
1.3. Çimento.....	4
1.3.1. Çimento Türleri.....	4
1.3.2. Çimentonun Hidratasyonu	5
1.3.3. Sertleşme Olayı (Hidratasyon Yapmış Çimentonun İç Yapısı)	6
1.3.4. Porozite ve Geçirgenlik.....	6
1.4. Agregalar.....	7
1.5. Beton Karma Suyu.....	8
1.6. Su / Çimento (W/C) Oranı.....	8
1.7. Betona Zarar Veren Kimyasal Olaylar.....	9
1.7.1. Klorür Tuzlarının Etkisi.....	10
1.8. Korozyon Hakkında Genel Bilgi.....	11
1.8.1. Demirin Klorürlü Ortamlarda Korozyonu.....	12

1.8.2. Demir – Su Sistemi İçin Elektrokimyasal Denge Çizgisi	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	16
3. MATERYAL METOD.....	31
3.1. Materyal.....	31
3.2. Metod.....	32
3.2.1. Elektrotların Hazırlanması	32
3.2.2. Elektrokimyasal Ölçümler	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1. İmpedans Spektrum Bulgularının Değerlendirilmesi	35
4.2. Akım Potansiyel Eğrilerinin Değerlendirilmesi.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	60
EKLER.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
NO	
Çizelge 1.1. Türkiye’de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldıkları Alanlar	5
Çizelge 1.2. Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler.....	9
Çizelge 3.1. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Analizleri ve Fiziksel Özellikleri...	31
Çizelge. 3.2. Kullanılan Temas ve Karma Suları.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

NO

Şekil 1.1. Demir – su sistemi için Pourbaix tarafından elde edilen potansiyel – pH diyagramı.....	26
Şekil 3.1. Çalışma Elektrodu.....	33
Şekil 3.2. Deney düzeneği.....	34
Şekil 4.1. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	36
Şekil 4.2. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	37
Şekil 4.3. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin glikozlu ve klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	38
Şekil 4.4. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	39
Şekil 4.5. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	40
Şekil 4.6. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin glikoz ve klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	41
Şekil 4.7. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	42
Şekil 4.8. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	43

Şekil 4.9. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin klorür ve glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	44
Şekil 4.10. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	45
Şekil 4.11. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	46
Şekil 4.12. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin glikoz ve klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).....	47
Şekil 4.2.1. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki akım potansiyel eğrileri	49
Şekil 4.2.2. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki akım potansiyel eğrileri	50
Şekil 4.2.3. Karma suyu glikoz + klorür olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki akım potansiyel eğrileri	51
Şekil 4.2.4. Karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki akım potansiyel eğrileri	52

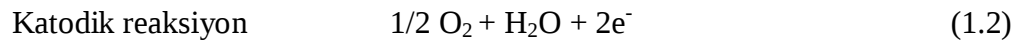
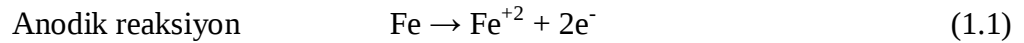
SİMGELER VE KISALTMALAR

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
ω	: Alternatif akım frekansı
Z'	: Gerçek impedans
Z''	: Kompleks impedans
ClTH	: Klorür konsantrasyonu eşik değeri ve
ρ	: Direnç
(SCE)	: Doygun kalomel elektrot
$Ag/AgCl, Cl^-$	: Gümüş, gümüş klorür referans elektrot
W/C	: Su/Çimento oranı

1. GİRİŞ

Beton çok geniş uygulama alanı olan bir yapı malzemesidir. Bu malzemenin basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen, çekme dayanımı düşük olduğundan taşıyıcı sistemlerde kullanılırken içerisine demir 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (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 (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 iyonları) pas payı beton tabakasını geçerek donatıya ulaşır. Bu

geçiş önlemenin en kestirme yolu pas payı betonunu boşluksuz, geçirimsiz kılmaktır, kalıcı, yapısal önlem budur (Öztekin; 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 1.1, 1.2 ve 1.3'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 penetre 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 methodlar korozyon hızı ve derecesi hakkında bilgi verirken (lineer polarizasyon ve kütle kaybı gibi), bazı methodlar da (EIS ve siklik voltametri gibi) genellikle pasif tabaka ve depasivasyon hakkında bilgi verir (Foulkes ve ark., 1999).

1.1. 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 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, glikozun betonarme demirinin korozyonuna etkileri araştırılmıştır.

Karma suyu ve temas suyu olarak kullanılan klorürlü, glikozlu veya klorür + glikozlu çözeltiler olan koşullarda betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları incelenmiştir.

1.2. 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. Betonu diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli

özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra katılaşır ve zamanla dayanım kazanır. Betonun özellikleri beton karışımında kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir (Ersoy, 1985).

1.3. Çimento

Çimento, kalker ve kil taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen hidrolik bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşarak taşlaşmaya başlar. Priz olarak adlandırılan bu katılaşmanın süresi, ortamın koşullarına bağlıdır. Normal koşullar altında katılaşma 1 ile 10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılaşma hızlanır. Katılaşma 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).

1.3.1. 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).

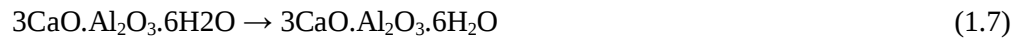
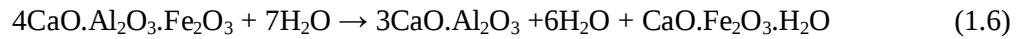
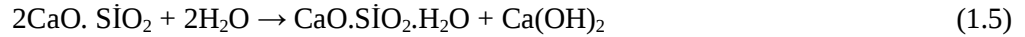
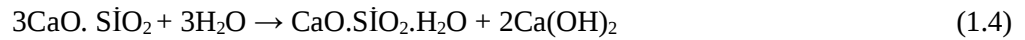
Türkiyede üretilen ve TSE’de yer alan çimento çeşitleri ve kullanıldıkları yerler çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Türkiye’de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldıkları Alanlar

ÇİMENTONUN ADI	STANDART NO	KULLANILDIĞI ALANLAR
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
Traslı 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(PÇ325)	TS 809	Sualtı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Erken Dayanımlı Yüksek Çimentosu(EYÇ510)	TS 3646	Demiryolu traverslerinde

1.3.2. 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. Katılaşan çimento

zamanla mukavemet kazanır. Bu sürece çimentonun olgunlaşması denir (Ersoy, 1985; Yalçın ve Koç, 1999).

1.3.3. 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).

1.3.4. 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 rötire 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).

1.4. Agregalar

Kum ve çakıl (veya kırma taşı) karışımı agrega olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 0,7 mm arasında olan agrega 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. Agreganın betona girmesi hem bu hacim değişikliğini azaltır, hem de agrega çimentodan daha ucuz olduğundan ekonomi sağlar. Betonun iyi işlenebilmesi için agreganın granülometresi çok önemlidir.

Granülometre, geçirimsizlik, rötire ve sünmeyi de önemli ölçüde 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 agrega da (7-70 mm.) doğal veya

yapay olabilir. Doğal agerğa 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 tane çaplarının karışım içinde belirli oranlarda bulunması gerekir. Başka bir deyişle, kum ve çakıl karışımının granülometrik bileşimi belli sınırlar içinde kalmalıdır(Ersoy, 1985). Agerğa ile ilgili Türk Standardı TS-706'dır.

1.5. Beton Karma Suyu

Beton harcının hazırlanmasında kullanılan suyun priz sırasında, çimentonun hidratasyonunu sağlamak, karışıma istenen işlenebilirliği vermek ve agregayı doygun 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 metotlarıyla 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 hidratasyon 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 .

1.6. Su / Çimento (W/C) Oranı

Beton dayanımı ile W / C oranı ters olarak değişir. Dayanım betonu en önemli karakteristik özelliğidir. Diğer bir çok 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;

- En büyük agrega boyutundan,
- Agrega tane boyut dağılımı (granülometri), şekil ve yüzey pürüzlülüğünden,
- Kullanılan çimento cinsinden,
- Betondaki hava miktarından,
- 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.

1.7. 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

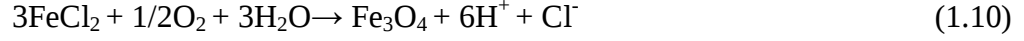
Zararlı Kimyasal etkisi olan iyonlar	Zarar Etkinlik Derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
pH değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Kireç Çözücü mg/1 (CO ₂)	15-30	30-60	>60
Amonyum mg/1 (NH ₄ ⁺)	15-30	30-60	>60
Mg ⁺² mg/1	100-300	300-1500	>1500
Sülfat(SO ₄ ⁻²) mg/1	200-600	600-3000	>3000

1.7.1. 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 agreganın 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 rastlanana 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 hidratasyon 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 çözünmüş 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 çözeltiye 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 1.8, 1.9, 1.10 eşitliklerinden açıkça görüldüğü üzere klorür iyonu doğrudan korozyon yaratmaz. Ancak bir katalizör gibi korozyon olayının hızını artırıcı olarak rol oynar (Yalçın ve Koç, 1999; Jamil ve Ark., 2003).



1.8. Korozyon Hakkında Genel Bilgi

Korozyon, metallerin içinde bulundukları 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 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 (M.Erbil, 1980).

Korozyon, elektriksel ara yüzey olarak adlandırılan elektrot/elektrolit ara yüzeyinde olur. Elektriksel ara yüzey terimi bir elektrolitin sınırındaki fazlar arasındaki bölgeyi oluşturan iyonlar, yönelmiş dipoller ve elektronların sıralanışını anlatmak için kullanılır(H.Kahyaoğlu, 1998; G.Kılınççeker, 1999).

Elektrot / elektrolit ara yüzeylerinde yürüyen tepkimeler başlıca beş kademede gerçekleşir:

a)Difüzlenme: Elektrolit içerisindeki iyon ve moleküller elektrot yüzeyine doğru difüzlenirler.

b)Adsorplanma: Yüzeye kadar difüzlenmiş moleküller yüzeyde adsorbe olur

c)Reaksiyon kademesi: Yüzeyde adsorbe olmuş moleküller elektrokimyasal tepkimeye uğrar.

d)Desorplanma: Yüzeyde oluşan ürünler desorbe olur.

e)Geriye difüzlenme: Desorbe olmuş ürün molekülleri yüzeyden çözelti içine doğru difüzlenir.

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.

1.8.1. Demirin Klorürlü Ortamlarda Korozyonu

Cl^- iyonu gibi zararlı iyonlar metal yüzeyindeki koruyucu oksit tabakasını parçalayarak çözünmeyi hızlandırmaktadır. Asitli ortamlarda ve yüksek Cl^- derişimlerinde ($C_{\text{Cl}^-} = 5 \text{ M}$) demirin çözünmesinin aşağıda verilen iki ayrı mekanizmaya göre olabileceği ileri sürülmektedir (Erbil, 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.

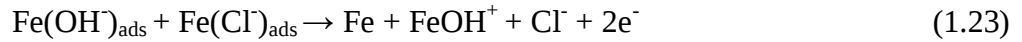
2. Ara ürünlerin Temkin koşullarında adsorplandığı, başka bir deyişle adsorpsiyon enerjisine gereksinim olduğu varsayımına dayanan çözünme mekanizması:





Burada FeX_{ads} ara ürününün Temkin izotermine uyarak adsorplandığı kabul edilmektedir.

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



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

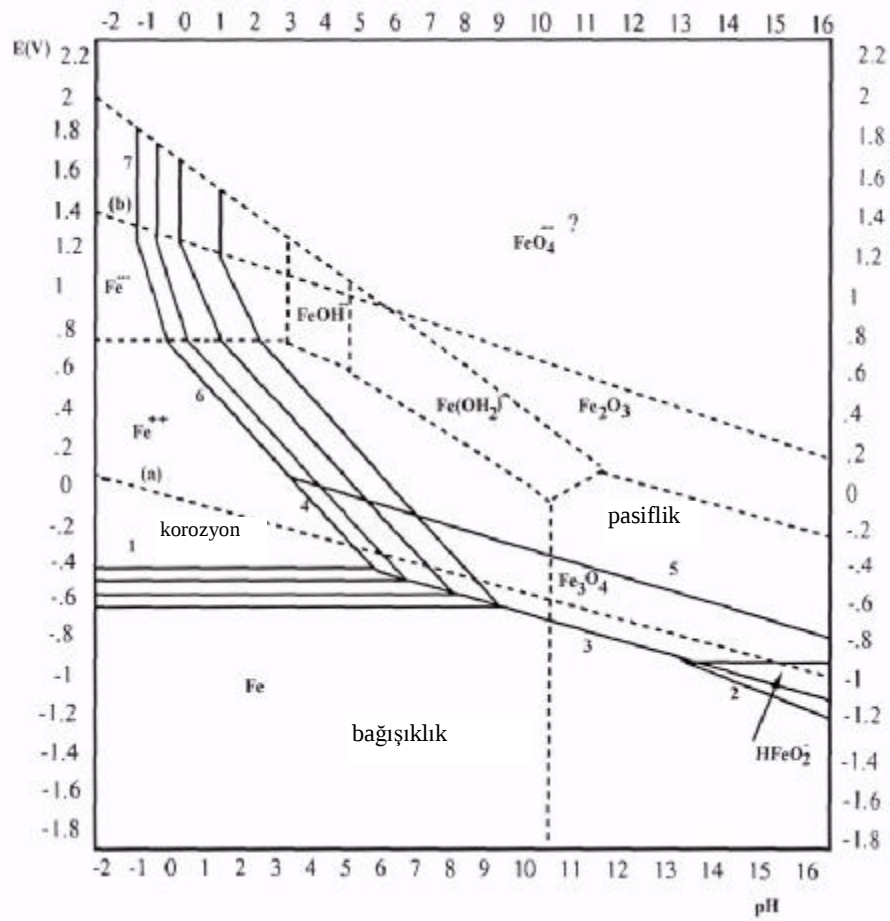
Çukur korozyonunda, korozyonun başlaması ve sürmesi için gerekli koşullar kendiliğinden oluştuğundan olayın oto katalitik olduğu kabul edilir. Çukur içinde metal hızla çözünürken metal yüzeyinde oksijen indirgenir. Bu olay kendiliğinden başlar ve genişler. Çukur içinde metalin hızla çözünmesiyle çok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

1.8.2. Demir – Su Sistemi İçin Elektrokimyasal Denge Çizgisi

Korozyon olaylarında elektrokimyasal tepkimelerin de yürüdüğü kanıtlandıktan sonra korozyon sorunlarının kimyasal termodinamik yardımıyla çözümlenemeyeceği, elektrokimyasal termodinamikten yararlanılması gerektiği düşünülmüştür. Pourbaix ve arkadaşları (1966) tarafından bir çok elementin 25 °C sıcaklıkta Pourbaix çizgeleri oluşturulmuştur. Bu çizgelerde söz konusu korozyon olaylarında ortamın pH'ı elektrot potansiyellerine karşı çizgelere geçirilmiştir. Ayrıca korozyon sırasında iyonlara ayrışa varsa iyonlaşma sabiti, katı bir özdek çözünüyorsa onun çözünürlük sabitinden yararlanılmıştır.

Şekil 1.1. Demir-su sistemi için Pourbaix tarafından elde edilen potansiyel-pH diyagramı



Demir – su sisteminin potansiyel – pH çizgesinin 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 (ya da 0.06 mg demir/l) daha az çözünüyorsa korozyona uğrayan kabul edilir (Üneri, 1981).

Şekil 1.1.'de a ve b doğruları tersinir hidrojen oksijen elektrotları için $P_{H_2}=P_{O_2}= 1$ atmosferde potansiyel – pH bağıntılarını verir. (a) ve (b) doğrularıyla sınırlanan alan içinde su termodinamik bakımından kararlıdır.

Bu diyagram üzerindeki bölgeler ve bu bölgelerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

İyonların olduğu bölgeler korozyon bölgesi, oksitlerin olduğu bölgeler ise pasiflik bölgesidir. Korozyon bölgeleri: 1 numaralı doğrunun üstü, Fe^{+2} (çöz) ya da $HFeO_2^-$ (çöz) aktifliği $> 10^{-6}$ gr iyon / l (katyonlar için 0.06 ppm Fe). Asitli çözeltide, düşük potansiyellerde demir, Fe^{+2} 'a yükseltgenir. E'nin (a) dan küçük ya da büyük olmasına göre su hidrojene indirgenir ya da karalı olarak kalır. Yüksek potansiyellerde demir, Fe^{+3} 'a yükseltgenir ve Fe_2O_3 , Fe^{+3} oluşturarak çözünür. E'nin (b) nin altında su ya karalı olur ya da oksijene yükseltgenir.

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

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

M. Erbil, B. Yazıcı, İ. Dehri, G. 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.

A.B. Yılmaz, (1994), Çevresel etkilerle veya beton karma suyu yoluyla, beton yapısına giren, istenmeyen iyonların (Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{+2} , NH_4^+ ve S^- gibi) beton dayanımına ve betonarme çeliğine etkileri ile söz edilen bu etkilerin pH ile ilişkisi araştırılmıştır. Çalışılan bu iyonların farklı derişimlerinden oluşan karma suları ile hazırlanan beton örnekler, karma suyuyla aynı bileşimde su ve saf su banyolarında, iki farklı pH ortamında (8 ve 5) kür yapılarak, 90 gün süreyle basınç dayanımları, temas suyunun pH ve klorür iyon derişimleri, betonarme çeliğinin galvanik akım değişimi ve korozyon potansiyelleri takip edilmiştir.

Seçilen beş iyonun da yüksek derişimlerinin pH'a bağlı olmaksızın basınç dayanımlarını düşürdüğü, yalnız NH_4^+ ve S^- iyonlarının beton dayanımına olumsuz etkisinin pH'a bağlı olduğu gösterilmiştir. Betonun temasta bulunduğu ortam ile derişim gradiyenti büyütülerek, bu iyonların olgunlaşma süresinde difüzyon yoluyla beton ortamından uzaklaştırılması çalışılmış ve bu yolla beton dayanımının arttırılabileceği, aynı zamanda betonarme çeliğinin korozyonunun azaltılabileceği gösterilmiştir.

B. Yazıcı, M. Erbil, İ. Dehri, G. Tatlı, H. Galip, (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.

M. Altındağ, (1995), bu açışmada çevresel etkilerle veya beton karma suyu yoluyla, beton yapısına giren bazı iyonların (Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- gibi) beton dayanımına ve betonarme demirine etkileri araştırılmıştır. Saf su %3,5 NaCl ile hazırlanan betonarme örneklerin %3,5 NaCl ortamında, saf su ve 4000 ppm Na_2SO_4 ile hazırlanan örneklerin 4000 ppm Na_2SO_4 ortamında, saf su ve %3,5 NaCl + 4000 ppm Na_2SO_4 ile hazırlanan örneklerin %3,5 NaCl + 4000 ppm Na_2SO_4 ortamında, 1M CH_3COONa ve 1M CH_3COONa + %3,5 NaCl ile hazırlanan betonarme örneklerin %3,5 NaCl ortamında akım-potansiyel değişimleri ile çözeltilerdeki pH ve iletkenlikleri, Cl^- ve SO_4^{2-} derişimleri 1,2,7 ve 29. günlerde belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; klorür iyonlarının hem beton dayanımına hem de betonarme demirine korozyon ett yaptığı, sülfat iyonlarının ettringit oluşumuyla beton dayanımını düşürmesine karşın, betonarme demirine başlangıçta etkin olmazken zamanla klorür difüzyonuna katkı sağlayarak etkin olduğu, asetat iyonlarının ise beton porlarını tıkayamaması nedeniyle klor geçişini engelleyemediğinden, beklenen inhibisyon etkisini göstermediği belirlenmiştir.

G. Balbanic, A. Bianic, Durekovic, (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 artmışığı 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.

A.B. Yılmaz, B. Yazıcı, M. Erbil, (1996), Standart bileşimli karma suyunda ve magnezyum iyonlarının iki farklı derişiminde (200-1600 ppm) hazırlanan beton örnekler, karma suyu ile aynı bileşimli su banyolarında, iki farklı başlangıç pH (8 ve 5) ortamında kür yapılarak, 90 gün süreyle basınç dayanımları, betonun pH'ı betonarme demirinin galvanik akım ve potansiyelleri (Ag/AgCl karşıt elektrod kullanılarak) takip edilmiştir. magnezyum iyonu derişimi arttıkça beton basınç dayanımındaki artış azalmakta, temas ortamı saf su seçildiğinde dayanım artmaktadır. Betonarme demirinde ilk 28 günde galvanik akımların yüksek olduğu, daha sonra azaldığı ve potansiyellerin ise magnezyum derişiminin düşük olduğu ortamlarda demirin pasiflik potansiyeline kadar yükseldiği bulunmuştur.

F. Aköz, N. Yüzer, S. Koral, (1996), betonarme elemanlarla, klorürlerin dışarıdan difüzyonu ile etkisini araştırmak için normal ve silis dumanı katılmış harçlarla donatılı numuneler üretilmiş ve bu numuneler Cl^- konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum ve magnezyum klorür çözeltilerinde ve suda saklanmıştır. Klorürlerin içeriden etkisini araştırmak için ise aynı çözeltiler karma suyu olarak kullanılmıştır. Numuneler belirli günlerde kırılmış, donatılarda ağırlık değişimi, harçlarda ise karbonatlaşma derinliği ve Cl^-/OH^- oranı araştırılmıştır. Deney sonuçlarından silis dumanının, klorür difüzyonunu ve donatıdaki ağırlık kaybını azalttığı, klorürlerin içeriden etkilemesi durumunda ise olumsuz etki ettiği ve magnezyum klorürlü çözeltilerin sodyum klorürlü çözeltilerden daha agresif olduğu görülmüştür.

A.B. Yılmaz 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 yükseldiği ve daha sonra akımın azaldığı belirtilmiştir.

- a. Sonuç olarak ideal karma suyu ile mukayese edildiğinde sülfat iyonları basınç dayanımlarında %12,5 – 15 azalmaya neden olmaktadır.
- b. Beton içindeki porlarda dışarıya difüzlenen 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.

A. Özcan, (1997), Bu çalışmada çevresel etkilerle veya beton karma suyu yoluyla beton yapısına giren Cl^- iyonlarının betonarme demirine etkisi araştırılmıştır. Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu veya temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme örneklerinin akım potansiyel değişimleri, katodik (-700 mV) ve anodik (+700 mV) potansiyel uygulandığında 5 saat içerisindeki Cl^- , pH ve elektiriksel iletkenlikleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; klorür iyonlarının betonarme demirine korozif etki yaptığı, artan klorür iyonları derişimine bağlı olarak anodik alanda (+700 mV) betonarme demirinin daha hızlı çözünerek çözeltiye geçtiği belirlenmiştir. -700 mV ve +700 mV’da beton içerisine ve temas suyuna Cl^- iyonlarının difüzlenmesinde belirli bir düzenlilik saptanmamıştır.

G. Kılınççeker, (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^- iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda korozyona uğramaktadır.
- b) Betonarme demiri sade 0,1 M PO_4^{3-} iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda korozyona uğramamaktadır. Betonarme demiri bu ortamlarda pasifleşmektedir.
- c) Betonarme demiri %3,5 Cl^- + 0,1 M PO_4^{3-} iyonlarını içeren karma suyu ile hazırlanmış ortamlarda kısmen korozyona uğramaktadır. Klorür iyonları betonarme demirinin pasifleşmesini güçleştirmektedir.
- d) Betonarme yapılar hazırlanırken; karma suyundan Cl^- iyonlarının uzaklaştırılması (300 ppm'e kadar), karma suyunun pH'nın denetlenmesi ve betonarme demirinin zamanla potansiyelinin ölçülerek uyum görülmesi halinde, betonarme donatıya katodik koruma uygulanabileceğini önerilmektedir.

H. Kahyaoglu, (1998), Beton ve betonarme demirinin klorürlü ve sülfatlı ortamlarda korozyon davranışına atmosfere açık koşullarda LAS (lineer alkil benzen sülfonat) ve LAB'ın (lineer alkilbenzen) etkileri potansiyokinetik deneylerle incelenmiştir. Hazırlanan beton örneklerinde su/çimento oranı 0,45 seçilmiş, polarizasyon dirençleri, akım-potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Aynı koşullarda basınç testleri yapılmıştır. Yapı analizlerini belirlemek için beton örneklerin X-ışını difraktometresi ile difraktogramları çekilmiş ve yapıları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre LAS ve LAB betonarme demirinin korozyonunu zayıf bir inhibisyon etkisi ile azaltıcı etk ve basınç dayanımına da olumlu katkı yaptığı belirlenmiştir.

T. Kikuchi ve K. Aramaki, (2000), FeCl_3 içeren asetonitril anhidrit elektrolitinde, demirin korozyonu, polarizasyon ölçümleri, XPS ve Fourier transform infrared elektron spektroskopileri ile incelenmiştir. Korozyon hızının FeCl_3 konsantrasyonu ile belirgin bir şekilde arttığı gözlenmiştir. ACN FeCl_3 çözeltisindeki demirin korozyonun, katodik ve anodik reaksiyonları sırasıyla, Fe^{+3} 'ün Fe^{+2} '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 $C_{16}TMA^+$ karşımının demirin korozyonundaki her iki dalı (0,01 M $FeCl_3$ ACN çözeltisinde) yüzeyde nokta adsorpsiyon ile daha etkili bir inhibisyon sağladığı bulunmuştur.

A.B. Yılmaz, İ. Dehri, M. Erbil, (2000), Bu çalışmada ideal karma suyu ve ideal karma suyuna 80 mg/L amonyum eklenmesiyle oluşturulan karma suyu kullanılarak hazırlanan betonarme örneklerde betonarme çeliğinin korozyonuna SO_2 gazının etkisi laboratuvar koşullarında farklı bağıl nemliliklerde araştırılmıştır. Bu amaçla farklı bağıl nemliliklerde hazırlanan atmosferik korozyon test hücresine yerleştirilen örneklerin potansiyelleri 28 gün boyunca ölçüldüştür. Deneyler gazsız ortamda ve SO_2 etkisinde ayrı ayrı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda %90 ve %100 bağıl nemliliklerde betonarme çeliğinin SO_2 etkisinde aktif bölgelere düştüğü saptanmıştır. Karma suyunda amonyum iyonu bulunan örneklerde potansiyellerin ideal karma suyu ile hazırlanan örnek potansiyellerine göre daha da düşük olduğu gözlemlenmiştir.

G. Kılınççeker, A. Yalçın, O.G. Köseoğlu, (2000), Karma suyuna klorür, fosfat ve klorür + fosfat iyonu ekleyerek hazırlanan beton örnekler, karma suyu ile aynı bileşimde su banyolarında, üç farklı pH ortamında (pH=6,5;7,5 ve 8,5) kür yapılarak 120 gün süre ile banyonun pH'ı, betonarme demirinin korozyon potansiyeli (Hg/Hg_2Cl_2 karşı) takip edilmiştir. betonarme demiri; sade fosfat iyonlarını içeren ortamlarda pasifleşirken sade klorür ve klorür içeren çözeltilere fosfat eklenerek hazırlanan ortamlarda korozyona uğradığı belirlenmiştir.

H. Jiangyuan, D.D.L. Chung, (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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözeltisinde ve 25 hafta NaCl çözeltisinde test edilmiştir. Korozyon akım yoğunluğu polarizasyon direnci $I_{\text{cor}} = B/R_p$ bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.

1. Silika fume su absorptivitesini azalttığı ve kısmen elektriksel direnci arttırdığı için her iki çözeltide de korozyon direnci artırmıştır.
2. Metilselüloz $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözeltisi içinde çok az da olsa betonarme çeliklerin korozyon direncini arttırmıştır. Bunun nedeni metilselülozun küçük boşlukları doldurmasındandır.
3. 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.
4. 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.

H. Kahyaoğlu, B. Yazıcı, M. Erbil, (2000), Betonarme demrinin klorürlü ve sülfatlı ortamlardaki korozyon davranışları Lineeralkilbenzen sülfonat (LAS) etkileri, atmosfere açık koşullarda potansiyokinetik olarak ve beton üzerine etkileri de betonun basınç dayanım testleri ile incelenmiştir. Bu amaçla karma suyu saf su, 1M NaCl ya da olan beton kalıpları 1M NaCl yada 0,5M Na_2SO_4 çözeltileri içerisinde ve ayrıca karma suyuna ilave edilen LAS'ın beton ve betonarme demirine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre LAS'ın klorür ve sülfat iyonlarına karşı beton dayanımını iyileştirici, betonarme demirinin korozyonuna da azaltıcı etkileri belirlenmiştir.

A. B. Yılmaz, İ. Dehri, M. Erbil, (2002), Bu çalışmada, ideal karma suyu (IMW) ve $\text{IMW} + 80 \text{ mg } \text{NH}_4^+ (\text{NH}_4^+\text{Cl})$ karma suyu kullanılarak hazırlanmış betonarme örneklerine, çeşitli görel nem (RH) oranlarındaki kirletici bir gaz olan SO_2 'nin etkisi incelenmiştir. Betonarme çeliğinin potansiyel değerleri 28 gün boyunca ölçülmüş ve aynı ortamdaki beton örneklerin basınç dayanımı 28. günün sonunda belirlenmiştir.

SO₂ gazının yüksek görelî nem oranlarında (RH) beton basınç dayanımına zararlı etkileri gözlenmiş ve betonarme çeliğinin potansiyel değerlerini daha negatif potansiyellere kaydırđı belirlenmiştir.

A. Asan, H. Yalçın, (2003), betonarme demirlerinin korozyonu üzerine uçucu kül katkısının etkilerini incelemek üzere, biri normal portland çimentosu ile diğeri çimento yerine %30 oranında uçucu kül katılarak hazırlanmış çeşitli klorür konsantrasyonlardaki iki grup beton numunesi üzerinde betonarme demirlerinin korozyon hızları tayin edilmiştir. korozyon hızı deneyleri klorür katılmış ve katılmamış beton numuneleri arasındaki galvanik akım ölçülerek yapılmıştır. Ayrıca 180 gün süre ile betonarme demirlerinin korozyon potansiyelleri ölçülmüştür. Deneyler sonunda normal betonlarda 1.5 kg/m³'den daha yüksek klorür konsantrasyonlarda betonarme demirlerinin pasifleşmesinin bozulduğu, bu değerin %30 oranında uçucu kül katılması ile 2.5 kg/m³ değerine yükseldiğı belirlenmiştir.

G. Kılınççeker, İ. Dehri, M. Erbil, (2003), tarafından yapılan çalışmada, hava ile doygün 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 tekniğı 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 belirlenmiştir.

H. E. Jamil, M. F. Montemor, R. Boulif, A. Shriri, M.G.S. Ferreira, (2003), Betonarme çeliğinin aminalkol inhibitörü ve Cl⁻ iyonu varlığında elektrokimyasal ölçümler ile korozyon davranışı incelenmiş ve XPS metodu ile inhibitör filminin Cl⁻ iyonu ile kompleks oluşturabildiğı 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 çözeltide 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 çözeltide empedans

değerlerinin güçlü bir şekilde zamanla arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlarla karakteristik kaplama ile değişmez ve koruyucu tabakanın çelik yüzeyinde oluştuğu kanıtlanmıştır.

İ. Türkmen, M. Gavgalı, (2003), Betonun, mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için ve beton içindeki çeliğin korozyona direncini arttırmak için, portland çimentosu (PC) yerine farklı oranlarda silica fume (SF), yüksek fırın cüruf çimentosu (BFS) kullanılmıştır. Betonarme çeliği olmadan, örneklerin işlenilebilirliği, kuru ünite ağırlığı, basınç dayanımı ve kapilarite katsayısı belirlenmiştir. Korozyon akım yoğunluğu lineer polarizasyon tekniği ile 28., 75., 150., ve 250. günlerde ölçülmüştür. Sonuç olarak bu örneklerin %10 SF + %40 BFS en yüksek basınç dayanımına sahip oldukları ve en düşük kapilarite katsayısına sahip oldukları bulunmuştur. Beton örnekleri %10 SF + %40 BFS ve 0,35 W/C oranında en düşük akım yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, mineral karışımların basınç dayanımını, kapilarite katsayısını ve korozyon akım yoğunluğunu arttırdığı gözlenmiştir.

H.E. Jamil, M.F. Montemor, R. Boulif, A. Shrir, M.G.S. Ferreira, (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.

W. Morris, A. Vico, M. Vázquez, (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 ρ : direnç Ω)

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

M.T. Blanco Varela, S. Martinez-Ramirez, T. Vazquez, S. Sanchez-Moral, (2004), CAC'nin öngerilimli bir kırıste 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 yığılma etrafında gözlenen beyaz tortu aslında bayerite'den meydana geldiği bulunmuş ve bunun agrega matriks bağlarına yavaş yavaş zarar verdiği ve materyali büyük ölçüde zayıflatığı görülmüştür.

K. Sakr, (2004), Çimento bileşenlerinin farklı yüzdelinde betonarme demirinin korozyonu (%5 NaCl veya %5 $MgSO_4$ çözeltisi içinde) yarı hücre potansiyeli ölçümü, etkili voltaj metodu ve etkili akım metodu uygulanarak incelenmiştir. Klorürlü çözeltide C_3A 'nın yüzdesi 2'den 10'a yükseltildiğinde çelik korozyonu da orantılı olarak artmıştır. %5 $MgSO_4$ çözeltisi içindeki çeliğin korozyonu C_3A 'nın yüzdesi 2'den 6'a yükseltildiğinde çelik korozyonu hızla yükselmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ;

1. klorür iyonları sülfat iyonlarına göre betonarme çeliği için daha saldırgan olduğu,
2. C_3A klorür ve sülfat iyonlarına maruz bırakılan betonarme çeliğinin korozyonunu azaltmada önemli rol oynadığı,
3. C_3A 'nın %2 den 10' a yükselişi %5 lik NaCl çözeltisi içerisindeki betonarme çeliğin korozyonunu arttırdığı,

4. C_3A yüzdesi 2'dan 6'a yükseldiğinde %5 $MgSO_4$ çözeltisi içindeki çeliğin korozyonu düşer ancak 6'dan 10'a yükseldiğinde korozyon hızının arttığı,
5. Klorür ve sülfat iyonlarının bir arada bulunması ile sülfat iyonlarının atağı azaldığı,
6. Çelik çubukların korozyonunu kontrol altına almak için klorürlü ve sülfatlı ortamda optimum C_3A yüzdesinin 6 olduğu tespit edilmiştir.

H.E. Jamil, (2004), Korozyon inhibitörü olarak amino alkollerin kullanıldığı, bu çalışmada klorür iyonları varlığındaki betonarme çeliğinin korozyonu eletrokimyasal empedans ölçümleri ile belirlenmiştir. Eletrokimyasal 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. Eletrokimyasal empedans spektroskopisi 3 elektrot yöntemi ile yapılmıştır. Çalışma elektrodu (yüzey alanı 3.14 cm^2 olan çelik), Pt karşı elektrodu ve SCE referans elektrodu. Çalışma çözeltisinin pH'ı $\approx 12.5 - 13$ arasındadır.

A. Cheng 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.

O. Kayali ve B .Zhu, (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 bağlı 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.

O. Keleştemur, S. Yıldız, (2005), Karışım suyunun %1, %2 ve %3'ü oranlarında sodyum klorür ilave edilerek hazırlanmış çeşitli klorür konsantrasyonlarındaki beton numuneler içerisinde yer alan çeliğin korozyonu araştırılmıştır. Ayrıca, değişik NaCl konsantrasyonlarına sahip bu betonlara, çimento hacminin %10'u oranında silis dumanı ilave edilerek betonarme çeliğinin korozyonunda meydana gelen değişim incelenmiştir. Korozyon hızı deneyleri, klorür katılmış ve katılmamış beton numuneleri arasındaki galvanik akım ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler içerisindeki elektrot potansiyellerinin zamana karşı değişimi de ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün süresince her gün Cu/CuSO₄ referans elektrotu ile tespit edilmiştir. yapılan çalışma neticesinde, NaCl oranındaki artışa bağlı olarak, betonarme çeliğinin korozyon hızında artış gözlenmiştir. Ancak, beton numunelere silis dumanı ilavesiyle betonarme çeliğinin korozyon hızının azaldığı, hatta kontrol numunesinden daha düşük seviyelere indiği belirlenmiştir.

G. Batis, E. Rakanta, (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.

A.A. Gürten, M. Erbil, K. Kayakırlmaz, (2005), Polyvinylprolidone'in (PVP), betonarme çeliğinin korozyon direncine etkisi, NaCl ve NaCl + PVP çözeltilerinde 60 gün süreyle korozyon potansiyeli, lineer polarizasyon direnci ve AC impedans ölçümleri ile tayin edilmiştir. PVP eklenmiş betonarme örneklerin polarizasyon direnci (R_p) değerleri, PVP olmayanlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Korozyon potansiyeli ve lineer polarizasyon direnci arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Korozyon potansiyeli ölçümlerinin sonucunda lineer polarizasyon direnci ile karşılaştırılabilir veriler elde edilmiştir. AC impedans spektrumlarından, PVP karıştırılmış elektrodların direnci diğerlerinden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Betonun mekanik özellikleri de incelenmiş ve PVP içeren örneklerin basınç dayanımını yaklaşık %44 beton arttırdığı belirlenmiştir.

A.Ali Gürten, E. Bayol, M. Erbil, K. Kayakırlmaz, (2006), Tiyosemikarbazitin (TSC), betonun mekanik özelliklerine ve betonarme çeliğinin korozyonuna inhibitör etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; Portland katkılı çimento ve 10'luk inşaat demiriyle altı farklı beton hazırlanarak, 0,1M Na_2SO_4 veya 0,1M $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 1,0 \cdot 10^{-3}\text{M}$ TSC içeren iki farklı temas suyunda, 60 gün süre ile elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır. Katkılı ortamlarda belirlenen R_p değerlerinin, inhibitörsüz ortamlarda ölçülenlerden yaklaşık %56 daha yüksek olduğunu göstermiştir. 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında hazırlanan yedi farklı beton, üç

farklı temas suyunda 28 gün bekletildikten sonra yapılan testler, TSC'nin betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyerek, beton dayanımını % 44-49 oranında arttırdığı saptanmıştır.

TSC katkılı ve katkısız tüm elektrotların, sülfatlı temas suyunda bekleme süresi arttıkça, betonun olgunlaşmasına paralel olarak dirençler değerleri artmıştır. Bu süre içinde görülen direnç artışı, beton porlarının tıkanmasına paralel gelişen difüz tabakayla ilgili direnç artışıdır. Sülfatların oluşturduğu Ettringite tuzu nedeni ile betonda por ve kılcal kanalların oluşması, özellikle metal yüzeyine yakın bölgelerde korozyonun etkisi ile yapı içine karma ile eklenen katkıların hareketliliğini arttırdığından, TSC'nin karma veya temas suyuna katılması, toplam direnci ($R_s + R_t + R_d$) yaklaşık aynı oranlarda arttırmıştır. elektrotlar hazırlanırken karma suyuna veya bekletilirken temas suyuna TSC eklenmesi, korozyon hızını (R_p) % 31-56 oranlarda azalmıştır. Destile su ve TSC katkılı karma suyu ile hazırlanan elektrotların, korozyon potansiyelleri, karma suyu Na_2SO_4 ile hazırlanmış elektrotlarından daha pozitif değerler aldığı için ASTM kriterlerine uygun olmuştur. En dayanıksız betonların, karma ve suyunda sülfat içeren katkısız beton olduğu, karma veya temas suyuna katılan TSC beton dayanımını % 44-49 oranlarında arttırdığı görülmüştür.

M. İsmail, M. Ohtsu, (2006), Farklı koşullarda ve klorür konsantrasyonlarda, sıradan portland çimentosu ve yüksek performans çimentolusu ile hazırlanan betona gömülmüş betonarme çeliğinin korozyonun hızı değerlendirilmek için bir laboratuvar çalışması yürütülmüştür. Betonarme çeliğinin korozyonu AC impedans yöntemi kullanılarak çalışılmıştır. OPC ve HPC betonları ile hazırlanmış silindirler %0, %1, %3, ve %5'lik klorür konsantrasyonlardaki klorür çözeltisine maruz bırakılmıştır. Betonarme çeliği korozyonunun hızını hesaplamak için AC impedans (IS) tekniği kullanılmıştır. AC impedans spektrumlarını yorumlamak için birkaç farklı elektriksel eşitlikten faydalanılmıştır. Bu çalışmanın amacı AC impedansı tafel eğrileri (TP) ve lineer polarizasyon (LP) gibi yaygın olarak kullanılan diğer tekniklerle karşılaştırmaktır.

Sonuçlar AC impedans verilerinin betonarme çeliğinin korozyon hızını hesaplamada kullanılabileceğini doğrulamıştır. TP ve LP tekniklerinin uyumlu

sonuçları kanıtlanmıştır. AC impedans tekniği ile hesaplanan korozyon hızı TP' ye göre %5-20 oranında daha düşük, LP'nin sonuçları %20-30 oranında TP'den daha yüksek olduğu bulunmuştur.

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

Çimento: Beton karışımlarında bağlayıcı madde olarak Adana Çimento Fabrikasında üretilen SDÇ 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

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

Agrega: Araştırmada agrega olarak Çukurova Üniversitesi inşaat mühendisliğinden alınan doğal agrega kullanılmıştır. Agrega 8;2;1;0,5;0,25 mm göz açıklığı olan elekler ile elenmiş 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, glikoz için $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$ kullanılmıştır.

Temas Suyu: Destile suya ilave edilen kimyasal maddeler (NaCl ve glikoz) ile 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, kalanı Fe'dir.

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

Çalışma Elektrodu: Teknik saflıkta betonarme çelik elektrot

Referans Elektrodu: Gümüş-gümüş klorür elektrot (Ag, AgCl/Cl⁻) referans elektrot olarak kullanılmıştır.

Karşı Elektrot: 1 cm² yüzey alanına sahip platin elektrot karşı elektrot olarak kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Elektrotların Hazırlanması

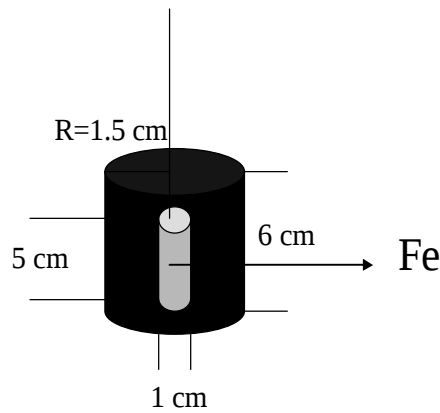
Çalışma elektrotları 10 mm çapında 5 cm uzunluğunda teknik saflıkta demir çubukları sıradan TSE ye uygun portland çimentosu ve dört farklı karma suyu kullanılarak hazırlanan beton harcına gömülerek hazırlanmıştır. Değişen konsantrasyonlarda organik inhibitör (glikoz) içeren ve içermeyen karma suyu ile hazırlanan çalışma elektrotları farklı temas sularına (destile su, %3,5 NaCl, 0,1 M Glikoz, %3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz) 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	0,1 M Glikoz	Destile Su
3	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz	Destile Su
4	% 3,5 NaCl	0,1 M Glikoz
5	0,1 M Glikoz	0,1 M Glikoz
6	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz	0,1 M Glikoz
7	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz
8	0,1 M Glikoz	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz
9	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz
10	% 3,5 NaCl	% 3,5 NaCl
11	0,1 M Glikoz	% 3,5 NaCl
12	% 3,5 NaCl + 0,1 M Glikoz	% 3,5 NaCl

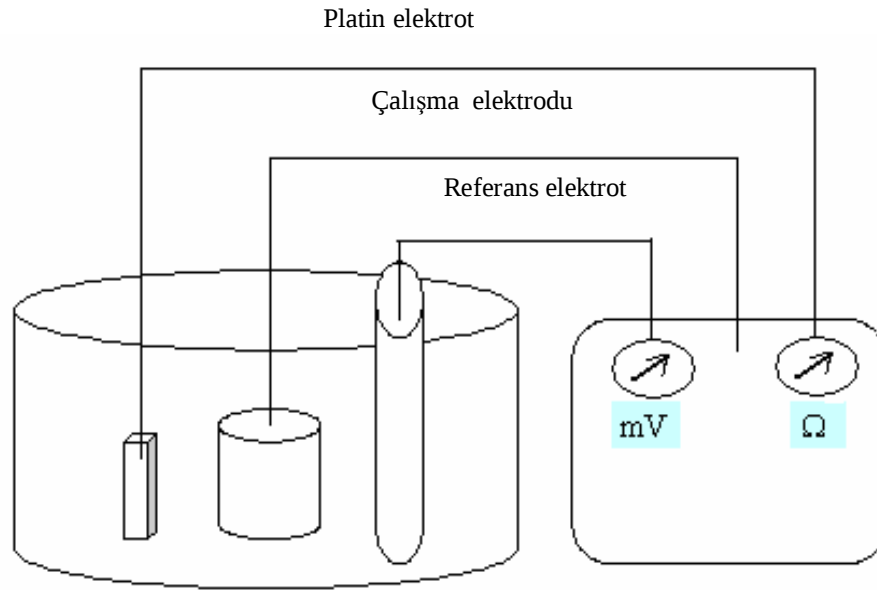


Şekil 3.1. Çalışma Elektrodu

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 düzenekte üç elektrot tekniği ile yapılmıştır. Referans olarak Ag,AgCl,Cl⁻ elektrot, karşıt elektrot olarak Pt (1 cm²) elektrot kullanılmıştır. Ölçümler 1,2,7,28 ve 60. günlerde yapılmıştır.

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

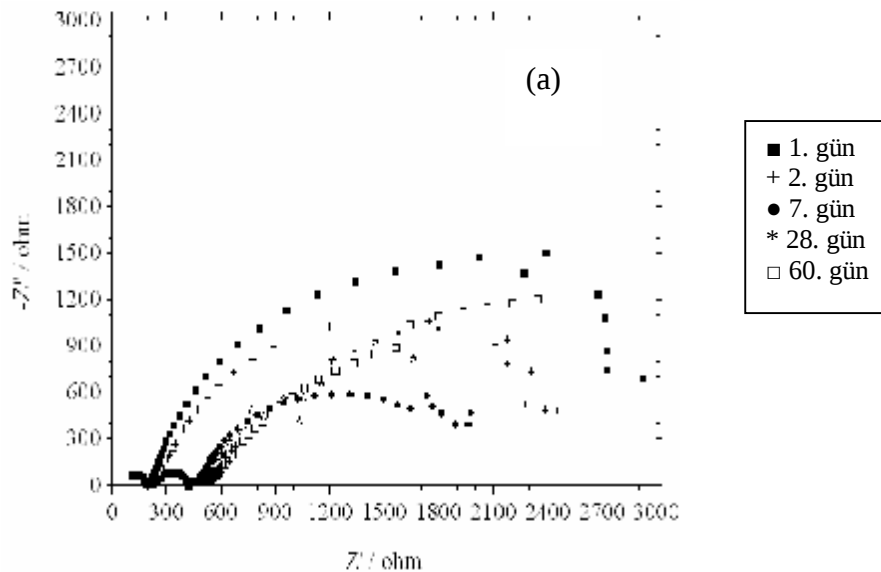


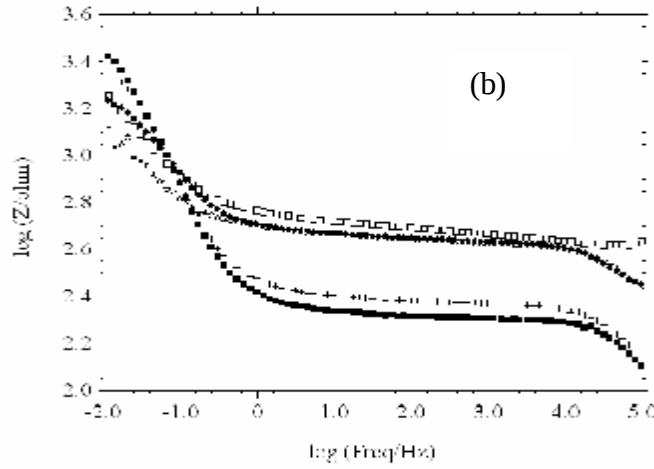
Şekil 3.2. Deney düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İmpedans Spektrum Bulgularının Değerlendirilmesi

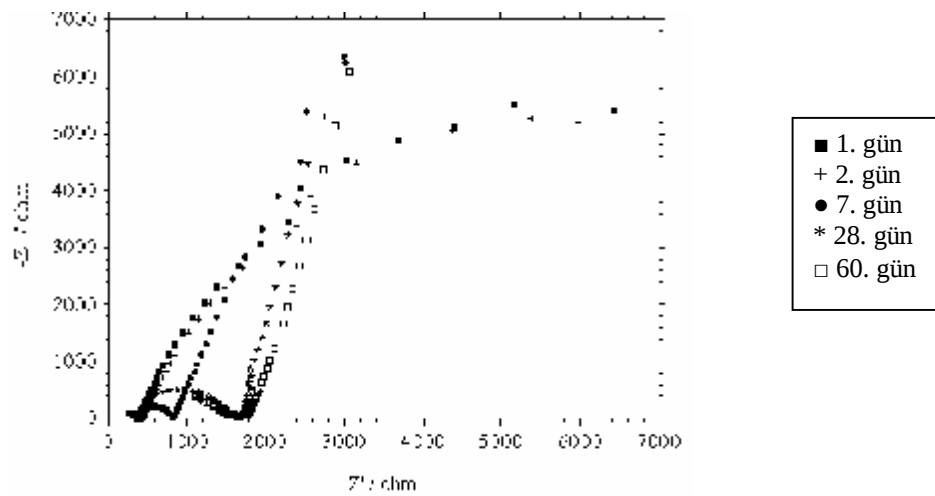
Korozyon reaksiyonu, metal/çözelti ara yüzeyinde gerçekleşen yük transferi kontrolünde olduğu zaman elde edilen eğrinin gerçek impedans ekseninde en düşük ve en yüksek frekans bölgeleri arasındaki fark (eğrinin çapı) yük transfer direncine karşılık gelir. Ancak korozyon sırasında metal/çözelti ara yüzeyinde 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).

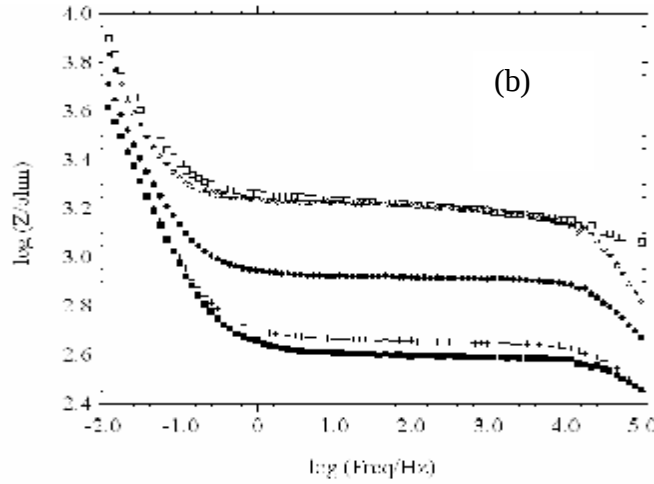




Şekil 4.1. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist Diyagramı (a) ve Bode Diyagramı (b),

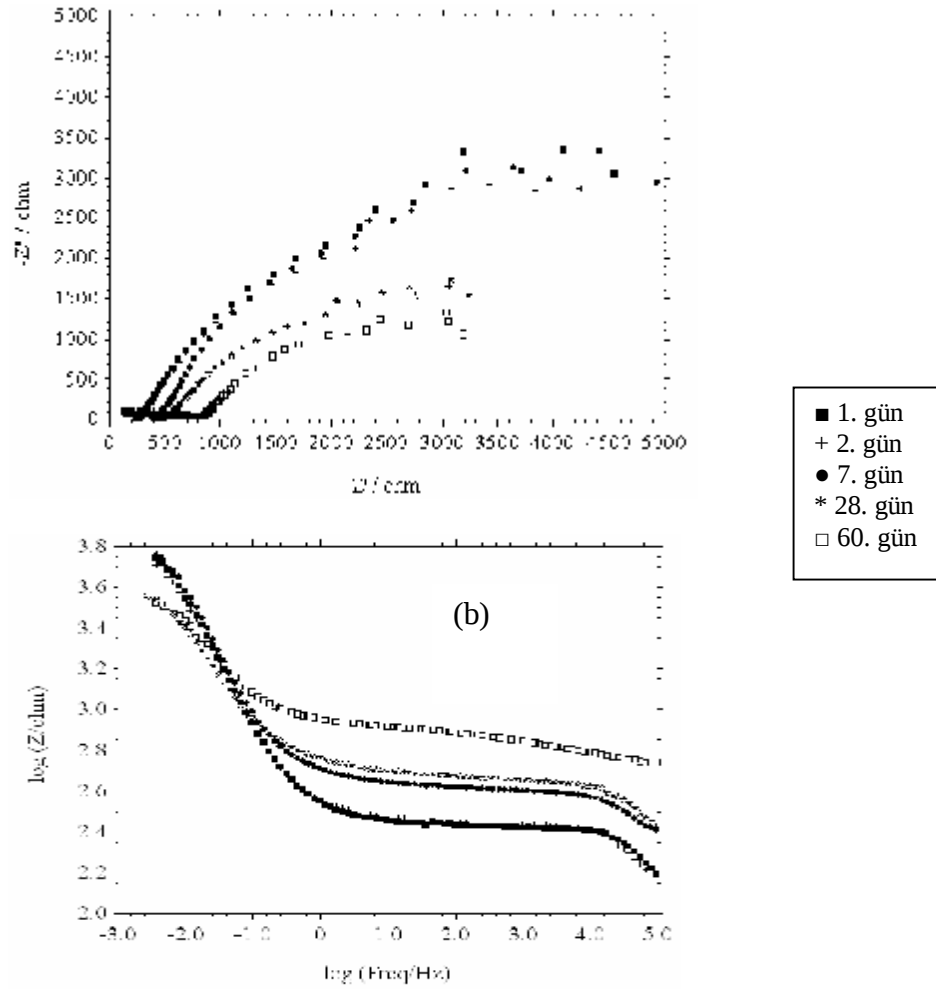
Sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrotların 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.1(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.1.(a) ve (b)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 28. güne kadar azaldığı ve sonra arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 28. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve sonra pasif tabakanın zamanla kararlılığını koruduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 4788 Ω , 3140 Ω , 2628 Ω , 3156 Ω , 4684 Ω olarak belirlenmiştir.





Şekil 4.2. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki NyquistDiyagramı (a) ve Bode Diyagramı (b).

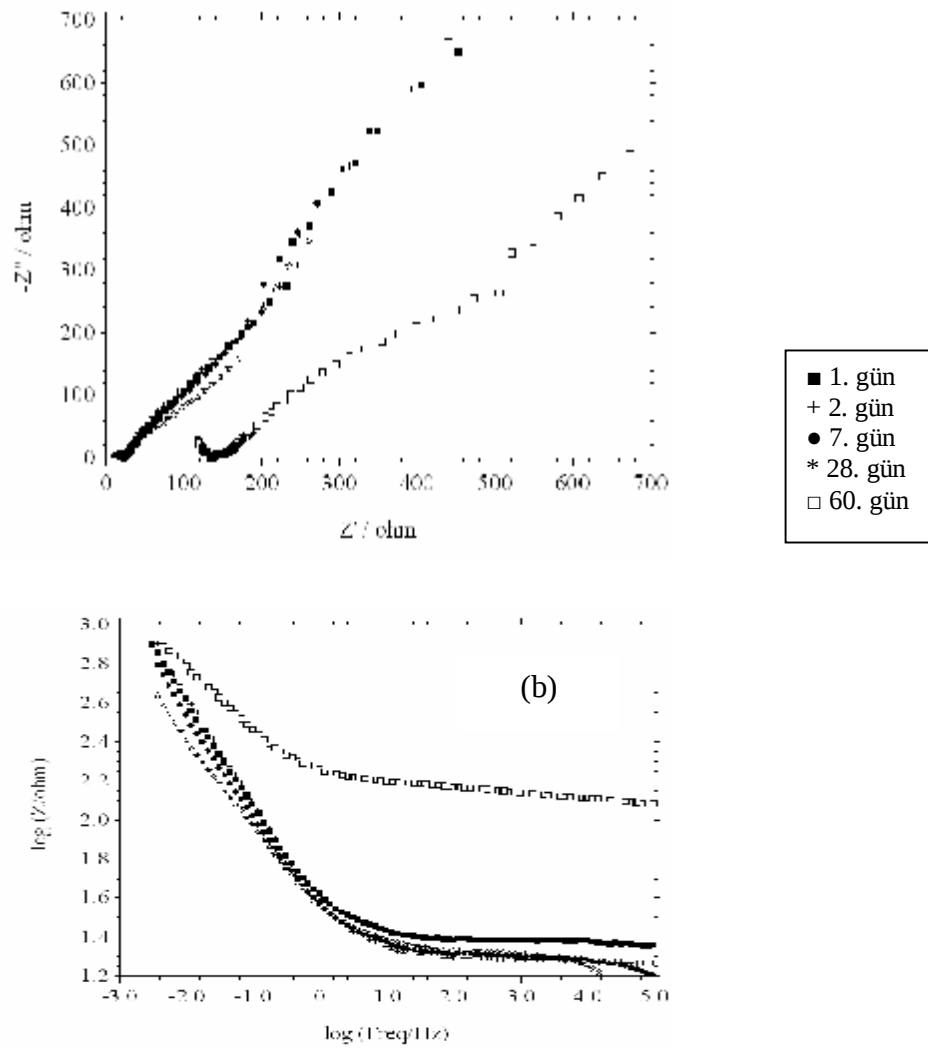
Sadece glikoz içeren ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrotların 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları diyagramları Şekil 4.2.(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.2.(a)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 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. 60. günde Nyquist diyagramından belirlenen polarizasyon direncinin, sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrodun 60. günde Nyquist diyagramından belirlenen polarizasyon direncinin iki katı olduğu görülmektedir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 10352 Ω , 10750 Ω , 12582 Ω , 10452 Ω , 8686 Ω olarak belirlenmiştir. Düşük frekans aralığında elde edilen ve reel impedans ile birlikte sanal impedansın da sürekli arttığı bölge Warburg impedansı olarak bilinmektedir. Bu bölge difüzyon denetimli bir prosesi göstermektedir.



Şekil 4.3. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin glikozlu ve klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode Diyagramı (b).

Glikoz ve klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu saf su olan betonarme elektrotların 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.3(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.3(a)'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. 1. (6366 Ω) ve 60. (6066 Ω) gündeki Nyquist diyagramlarından belirlenen polarizasyon dirençleri kıyaslandığında fazla bir

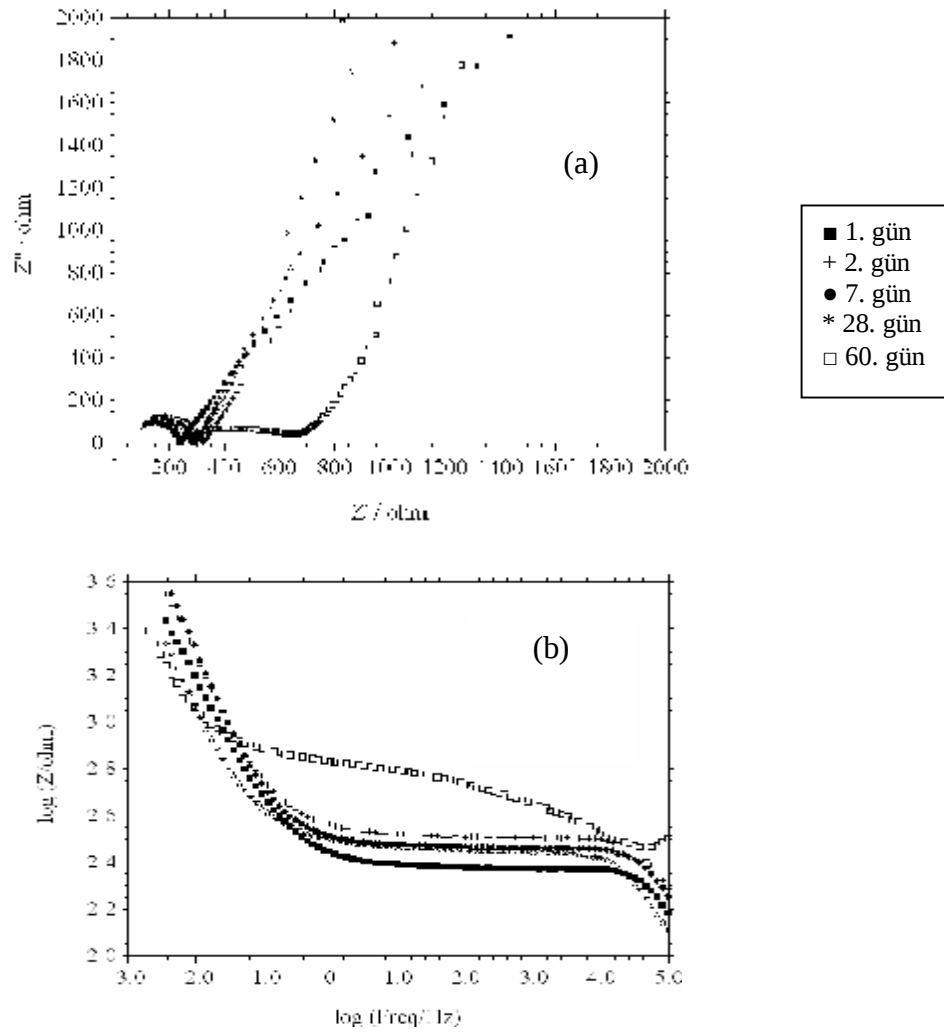
düşmenin olmadığı görülmektedir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 6366 Ω , 6860 Ω , 8826 Ω , 6150 Ω , 6066 Ω olarak belirlenmiştir. Düşük frekans bölgesinde lineer bir değişim görülmektedir (Warburg impedansı).



Şekil 4.4. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode Diyagramı (b).

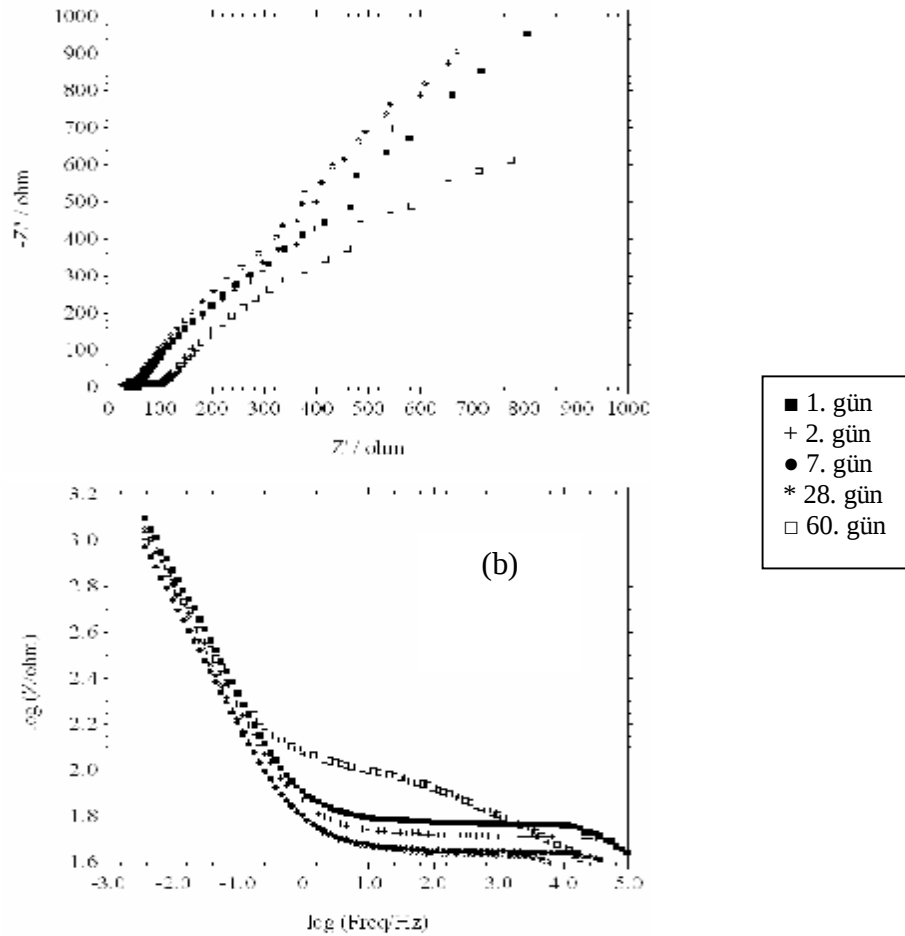
Sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.4(a) ve

(b)'de verilmektedir. Şekil 4.4.(a)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 60. güne kadar azaldığı ve sonra arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 28. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluşmadığı ve 60. günde polarizasyon direncinin artmasıyla pasif tabakanın oluşmaya başladığı düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 807 Ω , 880 Ω , 679 Ω , 521 Ω , 1347 Ω olarak belirlenmiştir. Diğer örneklerde olduğu gibi düşük frekans bölgesinde sonsuza giden direnç değerleri gözlenmektedir.



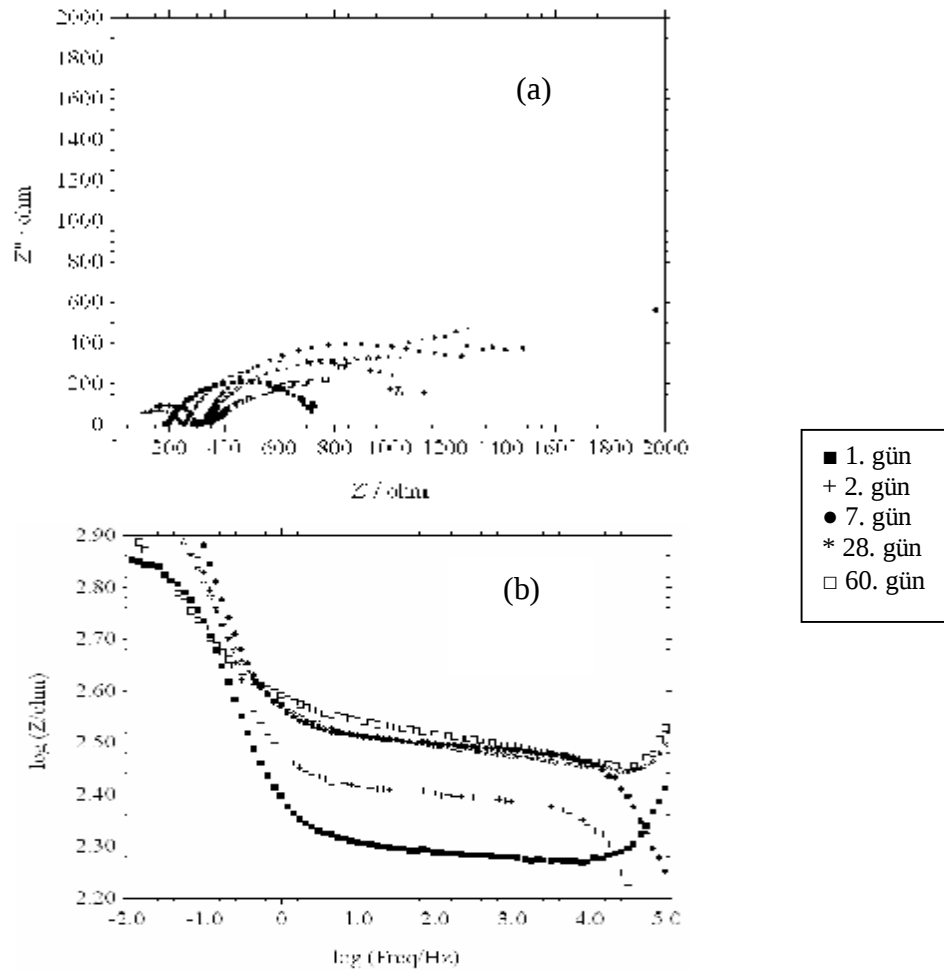
Şekil 4.5. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Sadece glikoz içeren ortamlara daldırılan, karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.5(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.5.(a)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 7. güne kadar arttığı, 28. güne kadar azaldığı ve 60. güne kadar arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 7. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluştuğu ve 28. güne kadar tabakanın bozulmaya başladığı ve 60. gün pasif tabakanın korozyon ürünleriyle tekrar pasifleştiği düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 3314 Ω , 3594 Ω , 3914 Ω , 1706 Ω , 2824 Ω olarak belirlenmiştir. Düşük frekans bölgesinde diğer örneklerle kıyasla en büyük açıyla Warburg impedansı görülmektedir.



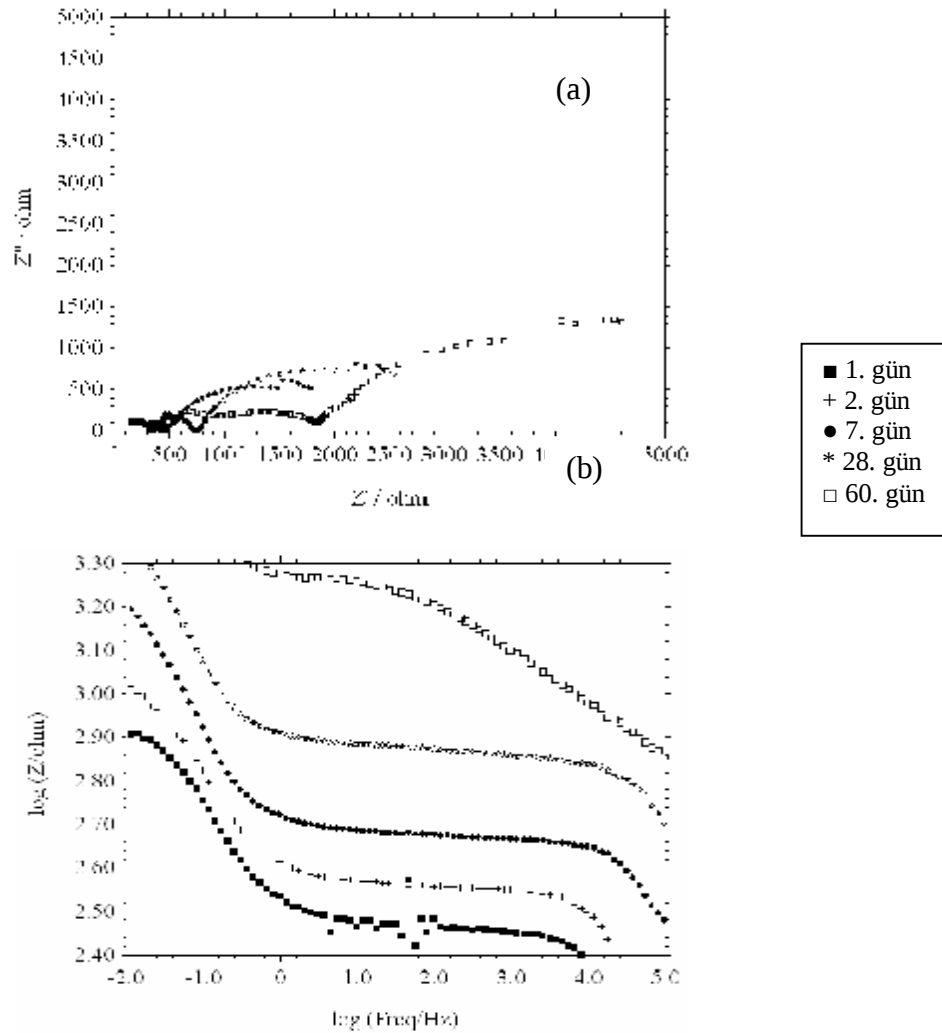
Şekil 4.6. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin glikoz ve klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Glikoz ve klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.6(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.6.(a)'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 7. güne kadar azaldığı ve bundan sonra arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 7. güne kadar kararlı bir pasif tabakanın oluşmadığı ve bundan sonra pasif tabakanın oluştuğu düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 1610 Ω , 1305 Ω , 1085 Ω , 1340 Ω , 1546 Ω olarak belirlenmiştir. Ortamda bulunan glikozdan dolayı düşük frekans bölgesinde Warburg impedansı görülmektedir.



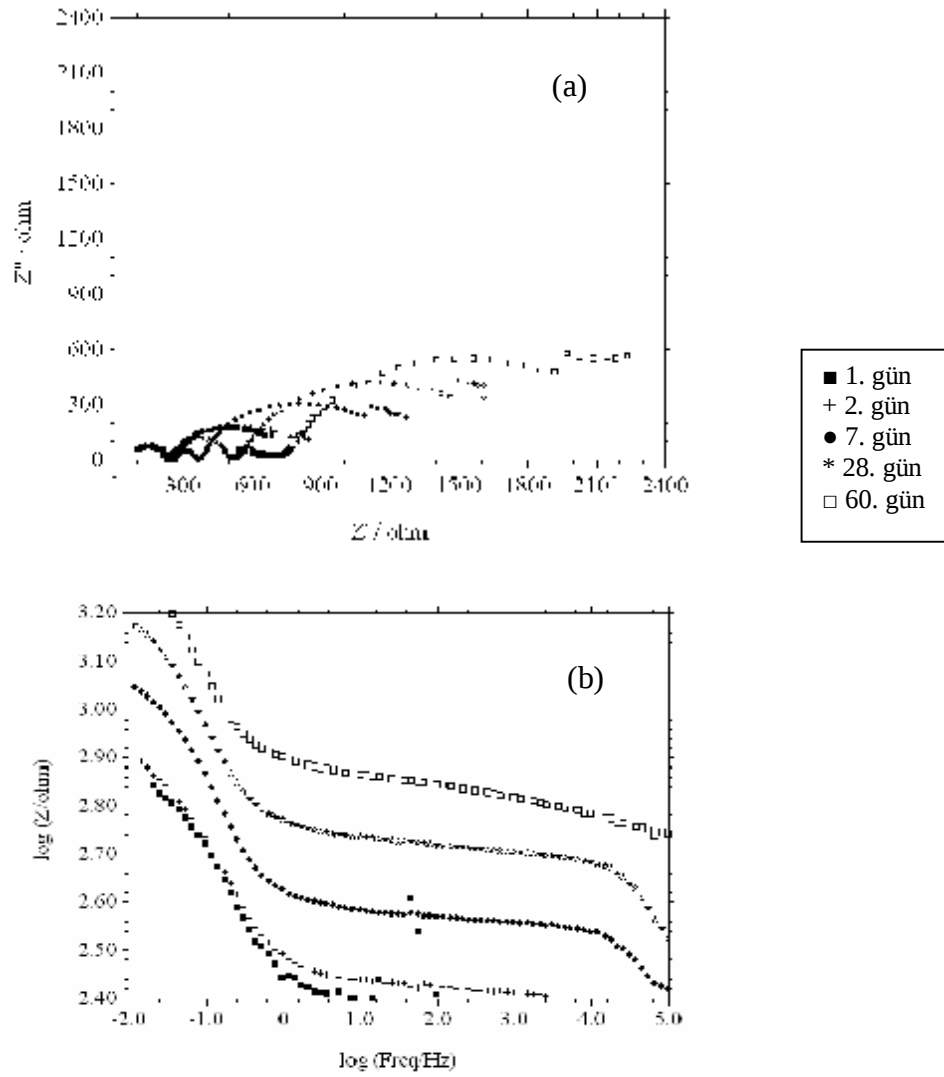
Şekil 4.7. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin sadece klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Sadece klor içeren ortamlara daldırılan, karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.7(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.7'e bakıldığında, 28. güne kadar betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin arttığı ve daha sonra azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, klorürün korozif etkisinin 28. günde kendini gösterdiği düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 1074 Ω , 1388 Ω , 1790 Ω , 1748 Ω , 1364 Ω olarak belirlenmiştir.



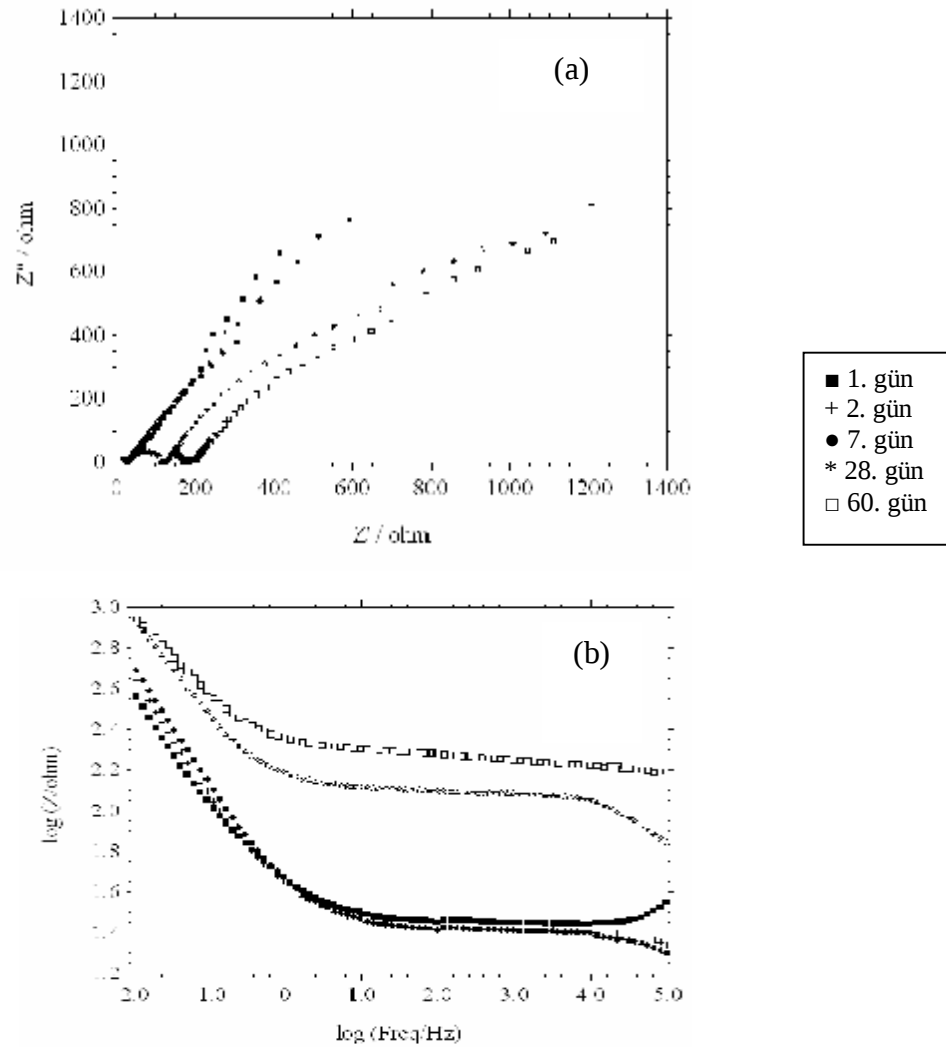
Şekil 4.8. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin sadece glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Sadece glikoz içeren ortamlara daldırılan, karma suyu korür olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.8(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.8'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 60. güne kadar kararlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde ilk günden itibaren kararlı bir pasif filmin oluştuğu düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 1020 Ω , 1320 Ω , 3064 Ω , 3624 Ω , 7660 Ω olarak belirlenmiştir.



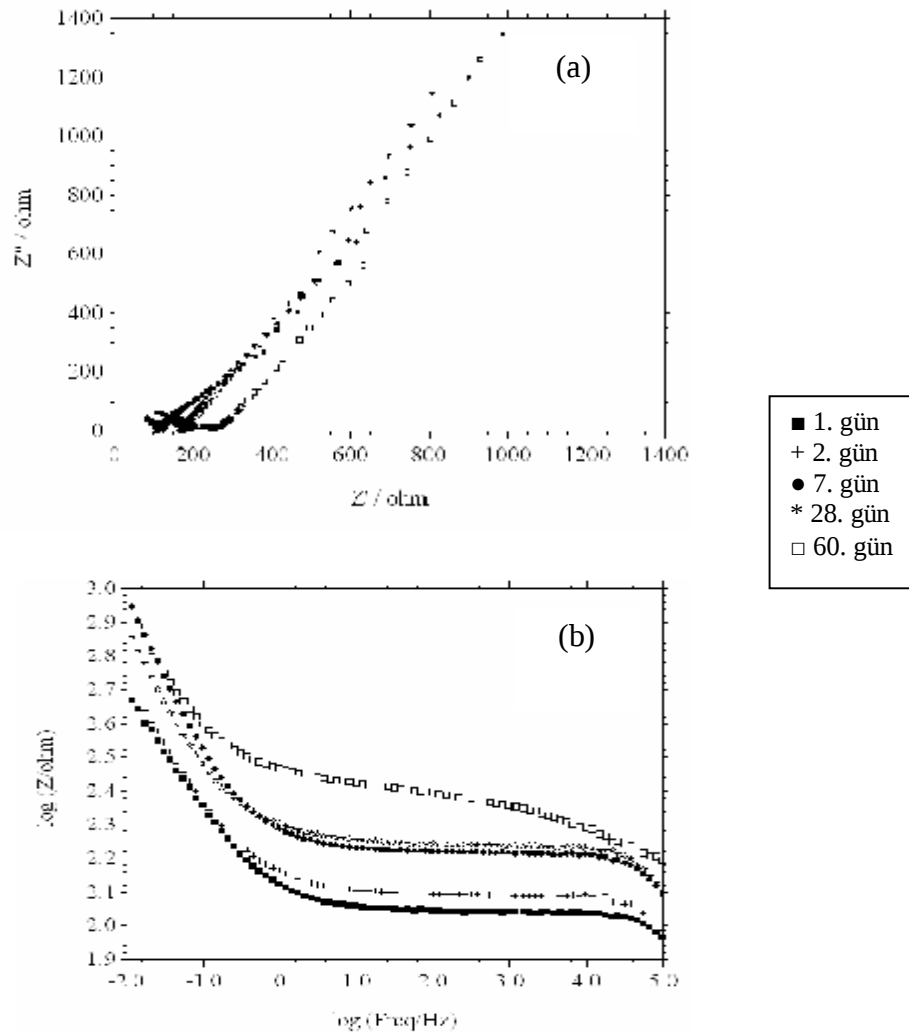
Şekil 4.9. Karma suyu NaCl olan betonarme çeliğinin klorür ve glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Glikoz ve klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.9(a) ve (b)'da verilmektedir. Şekil 4.9'a bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 60. güne kadar arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 60. güne kadar pasif tabakanın oluştuğu düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 1084 Ω , 1184 Ω , 1700 Ω , 2210 Ω , 3300 Ω olarak belirlenmiştir.



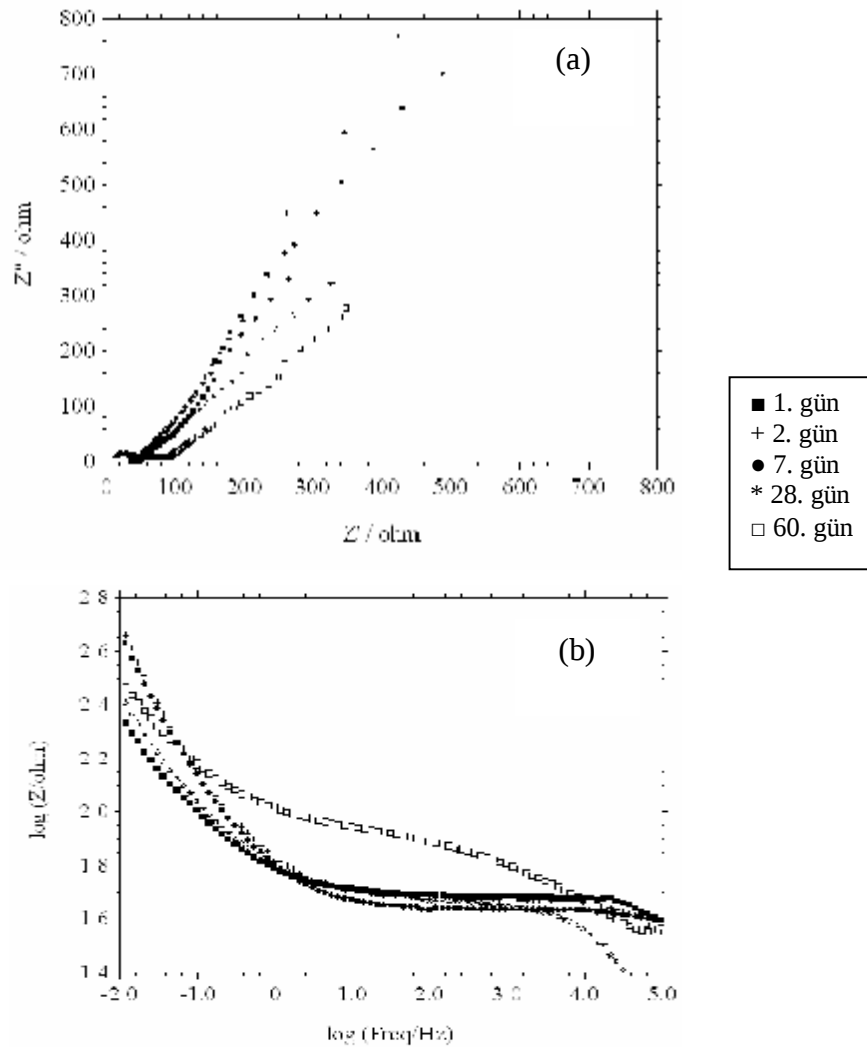
Şekil 4.10. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin sadece klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Sadece klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.10(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 4.10'e bakıldığında, 1. günden 60. güne kadar betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği üzerindeki pasif tabakanın zamanla kararlılığının arttığı düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 830 Ω , 852 Ω , 1186 Ω , 2172 Ω , 2416 Ω olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin sadece glikozlu ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Sadece glikoz içeren ortamlara daldırılan, karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.11’de verilmektedir. Şekil 4.11 (a) ve (b)’e bakıldığında, 1. günden 28. güne kadar betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin arttığı 28. günde azaldığı sonra tekrar arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği üzerindeki pasif tabakanın zamanla kararlılığının arttığı düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 1114 Ω , 1180 Ω , 1972 Ω , 1612 Ω , 1860 Ω olarak belirlenmiştir.



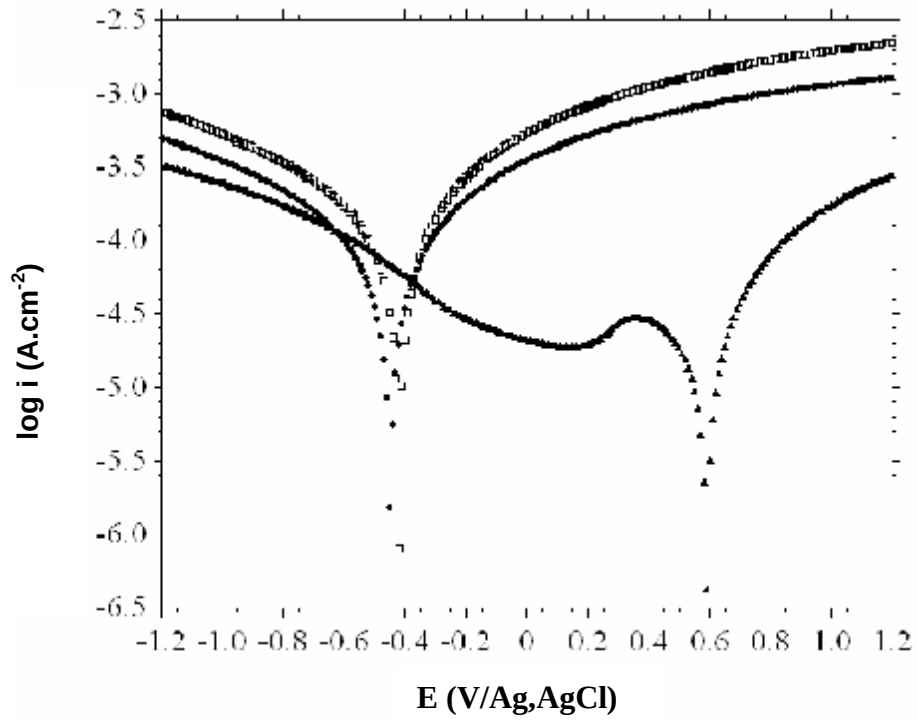
Şekil 4.12. Karma suyu NaCl + Glikoz olan betonarme çeliğinin sadece Glikoz + klorürlü ortamdaki Nyquist diyagramı (a) ve Bode diyagramı (b).

Glikoz ve klorür içeren ortamlara daldırılan, karma suyu klorür + glikoz olan betonarme çeliğinin 60. günün sonunda elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.12 (a) ve (b)'da verilmektedir. Şekil 4.12'e bakıldığında, 1. günden itibaren betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin 28. güne kadar arttığı daha sonra düştüğü ve 60. günde tekrar arttığı görülmektedir. Dolayısıyla bu diyagramlardan, betonarme çeliği için yüzeyinde 60. güne kadar pasif tabakanın oluştuğu düşünülebilir. Elde edilen verilerden hesaplanan polarizasyon dirençleri 1., 2., 7., 28. ve 60. günler olmak üzere sırasıyla 464 Ω , 976 Ω , 978 Ω , 652 Ω , 694 Ω olarak belirlenmiştir. Glikoz derişimi arttıkça düşük frekans bölgesindeki eğrilerin eğiminin artarak Warburg impedansına gitmiştir.

Tüm Nyquist diyagramlarında, yüksek frekans bölgelerinde ikinci bir loop görülmektedir. Bu bölgenin temsil ettiği direnç beton örtünün direncidir. Bir başka deyişle, difüz tabaka direcidir (R_d).zaman olarak betonun olgunlaşma sürecini tamamladığından oldukça büyük bir dirençtir. Tüm diyagramlarda, 1-60 günlere kadar görülen direnç artışı difüz tabakayla ilgili direnç artışıdır. Yani beton porlarının tıkanmasına paralel gelişen bir direnç artışıdır(Gürten, Batol, Erbil, Kayakırılmaz, 20006).

4.2.Akım Potansiyel Eğrilerinin Değerlendirilmesi

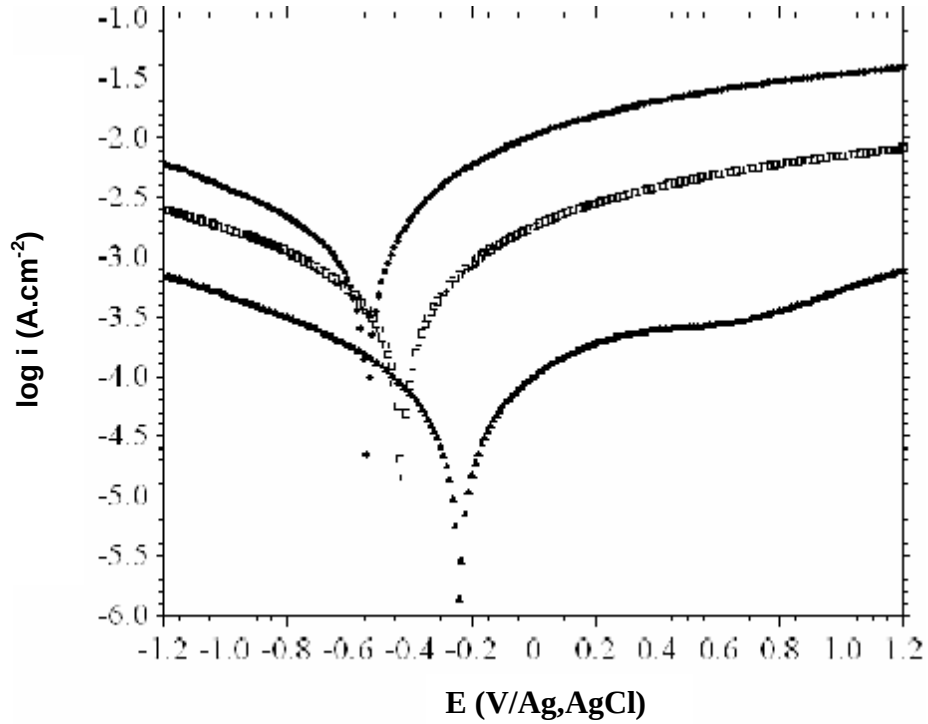
Karma suyu destile su ve farklı temas suyu çözeltilerindeki betonarme çeliğinin akım potansiyel eğrileri şekil 4.2.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2.1. Karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (glikoz + klorürlü ortam; ●, sadece glikozlu ortam; ▲, sadece klorürlü ortam; □) akım potansiyel eğrileri.

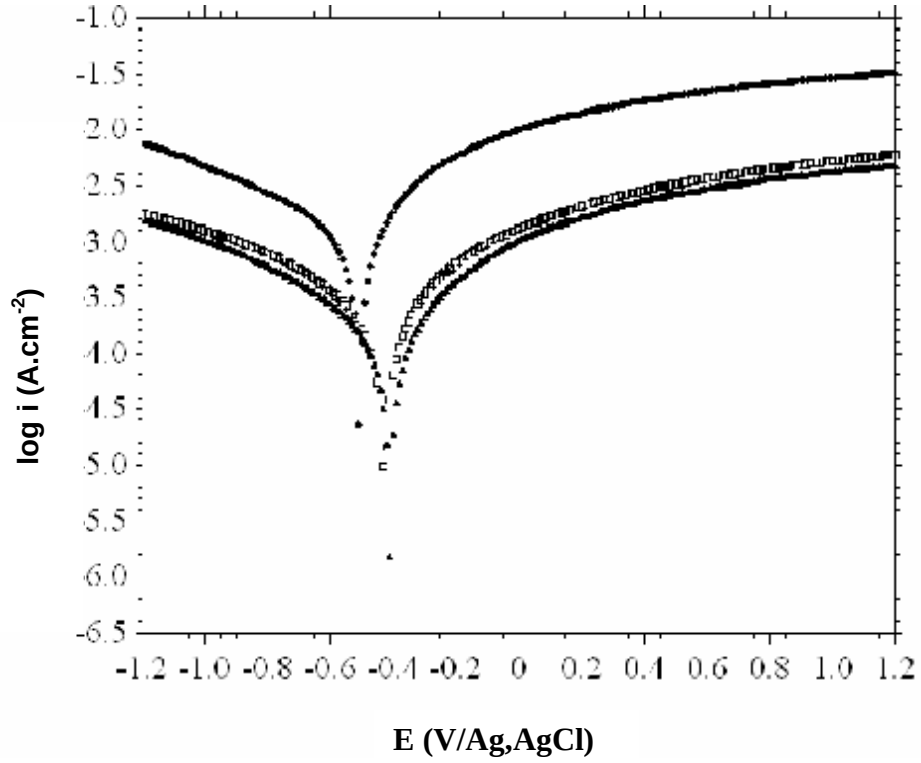
Şekil 4.2.1. incelendiğinde elde edilen açık devre potansiyelleri sırasıyla glikoz + klorlu ortam (●), sadece glikozlu ortam (▲), sadece klorürlü ortam (□) için, -0,469, 0,588 ve -0,440 V'dur. *,Δ ortamlarında elde edilen açık devre potansiyellerinden itibaren katodik yöndeki akım artışı hidrojen indirgenmesine karşılık gelmektedir. □ ortamında 0,588 V ile 0,381 V arasında oksijen indirgenmesi, 0,381 V ile -0,160 V arası oksijen sınır akımı oluşmaktadır(şekil 4.2.1.), bu potansiyelden sonra katodik yöndeki akım artışı hidrojen indirgenmesine karşılık gelmektedir. -0,8 V değerinde belirlenen akım yoğunluğu değerleri klorürlü ortamda

($3,21 \times 10^{-4}$ A), klorür + glikozlu ortamda ($2,06 \times 10^{-4}$ A) daha büyüktür. Sadece glikoz içeren ortamdaki akım yoğunluğu ($1,71 \times 10^{-4}$ A) en küçüktür. Bu nedenden dolayı glikozun karma suyu saf su olan betonarme çeliğinin korozyon hızını yavaşlattığı düşünülebilir.



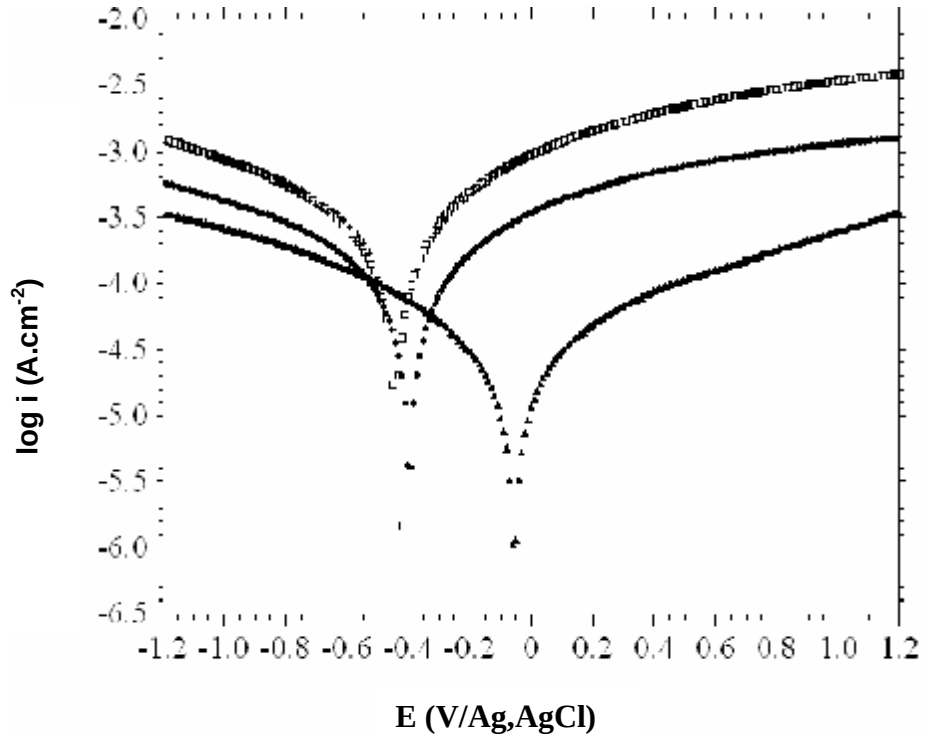
Şekil 4.2.2. Karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (glikoz + klorürlü ortam; ●, sadece glikozlu ortam; ▲, sadece klorürlü ortam; □) akım potansiyel eğrileri.

Şekil 4.2.2. incelendiğinde elde edilen açık devre potansiyelleri sırasıyla glikoz + klorlu ortam (▲), sadece klorürlü ortam (□), sadece glikozlu ortam (●) için, -0,539, -0,425 ve -0,238 V'dur. Açık devre potansiyellerinden itibaren katodik yöndeki akım artışı hidrojen indirgenmesine karşılık gelmektedir. -0,8 V değerinde belirlenen akım yoğunluğu değerleri klorür + glikozlu ortamda ($2,16 \times 10^{-3}$ A), klorürlü ortamda ($1,11 \times 10^{-3}$ A), glikoz içeren ortamda ($3,10 \times 10^{-4}$ A) şeklinde azalmaktadır. Bu nedenden dolayı en iyi şekilde glikozun karma suyu glikoz olan betonarme çeliğinin korozyon hızını yavaşlattığı düşünülebilir.



Şekil 4.2.3. Karma suyu glikoz + klorür olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki(glikoz + klorürlü ortam; ●, sadece glikozlu ortam; ▲, sadece klorürlü ortam; □) akım potansiyel eğrileri.

Şekil 4.2.3. incelendiğinde elde edilen açık devre potansiyelleri sırasıyla glikoz + klorlu ortam (□), sadece klorürlü ortam (▲), sadece glikozlu ortam (*) için, -0,510, -0,427 ve -0,412 V'dur. Açık devre potansiyellerinden itibaren katodik yöndeki akım artışı hidrojen indirgenmesine karşılık gelmektedir. -0,8 V değerinde belirlenen akım yoğunluğu değerleri klorür + glikozlu ortamda ($2,70 \times 10^{-3}$ A), klorürlü ortamda ($7,85 \times 10^{-4}$ A), glikoz içeren ortamda ($5,86 \times 10^{-4}$ A) şeklinde azalmaktadır. Bu nedenden dolayı en iyi şekilde glikozun karma suyu glikoz + klorür olan betonarme çeliğinin korozyon hızını yavaşlattığı düşünülebilir.



Şekil 4.2.4. Karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin farklı ortamlardaki (glikoz + klorürlü ortam; ●, sadece glikozlu ortam; ▲, sadece klorürlü ortam; □) akım potansiyel eğrileri.

Şekil 4.2.4. incelendiğinde elde edilen açık devre potansiyelleri sırasıyla glikoz + klorlu ortam (□), sadece klorürlü ortam (*), sadece glikozlu ortam (Δ) için, -0,396, -0,442 ve -0,056 V'dur. Açık devre potansiyellerinden itibaren katodik yöndeki akım artışı hidrojen indirgenmesine karşılık gelmektedir. -0,8 V değerinde belirlenen akım yoğunluğu değerleri klorürlü ortamda ($5,60 \times 10^{-4}$ A), klorür + glikozlu ortamda ($2,90 \times 10^{-4}$ A), glikoz içeren ortamda ($1,88 \times 10^{-4}$ A) şeklinde azalmaktadır. Bu nedenden dolayı en iyi şekilde glikozun karma suyu klorür olan betonarme çeliğinin korozyon hızını yavaşlattığı düşünülebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı karma suları (saf su, %3,5 NaCl, 0,1M Glikoz ve %3,5 NaCl + 0,1M Glikoz) ile hazırlanan betonarme elektrotların farklı karma sularına (destile su, %3,5 NaCl, 0,1M Glikoz ve %3,5 NaCl + 0,1M Glikoz) daldırılarak elektrokimyasal davranışları incelenmiştir.

1. Farklı karma suları (saf su, %3,5 NaCl, 0,1M Glikoz ve %3,5 NaCl + 0,1M Glikoz) ile hazırlanan betonarme örneklerinin akım potansiyel eğrilerinden, belli potansiyellerde belirlenen akım yoğunluğu değerlerine göre, temas suyu glikoz olan betonarme çeliğinin en düşük akım yoğunluğuna sahip olduğu belirlendi.
2. Farklı karma suları (saf su, %3,5 NaCl, 0,1M Glikoz ve %3,5 NaCl + 0,1M Glikoz) ile hazırlanan ve farklı temas sularına (saf su, %3,5 NaCl, 0,1M Glikoz ve %3,5 NaCl + 0,1M Glikoz) maruz bırakılan betonarme örneklerin, 1., 2., 7., 28. ve 60. günlerinde AC impedans tekniği ile açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramlarından; betonarme çeliği üzerinde oluşan polarizasyon direncinin karma suları ne olursa olsun en yüksek değeri glikozlu ortamda gösterdiği belirlendi.

Yapılan çalışmalar sonucunda; glikozun betonarme çeliğinin korozyon hızını azaltıcı etkisinden dolayı, betonarme yapılarda 0,1 M olarak uygulanmasında bir sakınca olmadığı önerilir.

KAYNAKLAR

- AKÖZ F., YÜZER N., KAROL S.,** Betonarme Çeliğinin Korozyonuna Sodyum Klorür Ve Magnezyum Klorürün Etkileri, V. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 114-123. (1996).
- ALTINDAĞ Y. M.,** Betonarme Demirinin Değişik Ortamlardaki Davranışlarının Elektrokimyasal İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi (1995)
- ASAN A., YALÇIN H.,** Uçucu Kül Katkısının Betonarme Demirleinin Korozyonu Üzerine Etkisi, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16 (1), 47-54, (2003).
- BALBANIC,G.,BIANIC.,DUREKOVIC,A.,** The Influence Of W/C Ratio, Concrete Cover Thickness And Degree Of Water Saturation On The Corrosion Rate Of Reinforcing Steel İn Concrete. Cement And Concrete Research. 26, No:5, 761-769 (1996).
- BATİS G. AND RAKANTA E.,**Corrosion Of Steel Reinforcement Due To Atmospheric Pollution, Cement And Concrete Composites, Volume 27, ,269-275, (2005).
- BLANCO M.T VARELA, MARTİNEZ-RAMİREZ S., VAZQUEZ T., SANCHEZ-MORAL S.** Role Of Alkalis Of Aggregate Origin İn The Deterioration Of CAC Concrete–Cement And Concrete Research, (2004).
- ERBİL M.,** Demirin Korozyonu Üzerine Bazı İnhibitörlerin Etkilerinin Araştırılması, Ankara ÜnivetsitesiFn Fakültesi Fizikokimya Kürsüsü, Doçentlik Tezi, 117, (1980).
- ERBİL M.,** Alternatif Akım (AC) İmpedansı Yöntemiyle Korozyon Hızı Belirlenmesi, Doğa, TU Kim. D.C. 11 S. 3, (1987).
- ERBİL M.,** Korozyon İnhibitörleri ve Etkinliklerinin Saptanması. Çukurova Üniversitesi Matbaası, Adana, 148s, (1980).
- ERBİL M.,** VII. Uluslar arası Korozyon Sempozyumu Bildiri Kitabı, Eskişehir, 29, 2002.

ERSOY U., Betonarme Cilt 1 (Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı) 2. Baskı (1985)

FOULKES F.R. VE MCGRATH P., A Rapid Cyclic Voltammetric Method For Studying Cement Factors Affecting The Corrosion Of Reinforced Concrete Cement Concrete Research 29 873 – 883 (1999).

GÜRTEN A.A., ERBİL M., KAYAKIRILMAZ K., Effect of Polyvinylpyrrolidone On The Corrosion Resistance If Steel, Cement & Concrete Composites 27, 802-808, (2005).

GÜRTEN A., BAYOL E., ERBİL M., KAYAKIRILMAZ K., Sülfatlı Ortamda Betonarme Çeliğinin Korozyonuna Tiyosemikarbazitin Etkisi, X. Uluslararası Korozyon Sempozyumu , Çukurova Üniversitesi, 255-237, (2006).

HOU JİANGYUAN, CHUNG D.D.L., Effect of admixtures in concrete on the corrosion resistance of steel reinforced concrete corrosion sience 42 1489 – 1507 (2000).

İSMAİL M., OHTSU M., Corrosion Rate Of Ordinary And High Performance Concrete Subjected To Chloride Attack By AC İmpedance Spectroscopy, Construction And Building Meterials, 20, 458-469, (2006).

JAMİL H. E., MONTEMOR M. F., BOULİF R., SHRİRİ A. AND FERREİRA M. G. S., Electrochemical Behaviour of Amino Alcohol-Based İnhibitors Used to Control Corrosion of Reinforcing Steel Electrochimica Acta, 49, 17-18, 2753-2760 (2004).

JAMİL H. E., MONTEMOR M. F., BOULİF R., SHRİRİ A. AND FERREİRA M. G. S., Erratum To An Electrochemical And Analytical Approach To The İnhibition Mechanism Of An Amino-Alcohol-Based Corrosion İnhibitor For Reinforced Concrete Electrochim. Acta 48 3509– 3518 (2003).

- KAHYAOĞLU H.**, Betonarme Korozyonunu önlemek Amacıyla Uygulanabilir Yöntemlerin Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, (Ekim 1998)
- KAHYAOĞLU H., B.YAZICI, M.ERBİL**, Lineeralkilbenzensülfonatın Klorür Ve Sülfat İçeren Ortamlarda, Betonarme Demirinin Korozyonuna Ve Beton Dayanımına Etkisinin Araştırılması, VII. Ulusal Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2000).
- KAYALI O. ve ZHU B.** Corrosion Performance Of Medium-Strength And Silica Fume High-Strength Reinforced Concrete In A Chloride Solution Cement And Concrete Composites,(2005),27,117-124.
- KELEŞTEMUR O., YILDIZ S.**, Normal Ve Silis Dumanı Katılarak Üretilen Betonlarda Donatı Korozyonuna Sodyum Klorür Etkisi, F.Ü. Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (2), 277-286, (2005).
- KIKUCHI T., ARAMAKI K.**, The Inhibition Effects Of Anion And Cation Inhibitors On Corrosion Of Iron In An Anhydrous Acetonitrile Solution Of $FeCl_3$ Corrosion Science 42, 817-829, (2000).
- 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, A. YALÇIN, O.G. Köseoğlu**, Betonarme Demirinin Elektrokimyasal Davranışlarına Sodyum Klorür Ve Sodyum Fosfatın Etkileri, VII. Ulusal Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2000).
- MORRIS W., VICO A. AND VÁZQUEZ M.** Chloride Induced Corrosion Of Reinforcing Steel Evaluated By Concrete Resistivity Measurements • Electrochimica Acta, 49,4447-4453, (2004).

- ÖZCAN A.**, Betonarme Demirinin Korozyonuna Karşı Katodik Yöntemin Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi (1997).
- POSTACIOĞLU B.,** Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt 1 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 175 S (1986).
- POSTACIOĞLU B.,** Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt 2 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 229 S (1987).
- SAKR K.** Effect Of Cement Type On The Corrosion Of Reinforcing Steel Bars Exposed To Acidic Media Using Electrochemical Tecniques, Cement And Concrete Research (2004).
- SARIKAYA Y.,** , Fizikokimya, Gazi Büro Kitabevi 2. Baskı, 597 (1997).
- TS 3526** Aralık 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık Ve Su Emme Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3500** Aralık 1980. Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini (Granülometrik Bileşim Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 19** Nisan 1992 Çimento-Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 687** Nisan 1994. Çimento-Kimyasal Analiz Metodları Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 707** Aralık 1980. Beton Agregalarında Numune Alma Ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802** Ocak 1985. Beton Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TÜRKMEN İ., GAVGALI M., GÜL R.,** Influence Of Mineral Admixtures On The Mechanical Properties And Corrosion Of Steel Embedded In High Strength Concrete, Materials Letters, 57, 2037-2043, (2003).
- TÜRKMEN İ., GAVGALI M.,** , Influence Of Mineral Admixtures On The Some Properties And Corrosion Of Steel Embedded In Sodium Sulfate Solution Of Concrete, Materials Letters, 57, 3222-3233, (2003).
- ÜNERİ S.,** Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği Yayınları, Ankara (1998).
- YALÇIN H. ve KOÇ T.,** Katodik Koruma, Palme Yayıncılık, Ankara 269-295 (1999).
- YAZICI, B., ERBİL, M., DEHRİ, İ., TATLI, G., GALİP, H.,** The Effect of Acetate Ion on the Corrosion of Iron in Weakly Alkaline Solutions. Chimica Acta Turcica. 24, 129-138 (1996).
- YILMAZ A.B.,** Bazı İyonların Beton Dayanımı Ve Beton Çeliği Üzerine Etkileri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi, (1994).
- YILMAZ A.B., YAZICI B., ERBİL M.,** Betonarme Demirine ve Betona Magnezyum İyonlarının Korozyon Etkisi, V. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, 360-368, (1996).
- YILMAZ A.B., YAZICI B., ERBİL M.,** The Effect Of Sulphate İon On Concrete And Reinforced Concrete, Cement And Concrete Research, 27, 1271-1279, (1997).
- YILMAZ A.B., İ. DEHRİ, M. ERBİL,** Betonarme Çeliğinin Atmosferik Korozyonuna SO₂ Etkisinin Bağlı Neme Bağlılığı, VII. Ulusal Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2000).
- YILMAZ A.B., DEHRİ İ., ERBİL M.,** Karma Suyu Ph Değişiminin Beton Basınç Dayanımına ve Betonarme Demirinin Korozyon Potansiyeline Etkisi IV. Elektrokimya Günleri, Çukurova Üniversitesi, Adana, (11-13 Haziran 2003).
- YILMAZ A.B., DEHRİ İ., ERBİL M.,** Effects Of Ammonium Chloride Salt

Added To Mixing Water On Concrete And Reinforced Concrete Subject To
Atmospheric Corrosion, Cement And Concrete Research, 32, 91-95, (2002).
ZEREN A., Elektrokimya, Temel Bilgiler, Birsen Yayımevi, İstanbul, (1999) .

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ceyhan'da doğdum. Ortaokul öğrenimimi Ceyhan'da, lise öğrenimimi Maraş'ta tamamladım. 1998 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kimya Bölümü'ne başladım. 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Kimya bölümüne yatay geçiş yaptım, 2002 yılında mezun oldum. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimime başladım. 2003 yılından beri özel kuruluşlarda öğretmenlik mesleğini devam ettirmekteyim.

Ek. 1. Agreganın özgül ağırlığı, su emme oranının belirlenmesi, yığılımlı ağırlık yüzdesi ve incelik modülünün hesaplanması

Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranının saptanmasında aşağıdaki eşitlikler (TS 3526/1980) kullanılmıştır.

$$t_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3}$$

$$m_1 = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

$$t_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3}$$

t_d : İnce agreganın doygün kuru yüzey özgül ağırlığı

t_k : Kuru özgül ağırlık

m_1 : İnce agreganın su emme oranı (%)

W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

W_2 : Numunenin doygün kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

W_3 : Ölçü kabı + su + numune ağırlığı (g)

W_4 : 500 ml (cm³) çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

Boş piknometre ağırlığı : 225,7 g

Piknometre + numune : 730,2 g

Piknometre + numune + su : 1038,2 g

Piknometre + su : 725,2 g

Tava ağırlığı : 426,7 g

Kuru numune + tava ağırlığı : 915,6 g

W_1 : 915,6 – 426,7 = 488,9 g

W_2 : 730,2 – 225,7 = 504,5

$$W_3 : 1038,2 \text{ g}$$

$$W_4 : 725,2 \text{ g}$$

$$t_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} = \frac{504,5}{504,5 + 725,2 - 1038,2} = 2,63 \text{ g / cm}^3$$

$$t_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} = \frac{488,9}{504,5 + 725,2 - 1038,2} = 2,55 \text{ g / cm}^3$$

$$m_1 = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 = \frac{504,5 - 488,9}{488,9} \times 100 = \%3,20$$

Yığılımlı Ağırlık Yüzdesi Bulunması: karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır.

$$m_k = \frac{W_k}{\sum W_k} \times 100 \quad (\%)$$

m_k : Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi

W_k : Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın fırın kurusu yığılımlı ağırlığı (g)

$\sum W_k$: Fırın kurusu deney ağırlığı (g)

İncelik modülünün hesaplanması: İncelik modülü aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır.

$$I = \frac{\sum W_k}{100}$$

Ek 2. Beton Karışım Hesabı

Betondaki çimento – su agrega karışımı TS 802 (1985)’e göre hesaplanmıştır. W/C oranı 0,45 olarak seçilmiş, su miktarı standarttan 191 kg olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden çimento miktarı $C = 191/0,45 = 424,44$ kg olarak bulunur. Beton karışım hesabından

$$\frac{424,44}{2,96} + 191 + \frac{W_a}{2,63} + 20 = 1000$$

$W_a = 1697,9$ kg olarak bulunur.

8/4 mm agrega miktarı $1697,9 \times 0,44 = 747,1$ kg

4/0,5 mm agrega miktarı $1697,9 \times 0,56 = 950,8$ kg olarak hesaplanmıştır.

Çalışma Elektrodunun Hesaplanması

Kalıp olarak kullanılan plastik kutuların yüksekliği 5 cm, çapı 3 cm’dir.

$$V = p \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \times (1,5)^2 \times 5 = 35,325 \text{ cm}^3$$

Betonarme demiri 10’luk; r: 0,5 cm; h: 4cm

$$V_{\text{demir}} = p \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \times (0,5)^2 \times 4 = 3,14 \text{ cm}^3$$

Su + çimento + agrega = $35,325 - 3,14 = 32,185 \text{ cm}^3$ (bir elektrot için gerekli betonun hacmi)

$$4 \text{ elektrot için } 32,185 \times 4 = 128,74 \text{ cm}^3 = 0,1284 \text{ dm}^3$$

1000 dm³ beton için 191 lt su gerekiyorsa

0,12872 dm³ beton için x lt su gerekir

$$x = (191 \times 0,12872) / 1000 = 0,02459 \text{ lt} = \underline{24,59 \text{ ml}}$$

1000 dm³ beton için 424,44 kg çimento gerekiyorsa

0,12872 dm³ beton için x kg çimento gerekir

$$x = (424,44 \times 0,12874) / 1000 = 0,05464 \text{ kg} = \underline{54,64 \text{ g}}$$

1000 dm³ beton için 950,8 kg 4/0,5 mm'lik agregaya gerekiyorsa

0,12872 dm³ beton için x kg 4/0,5 mm'lik agregaya gerekir

$$x = (950,8 \times 0,12872) / 1000 = 0,1224 \text{ kg} = \underline{12,24 \text{ g}}$$

1000 dm³ beton için 747,1 kg 8/4 mm'lik agregaya gerekiyorsa

0,12872 dm³ beton için x kg 8/4 mm'lik agregaya gerekir

$$x = (747,1 \times 0,12872) / 1000 = 0,0962 \text{ kg} = \underline{96,2 \text{ g}}$$