BETONARME DEMİRİNİN KOROZYONUNA KARŞI KATODİK YÖNTEMİN GELİŞTİRİLMESİ

AYŞE ÖZCAN

Ç.Ü.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA
EYLÜL 1997

Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Birgül YAZICI

Üye : Prof. Dr. Mehmet ERBİL

Üye : Prof.Dr. Gaye ERBATUR

Kod No : 1842

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ural DİNÇ
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....i

ÇİZELGE LİSTESİ.....iv

ŞEKİL LİSTESİ.....v

ÖZ.....ix

ABSTRACT.....x

1. GİRİŞ.....1

1.1. Çalışmanın Amacı.....3

1.2. Beton.....4

1.3. Çimento.....5

1.3.1 Çimentonun Hidratasyonu.....7

1.3.2. Çimento Türleri.....8

1.4. Agregalar.....9

1.5. Beton Karışım Suyu.....10

1.6. Su-Çimento Oranı.....12

1.7. Betona Zarar Veren Kimyasal Olaylar.....13

1.8. Betonarme.....22

1.9. Korozyon Hakkında Genel Bilgi.....23

1.9.1. Demirin Korozyonu.....24

1.9.2. Betonarme Demirinin Korozyonu.....28

1.9.3. Katodik Koruma.....29

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....32

..3. MATERYAL VE METOD.....46

3.1. Agrega Seçimi.....46

3.2. Beton Karışım Hesabı.....47

4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....51

4.1 Akım-Potansiyel Eğrileri.....51

4.1.1. Karma Suyunun Saf Su Olduğu Betonarme Örneklerinin xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) İçeren Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Deney Sonuçları.....51

4.1.2. Karma Suyunun xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) Olan Betonarme Örneklerinin Temas Suyu Saf Su Olan Ortamlarda Elde Edilen Deney Sonuçları.....57

4.1.3. Karma Suyunun xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) Olan Betonarme Örnekleri, Karma Suyu İle Aynı Temas Suyu İçinde Elde Edilen Deney Sonuçları.....63

4.2. Temas Suyundaki Klorür Derişimi, pH ve İletkenliğin Zamanla Değişimi.....64

5. TARTIŞMA.....82

6. SONUÇ.....86

ÖZET.....87

SUMMARY.....89

EK-1 Agreganın Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranının Belirlenmesinde Kullanılan Eşitlikler.....91

EK-2 Beton Karışım Hesabı.....92

KAYNAKLAR.....93

TEŞEKKÜR.....98

ÖZGEÇMİŞ.....99

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge.....**Sayfa**

1 Portland Çimentosu Yapısındaki Fazlar.....6

2 Türkiye'de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldığı Alanlar.....9

3 Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerleri.....13

4 Adana Çimento Fabrikası'nda Üretilen TÇ 325 Portland Çimentosunun Kimyasal Analizleri ve Fiziksel Özellikleri.....46

5 Kullanılan İnce Agreganın Özellikleri.....47

6 TÇ 325 (d=2,96 g/cm^3)'in 32,185 cm^3 Dökülmüş ve Sıkıştırılmış Beton İçin Hesaplanan Malzeme Miktarı.....49

7 700 mV Potansiyel Uygulandığında Temas Suyunda pH ve İletkenlik Değerleri.....80

8 -700 mV Potansiyel Uygulandığında Temas Suyunda pH ve İletkenlik Değerleri.....81

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil.....**Sayfa**

1 Yeraltında Gömülü Bir Tankın Akım Uygulanarak Katodik Korunması...31

2 Yeraltı Boru Hattının Kurban Anotla Katodik Korunması.....31

3 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu 2M NaCl Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....52

4 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu 1,5M NaCl Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....53

5 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu 1M NaCl Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....54

6 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu 0,5M NaCl Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....55

7 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu 0,25M NaCl Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....56

8 Karma Suyu 2M NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş,

(b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....58

9 Karma Suyu 1,5M NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....59

10 Karma Suyu 1M NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....60

11 Karma Suyu 0,5M NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....61

12 Karma Suyu 0,25M NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....62

13 Karma Suyu 2M NaCl, Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....65

14 Karma Suyu 1,5M NaCl, Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....66

15 Karma Suyu 1M NaCl, Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....67

16 Karma Suyu 0,5M NaCl, Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....68

17 Karma Suyu 0,25M NaCl, Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrileri (a) -1,8V'dan 1,8V'a Kadar Gidiş Dönüş, (b) -1,2V'dan 0,4V'a Kadar Gidiş Kısmı.....69

18 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu xM NaCl Ortamlarında +700 mV Anodik Potansiyeller Uygulan//dığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,5M, (c) 1,0M, (d) 0,5M, (e) 0,25M.....72

19 Karma Suyu xM NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında +700 mV Anodik Potansiyeller Uygulandığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,5M, (c) 1,0M, (d) 0,5M, (e) 0,25M.....73

20 Karma Suyu xM NaCl İçeren Betonarmelerin Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında +700 mV Anodik Potansiyeller Uygulandığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,0M, (c) 0,25M.....74

21 Karma Suyu Saf Su, Temas Suyu xM NaCl Ortamlarında -700 mV Katodik Potansiyeller Uygulandığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,5M, (c) 1,0M, (d) 0,5M, (e) 0,25M.....77

22 Karma Suyu xM NaCl, Temas Suyu Saf Su Ortamlarında -700 mV Katodik Potansiyeller Uygulandığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,5M, (c) 1,0M, (d) 0,5M, (e) 0,25M.....78

23 Karma Suyu xM NaCl İçeren Betonarmelerin Karma Suyuyla Aynı Temas Suyu Ortamlarında -700 mV Katodik Potansiyeller Uygulandığında Cl^- Derişiminin Zamanla Değişimi (a) 2M, (b) 1,0M, (c) 0,25M.....79

ÖZ

Bu çalışmada, çevresel etkilerle veya beton karma suyu yoluyla beton yapısına giren Cl^- iyonlarının betonarme demirine etkileri araştırılmıştır. Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da 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 elektriksel 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.

Anahtar Kelimeler: beton, korozyon, katodik koruma, difüzyon, klorür etkisi.

ABSTRACT

In this study, the effects of Cl^- which inserted in concrete structure by environmental effects and mixture water on concrete iron were investigated. Current-potential changes of concrete samples which were prepared using electrolyte as mixture and/or surface water containing various Cl^- concentration were measured. The conductivity, $|Cl^-|$ and pH were determinated in case cathodic (-700 mV) and anodic (+700 mV) potentials applied to the cell for five hours.

According to the investigation results, chloride ions cause to corrosion on concrete iron. A rapid increase of solubility of concrete iron is observed depending on increasing of Cl^- concentration at anodic region (+700 mV). A regular diffusion of Cl^- into the concrete and the surface water has not been determined at -700 and +700 mV potentials applied to the cell.

Key Words: concrete, corrosion, cathodic protection, diffusion, chloride effect.

1. GİRİŞ

Beton önemli bir yapı malzemesidir ve zaman içinde yapısal ve mimari karakteristiklerini korumalıdır.

Beton dayanımını arttırmak üzere kullanılan betonarme demirlerindeki korozyon yalnız metalin değil, beton yapısının ömrü açısından da önem taşır. Demir çubukların korozyonu sonucu çubuklar metalik özelliklerini kaybederek görevlerini yapamaz hale gelir. Bununla birlikte korozyon sonucu oluşan ürünler büyük bir hacim genişlemesi yaparak beton içinde içsel gerilmelere hatta betonun parçalanmasına neden olurlar. Bu durum bütün yapı için tamir edilmesi mümkün olmayan son derece tehlikeli sonuçlar doğurur.

Betonun yüksek alkali özelliği olduğu için betonarme içindeki beton demirleri kısa sürede pasifleşmektedir. Diğer taraftan atmosferden beton içine oksijen difüzyon hızı sınırlı olduğu için normal koşullar altında betonarme demirlerinin pratik olarak korozyona uğramadığı kabul edilir.

Bir beton veya betonarme yapı herhangibir şekilde harap olmadan, özelliklerinde bir azalma meydana gelmeden belirli bir süre kendisinden beklenen fonksiyonu göstermelidir. Bu durum ancak betonun dayanıklılığı sayesinde elde edilir. Dayanıklılık, çimento ve betonun hem dış fiziksel, fizikokimyasal hem de kimyasal etkilere karşı direnç göstermesi şeklinde tanımlanabilir (CALLEJA, 1990).

İç etkilerden beton içinde bulunan bağlayıcı madde üzerinde yaptıkları reaksiyonlar sonunda meydana gelen değişmeler anlaşılır. İç etkilerden bir

kısmı çimentonun kendisine, bir kısmı beton üretiminde kullanılan suya, bir kısmı da agregalara ait bulunmaktadır.

Çimento içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan maddelerdir. Yani serbest CaO, MgO ve SO_3'tür. Bunlar ancak belirli değerden fazla miktarda çimento içinde bulunuyorsa zararlı etki gösterirler. CaO ve MgO ısıl etkisi ile önemli bir hacim artışına uğrar. Genel olarak serbest CaO'in %2'den fazla miktarda bulunması zarar meydana getirecek ölçüde bir hacim artmasına neden olur. CaO'in çimento içinde fazla miktarda olması ilkel malzemede CaO'in fazla olmasından, pişirilmeden evvel öğütme ve karıştırma işinin iyi yapılmadığından ileri gelebilir. Ancak bu gibi hallerde çimentonun bileşimine giren kirecin hepsi silisle birleşmeyerek bir miktar sönmemiş halde bağlayıcı madde içinde yer alır.

Beton hazırlanırken kullanılan suyun, suda çözünmüş olan çeşitli iyonlar içermesi suyun pH'ını değiştirir. Beton içinde zararlı etki yapmayan suların pH değeri 6,5'dan büyük olmalıdır. Zararlı etki pH'ın 6,5 değerinin altına düşmesiyle kendini gösterir. pH=6-3 arasındayken beton bu tür suların etkisiyle hızlı bir şekilde tahrip olur. Genellikle asit karakteristiğinde bulunan bütün sular betondaki bazik tuzlar ile suda çözünebilen tuzlar oluşturarak betonun kolayca parçalanmasını sağlar. Betonda uygulanacak agregalar da temiz, sert, dış etkilere dayanıklı, su emmesi az olmalı, kil ve organik madde içermemelidir.

Betona etki eden dış etkiler ise sertleşmekte olan veya sertleşmemiş betona kimyasal olarak zararlı şekilde etkileyen etmenler, bulunduğu zemin ortamı (sülfatlı zeminler, bataklık çamuru, endüstri atığı, dolgu zeminler vb.) ile zemin suyunda çözünmüş olan çeşitli iyonlardır (Cl^-, $SO_4^{=}$, Na^+, Ca^{++}, Mg^{++} vb.).

Ancak çeşitli çevresel kaynaklardan beton bünyesine klorür iyonu girmesi halinde betonarme demirlerinin pasiflik hali bozulur ve son derece tehlikeli olan çukur korozyonu görülür. Klorür iyonu beton içine su içinde çözünmüş olarak girer. Karma suyunda toplam Cl^- iyonları 500 ppm'i, sülfatlar da 1000 ppm'i geçmedikçe zararlı etkinliği olmadığı ancak su içindeki toplam tuz oranı yüksek ise yine de dikkatli olunması gerektiği belirtilmektedir.

Klorür beton içine mikroçatlak ve kapiler gözeneklerden nüfuz eder. Derine nüfuz edebilmesinin ana faktörleri çözelti konsantrasyonu, tuz çözeltisiyle kaldığı süre, su/çimento oranı, çimento miktarı, kür süresi ve çimento tipi olarak belirtilmektedir. Bu faktörler arasında ARYA (1990) tarafından yapılan çalışmalarda Cl^- iyonları difüzyonunda en etkili faktörün betonun temasta bulunduğu çözeltinin klorür konsantrasyonu olduğu saptanmıştır.

Beton içine difüzyonla giren yabancı iyonların betonarme demiri üzerine etkilerini de dikkate almak gerekir. Çoğu uygulamalarda beton, betonarme halinde olduğundan beton dayanımını betonarme demirinden ayrı tutmamak gerekir. Bu nedenle betonla birlikte, betonarme demirinin dayanımı ve korozyon davranışları da araştırılmalıdır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Sağlıklı, ekonomik ve güvenilir betonarme yapılar elde edebilmek için, betonarme yapılarda korozyonun araştırılması ve bu konuda iyi bir koruma yöntemi geliştirilmesi önemlidir. Betonarme yapılarda, havadan suya kadar tüm faktörler etkendir. Bu faktörlerden Cl^- iyonlarının derişimini, pH ve iletkenliklerinin korozyon açısından önemini bilmek gereklidir.

Beton içinde bulunan demir yapı elemanları normal koşullarda pasif halde bulunmasına karşın, klorür gibi pasifliği bozucu etkenlerin bulunması halinde tehlikeli boyutlarda korozyona uğrayabilir.

Bu çalışmada, beton içinde ve temas suyunda bulunan Cl^- iyonlarının betonarmeye girmesi sonucu betonarme demirinin korozyonu üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme örneklerinde betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları incelenerek, katodik (-700 mV) ve anodik (+700 mV) değişik potansiyeller altında Cl^- geçişinin izlenmesi de bu çalışmanın kapsamı içinde düşünülmüştür.

1.2. Beton

Beton, çimento-agrega-su ve gerektiğinde katkı maddesinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup, zamanla çimentonun hidratasyonu nedeni ile katılaşıp sertleşen bir yapı malzemesidir.

Bu yapı malzemesini oluşturan temel malzemelerin bileşimlerinin çok karmaşık olması, betonun özelliklerini yakından ilgilendirmekte ve üzerinde çeşitli araştırmalara neden olmaktadır.

1.3. Çimento

Havada ve/veya su altında su ile etkileşerek katılaşabilen ve sertleştikten sonra suya dayanıklı, temelde kireç, silis, kil ve demiroksit bileşiklerinden oluşan hidrolik bağlayıcı maddedir.

Çimentonun ilkel maddeleri kil ve kalkerdir. Bu maddeler belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra döner fırınlarda 1400-1450 °C sıcaklıkta pişirilir. %90-98 oranında $CaCO_3$ yapısı içeren kalker 900 °C'de kalsiyum okside dönüşür.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2 \qquad (1.1)$$

Genel anlamda, hidratlı alüminyum silikatlardan oluşan kil pişirilirken, 200-500 °C'de dehidratasyona uğrayarak

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2 + 2H_2O \qquad (1.2)$$

yapısına dönüşür.

Sıcaklık artışı ile birlikte bu oksitler: 750-900 °C'de $CaO.Al_2O_3$ (Monokalsiyum Alüminat.); $Ca.SiO_2$ (Monokalsiyum Silikat) ve az miktarda $CaO.Fe_2O_3$ (Monokalsiyum Ferrit) 900-950°C'de $5CaO.3Al_2O_3$ (Pentakalsiyum trialüminat) 940-1200°C'de $2CaO.SiO_2$ (Dikalsiyum silikat) 1200-1300 °C'de $3CaO.Al_2O_3$ (Trikalsiyum alüminat) ve $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (Tetrakalsiyum alümino- ferrit). 1200-1450 °C'de $3CaO.SiO_2$ (Trikalsiyum silikat) yapılarına dönüşür. (HAKDİYEN,1980).

Klinker adı verilen bu karmaşık ürünlerin bağlayıcı özelliği yeterli değildir, su ile bağlayıcı özellik kazandıran bir reaksiyon vermez. Ancak ince bir şekilde öğütüldükten sonra bağlayıcılık özelliği kazanır. Klinkere katılaşması

süresini düzenlemek için %3 civarında alçı taşı ($CaSO_4.2H_2O$) katılır ve çelik bilyalı öğütücülerde öğütülür. Boyutları 90 mikron ile 6,5 mikron arasında değişen çok ince tanelerden oluşmuş çimento elde edilir.

Çimento yapısındaki oksitlerin herbiri kısaltılmış olarak bir sembol ile gösterilir.

$CaO=C$; $SiO_2=S$; $Fe_2O_3=F$; Hidrate=H

İleride verilecek reaksiyonlarda oksitler bu kısaltılmış gösterişleri ile yazılacak olup, sülfat tuzlarındaki SO_4^{-2} için S, Na^+ iyonları için N, Mg^{+2} iyonları için M harfi kullanılacaktır.

Portland tipi çimentolarda Çizelge 1'de belirtilen fazların bulunduğu kesinlikle anlaşılmıştır (NEVILLE, 1981). Çimento yapısındaki oksitlerin ağırlıkça % değerleri kullanılarak Bogue tarafından öne sürülen ampirik eşitlikler yardımıyla çimentonun Çizelge 1'de gösterilen kimyasal yapıları bulunur (NEVILLE, 1981).

Çizelge 1. Portland çimentosu yapısındaki fazlar

Bileşiğin Adı	Oksitleri	Kısa Gösterilişi
Trikalsiyum Silikat	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dikalsiyum Silikat	$2CaO.SiO_2$ (β)	β C_2S
Trikalsiyum Alüminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsiyum Alüminoferrrit	$4CaO.Al_2O_3.FeO_3$	C_4AF

BOGUE eşitlikleri:

$C_3S=4.07(CaO)-7.60(SiO_2)-6.72(Al_2O_3)-1.43(Fe_2O_3)-2.85(SO_3)$

$C_2S=2.87(SiO_2)-0.754(3CaO.SiO_2)$

$C_3A=2.65(Al_2O_3)-1.69(Fe_2O_3)$

$C_4AF=3.04(Fe_2O_3)$

1.3.1. 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 (ÖZDEN, 1978).

$$3CaO.SiO_2 + 3H_2O \rightarrow CaO.SiO_2.H_2O + 2Ca(OH)_2 \quad (1.3)$$

$$2CaO.SiO_2 + 2H_2O \rightarrow CaO.SiO_2.H_2O + Ca(OH)_2 \quad (1.4)$$

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 7H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + CaO.Fe_2O_3.H_2O \quad (1.5)$$

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O \quad (1.6)$$

Bu minerallerin su ile tepkimeleri:

$C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$ şeklinde gösterilir (FIGG, 1983).

Karışım önce hafif bir katılaşma gösterir, buna priz başlangıcı denir. Ortam $Ca(OH)_2$ bakımından doygunluğa erişince, $Ca(OH)_2$ çökmeye başlar. Gerek bu kristaller ve gerekse kalsiyum hidroksit kristalleri ile şekilsiz silikatlerin çökmesi, ortamın suyunu kaybetmesi priz sonunu meydana getirir.

Oluşan bu ürünler çimentonun katılaşmasını sağlar. Buna çimentonun sertleşmesi (olgunlaşma) denilir.

1.3.2.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.

Betonun yapı kazanmasında en önemli rölü üstlenen elemanlardan biri çimentodur. Her yapının özelliğine göre kullanılacak çimentonun cinsi değişiktir. Türkiye'de üretilen ve TS'de yer alan çimento çeşitleri ve kullanıldıkları yerler Çizelge 2'de verilmiştir.

TS 19'a göre Portland çimentosu (PÇ) 28 günlük basınç dayınımına göre kendi içinde de sınıflandırılmıştır:

Portland Çimentosu 325 kgf/cm^2 (PÇ 325); 32,5 Nt/mm^2 (PÇ 32.5)
Portland Çimentosu 400 kgf/cm^2 (PÇ 400); 40 Nt/mm^2 (PÇ 40)
Portland Çimentosu 500kgf/cm^2 (PÇ 500); 50 Nt/mm^2 (PÇ 50)
Katkılı Portland Çimentosu 325 kgf/cm^2 (KPÇ 325); 32,5Nt/mm^2 (KPÇ 32.5)

Çi zelge 2. Türkiye'de Üretilen Çimentolar ve Kullanıldıkları Alanlar

ÇİMENTONUN ADI	STANDART NO	KULLANILDIĞI ALANLAR
Portland Çimentosu (PÇ 325)	TS 19	Normal inşaatlarda
Portland Çimentosu (PÇ 400)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Portland Çimentosu (PÇ 500)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Katkılı Portland Çim. (KPÇ 325)	TS 19	Normal inşaatlarda
Demirli Portland Çim. (DPÇ 325)	TS 20	Düşük hidratasyon ısısı isteyen kütle betonlarda
Curuf Çimentosu (CÇ 325)	TS 20	Su altı yapılarında, korozyonun az olduğu inşaatlarda
Beyaz Portland Çim. (BPÇ 325)	TS 21	Normal dayanımlı ve dekoratif inşaatlarda
Harç Çimentosu (HÇ 160)	TS 22	Harç sıvalarında
Traslı Çimento (TÇ 325)	TS 26	Düşük hidratasyon ısısı isteyen kütle betonlarda
Uçucu küllü Çimento (UKÇ 325)	TS 640	Su altı yapılarında, korozyonun az olduğu inşaatlarda
Sülfatlı Curuf Çim. (PÇ 325)	TS 809	Su altı yapılarında, korozyonun az olduğu inşaatlarda
Erken Dayanımlı Yüksek Çim. (EYÇ 510)	TS 3646	Demiryolu traverslerinde

1.4. Agregalar

Doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle 100 mm.'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki tanelerin oluşturduğu karışım agrega olarak adlandırılmaktadır, (TS 706/1980).

Doğal agrega nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır.

Yapay agrega; yüksek fırın curuf taşı gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregadır. Agrega suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler oluşturmamalıdır. Betonunun mukavemeti ve bileşimi bakımından agreganın özellikleri çimentonunki kadar önemlidir. Agreganın içinde, betonun sertleşmesine mukavemetine mani olacak veya donatıyı bozacak maddeler bulunmamalıdır. Bu zararlı maddeler şunlardır:

–Kil ve buna benzer maddeler
–Organik ve humus cinsinden maddeler
–Kömür ve linyit
–Yüksek fırın curufunun cam gibi olan kısımları
–Kükürt bağlantıları

Agrega birim ağırlığı 1,50-1,85 kg/dm^3 arasında olmalıdır (POSTACIOĞLU, 1987). Birim ağırlığına etki eden faktörler; boşluk miktarı, granülometresi, yabancı madde bulunması ve özgül ağırlığıdır. İncelik modülü ise çakıl grubu için 5,50-7,50; kumlar için 2,50-3,00 olmalıdır (POSTACIOĞLU,1987).

1.5. Beton Karışım Suyu (Karma Suyu)

Çimentonun dayanım kazanması, hidratasyon, katılaşma ve sertleşme olaylarının birbirini izlemesi sonucu gerçekleşir. Hidratasyon olayı çimento-su arasındaki kimyasal reaksiyonlardır. O halde beton yapımı sırasında çimento-agrega ve su karıştırılırken kullanılan suyun miktarı,kalitesi, bileşimi çok önemlidir.

Karma suyu adı verilen bu suda betonu kimyasal yönden etkileyerek dayanımını olumsuz yönlendirecek ve hizmet süresini azaltacak iyonların bulunmaması gerekir.

Literatürlerde, karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir (NEVILLE, 1987). İçilebilir sular, suda çözünebilir tuz miktarı 1000-2000 ppm olan sulardır.

Suyun uygunluğuna karar verebilmek için en kolay yol; çimentonun donma süresinin ve beton deney küplerinin dayanımını, bilinen iyi bir karma suyu (veya destile su ile) ve bilinmeyen su ile yaparak karşılaştırmaktır. İçilebilir su ve destile suyun davranışları arasında %10'luk toleransa izin verilebileceği belirtilmektedir. Acı ve tuzlu sularda klorürler ve sülfatlar vardır. Klorürler 500ppm'i, SO_4^{-2} 1000 ppm'i aşmadıkça beton üzerine zararlı etki yapmadığı, ancak su içerisindeki toplam tuz oranı yüksek ise yinede dikkatli olunması gerektiği belirtilmektedir (TS 3732, 1982; TSE 3674, 1981).

TS 3732, 1982; TSE 3674, 1981, Cl^- ve SO_4^{-2} iyonları limitlerini yukarıdaki gibi kabul etmekte, aynı zamanda alkali karbonat ve bikarbonat oranını da 1000 ppm'e kadar sınırlandırmaktadır.

Beton karma suyunun kalitesi yanında miktarı da çok önemlidir. Betonda kullanılacak karışım suyu optimum miktarda olmalıdır. Karışımda kullanılacak su, çimentonun ağırlığının %36-42 si çimentonun hidrayasyonu için yeterlidir. Çimento bileşenlerinin hidratasyonları için, bileşenlerine bağlı olarak gerekli su miktarları tepkimelerde farklıdır. (1.3)-(1.6)'ya göre C_3S için gerekli su miktarı ağırlığının yaklaşık %24 ü kadar, C_4AF için ise bu miktar yaklaşık %37 dir. Aynı zamanda çimento hamurundaki jel boşluklarının iç yüzeyleride adsorpsiyon

yolu ile önemli miktarda su tutmaktadır. Bu yüzden kullanılacak su miktarına adsorpsiyon suyunun da eklenmesi gerekecektir. Eğer bu şekilde bir uygulama yapılmaz ise boşluk yüzeyleri bir miktar su tutacağından geriye hidratasyon için gerekli miktarda su kalmayacaktır. Hidratasyon tamamlanmayınca, çimento hamurunun porozitesi azalmayacak ve dayanım beklenen değere erişemeyecektir. Gereğinden %10 eksik su basınç dayanımında %10 azalmaya neden olduğu için geçirgenliği ve dış faktörlere karşı dayanımı da olumsuz yönde etkilediği, karma suyunun %20 kadar fazla olması halinde de basınç dayanımının %30 azaldığı belirtilmektedir (POSTACIOĞLU,1987).

Beton karışım suyu kadar temas suyu da önemlidir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, temas suyunda bulunan ve betona zarar veren iyonlar (deniz suyu, sülfatlı sular gibi) zamanla olumsuz etki yaparlar (KOCATAŞKIN, 1976).

1.6. Su-Çimento (W/C) Oranı

Betonun dayanımı ile, W/C ters olarak değişir.Karışımda kullanılan W/C oranı küçüldükçe, betonun dayanımı artar ve kılcal boşlukların oranı azalır. Böylece W/C oranı dayanımı ve dış etkilere karşı dayanıklılığı belirleyen en önemli özelliktir (NEVILLE,1987).

Ilıman bölgelerde W/C oranının 0,58, soğuk bölgelerde ise 0,53 olması önerilmektedir (KRAATZ, 1987). 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/Mayıs 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 3'de verilmiştir.

Zararlı etkilerin bulunduğu suyun basınç ve sıcaklığının artması veya bu suyun bu 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

Asitlerin Etkisi

Beton üzerine en çok anorganik asitler (HCl, HNO_3) etki yaparlar. H_2SO_4 güç çözünen $CaSO_4$ oluşturduğundan reaksiyon yavaştır. Asitlerin etkisi çimentonun cinsine bağlıdır. Kireçce zengin olan çimentolar çok etkilenir, alüminli çimentolar ise daha dayanıklıdır. Etki derecesi ne olursa olsun betonlarla asitleri bir arada bulundurmamak gerekir.

Çizelge 3. Doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerler

ZARARLI KİMYASAL ETKİSİ	ZARARLI ETKİNLİK DERECESİ		
OLAN İYONLAR	ZARARLI	KUVVETLİ	ÇOK KUVVETLİ
pH değeri	6,5~5,5	5,5~4,5	4,5 küçük
Kireç çözücü (CO_2 mg/L)	15~30	30~60	60 dan büyük
NH_4^+ (mg/L)	15~30	30~60	60 dan büyük
Mg^{+2} (mg/L)	100~300	300~1500	1500 den büyük
$SO_4^=$ (mg/L)	200~600	600~3000	3000 den büyük

Karbondioksitin Etkisi

Su ile etkileşerek karbonik asit oluşturur. Bağlayıcı maddenin kütleden eritilip, uzaklaştırılmasına neden olur. Sadece Ca ve Mg karbonatları değil, diğer kireç tuzlarını da etkiler.

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \quad (1.7)$$

Pratik olarak suda erimeyen $CaCO_3$ (13 mg/lt, 18 °C) karbonik asidin etkisi ile suda fazla miktarda eriyen (1890 mg/lt, 18 °C) kalsiyum bikarbonata $Ca(HCO_3)_2$ dönüşür. Suyun etkisi ile de kütleden uzaklaşır. Bu yapı kütlesinin dış yüzeyine çıkınca olay tersine döner.

$$Ca(HCO_3) \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O \quad (1.8)$$

Bu da yapı kütlesi yüzeyinde amorf kireç tabakasını oluşturur.

Nitrik Asidin Etkisi

Nitrik asit $Ca(OH)_2$ ile reaksiyon vererek, kalsiyum nitrat'a, kalsiyum nitrat 4 mol su ile kireç güherçilesine dönüşür.

$$Ca(OH)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2O \quad (1.9)$$

$$Ca(NO_3)_2 + 4H_2O \rightarrow Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O \text{ (Duvar güherçilesi)} \quad (1.10)$$

Sülfat İyonlarının Etkisi

Katı sülfat tuzları betona etki etmediği halde, çözelti şeklinde bulunan bu tuzlar sertleşmekte olan çimento ile reaksiyon verebilirler. Ortamda bulunan sülfat iyonları yapıdaki $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ ve $Ca(HCO_3)_2$ ile önce alçı taşı, daha sonra da trikalsiyum alüminatla, Ettringite tuzunu oluşturabilirler. Çok daha büyük hacimli bu tuzlar betonda genleşme ve hasara neden olabilirler (FATTUHI, HUGHES, 1988).

$$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O \quad (1.11)$$

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + NaOH \quad (1.12)$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2NaHCO_3 \quad (1.13)$$

Oluşan $CaSO_4$ yapısı 2 mol su bağlayarak kristalleşirse hacim büyümesi olur.

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O \quad \text{(Alçı taşı)} \quad (1.14)$$

Harç veya beton içindeki trikalsiyum alüminat yapısı, $CaSO_4.2H_2O$ ile reaksiyon verebilir.

$$3CaO.Al_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O) + 26H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O \quad (1.15)$$

Beyaz renkte ve iğne renkli olan bu tuza "Candelot tuzu" veya "Ettringite tuzu" (çimento basili) adı verilir. Bünyesindeki 32 mol H_2O'dan dolayı hacim büyümesi çok fazladır ve bu sebeple betonda zaman içinde büyük çatlamalar oluşturur.

Ortamda $Na_2SO_4.2H_2O$ (NSH_2) veya $MgSO_4.7H_2O$ (MSH_7) varsa, bu maddeler de $Ca(OH)_2$ (CH) ile reaksiyon vererek jips ($CaSO_4.2H_2O$) (CSH_2)

oluştururlar ve daha sonra Ettringite tuzuna dönüşebilirler (DARR, PUNZET ve LUDWIG, 1977):

$$CH+NSH_2 \rightarrow CSH_2+NH \quad (1.16)$$

$$CH+MSH_7 \rightarrow CSH_2+MH+5H \quad (1.17)$$

Ortamdaki Na_2SO_4'ın $Ca(OH)_2$ ile reaksiyonu aşağıda belirtildiği şekilde de ilerleyebilir (NEVILLE, 1987).

$$Ca(OH)_2+Na_2SO_4.10H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O+2NaOH+8H_2O \quad (1.18)$$

Hareketli sularda $Ca(OH)_2$ tamamen dönüştürülür, eğer NaOH ortamda kalıyorsa, denge kurulana kadar jips oluşumu devam eder.

$$2(3CaO.Al_2O_3.12H_2O)+3(Na_2SO_4.10H_2O) \rightarrow$$
$$3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O+2Al(OH)_3+6NaOH+17H_2O \quad (1.19)$$

Çeşitli kaynaklarda nedeni tam açıklanamamakla beraber bileşikteki su molekülü sayısı 31 veya 32 olarak belirtilmektedir.

Sülfat tuzu $MgSO_4$ şeklinde ise:

$$3CaO.SiO_{2.aq}+MgSO_4.7H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O+Mg(OH)_2+SiO_{2.aq} \quad (1.20)$$

$Mg(OH)_2$ çözünürlüğünün çok düşük olmasından dolayı (çözünürlük çarpımı $1,2.10^{-11}$), bu reaksiyon tamamlanır. Uygun şartlar altında $MgSO_4$ in zararlı etkisi, diğer sülfatlardan çok olabilir. $Mg(OH)_2$ ile silika jel arasında ilerleyen zaman içerisinde daha sonra zarar veren reaksiyonlar olabilir (NEVILLE, 1987):

Sülfatın zararlı etkisi çözelti konsantrasyonunun artışıyla artma gösterir. Yaklaşık olarak %0,5 $MgSO_4$ veya %1 Na_2SO_4 bulunduran çözeltilerin reaksiyon şiddetleri ve zararlı etkileri azdır (LEA, 1970).

$MgSO_4$ ın doygun çözeltisi, betonun dayanımına zaralı etki yapabilir, bu olay W/C oranı düşük olan çimento ve betonlarda dahi, uzun sürede (2-3 yılda) olabilir.

Sülfat konsantrasyonu, SO_3 miktarı (ppm) ile ifade edilebilir. $MgSO_4$ tuzundaki SO_3 miktarı için etkinlik dereceleri verilecek olursa: 1000 ppm orta etkili, 2000 ppm kuvvetli etkili değerlerdir (NEVILLE, 1987).

Betona sülfat etkisi karakteristik bir görüntü verir. Hasar genellikle kenar ve köşelerde başlar ve sürekli bir çatlama ve kavlama ile devam eder ki, betonu ufalanabilir hale getirebilir. Düşük oranda C_3A bulunduran çimento kullanarak, sülfatın zararlı etkisi azaltılabilir.

Amonyum Tuzlarının Etkisi

Amonyum tuzları, bağlayıcı maddenin kireci [$Ca(OH)_2$] ile aşağıdaki şekilde reaksiyona girerler.

$$2NH_4Cl+Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2+2NH_4OH \text{ (veya } 2NH_3+H_2O) \quad (1.21)$$

$$(NH_4)_2SO_4+Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaSO_4+2NH_4HCO_3 \quad (1.22)$$

Amonyum tuzları Ca^{+2} iyonları ile reaksiyon verir, bu nedenle amonyum iyonlarının standartta belirtilen 30-60 ppm değerleri betona zararlı kimyasal

etkilerde bulunur. Ancak ortamın pH değerine bağlı olarak suda tamamen iyonlarına ayrışan NH_4Cl tuzunun denge durumu dikkate alınmalıdır.

$$NH_4Cl \rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^- \quad (1.23)$$

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+ \quad (1.24)$$

Yukarıda belirtilen dengeler için 25°C deki pKa değeri 9,3 olup, pH >10 olan sularda NH_3 derişimi (konsantrasyonu) oransal olarak oldukça artmakta ve NH_4^+ iyonu derişimi ihmal edilecek seviyeye inmektedir (SKOOG, WEST, 1986).

Magnezyum Tuzlarının Etkisi

Magnezyum tuzları, çimentodaki kalsiyum bileşikleri ile, özellikle $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek zararlı etki doğurabilir:

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + Mg(OH)_2 \quad (1.25)$$

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O + Mg(OH)_2 \quad (1.26)$$

Böylece oluşan çözünürlüğü çok düşük magnezyum hidroksit jeli (brucite) uzun bir zaman içerisinde magnezyum şişmesi adı verilen zararlı etki doğurabilir (ÖZDEMİR, 1981).

$$3(CaSO_4.2H_2O) + 3CaO.Al_2O_3 + 26H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O \quad (1.27)$$

Magnezyum tuzundaki katyon kısmı, Ca^{+2} iyonu ile yer değiştirdiğinden, standartta belirtildiği gibi Mg^{+2} iyonunun 300 ppm değerinin üstü betona kuvvetli zararlı kimyasal etki yapar.

Eğer Mg^{+2} iyonları yanında Cl^- iyonları da bulunuyorsa, priz oluşumu süresinin başlangıcında kloraalüminatlar oluşur. Reaksiyon sonucu meydana gelen $CaCl_2$ sulu ortamda kolaylıkla çözündüğünden gözenekli yapı oluşumunu hızlandırır (FTIKOS, PARISSAKIS, 1985).

Klorür Tuzlarının Etkisi

Yeryüzü ve yeraltı suları klorür tuzları yönünden (10-50 ppm) çok zayıf iken, deniz suyu yaklaşık %2 ye kadar bu tuzları bulundurur. Betona klorürler aşağıda belirtilen yollarla geçebilir.

–Çimentodan
–Kumdan (yıkanmamış veya yeterince yıkanmamış deniz kumundan)
–Klorür bulunduran ilave karışımlardan
–Denizden gelen aerosollerden
–Buz çözücü tuzlardan
–Karma suyundan

Yukarıda belirtilen bu etmenlere, standartlarda belli sınıflandırmalar getirilerek riskin minimumda tutulması sağlanılmıştır.

Karma suyunda toplam Cl^- iyonları 500 ppm'i geçmedikçe zararlı etkinliği olmadığı belirtilmektedir (TS 3732, 1982).

Klorürler betonu direkt ve endirekt olarak iki farklı mekanizmaya göre etkiler. Sonuçta betonun şişmesi, pul pul dökülmesi ve ufalanması gözlenir. Betonarme yapılarda ise çimentonun aşınması sonucu, demir yapının korozyona uğraması kaçınılmazdır.

Endirekt olarak klorürler beton içine mikro çatlak ve kapiler gözeneklerden nüfuz ederler. Cl^- iyonlarının nüfuzunun derinliği, etkinin uzunluğuna ve yoğunluğuna bağlıdır.

Derine nüfuz edebilmenin ana faktörleri:
–Çözelti konsantrasyonu
–Tuz çözeltisiyle temasta kaldığı süre
–Su/Çimento oranı
–Çimento miktarı
–Kür süresi
–Çimento tipi
olarak belirtilmektedir.

Yukarıda belirtilen bu etmenler ARYA (1990) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiş, Cl^- iyonları difüzyonunda en etkili olan etmenin betonun temasta bulunduğu çözeltinin klorür konsantrasyonu olduğu saptanmıştır. Bu arada klorür tuzunun cinsine göre de bağlanma ürünlerinin değiştiği gözlenmiştir.

Kalsiyum klorür ve özellikle magnezyum klorürün sodyum klorürden çok daha fazla bağlanma ürünleri oluşturduğu bilinmektedir (ARYA, 1990). Bazı klorür tuzlarındaki klorür iyonlarının bağıl difüzyon hızları şöyledir:

$$D_{Cl^-(MgCl_2)} > D_{Cl^-(CaCl_2)} > D_{Cl^-(LiCl)} > D_{Cl^-(KCl)} > D_{Cl^-(NaCl)} \quad (1.28)$$

Klorürlü tuzların, çimento pastası ile etkileşmelerinde öncelikle monokloroalüminatlar ($C_3A.CaCl_2.H_x$, x=10) oluşur ve kristalleşir (FIGG, 1983).Fakat bu yapı, ortamda SO_4^{-2} iyonları bulunursa kararlılık gösteremez, daha sonra genleşen ettringite tuzuna dönüşür (FTIKOS, PARISSAKIS, 1985).

$$2NaCl+Ca(OH)_2+3CaO.Al_2O_3.6H_2O+4H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O+2NaOH \quad (1.29)$$

Klorür iyonlarının beton içerisindeki yayılma hızı, SO_4^{-2} iyonlarından daha fazladır, ancak ortamda Na_2SO_4 ve NaCl tuzları varsa, Na_2SO_4 ın zararlı etkisi NaCl den çok daha fazladır. Çünkü, Na_2SO_4 ın oluşturduğu kalsiyum sülfoalüminat hidrat ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$), kalsiyum kloroalüminattan daha güç çözünen bir bileşiktir (FTIKOS, PARISSAKIS, 1987).

Sülfürlerin Etkisi

H_2S, özellikle kanalizasyon, bataklık ve atıksu ortamında bulunur. Diprotik asit olduğundan sırası ile 2 eşdeğer hidroksit iyonları ile aşağıdaki reaksiyonları verir.

$$H_2S+OH^- \rightleftharpoons HS^-+H_2O \quad \text{(Hidro sülfür iyonu)} \quad (1.30)$$

$$HS^-+OH^- \rightleftharpoons S^{=}+H_2O \quad \text{(Sülfür iyonu)} \quad (1.31)$$

Le Chatelier prensibine göre, H_2S ayrışmasında

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^- \quad (1.32)$$

$$HS^- \rightleftharpoons H^+ + HS^- \quad (1.33)$$

H^+ iyonu derişimi arttırılması, $S^=$ ve HS^- iyonlarının derişimini azaltarak H_2S oluşmasına yol açacaktır. Aksine H^+ derişimi azalmasıyla $S^=$ ve HS^- derişimleri artar. O halde, doymuş H_2S çözeltisinde $S^=$ derişimi, H^+ derişimi ile kontrol edilebilir (ERDİK, SARIKAYA, 1986). Ortamın pH ına göre HS^- ve $S^=$ iyonu konsantrasyonları değişir.

H_2S in normal sıcaklıkta bakteriyolojik yükseltgenmesi ile sülfirik asit oluşur.

$$2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_2 + 2H_2O \quad (1.34)$$

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3 \quad (1.35)$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad (1.36)$$

H_2S in oksidasyonu ise pH değerinin hemen hemen nötral olması koşulunda gerçekleşir. Oluşan sülfirik asidin yaratacağı zarar ise iki basamaklıdır.

1.8. Betonarme

Beton gibi çekme dayanımı düşük bir malzemeden taşıyıcı sistemler oluşturmak, zor ve ekonomik olmayan çözümler gerektirir. Beton içine çekme dayanımı yüksek çelik çubuklar yerleştirilerek oluşturulan kompozit yapı malzemesine betonarme denir. Betonarmede genel olarak betonun görevi mukavemet yönünden basma kuvvetlerine karşı, 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.

Çelik ve betondan oluşan malzemenin betonarme olabilmesi için, bu iki malzemenin birbirine kaynaşmış olarak, birlikte çalışmaları gerekmektedir. Başka bir deyişle, çelik çubuk etrafındaki beton kütleye o şekilde kenetlenmelidir ki, çelik ve çevresindeki beton deformasyonu farklı olmasın. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu olay kenetlenme veya aderans olarak adlandırılır (ERSOY, 1987).

1.9. Korozyon Hakkında Genel Bilgi

Korozyon, metallerin kimyasal ve/veya elektrokimyasal olaylarla bozunması demektir. Teknik metallerin çoğu doğal bileşiklerine dönme eğilimi gösterirler, çevreleriyle etkileşmeleri sonucu "korozyon ürünleri" adı verilen bileşikler oluştururlar.

Çevre Etkileri: Atmosfer etkisi, suyun etkisi, toprağın etkisi ve değişik kimyasalların etkisi, çevre etkilerinin başlıcalarıdır. Betonarme demirinin etkileştiği çevre ise beton ve beton içinde bulunan değişik maddelerdir. Beton içinde betonarme demirini etkileyecek kimyasallar, çimento, agrega, karma suyu ve temas suyundan kaynaklanabilir. Bunlardan bazılarının beton içinde difüzyonla girmesi olasıdır. Oksijen, su, asitler, bazlar ve tuzların metallere doğrudan doğruya etkisi kimyasal korozyon olarak adlandırılır. Korozyonun gidişi metalin bulunduğu ortamdaki kimyasal potansiyeline bağlıdır. Korozyon tepkimeleri genelde elektrokimyasal olup, anodik (elektron üreten) ve katodik (elektron tüketen) yarı tepkimelere ayrılabilir. Anodik yarı tepkime metalin korozyonunu temsil eder.

Büyük bir emek ve masraf ile, doğadaki kararlı bileşiklerinden elde edilen metaller korozyon sonucu kaybedilir. Bu nedenle korozyona karşı önlemler almak gerekir.

1.9.1. Demirin Korozyonu

Demir sanayide (çelik ve alaşımlarında) ve inşaat sektöründe kullanım alanı olan bir metaldir. Bu nedenle doğal ve/veya kirleticilerin bulunduğu birçok ortamlarda demirin korozyonu üzerine çalışmalar yapılmış, korozyondan korunma yöntemleri geliştirilmiştir (BARTON 1976, ERBİL 1988, YAZICI 1989, DEHRİ 1989).

Korozyon olayı özde elektrokimyasal bir olaydır. Korozyon tepkimeleri ile elektrokimyasal bir pilde yürüyen tepkimeler arasında hiçbir fark yoktur. Korozyonu sözkonusu olan metal anot olup iyonları sulu ortama geçer. İyonları değişik yükseltgenme basamaklarında (Fe^{+2}, Fe^{+3}) olabilir ve bu iyonlar ortamda bulunan anyonlara ve koşullara bağlı olarak katı, sıvı ya da gaz bileşikler oluşturabilirler. Korozyonda önemli olan metalik halin kaybolmasıdır. Oluşabilecek bileşikler, ancak korozyon hızının zamana bağlılığı konusunda etken olabilir.

Korozyon hücresinin katodunda herhangi bir maddenin indirgenmesi gerekir. Anottaki yükseltgenme tepkimesi sonucu oluşan elektronlar katoda ancak metalik bağlantı ile gelebilirler. Bu nedenle katot ve anot her zaman için metalik bağlantılı bölgeler arasında oluşur. Katotda indirgenecek maddede koşullara bağlı olarak hidrojen, oksijen, herhangi daha soy bir maddenin iyonu ya da elektron alabilecek herhangi bir madde ya da iyon olabilir.

Korozyon olaylarında katodik tepkimeler genel olarak asitli ortamlar için $H^+ + e \rightarrow 1/2H_2$ tepkimesi olup, nötür ve bazik ortamlarda $1/2O_2 + H_2O + 2e \rightarrow 2OH^-$ tepkimesidir. Bu tepkimeler için standart potansiyeller ise 0,00V ve 0,401V(SHE) dir. Korozyon koşullarında bu potansiyeller daha negatif değerlere kayar. Asitli koşullarda H^+ iyonlarının indirgenmesi genel olarak fazla bir aşırı gerilim istemezken, oksijen indirgenmesi çoğunlukla difüzyon aşırı gerilimi gösterir ve korozif ortamda çözünebildiği ya da difüzyonla ulaşabildiği ölçüde katodik tepkimeye katılır.

Korozyon hücresi farklı potansiyele sahip, metalik ve elektrolitik bağlantılı bölgeler arasında çok farklı nedenlerle oluşabilir. Birbirine değen farklı iki metal, aynı bir metal içinde değişik metal safsızlıkları, farklı havalandırma metal yapısında bulunan gerilimler, kusurlar v.b. etkenler korozyon hücresinin oluşmasını sağlayabilir.

Metalin korozyon ürünleri, bulundukları ortama göre, metal yüzeyinden hemen uzaklaşabilir ya da yüzeyde kalabilirler. Ürünler yüzeyden hemen uzaklaşırsa, korozyon devam eder. Yüzeyde kalırsa, korozyon yavaşlar veya tamamen durur.

Demirin anodik olarak çözünmesi ile ilgili olarak verilen mekanizmalar ve elde edilen denel akım-potaniyel eğrilerine göre (ERBİL, 1988), korozyon potansiyelinden başlayarak $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$ tepkimesine göre demir çözünmekte ve bu arada $Fe(OH)_2$ oluşumu sonucu yüzeyin kısmen kapanması gerçekleşmekte ve bir akım maksimumu oluşmaktadır (1. akım maksimumu). Daha yüksek potansiyellerde ise $Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++} + e$ dönüşümü ile yüzey tekrar açılmaktadır. Bu arada $Fe(OH)_3$ oluşumu yüzeyin kapanmasını sağlayarak yüzey pasifleşmektedir. Bu aşamada ulaşılan akım maksimumu (2. akım

maksimumu), birinci akım maksimumuna göre daha yüksek akım değerine sahiptir. 2. maksimum diğerine göre daha pozitif potansiyellerde gerçekleşmektedir. H_2 atmosferde elde edilen bu akım maksimumlarından birincisi O_2'li ortamlarda elde edilememektedir. Akım maksimumlarındaki akım ve potansiyel değerleri de ortam pH'ına, ortam katkılarına ve metal bileşimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Hepsinde ortak olan nokta 2. akım maksimumunun elde edildiği potansiyelden sonra yüzeyin pasifleşmesidir.

Demirin Klorürlü Ortamdaki Korozyonu

Halojen iyonları (Cl^- gibi), asitli ortamlarda ve yüksek derişimlerde (C_{Cl^-}=5M) demirin çözünmesini hızlandırmaktadır. Çözünmenin aşağıda verilen iki ayrı mekanizmaya göre olabileceği ileri sürülmektedir (ERBİL, 1988).

1- Ara ürünlerin Langmuir koşullarında adsorplandığı, adsorpsiyon enerjisine gereksinim olmadığı varsayımına dayanan çözünme mekanizması:

2- Ara ürünlerin Temkin koşullarda adsorplandığı, adsorpsiyon enerjisine gereksinim olduğu varsayımına dayanan çözünme mekanizması:

Her iki mekanizmada, adsorpsiyon ürünleri farklı da olsa son reaksiyon aşağıdaki gibidir.

$$FeX^+ + H_2O \rightarrow Fe^{+2}_{(aq)} + X^- \qquad (1.37)$$

Klorür derişiminin yeterince yüksek olmadığı ortamlarda ise demirin çözünme mekanizması biraz daha farklı olmaktadır:

$$Fe + H_2O \rightarrow Fe(OH^-)_{ads} + H^+ \qquad (1.38)$$

$$Fe + Cl^- \rightarrow Fe(Cl^-)_{ads} \qquad (1.39)$$

$$Fe(OH^-)_{ads} + Fe(Cl^-)_{ads} \rightarrow Fe + FeOH^+ + Cl^- + 2e \quad (1.40)$$

$$FeOH^+ + H^+ \rightarrow Fe^{+2}{}_{(aq)} + H_2O \quad (1.41)$$

Klorürlü ortamlarda demirin pasifleşmesi oldukça zordur. Metal yüzeyinde, korozyon çukurları oluşur. Tepkimelerde oluşan hidroksitler çukurun dışında çökelerek geçidi daraltırlar, çukur içinde pH'ın zamanla düşmesi korozyonu hızlandıracaktır.

Klorür içeren ortamlarda (NaCl) elde edilen akım-potansiyel eğrilerine göre (ERBİL, 1988), H_2 atmosferinde, Na_2SO_4 ortamında elde edilene benzer akım maksimumları elde edilebilmekte ancak 2. akım maksimumundan sonra pasifleşme gerçekleşmemektedir. O_2 içeren ortamlarda ise akım maksimumları çoğunlukla elde edilememektedir. Eğrilerin genel görünümü ortamın bileşimi, pH ve metale göre farklılıklar göstermektedir. Klorürlü ortamlarda metal yüzeyinde korozyon hızla sürmektedir.

Demirin Korozyonuna pH Etkisi

Demirin sulu ortamdaki korozyon davranışı, değişik pH ve elektrot potansiyellerinde çalışılmıştır (POURBAIX 1966, YAZICI 1989). Demir pH<8 ortamında ise elektrot potansiyelinin artışıyla çözünen Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları haline geceçek ve korozyona uğrayacaktır. Asit çözeltilerinde korozyon daha etkili olacaktır. Eğer pH değeri 8 den büyük ise (özellikle pH 10-13 arası) yüzeyde oluşan oksit tabakası (Fe_2O_3 ve Fe_3O_4) ile demir pasifleşir. Demir yüzeyinde oksit tabakası oluşturacak ortam yoksa demir korozif özelliğini korur. Çözeltiye daldırılan demirin elektrot potansiyeli, sudaki oksitleyici iyonların varlığı ile artar. Demir yüzeyinde adsorplanan bazı maddeler (inhibitörler)

yardımıyla da pasif bölgeye geçmek olanaklıdır (ERBİL, 1990). pH<8 olduğu durumda demiri pasif hale getirmek zor, pH 10-12 arasında daha kolaydır.

1.9.2. Betonarme Demirinin Korozyonu

Beton porlarının (pH değeri 12,6-13,8) alkali ortamının demirin korozyonunu pasifleştirdiği bilinmektedir (YONEZAWA, 1988). Belirli şartlar altında, betonarme demirinin korozyonu minimumda tutulabilir. Betondaki demir çubukların korozyona karşı pasifliğini azaltan koşullar:

–Ortamda çok miktarda Cl^- bulunması
–Pasifliği azaltan iyonların demir çubuklarla temasta olması
–Atmosferik CO_2 in, asidik reaksiyonları sonucu betonda alkalinitenin azalması.

Betonarme yapılar, deniz suyunun etkisinde kalırsa veya buz eritici tuzlarla temas halinde ise beton gözeneklerinden klorür iyonları difüzyon yoluyla betonarme yapısına girer. Beton içerisindeki demir çubuklar çevresinde pH<11 olduğunda, betonarme demirinde korozyon hızlanacaktır (LIN, 1990). Klorür iyonlarının penetrasyonu, difüzyon mekanizmasına göre birçok araştırmacı tarafından çalışılmış olup, klorür iyonlarının difüzyonu Fick Kanununa göre:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \qquad (1.42)$$

bağıntısına uygun olarak gerçekleştiği ileri sürülmektedir. Bu konu RAHARINAVIO et al tarafından sertleşmekte olan çimento pastalarında çalışılmış, elde edilen sonuçlar harç ve beton yapılar için genelleştirilmiştir.

Hetorojen beton yapılarda oluşan çatlaklar, beton-demir temas bölgelerinde düşük pH ortamları oluşturur, bu durum oksijensiz ortamda bile demirdeki korozyon hızını arttırır. $Ca(OH)_2$ çözeltisinde 300 ppm Cl^- bulunması demirin korozyonunu başlatmak için yeterli olduğu ileri sürülmektedir (GAU, CORNET, 1985). Metalin korozyona karşı direnci azalınca, korozyon artacak, sonuçta beton dayanımında azalma görüleceği belirtilmektedir (GJORV, 1982).

Klorür iyonlarının difüzyonu, çimento tiplerine göre incelenmiş, C_3A ve C_3S miktarı fazla olan çimentolarla yapılmış betonarme yapılar tuz çözeltisi içerisinde ise, demir korozyonunun hızlı olduğu, bu olayda ortamın pH değerinin de önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Beton yapılardaki demirin korozyonunun pH değeri yüksek ortamlarda, pH değeri düşük ortamlardan daha çok tolere edildiği belirtilmektedir (DEHGHANIAN, LOCKE, 1982). Aynı araştırmacılar, betona dış ortamdan difüzyon yoluyla gelen Cl^- iyonlarının oluşturduğu korozyonun, beton yapımı sırasında ortamda bulunan Cl^- iyonlarının oluşturduğu korozyondan daha şiddetli olduğunu savunmaktadırlar.

1.9.3. Katodik Koruma

Henüz elektrokimya bilimi gelişmeden önce Davy tarafından 1824'de İngiltere'de gemilerin korunması için katodik koruma uygulanmıştır. Katodik koruma, gömülmüş veya sıvı ortama daldırılmış olan yapıtların korozyon potansiyellerini yeterince eksi yaparak korozyon hızının azalması tekniği olarak tanımlanır. Katodik korumanın ilkeleri M metalinin asitli bir ortamda korozyona uğradığı düşünülerek açıklanabilir. Bu durumda yürüyen elektrokimyasal tepkimeler metalin çözünmesi ve hidrojen çıkışıdır.

$$M \rightarrow M^{Z} + ze \qquad (1.43)$$

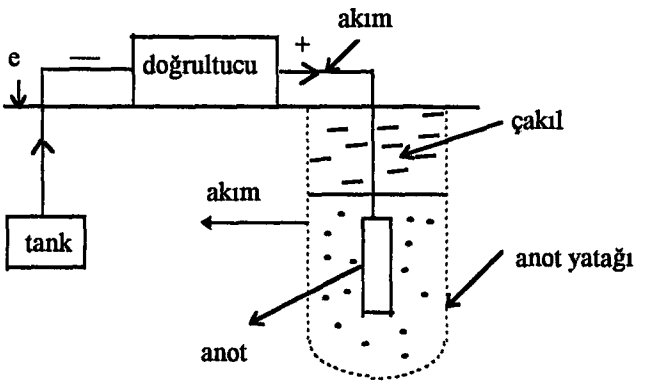
$$2H^{+} + 2e \rightarrow H_2 \qquad (1.44)$$

Katodik korumada korunacak olan metalin potansiyeli yeterince eksi yapılarak ona elektronlar verilir. 1.43 ve 1.44 denklemlerinden görüleceği üzere yapıta elektron verilince metalin çözünmesi azalma eğilimi gösterir, hidrojen çıkışı ise artar. Akımın (+)'dan (-)'ye doğru aktığı kabul edilirse, yapıta akım elektrolitten girdiği zaman yapıt korunur.

Bir yapıtı katodik olarak korumak için iki yol vardır: (a) Yapıtı dıştan akım vererek veya (b) uygun bir galvanik bağlama yaparak.

(a) Dıştan Akım Uygulanarak Katodik Koruma

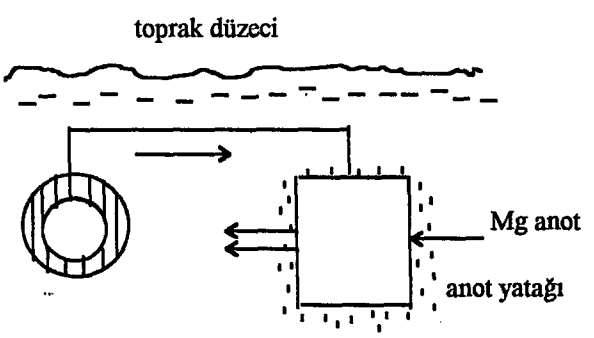
Şekil 1'de dıştan uygulanan bir akımla katodik koruma şematik olarak gösterilmiştir. Akım kaynağı alternatif akımdan doğru akıma çevrilmiş bir doğru akım kaynağı olabileceği gibi bir akümülatör de olabilir. Akım kaynağının eksi ucu korunacak olan yapıta artı ucu grafit, silisli demir gibi anot olarak kullanılan kutba bağlanır. Yapıta ve inert anoda giden uçlar kaçak akımları önlemek için özenle yalıtılmalıdırlar. Anot dolayı genellikle bir anot yatağı ile sarılıdır. Anot yatağı, anot ve dolayındaki toprak arasındaki elektriksel iletkenliği daha iyi sağlayabilmek üzere kok tozu ve parçaları, jips veya betonit gibi örnekler içerir. Metal yapıta akan elektronlar yapıtın korozyonunu azaltır.



Şekil 1.Yeraltında gömülü bir tankın akım uygulanarak katodik korunması

(b) Galvanik Bağlama İle Katodik Koruma

Bir yapıtın galvanik bağlama ile katodik şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu halde katodik koruma için gerekli akım, uygun bir anot yatağı içine yerleştirilmiş, düşük potansiyelde korozyona uğrayan metalden (çinko, magnezyum veya özel alüminyum-çinko alaşımları) sağlanır. Bu anoda kurban anot denir. Çünkü yapıtı korurken kendisi harcanır. Düzgün bir akım dağılımı sağlamak için anotlar gömülü boru boyunca uygun aralıklarla gömülür.



Şekil 2. Yeraltı boru hattının kurban anotla katodik korunması

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

MOUKWA (1989), deniz suyundaki klorür iyonlarının harç yapısına difüzyonunu değişik koşullarda çalışılmış (20°C-1°C ve dondurma-çözünme ortamında), Cl^- iyonlarının harç içerisine difüzyonunun düşük sıcaklıklarda daha çok olduğunu ve olayın makroporların hacmi ile kontrol edildiğini belirlemiştir.

ARYA (1990), beton yapıya klorür bağlanmasının klorürürün yapıda veya dış ortamda bulunmasına göre; çimento tipleri, W/C oranları, hidratasyon zamanı, kür sıcaklığı, ortamdaki Cl^- miktarı, klorürlü tuzların katyonlarının farklı olmasıyla birlikte incelenmiştir. W/C oranı ve kür süresi değişimlerinin Cl^- bağlanmasına etkisinin çok az olduğu, fakat temasta bulunduğu çözeltinin klörür konsantrasyonu ve etkileşme süresinin bağlanma oranını arttırdığı gözlenmiştir. Kalsiyum klorür ve özellikle magnezyum klorür çözeltilerini, sodyum klorürden çok daha fazla bağlanma ürünleri oluşturduğu bulunmuştur.

DEHGHANIAN, LOCKE (1982), iki farklı bileşimde portland çimentosuyla hazırlanan betonarme yapılarda, klorür iyonlarının betonarme çeliğine korozif etkisi potansiyometrik ölçümler yapılarak karşılaştırılmıştır. Betonarme yapıya penetrasyon yoluyla giren klorür iyonlarının zamana bağlı olarak arttığı, bunun sonucunda betonarme çeliğin korozyonunun da artabileceği ileri sürülmüştür.

MCGRATH VE HOOTON (1996), farklı potansiyellerde betonlar için klorür çıkma zamanlarına bağlı olarak difüzyon katsayıları hesaplanmış, düşük potansiyellerde hesaplanan difüzyon katsayılarının düzenlilik göstermediğini, uygulanan voltajın artmasıyla birlikte de düzenliliğin arttığı belirtilmiştir.

ERBİL (1988), saf demirin korozyonu üzerine elektrokimyasal araştırmalar yapılmıştır. H_2, Fe/0,5M NaCl'lü ortamda demirin çözünme mekanizması ile ilgili iki akım piki O_2, Fe/0,5M NaCl'lü ortamda sadece ikinci akım piki görülmüştür ve klorürün korozyona neden olduğu belirlenmiştir.

HELMY (1991), bu çalışmada deniz suyundaki Cl^- ve $SO_4^{=}$ iyonlarıyla Mg^{+2} ve Na^{+1} iyonlarının sertleşmiş çimento pastasına zararlı etkileri , çimento pastasındaki bazı bileşenlerin Cl^- ve $SO_4^{=}$ ile kimyasal reaksiyon vererek çimento pastasına yaptığı etkileri araştırmıştır.

Örneklerin 1 yıl süresince basınç dayanımları incelendiğinde %30 çimento fırın tozu katılmış örnek hariç diğerlerinin basınç dayanımları 3 aya kadar artmış daha sonra azalma göstermiştir. Diğeri ise 1 aydan sonra azalma göstermiştir. Basınç dayanımının ilk ayda hızlı artış göstermesi deniz suyundaki Cl^- ve $SO_4^{=}$ iyonlarının hızlandırıcı etkisindendir. Çimentonun hidratasyonunu başlangıçta hızlandırmaktadır. Basınç dayanımı 3 aya kadar artmakta daha sonra azalmıştır.

Sertleşmiş çimento pastalarının XRD analizleri yapılıp incelendiğinde ilk ayda ettringite, kalsiyum kloralüminat hidrat, $Ca(OH)_2$,$CaCO_3$, ve β-C_2S'nin susuz fazı gözlenmiştir. Aylara göre analizlere devam edildikçe kloralüminat hidratın arttığı, ettringitenin azaldığı belirlenmiştir. Deniz suyu %2.5 NaCl ve %1 sülfat ihtiva ettiğinden çimento pastasına klorür iyonunun etkisi sülfat iyonunun etkisinden daha fazla olmaktadır. Toplam klorür miktarı bütün örneklerde bir yıl boyunca artmaktadır. Maksimum artış %15 çimento fırın tozu içeren örnekte ve ondan sonraki en büyük artış %15 curuf içeren örnekte görülmektedir. Bu iki çimento yüksek miktarda C_3A ihtiva etmektedir. Bundan

dolayı klorür iyonları trikalsiyum alüminatla kloralüminat hidrat ürünlerini oluşturmaktadır.

HINATSU, ve ark. (1989), tarafından yapılan bu çalışmada portland çimento pastasına daldırılmış demir çubukların davranışları voltametrik metodla incelenmiştir. Bu çalışmada ;

a) Çimentoya batırılmış demir üzerinde oluşan pasif film
b) NaCl ilavesi ile pasif filmin bozulması
c) Pasif filmin korunması için çimento pastasına korozyon inhibitörleri ilave edilmesi araştırılmıştır.

Korozyon inhibitörleri olarak sodyum nitrit, potasyum kromat ve sodyum benzoat kullanılmış ve etkileri araştırılmıştır.
%0,5 sodyum nitrit ilavesinin faydalı etki yaptığı, %0,75 -%1,0 sodyum nitrit ilavesinin etkili olmadığı gözlenmiştir. Potasyum kromat %1,7 oranında kullanılmış ve ortamda NaCl miktarının düşük olduğu (0,1mol/L'den az) koşullarda etkili olduğu saptanmıştır. Na-benzoat ise %1,6 oranında kullanılmış ve NaCl miktarının 0,2 mol/L'den az olduğu koşullarda etkili olduğu belirlenmiştir. En etkili inhibitörün $NaNO_2$ olduğu saptanmıştır. Diğerlerine göre daha yüksek NaCl konsantrasyonu olduğunda bile etkinliğini korumuştur.

YONEZAWA ve ark. (1988), yaptıkları bu çalışmada beton içindeki çeliğin korozyon mekanizması ve korozyonu etkileyecek eşik klorür miktarları ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmalar elektrokimyasal ölçümler (korozyon potansiyelinin zamanla değişimi, polarizasyon direncinin zamanla değişimi), por çözeltisinin analizi, SEM (Scanning electron microscopy) ile deneyler

sonunda betona veya harca batırılmış çeliğin yüzey yapısının incelenmesi ile sürdürülmüştür. Deneyler :

a) Çeliğin harca batırılarak hazırlanan kalıpların elektrokimyasal tavırları
b) Çeliğin direkt olarak doygun $Ca(OH)_2$ çözeltisi veya 0.4M KOH + 0.2M NaOH çözeltisine batırılarak elektrokimyasal tavırlarının belirlenmesi
Daldırma testlerinden sonra çelik elektrotlar betondan ayrılarak elektrot yüzeyi ve çelik-harç arayüzeyi SEM ile incelenmiştir.

Elektrotlar Cl^- içermeyen $Ca(OH)_2$ çözeltisinde bekletildiğinde çelik elektrotlar pasifleşmiş ve korozyon hızı azalmıştır. Çözelti 0,52M veya 2,84M NaCl ihtiva ettiğinde elektrotlarda aktif korozyonun sürdüğü deneylerle gözlenmiştir.

$[Cl^-]$ /$[OH^-]$ oranı araştırılmış, harca batırılmış çelik için 0,52M NaCl ihtiva ettiğinde oran~10:1 olarak bulunmuştur. Eşik değeri kullanılan materyale, yüzey koşullarına ve Cl^- miktarına bağlı olarak değişmektedir.

GIANETTI ve AKMAN (1994), tarafından yapılan çalışmada beton dayanıklılığını artırmak için korozyon inhibitörü olarak $Ca(NO_2)_2$ 'in etkinliği araştırılmıştır. $Ca(NO_2)_2$ katkısının beton özelliklerine etkileri şöyledir.

Kalsiyum nitrit bir priz hızlandırıcıdır ve ayrıca betonun işlenebilmesini artırmaktadır. Normal portland, traslı ve curuflu çimentolarla kullanılabilir. $Ca(NO_2)_2$ kritik klorür içeriği (eşik değer) sayılan 0,89 Kg/m^3 değerini on katına kadar yükseltmektedir. Sonuç olarak $Ca(NO_2)_2$ iyi kaliteli bir betonla birlikte kullanıldığında korozyon direncinde önemli artışlar sağlanabilmektedir. Bu katkı betonun mekanik özelliklerini bozmamakta aksine yararlı olmaktadır. Her türlü

çimento ile kimyasal ve mineral beton katkıları ile uyum içindedir. Uzun dayanıklılık sağlama açısından $Ca(NO_2)_2$ inhibitörü kullanmak güvenilir bir çözüm olmaktadır.

YALÇIN (1994), yapılan bu çalışmada beton demirlerinin korozyon hızını üç elektrot yöntemi ile ölçülmüştür. Klorürlü, klorürsüz ve asetat katılmış betonlar üzerinde yapılan deneylerde çeliğin 1, 7, 28 gün, 2 ay, 3ay sonundaki korozyon hızları iki ayrı yöntemle tayin edilmiştir. Akım-potansiyel ölçüm değerleri lineer bölgede polarizasyon direnci yöntemi ile, Tafel bölgesinde de polarizasyon kırılma yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Aynı koşullarda hazırlanmış ve bekletilmiş klorürlü ve asetatlı beton numuneleri üzerinde korozyon hızları tayin edilmiş şu sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Beton içindeki çeliğin korozyonu ilk günlerde maksimumdur. Korozyon hızı zamanla azalarak bir ay sonra yaklaşık %90 düşüş göstermektedir.

2. Beton içinde belli miktarda klorür bulunması halinde çeliğin korozyon hızı klorürsüz hale göre birkaç kat artış göstermektedir. Asetat katılmış betonlarda ise korozyon hızında normal haldekinden daha hızlı bir azalma gözlenmiştir. Korozyon potansiyeli değerlerinin incelenmesinde bu pasifleşme olayı açık bir şekilde gözlenmektedir. Asetat içeren betonlarda çeliğin potansiyeli başlangıçta klorürlü betonlarda olduğu gibi -500mV ($Cu/CuSO_4$ elektrota karşı) civarında olduğu halde ilk bir ay içinde pozitif yöne doğru kayarak yaklaşık 15 gün içinde pasif bölgeye geçmiştir.

3. Polarizasyon kırılma yöntemi ile bulunan korozyon hızı değerleri lineer polarizasyon yöntemi ile elde edilen korozyon hızı değerlerinden daima düşük

bulunmuştur. Bu durum beton özgül direncinin yüksek oluşundan ve betonun polarizasyon ölçümleri için uygun bir elektrolit olmayışından kaynaklanmıştır.

CAO (1991), tarafından yapılan bu çalışmada farklı miktarda silika füme ihtiva eden farklı dayanım gücündeki beton içerisine batırılmış çeliklerin korozyon hızını ölçmek için 400 mV'luk sabit potansiyel uygulanan bir korozyon hücresi geliştirilmiştir.

Klorür iyonlarının olmadığı koşullarda beton içindeki çeliğin korozyon hızı çok düşük olmakta ve çok düşük akım göstermektedir. Düşük korozyon hızı beton içindeki çeliğin pasif koşullarda olduğunu göstermektedir. Beton kalıplar tuz çözeltisine batırıldığında hücre akımı yükselmektedir. Hücre akımının yükselmesi aynı zamanda beton dayanımı ile ilgilidir. Düşük basınç dayanımlı betonlarda akım artışı, yüksek basınç dayanımlı betonlara göre daha yüksektir.

OPC kullanılarak yapılan betonlarda dayanım gücünün artması ile beton özdirenci de artmaktadır. Beton içine klorür girmesiyle beton özdirenci düşmekte ve beton içindeki çeliğin korozyon hızı artmaktadır. Silika fümenin etkisine gelince %20 silika füme beton özdirencini artırmakta ve çelikteki korozyon hızı da artmaktadır. Bu da muhtemelen klorürün etkilemesi için gerekli konsantrasyon miktarını düşürmesindendir. %10 silika füme ihtiva eden betonlarda korozyon hızı düşmekte ve beton özdirenci artmaktadır. Klorür etkisine karşı %10 silika füme kullanmak avantaj sağlamaktadır.

BERKE (1994), beton içine difüzlenen Cl^- iyonlarının profilini elde etmeye çalışmıştır. Etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}) beton yapısının uzun süreli Cl^- profili kullanılarak belirlenmiştir. Yeni betonlarda Cl^- geçirgenliğinin hızlı olduğu her bir beton örneği için doğrulanmıştır. Bu çalışmada çeşitli koşullar için çeşitli

beton karışımları çalışılarak Cl^- profili ve D ile ilgili bilgiler saptanmıştır. W/C oranının etkisi, çeliği örten beton kalınlığı, kullanılan puzolanik maddeler ve $Ca(NO_2)_2$'in Cl^- difüzyonuna etkisi gösterilmiştir.

Poroz ortamlarda Cl^- difüzyonu Fick ikinci difüzyon yasasına uyar. Klor difüzyon katsayısı 25°C (77° F)'da kaliteli beton için ~ $2,10^{-8}$ cm^2/s ,düşük kaliteli beton için daha büyük ,puzolan ilave edilmiş beton için daha küçük değerler almaktadır. D_{eff} W/C oranı arttığında artmakta ,puzolan ilavesiyle düşmektedir. Cl^- profilinden D_{eff} belirlendiğinde beton yapısının ömrü makul bir şekilde tahmin edilebilir. $Ca(NO_2)_2$ gibi inhibitörlerin pozitif etkileri anlaşılabilir. Korozyon inhibitörü olarak %30'luk $Ca(NO_2)_2$ çözeltisi kullanıldığında korozyonun başlaması için gerekli kritik Cl^- konsantrasyonunun değeri yükselmektedir. Silika füme ilave edildiğinde betonda klorür geçirgenliği azalmaktadır. Yüksek kaliteli betonda korozyon inhibitörü kullanıldığında inhibitör etkinliği daha yüksek olmaktadır.

LOTO (1989), tarafından yapılan çalışmada beton içindeki çeliğin çevre sıcaklığında, farklı test ortamlarına kısmen daldırılmış durumda korozyon ve koruma tavrı potansiyel izleme tekniğiyle araştırılmıştır. Beton bloklar Portland çimentosu kullanılarak hazırlanmış, bazı beton bloklara hazırlanırken belirli miktarlarda NaCl ilave edilmiştir. Betonların bir kısmı çinkoca zengin epoksi boyalar kullanılarak boyanmıştır. Test ortamları 0.2M $NaHCO_3$ çözeltisi, deniz suyu ve musluk suyudur. Önceden NaCl ilave edilerek hazırlanmış betonlar test ortamlarına kısmen daldırılarak ölçümler alınmış, ölçülen potansiyeller zamanla daha negatif değerlere ulaşmıştır. Potansiyellerin negatife kayması batırılmış çelik yüzeyinde anodik çözünmeye neden olmaktadır. Bu çukur korozyonu şeklinde veya genel korozyon şeklindedir.

Betona batırılmış çeliğin korozyonunu test ortamındaki karbonat, sülfat, klorür iyonlarının difüzyonu, adsorbe olan su, su/nem oranları artırmaktadır. Çelik boya ile kaplandığında (betona gömülmeden önce) koruma olmaktadır. Beton blokların dıştan boyanması betonları daha çok korumaktadır. Hem çeliğin hem de betonun dıştan boyanması korozyondan korunma için çok etkili olmaktadır.

DHIR (1993), yapılan çalışmada beton içine batırılmış çelikte klorürün neden olduğu korozyonun şiddeti ve hızını yarı hücre potansiyel testleri ile belirlemiştir. Laboratuvar çalışmaları farklı tipte çimentolar kullanılarak beton örnekler hazırlanarak yapılmış üzerine 5M NaCl çözeltisi püskürtülmüştür. Diğer deneyler deniz kıyısında direk ve kolonlar hazırlanarak çalışılmıştır. Klorür ölçümleri; suda çözünmüş ve toplam klorür miktarları deneylerle saptanmıştır. Korozyon hızı ölçümleri; yarı hücre potansiyelleri Ag/AgCl elektrot kullanılarak ölçülmüştür. Potansiyel değişimlerine karşı I değerleri ölçülmüş V/I grafiği çizilerek eğiminden polarizasyon direnci hesaplanmış ve Stern-Geary eşitliği kullanılarak I_{cor} belirlenmiştir.

$$I_{cor} = B / R_p = B / (\Delta V/\Delta I) = B.\Delta I / \Delta V$$

Korozyon potansiyelleri PFA içeren betonlarda daha düşük olmaktadır. Ayrıca betonun basınç dayanımlarının artması ile de korozyon potansiyellerinde düşüş görülmektedir.

DERRIEN ve ark. (1990), beton içine batırılmış çeliğin davranışlarını katodik polarizasyonla belirlemişlerdir. Çeşitli yaşdaki benzer betonlar aynı miktarlarda karbonat ve klorür iyonlarıyla kirletilmiş sulu çözeltilerde incelenmiştir. Karışımlarda (Na^+, K^+) alkali katyonları ve OH^-, HCO_3^-, $CO_3^{=}$ anyonları

bulunmaktadır. Deneyler potansiyodinamik eğrilerin çizimi, polarizasyon direncinin ölçülmesi ve çeliğin yüzey koşullarının incelenmesini içermektedir. Daha önceki yapılan çalışmalardan C= [Cl⁻]/[OH⁻] ≥ 1 olduğunda korozyon meydana geldiği belirlenmiş ve bu çalışmada C oranı 0, 1 ve 2 olarak alınmıştır. Çeliğin 5 farklı çözeltideki potansiyodinamik eğrilerden elde edilen E_{cor} ve I_{cor} değerleri farklı C oranları ile karşılaştırıldığında yüksek pH'lı iki çözeltide E_{cor} fazla değişmemektedir. Polarizasyon testleriyle durgunluk gerilimi (E_c) ve polarizasyon direnci belirlenmektedir. Durgunluk gerilimi pH'ı yüksek (pH=13,2) ve (pH=11,9) olan iki çözeltide klorür iyonunun ilavesi ile daha negatif değerlere kaymakta diğer çözeltilerde ise daha pozitif değerlere kaymaktadır.

Yüzey koşulları incelendiğinde pH'ı yüksek iki çözeltide C=1 olduğunda çelik yüzeyinde pas ve beyaz birikim görülmüş, C=2 olduğunda da aynı yüzey koşulları saptanmıştır. Diğer çözeltilerde ise C'nin bütün değerlerinde de hiç bir birikim görülmemiştir.

LUPING (1992), tarafından elektriksel alan uygulanarak beton içindeki klorür difüzyonu hızlı şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada matematiksel model kurularak elektriksel alan ve beton içindeki iyon difüzyonu arasındaki boşluk doldurulmuştur. Deneyler OPC pastası ve harç örnekleriyle gerçekleştirilmiş, W/C oranları 0,4, 0,6, 0,8 olarak seçilmiştir. 30V (DC) uygulanarak hızlı klorür difüzyonu sağlanmıştır. Deney sonunda beton örneklerindeki klorür penetrasyon derinliği kolorimetrik metodla belirlenmiştir.

Beton içindeki etkin difüzyon katsayısı

$$= 1,189.10^{-11} \frac{\left(c_d - 1,061\, c_d^{0,559}\right)}{t}$$

eşitliğinden hesaplanır.

Yapılan deneylerde penetrasyon derinliği ve difüzyon pasta ve harçta W/C oranı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Penetrasyon derinliği test zamanının artmasıyla artış göstermektedir. Bu metodun avantajları şöyle sıralanabilir

1. Laboratuvarda çalışma düzeneği kolaylıkla kurulabilir ve bir çok örnek aynı anda test edilebilir.
2. Test süresi diğer metodlardan daha kısadır.
3. Etkin difüzyon katsayısı direkt olarak hesaplanabilir.

HOPE (1989), tarafından kalsiyum klorür ihtiva eden, oksijen geçirilmiş kirece daldırılan çelik örneklerinde kalsiyum nitrit ve kalay klorürün korozyondan koruma etkisi elektrokimyasal ve görünüm olarak incelenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler yarı hücre potansiyeli, AC impedansı, polarizasyon direnci ve Tafel eğimini içermektedir.

İnhibitör olarak $Ca(NO_2)_2$ %0,1 - %0,3 arasında kullanılmıştır. Oksijenli kireç suyuna konulan çelik örneklerin yüzeyinde görülebilir korozyona rastlanmamıştır. Çeşitli çeliklerde potansiyel SCE'ye karşı -120mV ile -150mV olarak belirlenmiştir. Çözeltiye %1'lik $CaCl_2$ eklendiğinde çelik yüzeyi üzerinde pas lekeleri oluşmuş, potansiyel daha negatif değerlere kaymıştır. (-480mV ile -520 mV) (SCE). İmpedans diyagramları çelik örneklerin aktif korozyon altında olduğunu göstermektedir. Korozyon akımı polarizasyon direnci ve Tafel eğimi ile hesaplanmış ve 1,5-3,0 $\mu A/cm^2$ bulunmuştur. %0,1 $Ca(NO_2)_2$ ilave edildikten sonra çelik yüzeyi gümüş gibi beyaz bir tabaka ile örtülmüş ve çelik yüzeyine sıkıca yapışmıştır. Potansiyel -110 ile 200 mV(SCE)'a kaymıştır.Pasif film şekli

impedans diyagramında da görülmektedir. Korozyon akımı 0,10 ve 0,40 $\mu A/cm^2$ olarak hesaplanmıştır.

İnhibitör olarak $SnCl_2$ ilave edildiğinde: Oksijenli kireç suyuna %1$CaCl_2$ ve %0,1 $SnCl_2$ ilave edildiğinde çelik yüzeyinde pas lekeleri görülmüş, potansiyel -450 ile -480 mV arasında ölçülmüştür. İmpedans diyagramı çeliğin aktif korozyonunu göstermektedir. Korozyon akımı 1,2-2,6 $\mu A/cm^2$ olarak bulunmuştur Konsantrasyonlar değiştirilerek deney serileri tekrarlanmış ve sonuç olarak bu çalışmada deney koşulları altında $Ca(NO_2)_2$ korozyon inhibitörü özelliği göstermektedir. Nitrit ve klorür iyonları oranı 0,07 ve 0,09 arasındaysa korozyon başlamaktadır. Kalay klorürde inhibitör özelliği görülmemektedir.

LIN (1990), çalışmasında gözenekli beton için klorür difüzyonunu incelemiştir. Difüzyon modeli yüzey konsantrasyonuna ve zamana bağlı difüzyon katsayısı olarak karekterize edilir. Difüzyon katsayısının zamanla değişimi, su/çimento oranı değişimi ile difüzyon katsayısı arasındaki ilişki, yüzeydeki Cl^- konsantrasyonu ve zamanla değişimi incelenmiştir. Poröz beton dilimi için bir boyutlu klorür difüzyonu

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D(t)\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

şeklinde verilir.

Tahmin edilen difüzyon modeli ve deneysel verilerin uyumlu olduğu gözlenmiştir. OPC betonlarında yapılan çalışmalarda klorür konsantrasyon profili deneysel sonuçlarla tahmin edilen verilerle uyum sağlamıştır. Klorür konsantrasyonu yüzeyden uzaklaştıkça azalmaktadır.

SAETTA (1993), yapılan çalışmada kısmen doygun betonda klorür difüzyonunu beton parametreleri ve değişebilen iyon difüzyon katsayılarını dikkate alarak incelemiştir. Deney sonuçları göstermiştir ki klorür hızı sıcaklığa, beton gözenekliliğine,çimento tipine, Cl^- iyonlarının katyonlarının türüne ve kür koşullarına bağlıdır.

Gözeneklilik su/çimento oranının direkt fonksiyonudur. Oran arttığında difüzyon karekteristikleri de artacaktır. Su/çimento oranı arttığında gözeneklilik de artmaktadır. Yapılan deneylerde su/çimento oranına bağlı olarak elde edilen difüzyon katsayıları W/C =0,32 olduğunda $D=0,59.10^{-13}$ m^2/s; W/C =0,44 olduğunda $D=1,57.10^{-12}$ m^2/s ve W/C =0,55 iken $D=1,46.10^{-11}$ m^2/s bulunmuştur. Görüldüğü gibi su/çimento oranının artmasıyla difüzyon katsayısı da artmaktadır.

DHIR (1993), yaptıkları çalışmalarda PFA betonlarında klorürün difüzyon hızını araştırmışlardır. Beton dayanıklılığına PFA (tozlaştırılmış yakıt külü)'nın etkisi, PFA betonlarının klorür geçirgenliği, çimento tipi, beton yaşı, kür koşulları ve katılan PFA miktarının değiştirilmesi ile incelenmiştir. Beton örnekler farklı basınç dayanımlarına göre hazırlanmıştır.

Betonlarda basınç dayanımı yükseldikçe klorür difüzyon katsayısı değeri düşmüştür. OPC'ye PFA katıldığında klorür difüzyon katsayısı yüksek basınç dayanımlı betonlarda diğerlerine göre oldukça küçük değerlerde kalmaktadır. PFA miktarı artırıldığında difüzyon katsayısı düşmektedir. Basınç dayanımı 35 N/mm^2 olan OPC ve PFA katkılı betonlarda 28. günde OPC betonunda $D=21,2.10^{-9}$ cm^2/s, OPC+PFA15 betonunda $D=8,4.10^{-9}$ cm^2/s ve OPC+PFA30 betonunda ise $D=3,6.10^{-9}$ cm^2/s bulunmuştur.

HAGUE ve KAWAMURA (1992), yaptıkları çalışmada, uçucu küllü betonlarda betonarme demirinin karbonatlaşmasını ve klorür indüksiyon korozyonunu incelemişlerdir.

Sıkıştırıcı kuvvetlerin etkisiyle külsüz ve $CaCl_2$'süz açıkta bırakılan iki ayrı betonda karbonatlaşma miktarını ve çelik çubukların yarı-hücre potansiyellerini gözlemlemişlerdir. Sonuçlar normal şartlardaki betonların kontrollü betonlardan daha fazla karbonatlaştığını göstermektedir. Uçucu küllü betonların dayanıklılığı kontrollü çimentoya göre %18 daha az dayanıklıdır.

TIKALSKY ve CARRSQUILDO (1992), tarafından yapılan bu çalışmada betonun sülfat mukavemetinde uçucu külün etkisini incelemişlerdir. Beton örneklerindeki sodyum sülfat çözeltisinin %10'unu devamlı sulandırılarak yapılan araştırmalar betonun sülfat mukavemetinin, içerdiği külle ilgisi olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda uçucu külün dengeli olarak yer değiştirmesi, durgunluk, hava miktarı, çimento tipi ve rutubetli ortamın da betonun sülfat mukavemetinde etkisi vardır. Betonun sülfat mukavemetinde uçucu külün etkisinin fiziksel etkilerden çok tabiat etkilerine bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

GALİP ve ERBİL (1990), yaptıkları bu çalışmada sülfat ($SO_4^=$) iyonlarının klorürlü ortamlarda demirli malzemelerin korozyonu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapay deniz suyu içinde $SO_4^=$ iyonlarının demirin korozyonu üzerine etkisi kütle kaybı ve elektrokimyasal yöntemlerle araştırılmıştır. Araştırma pH=8-4 arası değişik pH'larda yapılmış ve $SO_4^=$ iyonu derişimi kademeli olarak 0-0,1M arasında değiştirilmiştir. Açık havada metalin korozyon potansiyeli belirlendikten sonra polarizasyon dirençleri ölçülmüştür. Ayrıca korozyon potansiyeli dolayında akım-zaman ilişkisi izlenmiştir. R_p-logc ve I-t grafiklerinden pH=8'de $SO_4^=$ iyonunun yapay deniz suyu içinde demir

korozyonuna zayıf inhibisyon etkisi yaptığı, pH=6'da net bir etki görülmezken pH=4'de $SO_4^{=}$ iyonlarının demirin korozyonunu artırdığını ileri sürmüşlerdir.

BOAH (1990), tarafından yapılan bu çalışmada Cl^-, $SO_4^{=}$ ve $CO_3^{=}$ iyonları ihtiva eden doygun $Ca(OH)_2$ çözeltisi içine batırılmış çeliğin elektrokimyasal tavrı AC impedans ve DC teknikleriyle incelenmiştir. Karbon çeliği doygun $Ca(OH)_2$ çözeltisinde pasif bir film tabakasıyla kaplanır ve çelik korozyona uğramaz. Ama $Ca(OH)_2$ çözeltisine ilave edilen Cl^-, $SO_4^{=}$ ve $CO_3^{=}$ iyonları çelik yüzeyi üzerindeki pasif filmin bozulmasına ve korozyon hızının artmasına neden olur. Düşük klorür konsantrasyonlarında pasifliğin bozunmaya başlaması difüzyon kontrollü olmakta, klorür konsantrasyonunun artmasıyla arayüzey reaksiyonları yük transfer kontrollü olmaktadır. Na_2SO_4 miktarı arttıkça doygun $Ca(OH)_2$ çözeltisindeki karbon çeliğinin de korozyon hızının arttığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Beton karışımlarında bağlayıcı madde olarak Adana Çimento Fabrikası'ndan alınan TÇ 325 kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Adana Çimento Fabrikasında Üretilen TÇ 325 Portland Çimentosunun Kimyasal Analizleri ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Özellikler	
SiO_2	%28,99	Özgül ağırlık (g/cm^3)	2,96
Al_2O_3	%7,08	Özgül yüzey (cm^2/g)	3447
Fe_2O_3	%2,82		
Mn_2O^3	%0,42		
CaO	%51,17		
MgO	%3,17		
SO_3	%2,26		
Serbest (CaO)	%0,67		
Çözünmeyen kalıntı	%9,70		

3.1. Agrega Seçimi

Kullanılacak olan agrega Adana Çimento Fabrikası'ndan getirilmiştir. Agrega, 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 mm göz açıklığı olan elekler ile elenmiştir ve 0-4 mm arası ince agrega, 4-8 mm arası da kalın agrega olarak betonarme yapımında kullanılmıştır.

En Büyük Tane Büyüklüğü Seçimi

TS 3530/Aralık 1980'e göre betonu oluşturacak tane büyüklüğü seçilmektedir. Bu seçim için agreganın elek analizleri yapılmıştır. TS 707/Aralık 1980 e göre ince malzemeden 4000,5 gram alınarak elek analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5' de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kullanılan İnce Agreganın Özellikleri

	Elek üstü kalanlar	Elek üstü kalanlar %	Elekten geçen	Elekten geçen %
8 lik elek	992,2 g	24,8	3008,3	75,2
4 lük elek	767,9 g	44	2240,4	56
2 lik elek	503,8 g	56,6	1736,6	43,4
1 lik elek	441,8 g	67,6	1294,8	32,4
0,5 lik elek	527,1 g	80,8	767,7	19,2
0,25 lik elek	514,2 g	93,7	253,5	6,3
0,25 lik elek altı	253,5 g	—	253,5	—

Agreganın Kuru Özgül Ağırlığı, Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı:

Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranının saptanmasında Ek 1 de verilen eşitlikler (TS 3526/Aralık 1980 e göre) kullanılmıştır.

3.2. Beton Karışım Hesabı

Normal inşaatlarda kullanılan teknik demir, betonarme demiri olarak kullanılmıştır. Beton yapımı sırasında çimento-agrega-karma suyu karıştırılıp laboratuvarda 5 cm boyunda, 3 cm çapında olan plastik kalıplara yerleştirilip, yüzeyleri spatül ile düzeltilmiştir.

TS 802/Ocak 1985 Çizelge 7'de döşeme, kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kemer betonlarında çökme değeri maksimum 10, minimum 5 olduğundan ortalama çökme değeri 7 alınmıştır. Aynı standartta Çizelge 6 da çökme değeri 7 ye göre hava katkısız beton için karışım suyu miktarı 190 olarak belirlenmiştir.

1 m^3 sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\frac{C}{T_c} + W + \frac{W_a}{T_a} + A = 1000\ (dm^3) \qquad (2.1)$$

C :Karışıma girecek çimentonun kütlesi

T_c : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm^3)

W : Karışıma girecek suyun hacmi

W_a : Karışıma girecek agreganın kütlesi (kg)

T_a : Agreganın yoğunluğu (kg/dm^3)

A : Betondaki toplam hava miktarı

W/C=0,45 seçilmiştir ve C=W/0,45 olduğundan çimento miktarı 13,59 g bulunmuştur. 1 m^3 sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanları miktarlarını hesaplayabilmek için önce boş plastik kutularının hacimleri hesaplanmış ve kutuların alabileceği hacim miktarları hesaplanmıştır. Boş plastik kutuların yüksekliği 5 cm, çapı 3 cm olduğundan 32,19 cm^3 dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplamalar Ek 2 de ve malzeme miktarları ise Çizelge 6' da gösterilmiştir.

Çizelge 6. TÇ 325 (d=2,96 g/cm^3) in 32,185 cm^3 dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplanan malzeme miktarı.

Malzemenin Adı	Kütlesi (g)	Yoğunluğu (g/cm^3)	Gerçek Hacmi (cm^3)
Su	6,12	1,00	6,12
Çimento	13,59	2,96	4,59
Hava	—	—	0,65
Agrega	54,80	2,63	20,83
Toplam	74,51	—	32,19

İnşaatlarda kullanılan teknik demirle birlikte, karıştırılmış çimento-agrega-karma suyu 5 cm boyunda 3 cm çapında plastik kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplarda 24 saat bekletildikten sonra çalışma elektrodu (betonarme hücresi) oluşturulmuştur.

Betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları atmosfere açık koşullarda potansiyostat aygıtı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerde yardımcı elektrot olarak Pt kullanılmış ve potansiyeller kalomel elektroda karşı ölçülmüştür. Aşağıdaki ortamlar bu işlem için kullanılmıştır:

1- saf su ile hazırlanan betonarme 0,25-0,5-1,0-1,5-2,0 M lık NaCl içeren ortamlarda incelenmiştir.

2- 0,25-0,5-1,0-2,0 M lık NaCl içeren çözeltilerle hazırlanan numuneler saf su içerisinde incelenmiştir.

3- 0,25-0,5-1,0-2,0 M lık NaCl içeren çözeltilerle hazırlanan numuneler yine aynı ortamlarda incelenmiştir

Bu ortamlarda akımın potansiyel eğrileri çizilmiştir.Bu eğriler yardımıyla belirlenen potansiyeller elektrokimyasal hücreye uygulanmış ve elektrolitteki klorür iyonu değişiminin zamanla değişimi izlenmiştir. Klorür iyonunun belirlenmesinde volumetrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu potansiyeller uygulanırken, pH, elektriksel iletkenliklerinin zamanla değişimleri belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

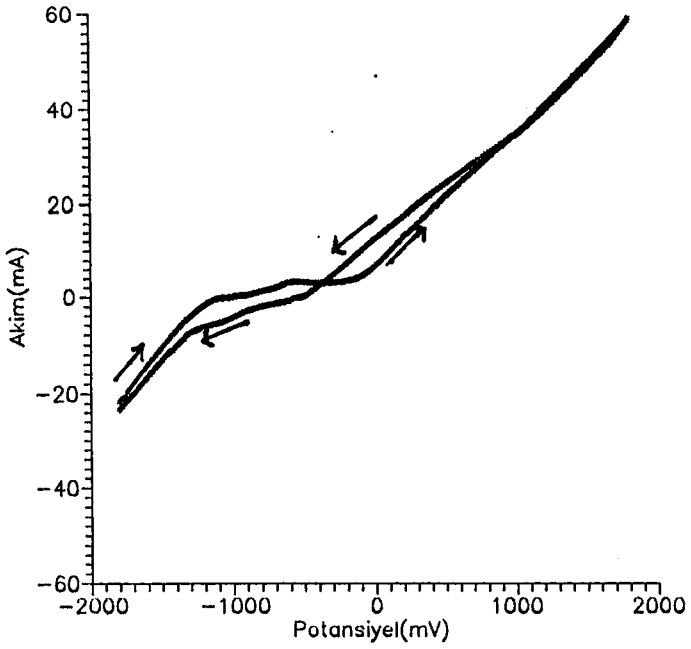
4.1. Akım-Potansiyel Eğrileri

Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme örneklerinin akım-potansiyel eğrileri Şekil 3-17'de verilmiştir. Şekillerin (a) kısmında -1,8V'dan +1,8V'a kadar gidiş-dönüş ve (b) kısmında ise -1,2V-+0,4V'a kadar gidiş kısmı verilmiştir.

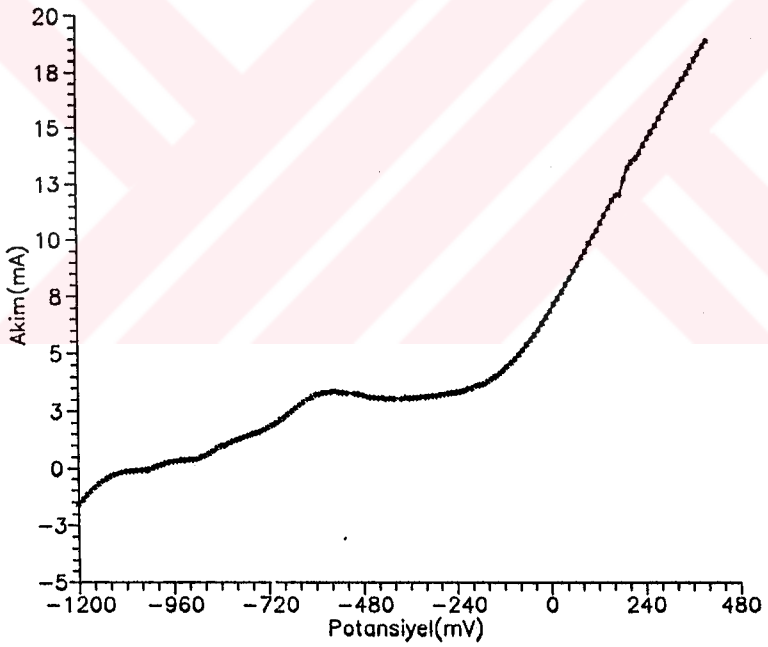
4.1.1. Karma Suyunun Saf Su Olduğu Betonarme Örneklerinin xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) İçeren Temas Suyu Ortamlarında Elde Edilen Deney Sonuçları

Bu koşullarda elde edilen deneysel bulgular Şekil 3-7'de verilmiştir. Şekil 3'de 2M NaCl'de elde edilen akım-potansiyel eğrisi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi katodik polarizasyon altında akım -1,8V'dan itibaren -1,2V'a kadar doğrusal artmakta, ~ -1,2 ~ -0,7V aralığında 0,1 mA değerinde sınır akımına ulaşmakta ve daha pozitif potansiyellere gidildikçe artarak -0,56V dolaylarında (Şekil 3b) bir akım piki oluşmaktadır. Daha soy potansiyellere gidildikçe -0,1V dolayından sonra akım doğrusal artmaktadır (Şekil 3).

Şekil 4-7'de görüldüğü gibi akım yine -1,8V'dan itibaren -1,2V'a kadar doğrusal artmakta, ~ -1,2 ~ -0,7V aralığında 0,1 mA sınır değerine ulaşmaktadır. Akım pikinin görüldüğü potansiyeller ise klorür derişimine bağlı olarak; 1,5M'da ~ -0,54V (Şekil 4b), 1,0M'da ~ -0,53V (Şekil 5b) ve 0,5M'da ~-0,48V (Şekil 6b) olmaktadır. 0,25M klorür içeren ortamda ise (Şekil 7b), akım piki görülmemektedir. Daha pozitif potansiyellere gidildikçe 1,5 ve 1,0M klorür

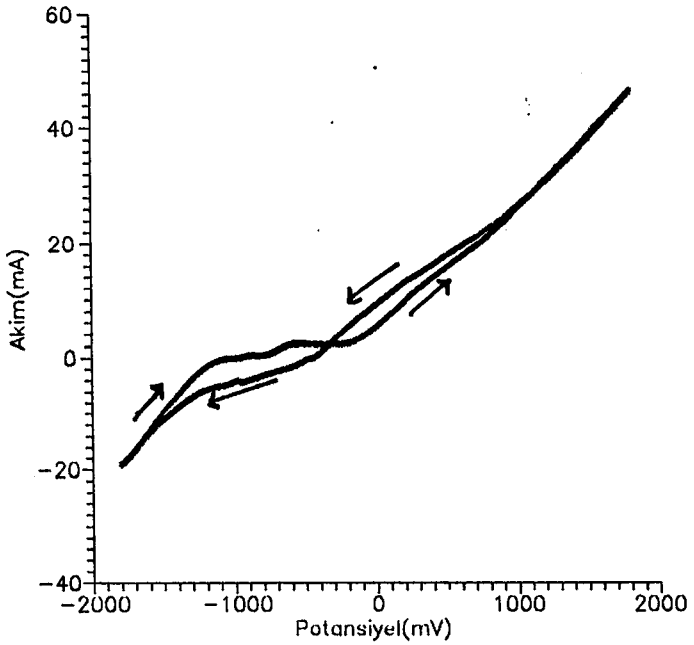


(a)

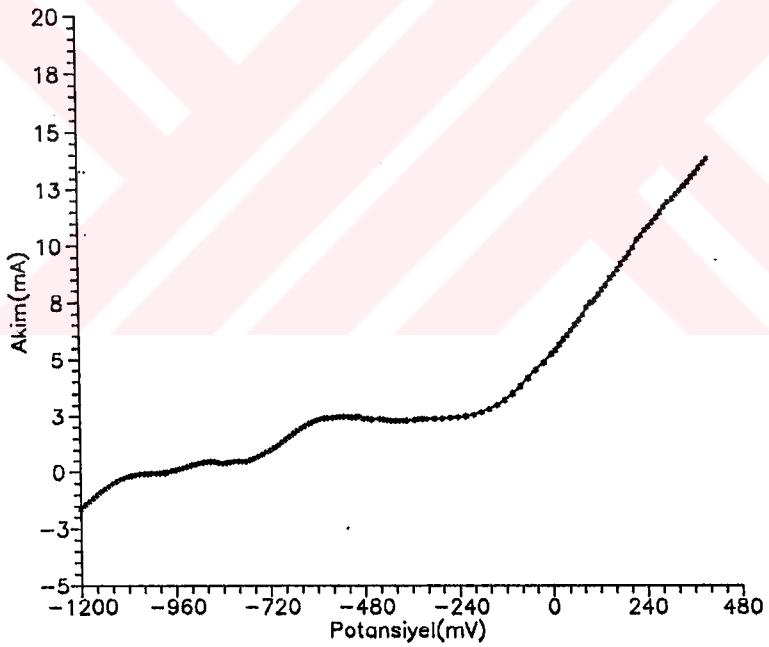


(b)

Şekil 3. Karma suyu saf su, temas suyu 2M NaCl ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

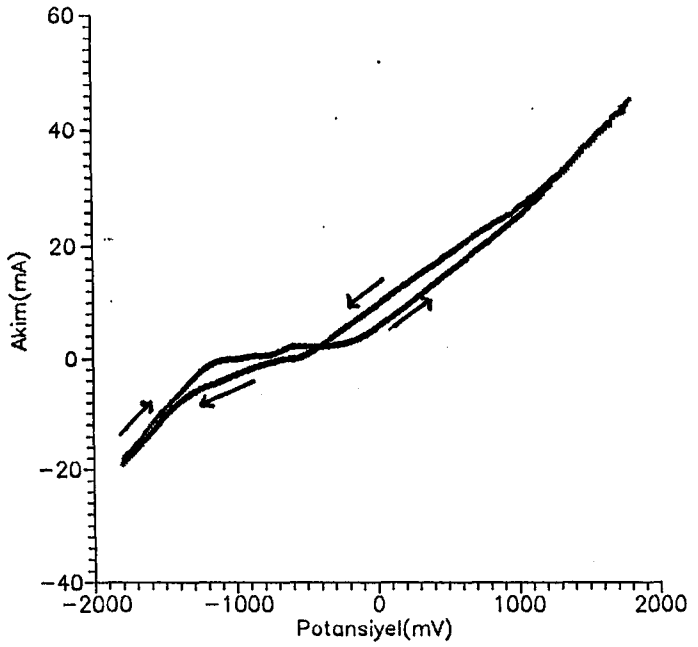


(a)

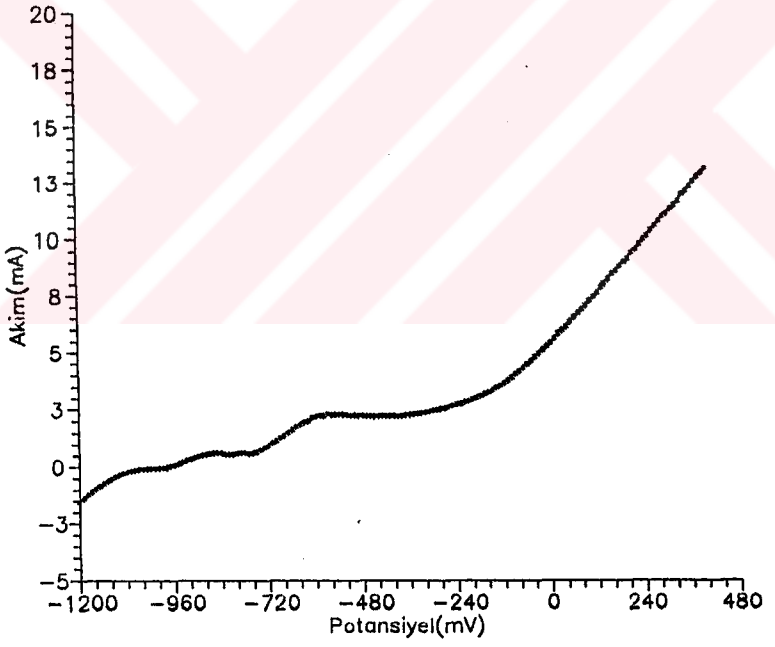


(b)

Şekil 4. Karma suyu saf su, temas suyu 1,5M NaCl ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

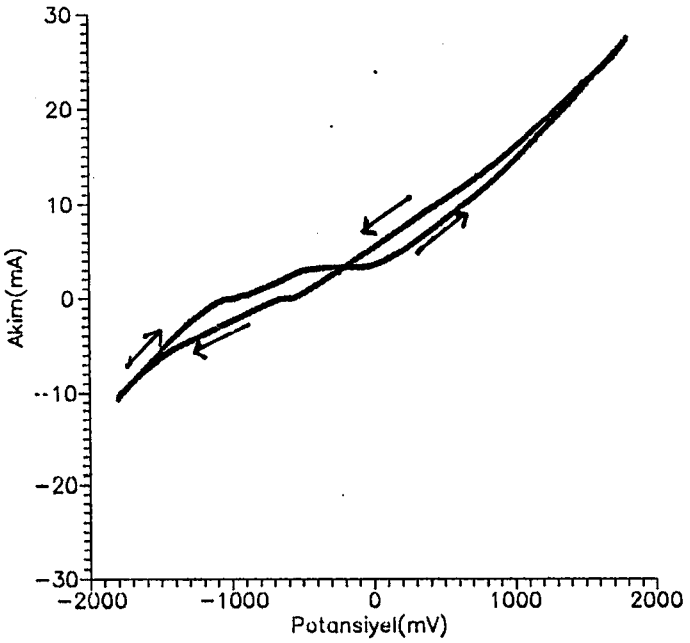


(a)

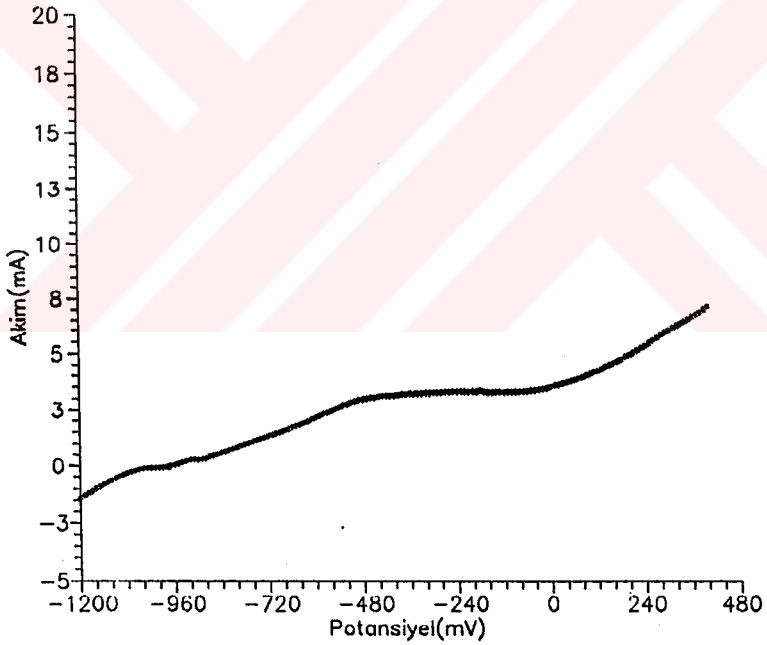


(b)

Şekil 5. Karma suyu saf su, temaş suyu 1M NaCl ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

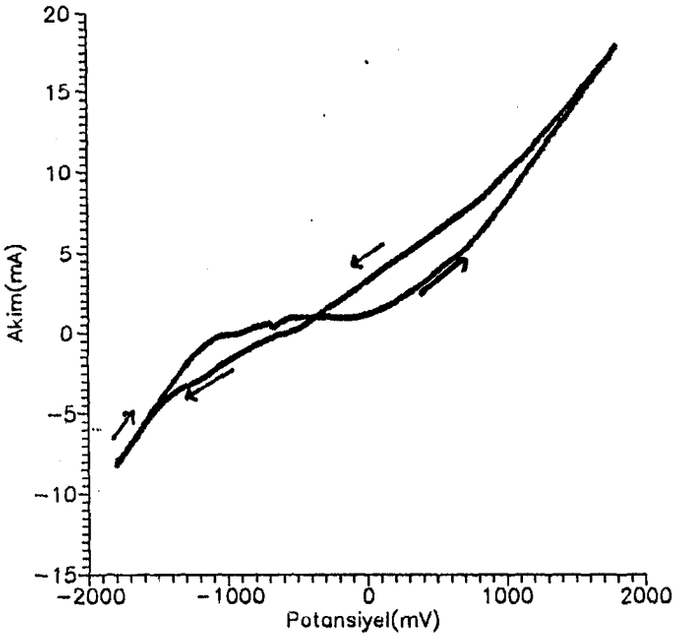


(a)

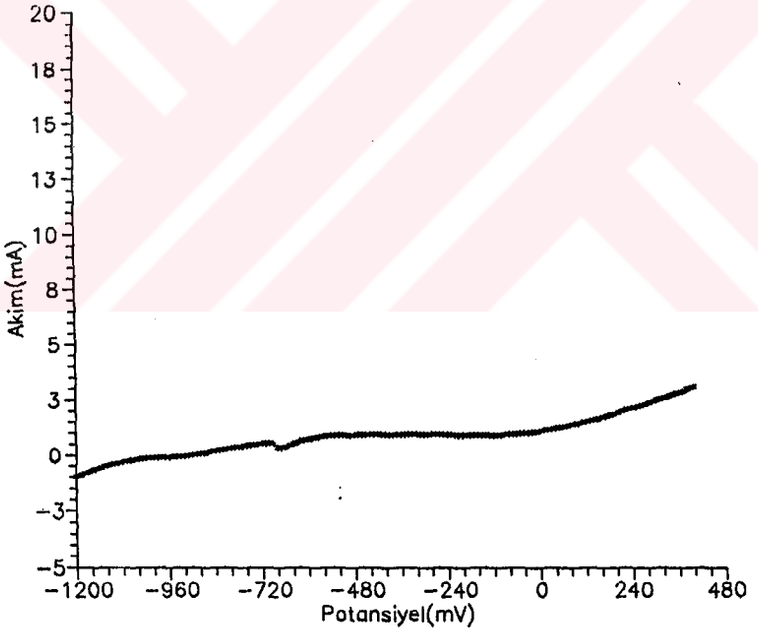


(b)

Şekil 6. Karma suyu saf su, temas suyu 0,5M NaCl ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı



(a)



(b)

Şekil 7. Karma suyu saf su, temaş suyu 0,25M NaCl ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

içeren ortamlarda ~ -0,1V dolaylarında (Şekil 4,5), 0,5M klorür içeren ortamlarda ~ 0,2V dolaylarında (Şekil 6) ve 0,25M klorür içeren ortamlarda ~0,3V dolaylarında akım doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 7).

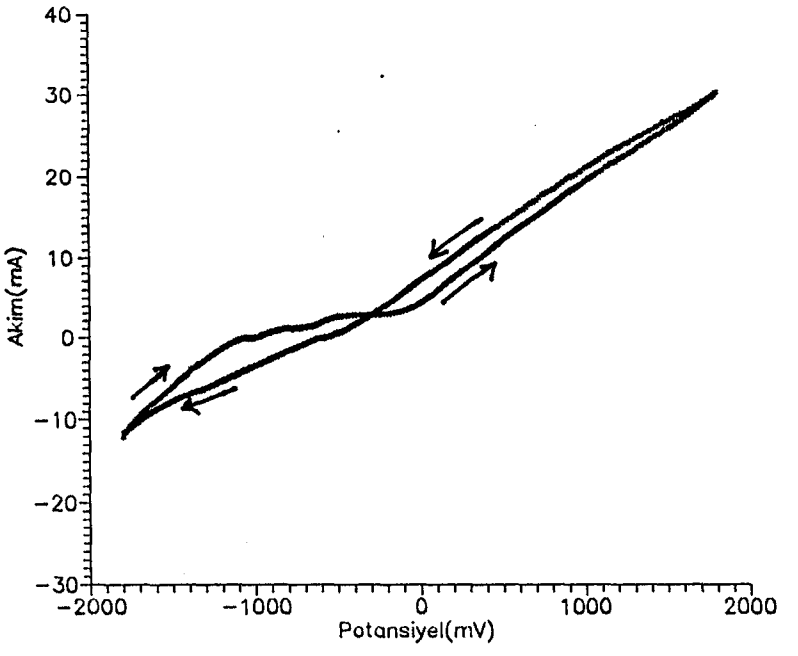
Klorür iyonu derişimine göre +1,8V'da belirlenen akım değerleri 2M'da 59,1 mA, 1,5M'da 46,7 mA, 1,0 M'da 45,5 mA, 0,5M'da 27,4 mA ve 0,25M'da da 17,97 mA değerlerindedir.

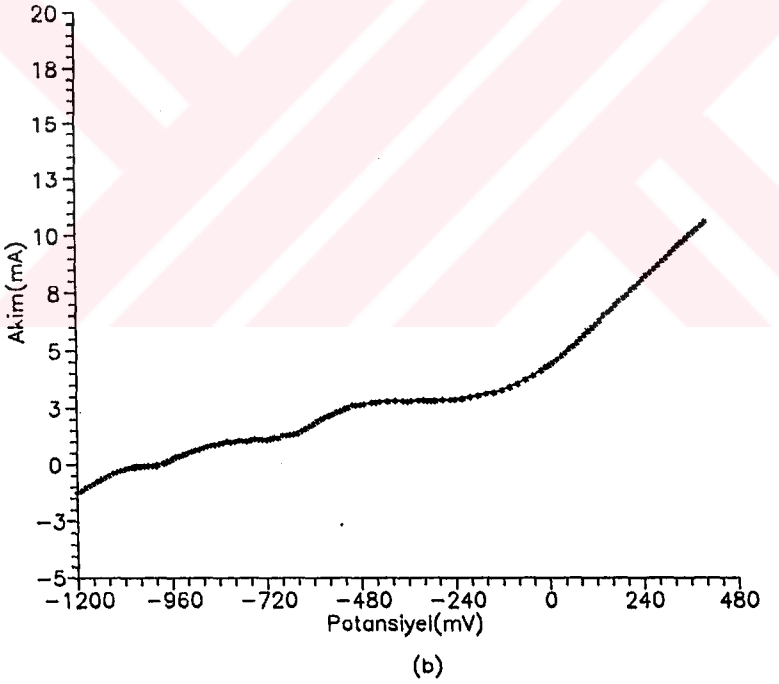
Akım potansiyel eğrilerinin dönüşünde aynı potansiyel aralıklarında gidişin benzeri olaylar gerçekleşmektedir.

4.1.2. Karma Suyu xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) Olan Betonarmelerin Temas Suyu Saf Su Olan Ortamlarda Elde Edilen Deney Sonuçları

Bu koşullarda elde edilen deneysel bulgular Şekil 8-12'de verilmiştir. 2M NaCl ile hazırlanan numunelerin saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrisi Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi negatif potansiyellerde -1,8V'dan daha soy potansiyellere gidildikçe akım doğrusal artmakta, ~ -1,2 ~ -0,6V aralığında 0,1 mA'de sınır akımına ulaşmakta ve daha pozitif potansiyellere gidildikçe akım artarak ~ -0,46V dolaylarında bir akım piki vermektedir (Şekil 8b). Daha soy potansiyellere gidildikçe -0,1V dolayından sonra akım doğrusal artmaktadır (Şekil 8).

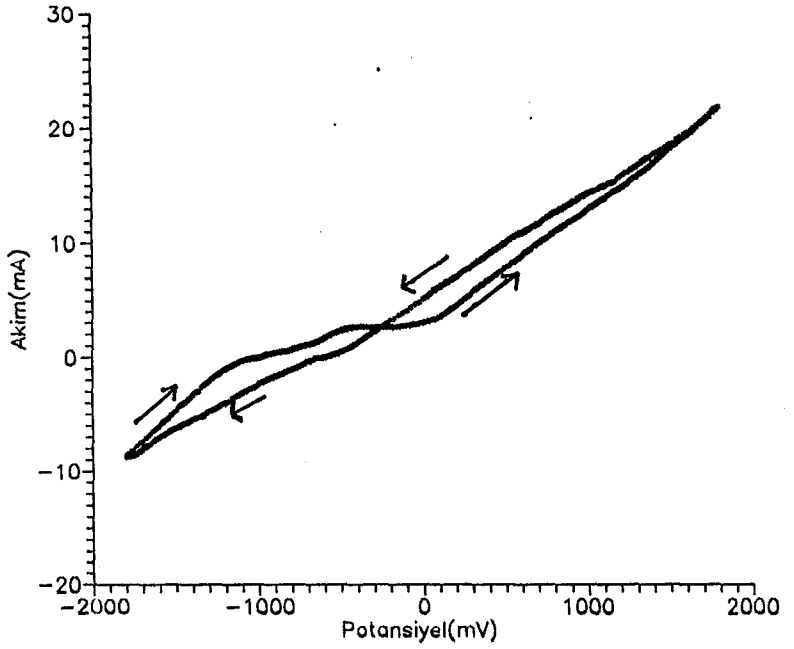
Şekil 9-12'de görüldüğü gibi akım -1,8V'dan itibaren -1,2V'a kadar doğrusal artmakta, ~ -1,2 ~ -0,6V aralığında 0,1 mA sınır değerine ulaşmaktadır. Akım pikinin görüldüğü potansiyeller ise klorür derişimine bağlı olarak; 1,0-1,5M'da ~ -0,42V (Şekil 9b,10b) olmaktadır. 0,5-0,25M'da akım piki



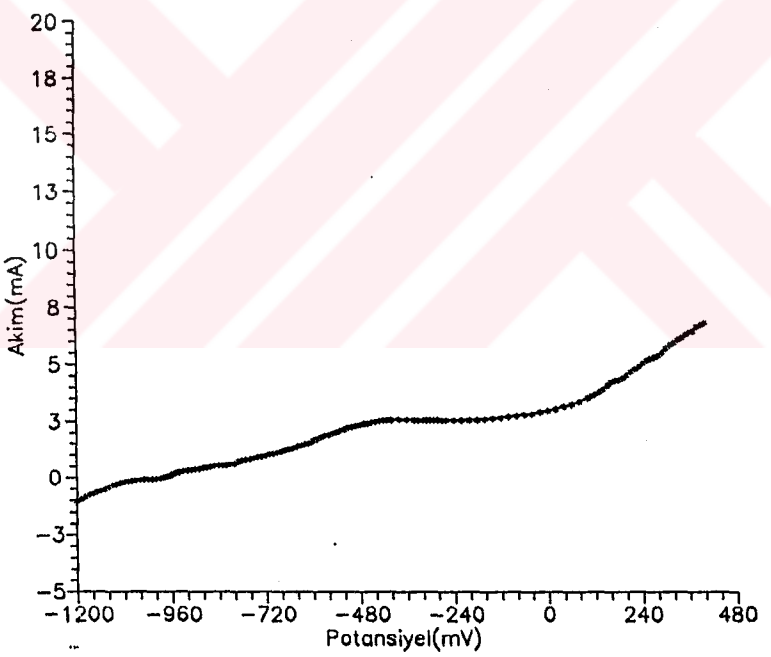


(b)

Şekil 8. Karma suyu 2M NaCl, temas suyu saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

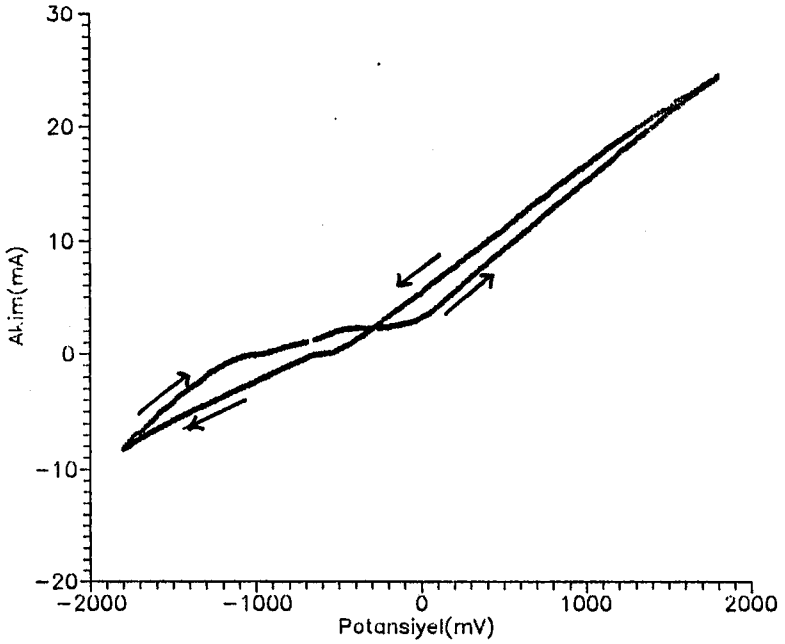


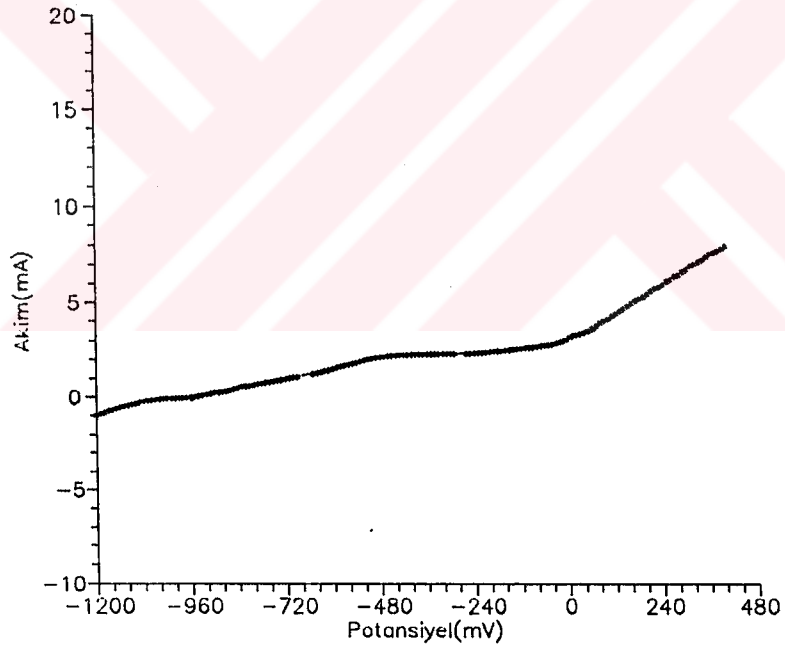
(a)



(b)

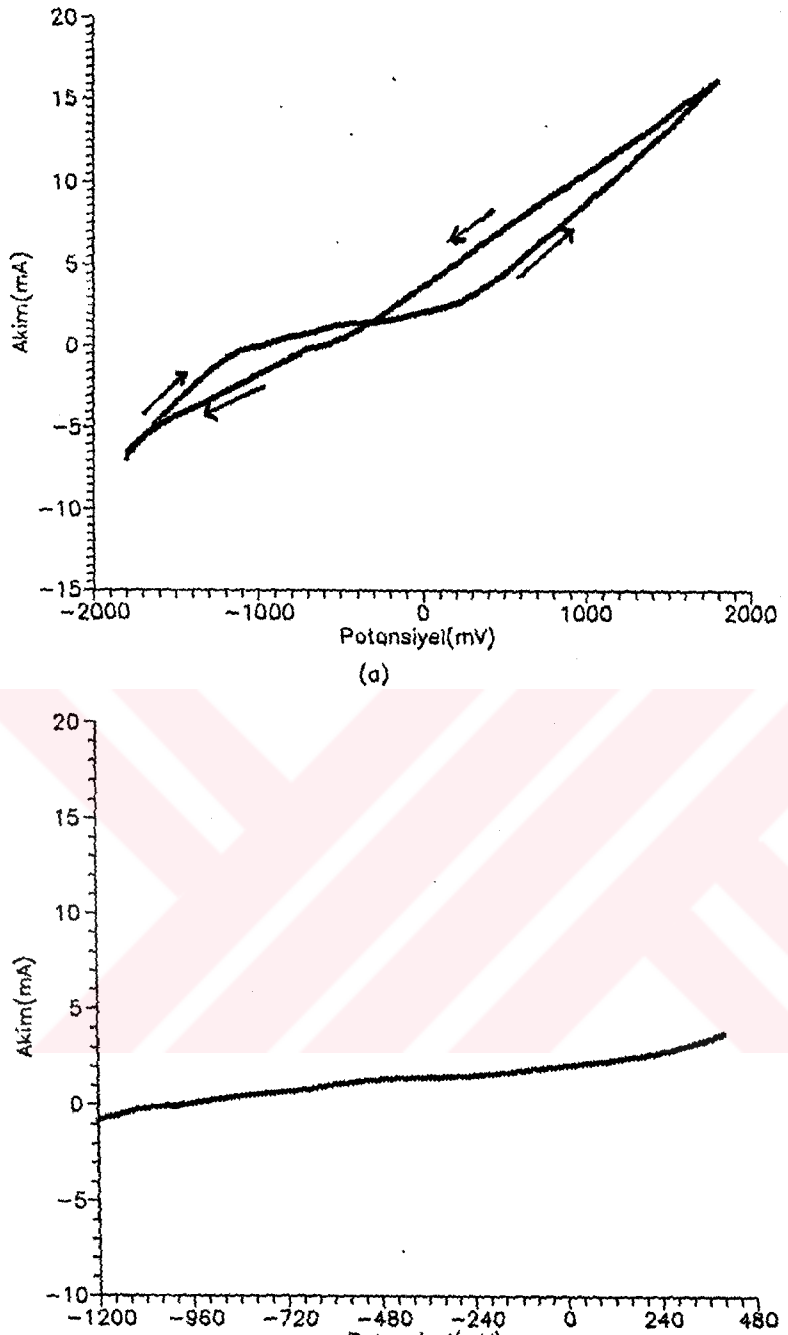
Şekil 9. Karma suyu 1,5M NaCl, temas suyu saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı



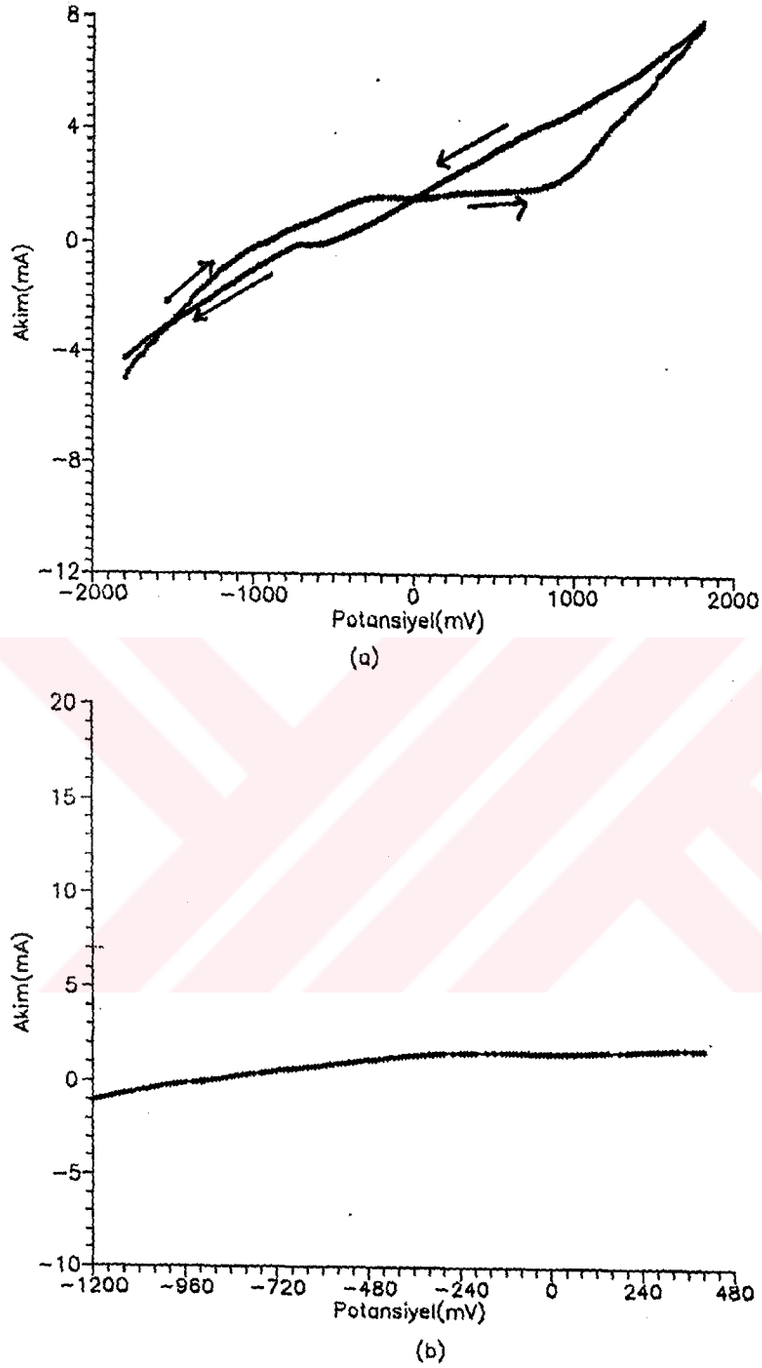


(b)

Şekil 10. Karma suyu 1M NaCl, temas suyu saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı



Şekil 11. Karma suyu 0,5M NaCl, temas suyu saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı



Şekil 12. Karma suyu 0,25M NaCl, temas suyu saf su ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

görülmemektedir (Şekil 11b-12b). Daha soy potansiyellere gidildikçe 1,5M klorür içeren çözelti ile hazırlanan numunelerde ~ 0,05V dolaylarından itibaren (Şekil 9), 1,0M klorür içeren çözelti ile hazırlanan numunelerde ~ 0V dolaylarından itibaren (Şekil 10), 0,5M klorür içeren çözelti ile hazırlanan numunelerde ~0,2V dolaylarından itibaren (Şekil 11), 0,25M klorür içeren çözelti ile hazırlanan numunelerde ~ 0,9V dolaylarından itibaren (Şekil 12) akım doğrusal olarak artmaktadır.

Klorür iyonu derişimine göre +1,8V'da belirlenen akım miktarları 2M'da 30,4 mA, 1,5M'da 24,7 mA, 1,0M'da 21,8 mA, 0,5M'da 16,24 mA ve 0,25M'da da 7,94 mA değerlerindedir.

Akım potansiyel eğrilerinin dönüşünde de 3.1.1.'de belirtilen değişimlerin benzeri olaylar olmaktadır.

4.1.3. Karma Suyu xM NaCl (x; 2, 1,5, 1,0, 0,5, 0,25) Olan Betonarme Örnekleri, Karma Suyu İle Aynı Temas Suyı İçinde Elde Edilen Deney Sonuçları

Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren karma suyu ile hazırlanan numunelerin karma suyu ile aynı temas suyu ortamlarında elde edilen deneysel bulgular Şekil 13-17'de verilmiştir.

2M NaCl elektrolitinde elde edilen akım-potansiyel eğrisi Şekil 13'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi akım negatif potansiyellerde -1,8V'dan daha soy potansiyellere gidildikçe doğrusal artmakta ve ~ -1,2 ~ -0,72V aralığında fazla değişmemekte 0,1 mA dolayında sınır değere ulaşmakta ve daha soy potansiyellere gidildikçe akım artarak ~ -0,58V dolaylarında (Şekil

13b), bir akım piki oluşmaktadır. Daha soy potansiyellere gidildikçe -0,3V dolayından sonra akım doğrusal artmaktadır (Şekil 13).

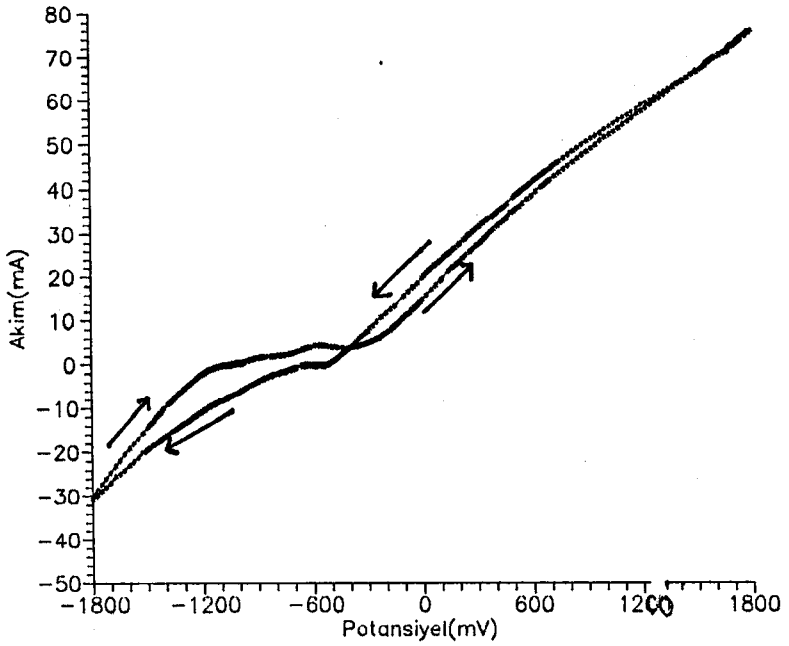
Şekil 14-17'de de görüldüğü gibi akım yine -1,8V'dan itibaren -1,2V'a kadar doğrusal artmakta, ~ -1,2 ~ -0,72V aralığında 0,1 mA dolayında sınır akımına ulaşmaktadır. Akım pikinin görüldüğü potansiyeller ise klorür derişimine bağlı olarak; 1,5M'da ~ -0,58V (Şekil 14b), 1,0M'da ~ -0,55V (Şekil 15b), 0,5M'da ~ -0,52V (Şekil 16b) ve 0,25M'da ~ -0,46V (Şekil 17b) dur. Daha soy potansiyellere gidildikçe 1,5M klorür içeren ortamlarda ~ -0,3V (Şekil 14), 1,0M klorür içeren ortamlarda ~ -0,2V (Şekil 15), 0,5-0,25M klorür içeren ortamlarda ~0,1V (Şekil 16,17) dolaylarından itibaren akım doğrusal olarak artmaktadır.

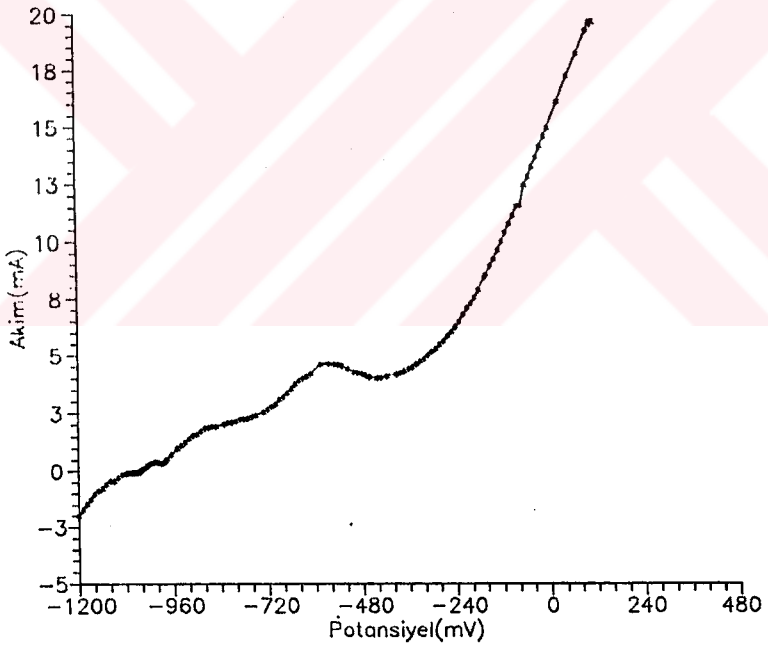
Klorür iyonu derişimine göre +1,8V'da belirlenen akım miktarları 2M'da 76,3 mA, 1,5M'da 73,2 mA, 1,0M'da 44,2 mA, 0,5M'da 29,6 mA ve 0,25M'da da 23,9 mA değerlerindedir.

Akım potansiyel eğrilerinin geriye dönüşünde aynı potansiyel aralıklarında gidişin benzeri olaylar gerçekleşmektedir.

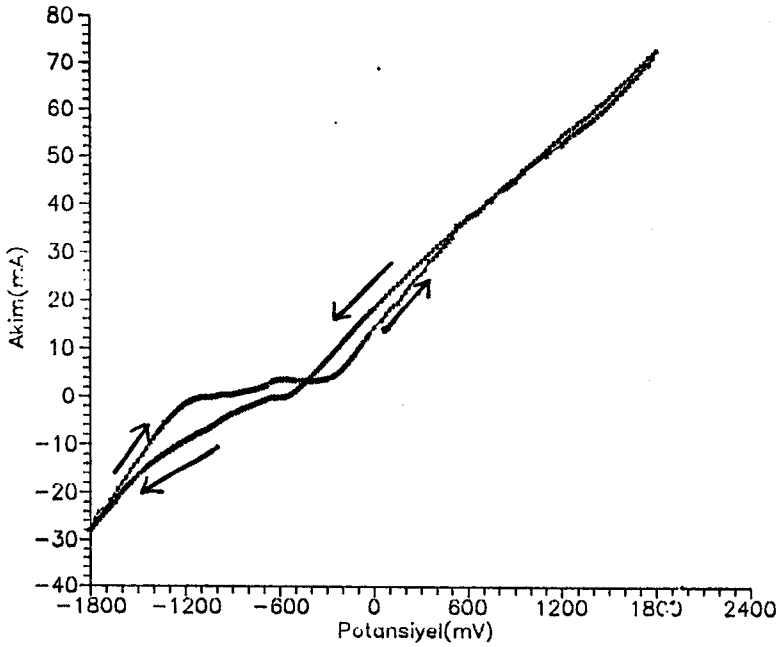
4.2. Temas Suyundaki Klorür Derişimi, pH ve Elektriksel İletkenliğin Zamanla değişimi

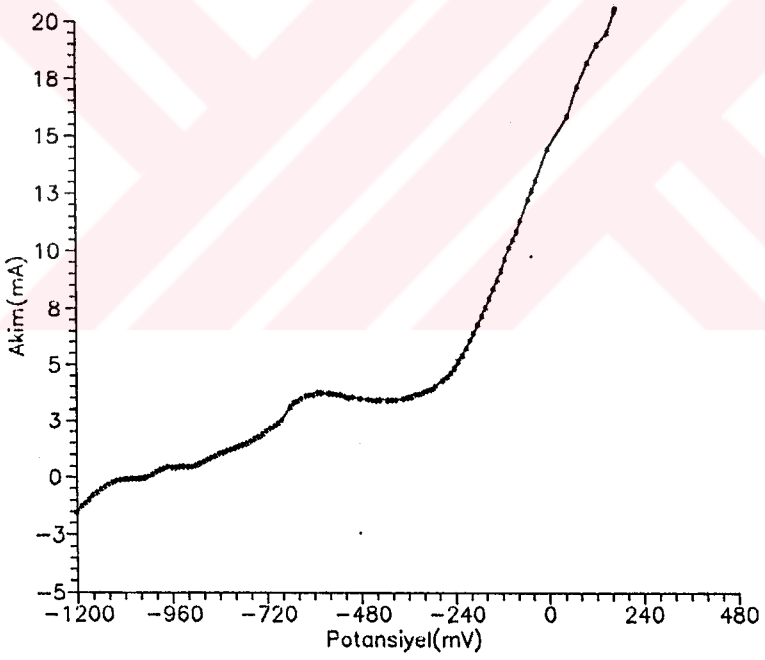
Anodik bölgede +700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişiminin zamanla değişimi (0-5 saat) Şekil 18-20'de, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.



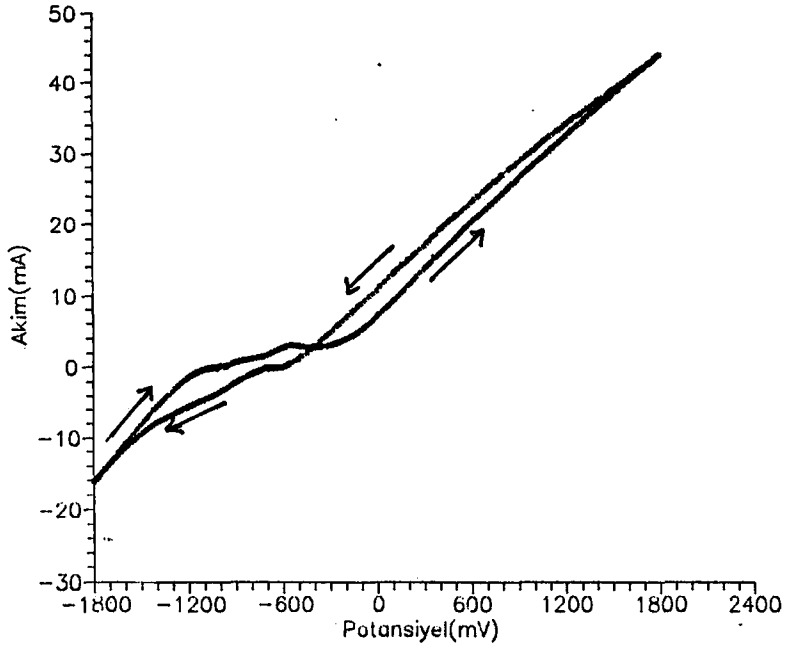


Şekil 13. Karma suyu 2M NaCl olan betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

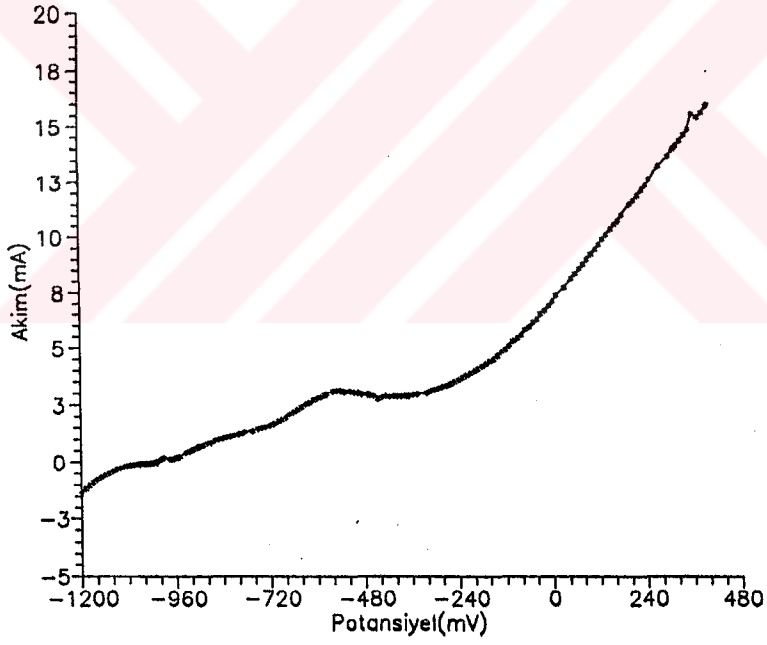




Şekil 14. Karma suyu 1,5M NaCl olan betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

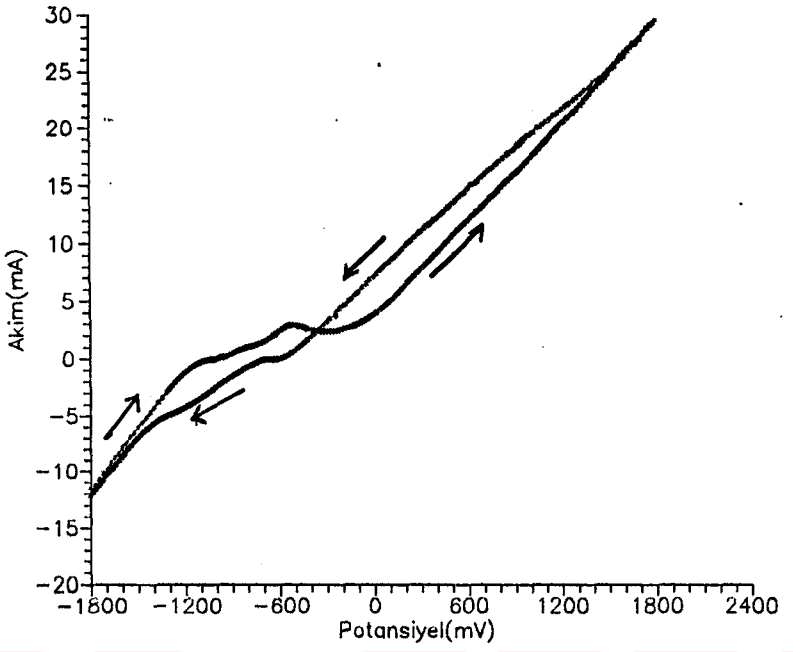


(a)

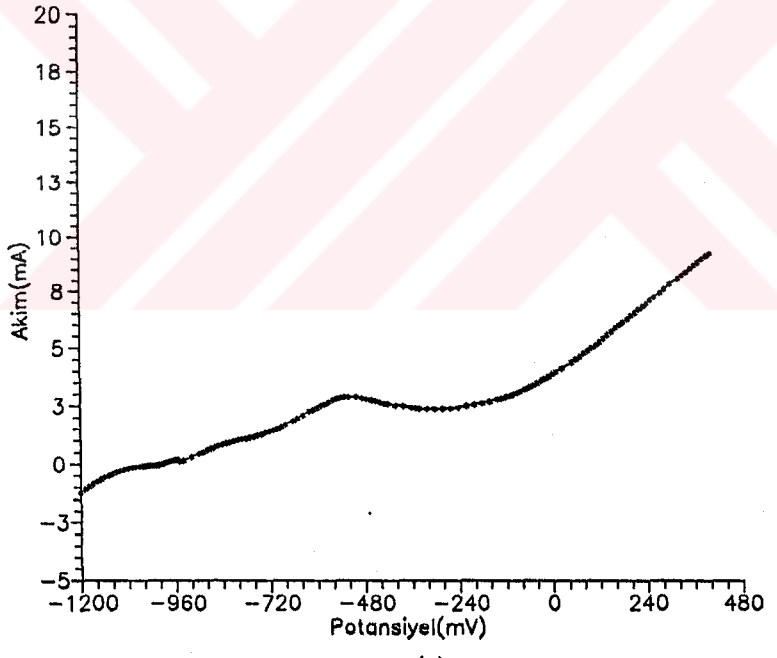


(b)

Şekil 15. Karma suyu 1M NaCl olan betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

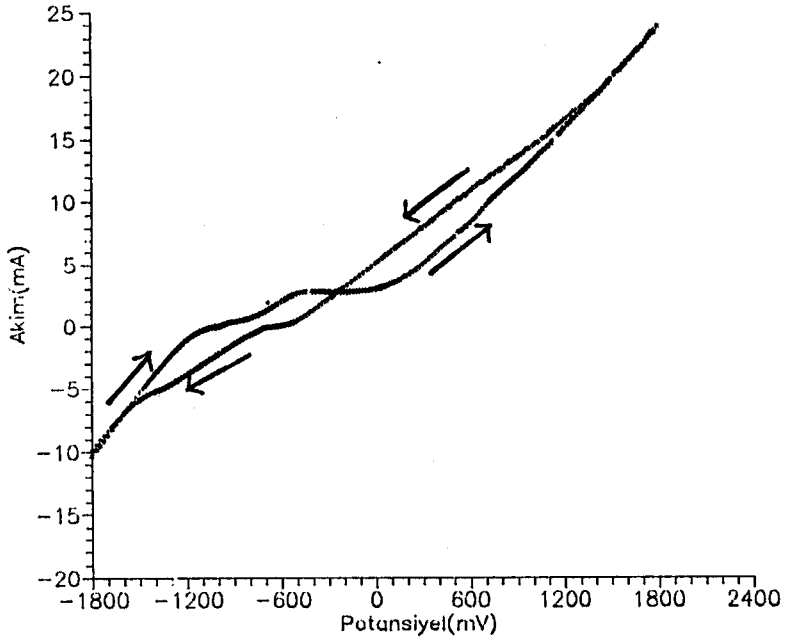


(a)

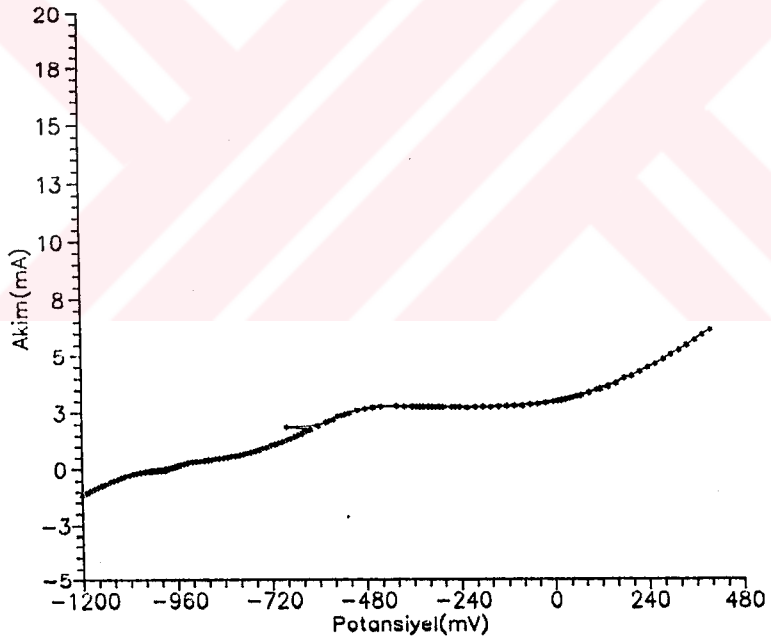


(b)

Şekil 16. Karma suyu 0,5M NaCl olan betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı



(a)



(b)

Şekil 17. Karma suyu 0,25M NaCl olan betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında elde edilen akım-potansiyel eğrileri (a) -1,8V'dan+1,8V'a kadar gidiş-dönüş, (b) -1,2V'dan +0,4V'a kadar gidiş kısmı

Temas suyu farklı konsantrasyonlarda (başlangıç pH'ı 2M için 6,67, 1,5M için 7,01, 1M için 6,39, 0,5M için 6,52, 0,25M için 6,22 dir) NaCl içeren, karma suyu saf su olan betonarme örneklerine 700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişiminin zamanla değişimi Şekil 18'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi başlangıçta 2M iken 1,9M, 1,5M iken 1,47M, 1,0M iken 0,99M, 0,5M iken 0,52M, 0,25M iken 0,26M olmaktadır.

Anodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonundaki çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren temas suları için 1,949M, 1,5M için 1,54M, 1,0M için 1,028M, 0,5M için 0,54M, 0,25M için 0,29M değerlerindedir.

Temas suyunun pH değişimi ve iletkenliği deney süresinde ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 7'de verilmiştir.

Temas suyu saf su (başlangıç pH'ı karma sularının klorür derişimi 2M için 5,60, 1,5M için 7,08, 1,0M için 6,72, 0,5M için 7,80, 0,25M için 5,95 dir), karma suyu farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren betonarme örneklerine 700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişiminin zamanla değişimi Şekil 19'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi karma sularının klorür derişimi 2M iken $11,51x10^{-3}$ M, 1,5M iken $7,837x10^{-3}$ M, 1,0M iken $5,87x10^{-3}$ M, 0,5M iken $4,54x10^{-3}$ M, 0,25M iken $3,72x10^{-3}$ M değerlerinde olmaktadır.

Anodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonunda çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren karma suları için $12,5x10^{-3}$ M, 1,5M için

$11,27x10^{-3}$ M, 1,0M için $6,36x10^{-3}$ M, 0,5M için $5,5x10^{-3}$ M, 0,25M için $5,29x10^{-3}$ M değerlerindedir.

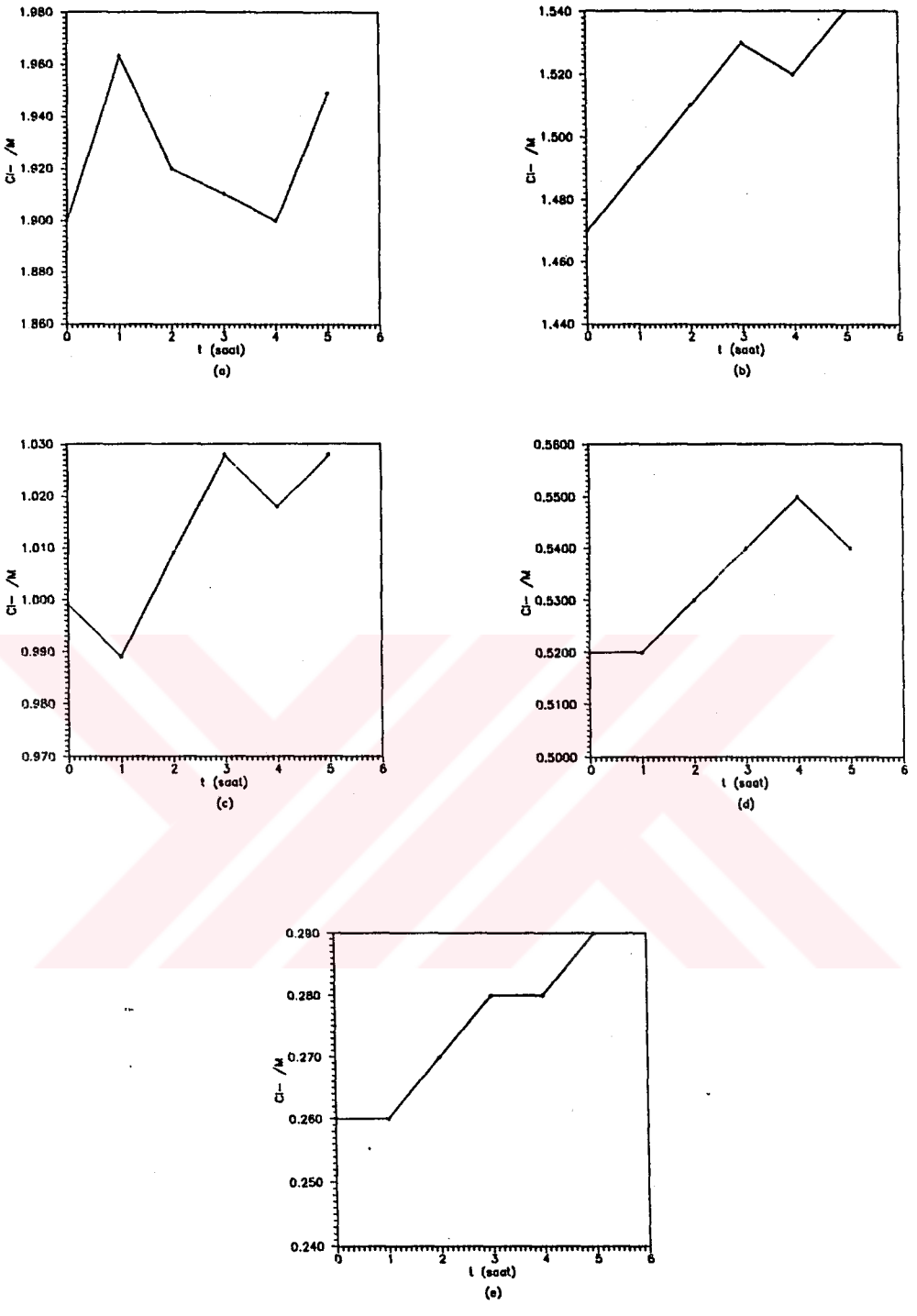
Temas suyunun pH değişimi ve iletkenliği de deney süresinde ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 7'de verilmiştir.

Karma suyu ve temas suyu (başlangıç pH'ı 2M için 7,72, 1,5M için 7,47, 1,0M için 8,23, 0,5M için 8,20, 0,25M için 8,90 dır) farklı konsantrasyonlarda NaCl bulunduran betonarme örneklerine 700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişimlerinin zamanla değişimi Şekil 20'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi 2M iken 1,872M, 1,0M iken 0,9504M, 0,25M iken 0,2352M değerlerindedir.

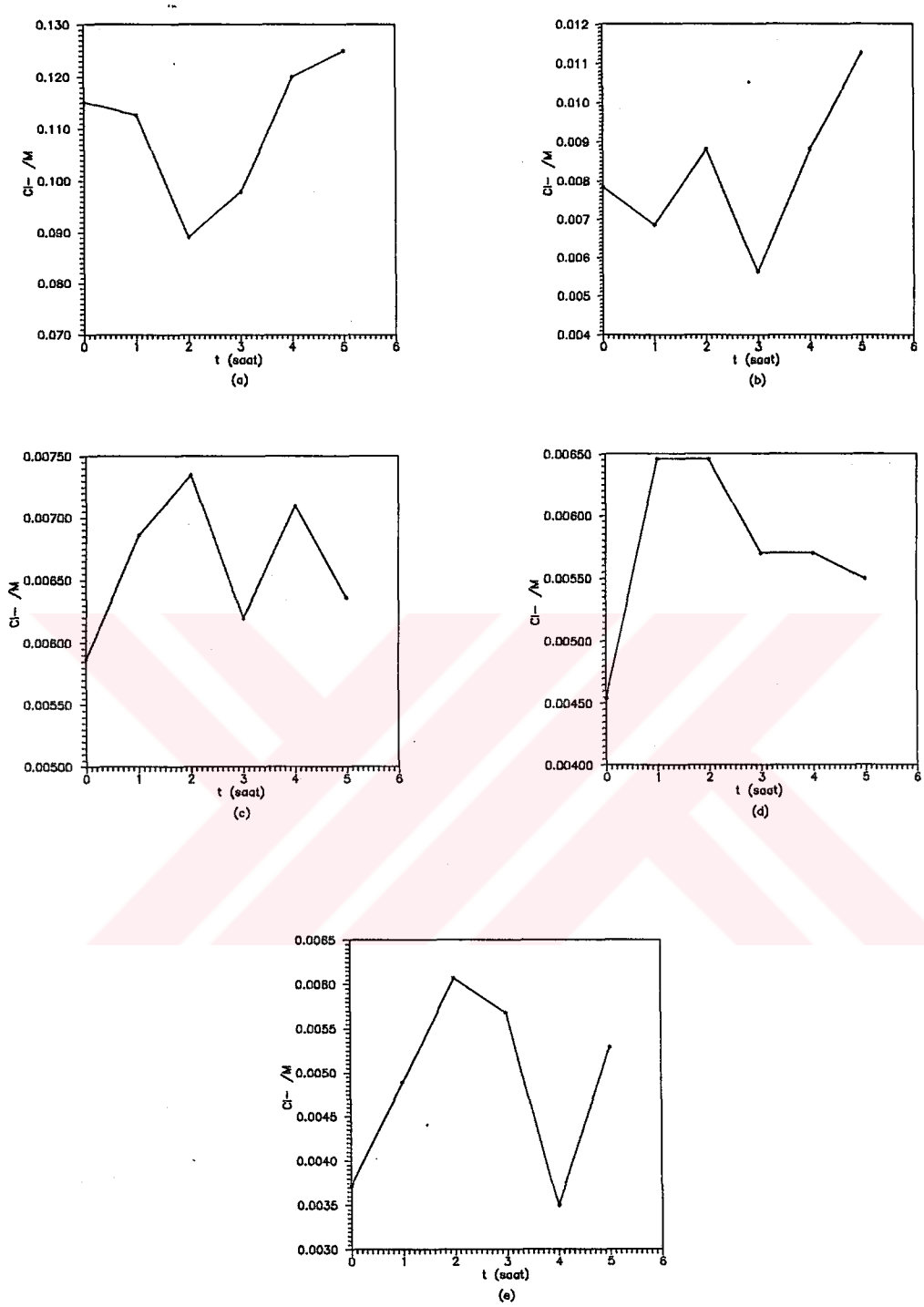
Anodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonunda çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren temas suları için 1,9584M, 1,0M için 0,9984M, 0,25M için 0,2379M'dır.

Temas suyunun pH değişimi ve elektriksel iletkenliği de deney süresince ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 7'de verilmiştir.

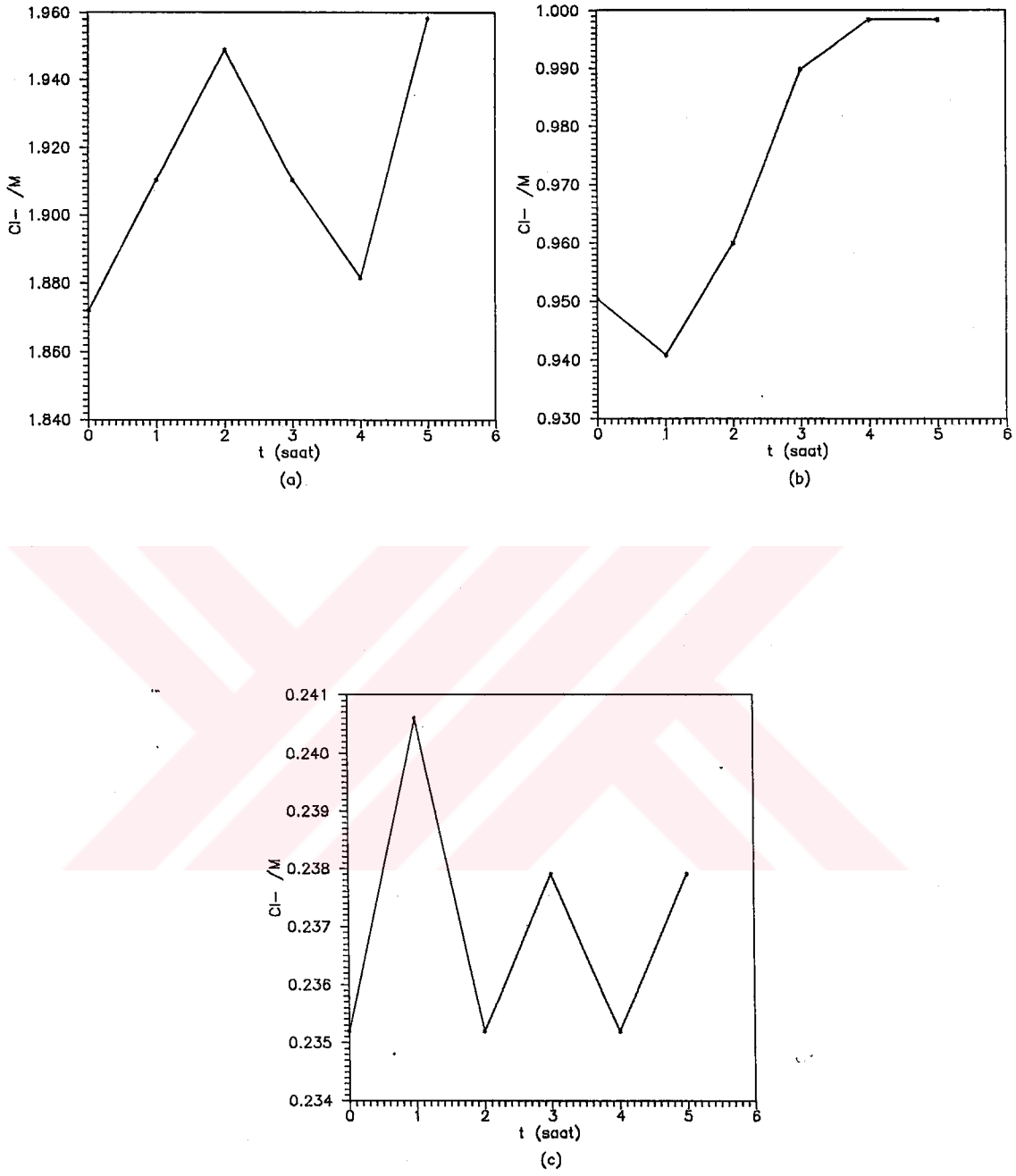
Çizelge 7'de görüldüğü gibi pH bazik ortama kayarken, iletkenlik klorür konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artmıştır.



Şekil 18. Karma suyu saf su, temas suyu xM NaCl olan ortamlarında +700 mV anodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1,5M,)c) 1,0 M (d) 0,5M (e) 0,25M



Şekil 19. Karma suyu xM NaCl, temas suyu saf su olan ortamlarında +700 mV anodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1,5M,)c) 1,0 M (d) 0,5M (e) 0,25M



Şekil 20. Karma suyu xM NaCl içeren betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında +700 mV anodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1M, (c) 0,25M

Temas suyu farklı konsantrasyonlarda (başlangıç pH'ı 2M için 6,72, 1,5M için 7,12, 1M için 6,12, 0,5M için 6,35, 0,25M için 6,12 dir) NaCl içeren, karma suyu saf su olan betonarme örneklerine -700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişiminin zamanla değişimi Şekil 21'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi 2M iken 1,91M, 1,5M iken 1,48M, 1,0M iken 0,9895M, 0,5M iken 0,509M, 0,25M iken 0,27M değerlerinde olmaktadır.

Katodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonundaki çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren temas suları için 1,88M, 1,5M için 1,43M, 1,0M için 0,9699M, 0,5M için 0,48M, 0,25M için 0,23M değerlerindedir.

Temas suyunun pH değişimi ve iletkenliği deney süresinde ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Temas suyu saf su (başlangıç pH'ı karma sularının klorür derişimi 2M için 5,72, 1,5M için 7,12, 1,0M için 6,75, 0,5M için 7,70, 0,25M için 6,10 dur), karma suyu farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren betonarme örneklerine -700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişiminin zamanla değişimi Şekil 22'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi karma sularının klorür derişimi 2M iken $11,51x10^{-3}$ M, 1,5M iken $9,406x10^{-3}$ M, 1,0M iken $5,63x10^{-3}$ M, 0,5M iken $4,89x10^{-3}$ M, 0,25M iken $3,52x10^{-3}$ M değerlerinde olmaktadır.

Katodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonunda çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren karma suları için $8,86x10^{-3}$ M, 1,5M için

$7,836x10^{-3}$ M, 1,0M için $3,42x10^{-3}$ M, 0,5M için $4,7x10^{-3}$ M, 0,25M için $1,76x10^{-3}$ M değerlerinde olmaktadır.

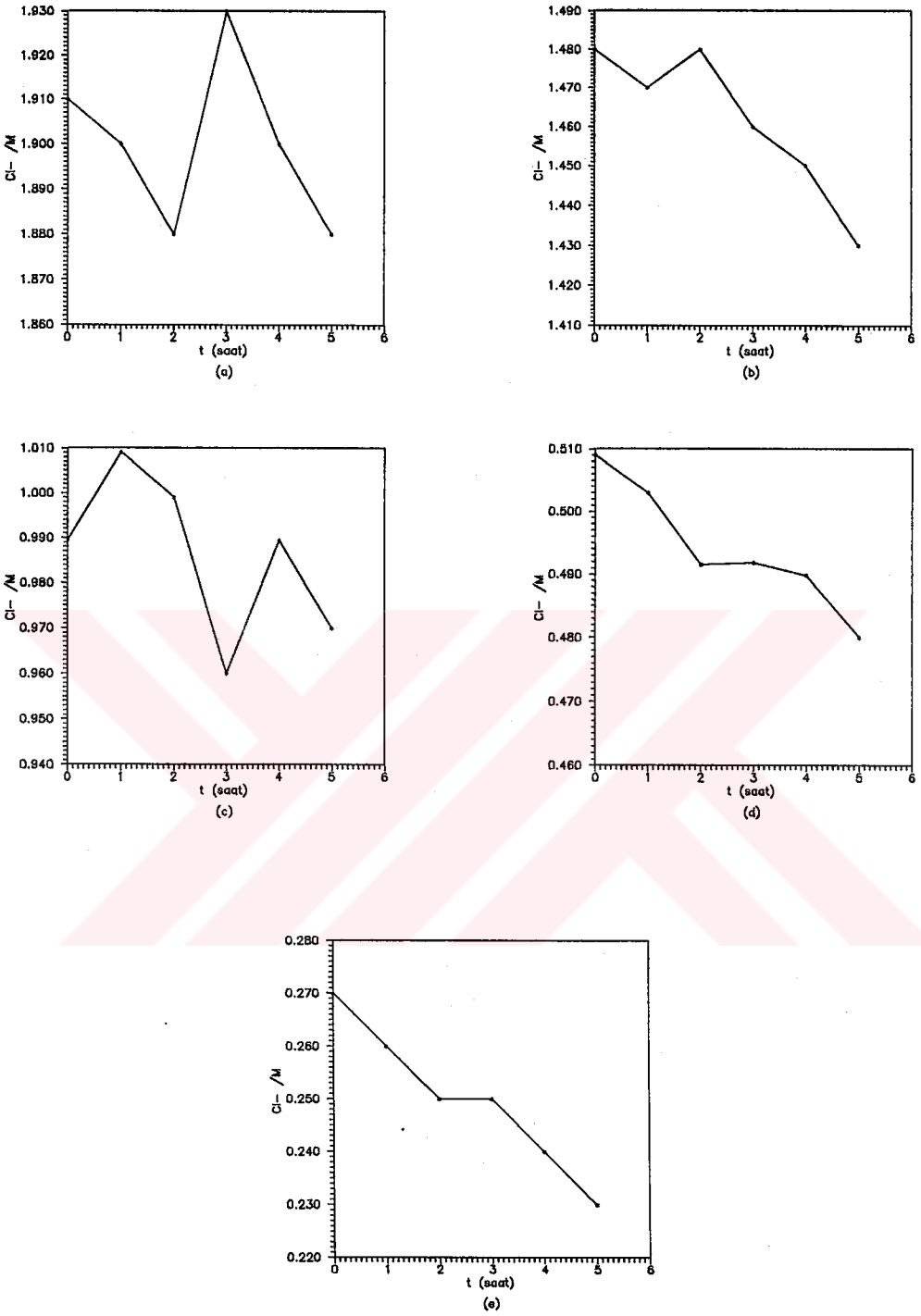
Temas suyunun pH değişimi ve elektriksel iletkenliği de deney süresinde ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 8'de verilmiştir.

Karma suyu ve temas suyu (başlangıç pH'ı 2M için 7,62, 1,5M için 7,32, 1,0M için 8,08, 0,5M için 8,32, 0,25M için 8,750 dir) farklı konsantrasyonlarda NaCl bulunduran betonarme örneklerine -700 mV potansiyel uygulandığında çözeltideki klorür derişimini zamanla değişimi Şekil 23'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, klorür derişiminin zamanla değişimi belirli bir düzenlilik göstermemektedir. Bu koşullarda 1 gece bekletildikten sonra elde edilen temas sularının klorür derişimi 2M iken 1,8145M, 1,0M iken 0,9504M, 0,25M iken 0,2379M değerlerindedir.

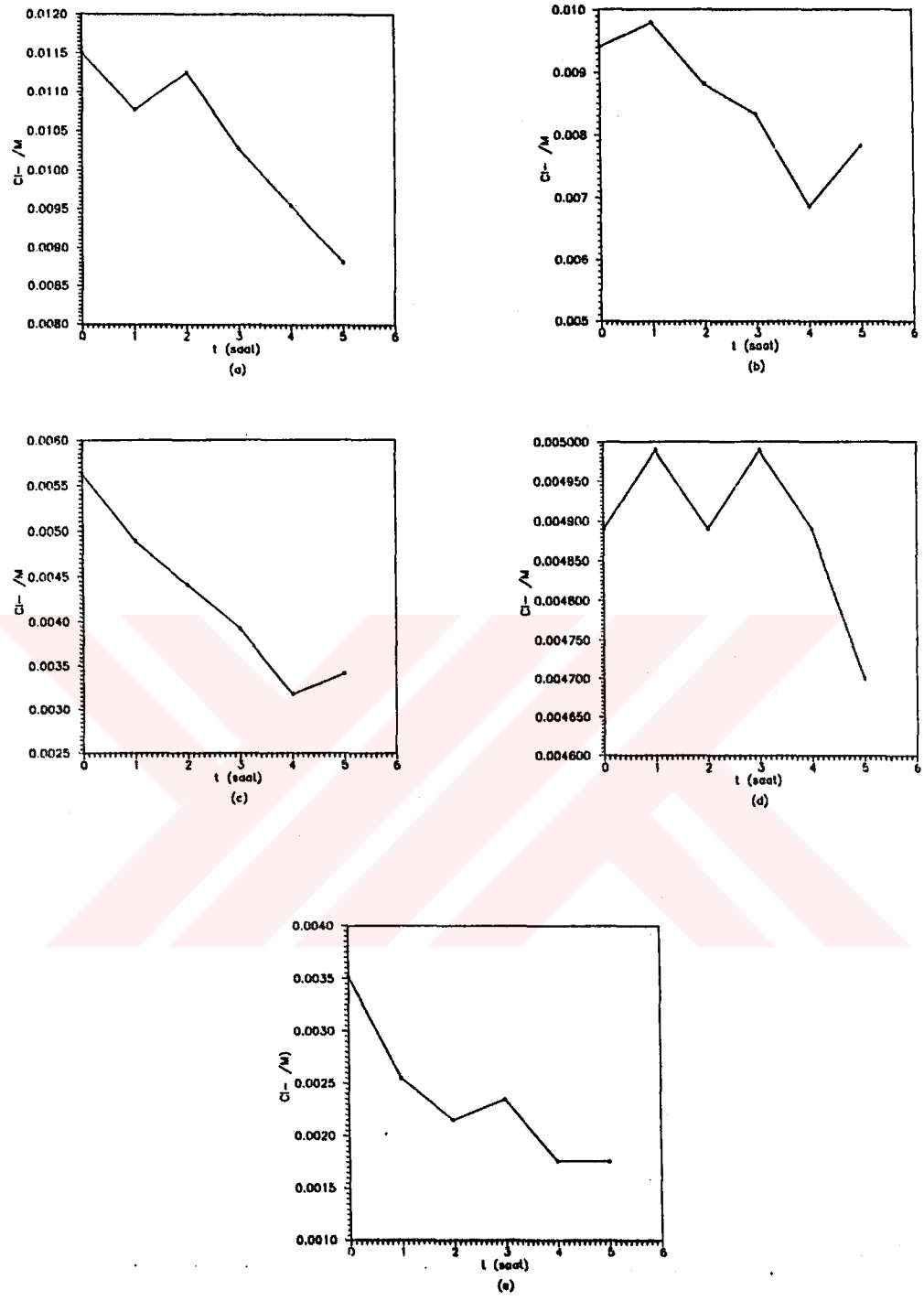
Katodik potansiyel uygulamasının bittiği 5. saat sonunda çözeltideki klorür derişimleri ise 2M Cl^- içeren temas suları için 1,7956M, 1,0M için 0,9216M, 0,25M için 0,2352M'dır.

Temas suyunun pH değişimi ve elektriksel iletkenliği de deney süresince ölçülmüş ve ortalama değerler değişim aralığı belirtilerek Çizelge 8'de verilmiştir.

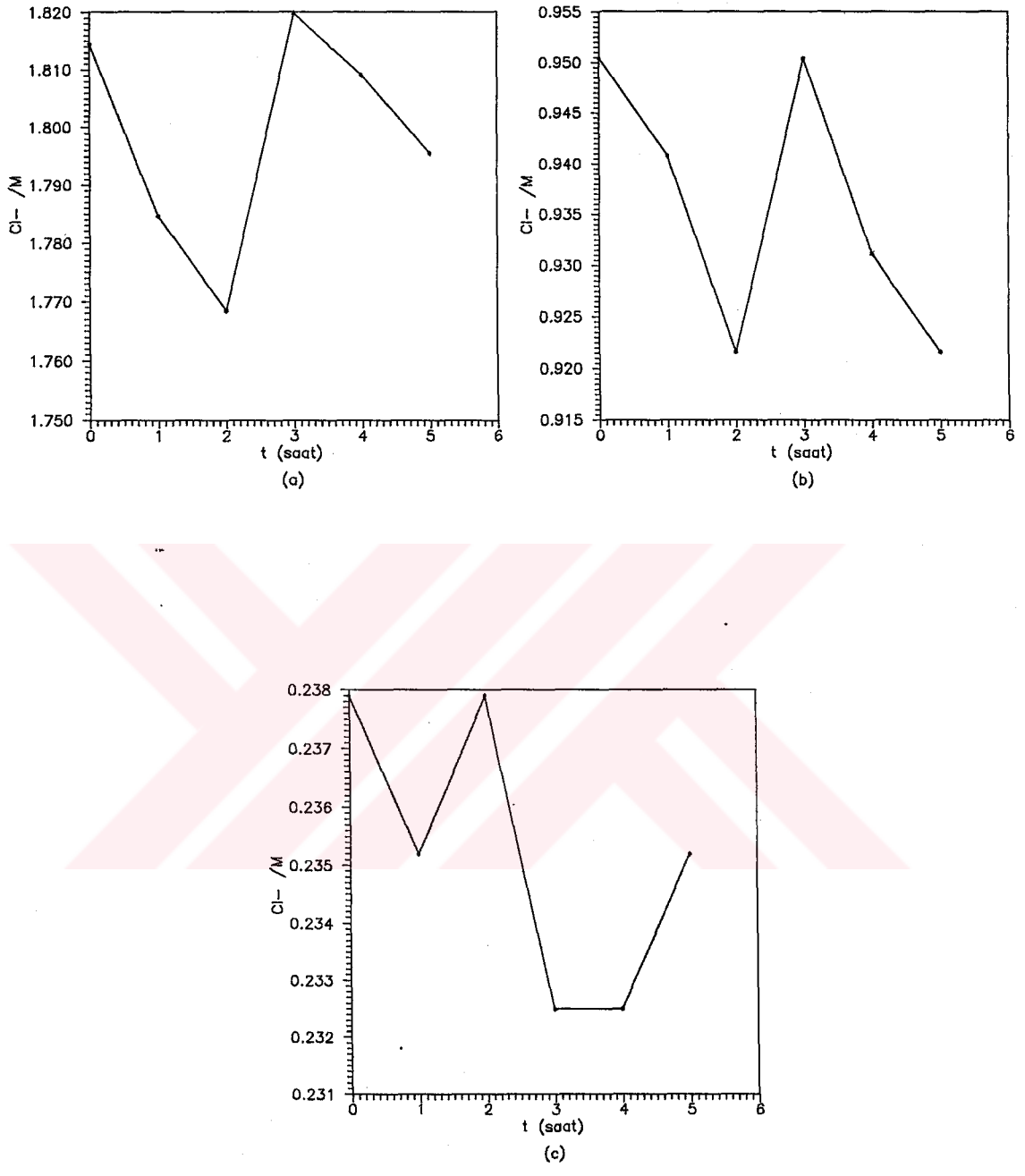
Çizelge 8'de görüldüğü gibi pH bazik ortama kayarken, iletkenlik klorür konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artmıştır.



Şekil 21. Karma suyu saf su, temas suyu xM NaCl olan ortamlarında -700 mV katodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1,5M,)c) 1,0 M (d) 0,5M (e) 0,25M



Şekil 22. Karma suyu xM NaCl, temas suyu saf su olan ortamlarında -700 mV katodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1,5M,)c) 1,0 M (d) 0,5M (e) 0,25M



Şekil 23. Karma suyu xM NaCl içeren betonarmelerin karma suyuyla aynı temas suyu ortamlarında -700 mV katodik potansiyeller uygulandığında Cl^- derişiminin zamanla değişimi (a) 2M, (b) 1M, (c) 0,25M

Çizelge 7. 700 mV potansiyel uygulandığında temas suyunda pH ve iletkenlik değerleri

+700 mV	2M		1,5M		1,0M		0,5M		0,25M	
	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}
NaCl çözeltileri ile hazırlanan numuneler saf su ortamlarda	11,99±0,22	$(3,59\pm0,18)\times10^{-3}$	11,45±0,14	$(3,02\pm0,29)\times10^{-3}$	11,14±0,05	$(1,92\pm0,23)\times10^{-3}$	11,32±0,11	$(1,68\pm0,32)\times10^{-3}$	11,21±0,10	$(1,68\pm0,32)\times10^{-3}$
Saf su ile hazırlanan numuneler NaCl içeren	11,39±0,21	$(8,37\pm0,27)\times10^{-2}$	11,25±0,13	$(8,10\pm0,23)\times10^{-2}$	11,55±0,19	$(5,86\pm0,25)\times10^{-2}$	12,32±0,09	$(4,36\pm0,12)\times10^{-2}$	11,92±0,05	$(2,67\pm0,04)\times10^{-2}$
NaCl çözeltileri ile hazırlanan numuneler yine aynı ortamlarda	12,35±0,23	$(8,96\pm0,16)\times10^{-2}$	—	—	12,06±0,04	$(6,16\pm0,23)\times10^{-2}$	—	—	12,57±0,03	$(2,68\pm0,05)\times10^{-2}$

Çizelge 8. -700 mV potansiyel uygulandığında temas suyunda pH ve iletkenlik değerleri

-700 mV	2M		1,5M		1,0M		0,5M		0,25M	
	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}	pH	İletkenlik Ω^{-1}
NaCl çözeltileri ile hazırlanan numuneler saf su ortamlarda	12,04±0,17	$(3,13\pm0,32)\times10^{-3}$	11,51±0,17	$(2,58\pm0,12)\times10^{-3}$	11,51±0,15	$(1,97\pm0,22)\times10^{-3}$	11,36±0,16	$(1,69\pm0,35)\times10^{-3}$	11,34±0,16	$(1,64\pm0,23)\times10^{-3}$
Saf su ile hazırlanan numuneler NaCl içeren	11,52±0,18	$(8,23\pm0,13)\times10^{-2}$	11,35±0,17	$(7,95\pm0,24)\times10^{-2}$	11,45±0,34	$(5,47\pm0,15)\times10^{-2}$	11,35±0,23	$(3,97\pm0,13)\times10^{-2}$	11,82±0,35	$(2,47\pm0,06)\times10^{-2}$
NaCl çözeltileri ile hazırlanan numuneler yine aynı ortamlarda	12,30±0,09	$(8,45\pm0,19)\times10^{-2}$	—	—	12,10±0,15	$(5,83\pm0,37)\times10^{-2}$	—	—	12,40±0,10	$(2,65\pm0,04)\times10^{-2}$

5. TARTIŞMA

TÇ 325 çimento kullanılarak, değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme demirlerinin elektrokimyasal davranışları Şekil 3-17'de verilmiştir.

Akım-potansiyel eğrilerinde görüldüğü gibi (Şekil 3-17) ortama bağlı olarak iki ayrı tepkime gerçekleşir. Katodik bölgede -1,8V'dan -1,2V'a kadar hidrojen indirgenmesi $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ şeklinde gerçekleşir. Bu sırada ortamda oksijen yeterli değildir. Metal yüzeyinde oksijen indirgenmesinin yürümesi için gaz halindeki oksijenin sıvı içinde çözünmesi ve sonra elektrot yüzeyine kadar taşınması gerekir. Bilindiği gibi oksijenin su içinde çözünürlüğü oldukça azdır. Oksijen gazı metal yüzeylerine taşınabildiği oranda indirgenebilir. Buna difüzyon sınır akımı denir. Şekillerde görüldüğü gibi -1,8V'dan daha soy potansiyellere gidildikçe akımın doğrusal artması bize betondaki porların açık olduğunu ve betonarme demirinin dış ortamlardan kolayca etkilenebileceğini göstermektedir. ~ -1,2V ~ -0,7V aralığında akım fazla değişmemekte ve 0,1 mA dolaylarında sınır akımına ulaşmaktadır. Oksijenin indirgenmesi aşağıdaki denkleme göre gerçekleşmektedir.

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \qquad (5.1)$$

~ -0,6 ~-0,4V aralıklarında birer akım piki görülmüştür. Bu akım piklerin anodik bölgede demirin çözünmesi ile ilgilidir.

Literatürde (ERBİL, 1988), saf demirin korozyonu üzerinde bazı araştırmalar yapılmış ve klorürün demirde korozyona neden olduğu akım

potansiyel eğrileri üzerinde açıklanmıştır. Demirin anodik çözünmesi ile ilgili araştırmada sistem H_2, Fe/0,5M NaCl olarak seçilmiş ve -0,35V dolaylarında bir pik ve -0,15V dolaylarında ikinci bir pik görülmüştür. O_2, Fe/0,5M NaCl olarak seçildiği sistemde 1. pik görülmemiş ve -0,1V dolaylarında sadece ikinci pik görülmüştür. Bu çalışmada akım piki [-0,6-0,4V(SCE)] dolaylarında oluşmuştur. Bu potansiyel SHE'a karşı yaklaşık -0,25V dolayına karşılıktır. Pikin oluşum potansiyelinin değişmesi kullanılan demirin inşaat demiri olması ve içerdiği safsızlıklar nedeniyle demirin daha aktif bir özellik göstermesinden ileri gelmelidir. Buna göre elde edilen akım piki $Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++} + e^-$ dönüşümünü ve $Fe(OH)_3$ çökeltisinin oluşmasını karşılayan akım piki olmalıdır. Literatürlerde belirtilen ikinci akım pikidir. Demirin daha aktif yapılı olması nedeniyle daha negatif potansiyellere kayma görünmektedir. Derişik Cl^- konsantrasyonlarda bu farkın artması da tamamıyla Cl^- iyonları ile ilişkilidir. Saf metal ile beton içerisindeki demirin benzerlik göstermesi inşaat demirinin saf demir ile aşağı yukarı aynı elektrokimyasal davranışları gösterdiğini ortaya koymaktadır.Bu durumda demirin çözünme mekanizması, 1.37-1.41'de verilen tepkimelere göre oluşmaktadır (ERBİL, 1988).

Oluşan $Fe(OH)_3$'ler metal yüzeyini kapatırlar. Daha soy potansiyellere gidildikçe akımda küçülme görülür. Bunun nedeni ise metalin $Fe(OH)_3$ ile kapanması nedeniyle metalin pasifleşme eğilimi göstermesi, akımdaki düşmenin de buna bağlı olarak korozyon hızının azalması olarak ifade edilir. Ancak ortamda klorür iyonlarının bulunması nedeniyle yüzeyin tamamen pasifleşmediği, Cl^- iyonlarının pasifliği bozduğu akım artması şeklinde görülmektedir (Şekil 3-17).

Her akım-potansiyel eğrisi için +1,8V'da belirlenen akım değerlerine bakıldığında farklılıklar göstermektedir. Bu da tamamen Cl^- iyonları derişimine bağlıdır. Cl^- iyonu derişimi arttıkça akımın da arttığı görülmüştür.

Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarme örneklerinde katodik ve anodik potansiyeller altında zamanla değişen Cl^- iyonları derişimi Şekil 18-23'de, pH ve iletkenlik değerleri ise Çizelge 7 ve 8'de verilmiştir. Literatürlerde (DEHGHANIAN, 1982; YONEZAWA ve ark., 1988; FRANCOIS, 1988; BAJEWA, 1992) klorür iyonlarının betonarme ve betonarme demiri üzerine olumsuz etkiler yaptığı ileri sürülmektedir. Klorürler beton yapısına, betonu oluşturan temel maddeler yoluyla girebildiği gibi, dış ortamlardan beton içerisine difüzyon yoluyla da girebilirler. Betonun por yapısının difüzyonu önemli şekilde etkilediği ileri sürülmektedir (MOUKWA, 1989). OH^- oranlarına göre düşük miktarda klorür içeren karışımlara, klorür eklendiğinde korozyonun artma eğiliminde olduğu ileri sürülmektedir (DERRIEN ve ark., 1990).

Beton içerisinde bulunan klorür iyonlarının hem beton dayanımı hem de betonarme demiri üzerine etkilerinin olduğu literatürlerde belirtilmektedir. Beton dayanımı ve betonarme demirinin korozyonunun önlenmesi açısından hem dış ortamlardan gelen iyonların, hem de beton içinde varolan iyonların uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla çalışmamızda katodik (-700 mV) ve anodik (+700 mV) potansiyeller uygulanmıştır. Dış çözeltilerde (temas suyu) NaCl bulunduğu zaman dış ortamdan iç ortama klorürün geçtiği bazı ölçümler sonucu ispat edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda demir mikroskop altında incelenmiş, demir üzerinde korozyon olduğu ileri sürülmüştür (HINATSU, GRAYDON, FOULKES, 1989).

Klorür derişimindeki değişimin uygulanan potansiyele (-700 mV, +700 mV) bağlı olarak iyonların yönlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Fakat elde edilen sonuçlarda belirli bir düzenin olmadığı, normal difüzyon koşullarının sağlanmadığı, klorür derişimindeki değişkenliklerin por yarılmalarına bağlı olabileceği görülmüştür. Korozyona uğrayan demirde, demir iyonu içten dışa doğru difüzyon eğilimi gösterir. Klorür iyonları ile birlikte demir klorürün metal içerisindeki porlarda hidrolizi sonucu ortamın korozif karakteri artar. Bu durumda demir iyonlarının difüzyonu zorladığı, bunun da porlar arasında ve dışa doğru geçiş kanalları açacağı, bu yarılmalarla çözeltiye klorür saçılmalarının arttığı görülmüştür. Literatürde (Mc GRATH ve HOOTON, 1996), farklı potansiyellerde betonlar için klorür göçleri üzerine araştırma yapılmış, herbir potansiyelde klorür çıkma zamanlarına bağlı difüzyon katsayıları hesaplanmış, düşük potansiyellerde hesaplanan difüzyon katsayılarının düzenlilik göstermediğini, uygulanan voltajın artmasıyla birlikte düzenliliğin arttığı gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar belirtilen literatür verileri ile uygunluktadır. Uygulanan katodik ve anodik potansiyeller altında klorür iyonlarının içe göçü önlenememiştir. Bu potansiyellerde betonarme içerisindeki demirin korozyonunun önlenmesi sağlanamamıştır.

Çizelge 7 ve 8'e baktığımızda herbir ortam için iletkenlik değerindeki değişkenlik, Cl^- iyonları konsantrasyonuna bağlıdır. Cl^- iyonları konsantrasyonu arttıkça buna bağlı olarak da iletkenlik artmaktadır.

Bu ortamlarda pH'ın kısa sürede yükselmesi (Çizelge 7-8), bu sistemlerdeki pH'ın 11-12 dolaylarında dengeye geldiğini, sistemi çözeltiye daldırılan betonların bazik ortama getirdiği görülmüştür.

6. SONUÇ

1- Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarmelerde klorür iyonunun betonarmeyi korozyona uğrattığı, betonarme demirinin saf demir ile aşağı yukarı aynı elektrokimyasal davranışı gerçekleştiği belirlenmiştir.

2- Anodik çözünme nedeniyle oluşan pikin oluşma potansiyellerine bakıldığında; klorür konsantrasyonu arttıkça potansiyelin daha aktif potansiyellere kaydığı bunu da korozyonu hızlandırıcı bir etki yaptığı saptanmıştır.

3- Betonarme demirine -700 mV ve +700 mV potansiyel uygulandığında klorür iyonları giriş ve çıkışında bir düzenlilik olmadığı saptanmış, Cl^- geçişlerinde por yarılmalarının etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle uygun koruma potansiyeli sağlanamamıştır.

4- Zaman aralıklarında ölçülen iletkenliklerin betonun porozitesine bağlı olarak değiştiği, bunun da Cl^- iyonlarının temas suyundan betona ve betondan temas suyuna geçmesi ile ilgili olduğu görülmüş ve temas suyunda Cl^- iyonları konsantrasyonu arttıkça iletkenliğin arttığı görülmüştür.

5- pH'ın kısa sürede yükselmesi; beton yapısında yürüyen alkali reaksiyonlarla ilgilidir. Temasta bulunduğu ortamı bazik hale getirmektedir.

ÖZET

İnşaat sektöründe, beton ve betonarme yapıların korunmaları istenir. Binaların çevresel etkilerle performansını kaybetmesi, çözümlenmesi zor olan ekonomik kayıplara neden olur. Betonarme yapılarda havadan suya kadar tüm faktörler korozyon açısından önemlidir. Bu faktörlerdeki Cl^- iyonları derişimi, pH ve iletkenliklerin korozyon açısından önemini bilmek gerekir.

Çevresel kirlilikler ile beton yapısına porlardan difüzlenen yabancı iyonlar ya betonda istenmeyen ürünler oluşturmakta ya da yapıya girmediği halde betonarme demiri için korozif etkili olmakta, böylece yapı malzemelerinin ömürlerini kısaltmaktadır.

Bu çalışmada betonarme demirinin elektrokimyasal davranışları atmosfere açık ortamda potansiyostat aygıtı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerde yardımcı elektrot olarak Pt kullanılmış ve potansiyeller kalomel elektroda karşı ölçülmüştür. Değişik derişimlerde klorür iyonu içeren elektrolitlerin karma suyu ya/ya da temas suyu olarak kullanıldığı koşullarda hazırlanan betonarmeler bırakıldıkları ortamda 1 gün bekletildikten sonra akım-potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Bu akım-potansiyel eğrilerinden belirlenen katodik (-700 mV) ve anodik (+700 mV) potansiyeller elektrokimyasal hücreye uygulanarak 5 saat içerisindeki klorür iyonu derişimleri, pH ve elektriksel iletkenlik belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda klorürlerin betonarme demirinin korozyonunda etkin olduğu, klorür iyonlarına bağlı olarak konsantrasyon arttıkça betonarme demirinin çözünmesi nedeniyle oluşan piklerin daha aktif potansiyellere kaydığı görülmüştür. -700 mV ve +700 mV potansiyeller hücreye

uygulandığında klorür iyonları giriş ve çıkışında bir düzenlilik olmadığı görülmüştür. İletkenliği de tamamen Cl^- iyonları derişimleri ile bağlantılı olduğu, pH'daki değişikliğin ise pH'ın kısa sürede yükselerek pH, 11-12 dolaylarında dengeye geldiğini ve beton ortamı bazikleştirdiği belirlenmiştir.

SUMMARY

Reinforced concrete structures one off interest in civil engineering. The decrease of building performance due to environmental effects causes great economic losses. All factors from air to water are effective in terms of corrosion of concrete structures. The concentration of Cl^-, pH and conductivity of these factors should be known for the corrosive investigations of concrete structures.

The chloride ions, diffusing into the concrete structure through pores from environment, have been forming undesired products or have been effective in the corrosion of reinforcement iron and as a result, they have been shortening the life of the structures.

In this study, the electrochemical behaviour of concrete iron in atmospheric conditions were determined using potentiostat device. During the experiment Pt was used as counter electrode and potential values were measured against to Saturated Calomel Electrode (SCE). The current-potential changes of concrete samples which were prepared by electrolyte as mixture and/or surface water containing various Cl^- concentrations, were measured after waited for a day at atmospheric conditions. The conductivity, $[Cl^-]$ and pH of the surface water were measured at cathodic and anodic potentials applied to experiment cell for five hours.

The results of this study have shown that the chloride ions were of the effective on corrosion of concrete iron. The current peak of the dissolved concrete iron was shifted to potential of corrosion active region depending on increases of Cl^-. The diffusion of Cl^- into the concrete and surface water was irregular in case -700 and +700 mV potentials applied to the cell. The

conductivity of surface water was found Cl^- concentration-dependent. The pH of surface water was increased to 11-12 due to the basicity of concrete itself.

Ek 1. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranının belirlenmesinde kullanılan eşitlikler

$$T_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \qquad m_1 = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} x100$$

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

T_d : İnce agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı

m_1 : İnce agreganın su emme oranı (%)

W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

W_2 : Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı

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

W_4 : 500 ml (cm^3) 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 g

W_3=1038,2 g

W_4=725,2 g

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

$$T_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} = \frac{488,9}{504,5 + 725,2 - 1032} = 2,55\ g/cm^3$$

$$m_1 = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} x100 = \frac{(504,5 - 488,9)}{488,9} x100 = \%3,20$$

Ek 2. Beton Karışım Hesabı

$V = \pi r^2 h$, $\pi = 3,14$ $R = 3,00$ cm $\rightarrow r = 1,50$ cm $h = 5,00$ cm

$V = 3,14x(1,50)^2 x5,00 = 35,33$ cm^3

Betonarme demiri, teknik demir olup (10 mm) dir.

$V_{demir} = \pi r^2 h$, $\pi = 3,14$ $R = 1,00$ cm $\rightarrow r = 0,50$ cm $h = 4,00$ cm

$V = 3,14x(0,50)^2 x4,00 = 3,14$ cm^3

su + çimento + agrega $= 35,33 - 3,14 = 32,19$ cm^3

$$\frac{C}{T_c} + W + \frac{W_a}{T_a} + A = 32,19$$

$$C = \frac{W}{0,45} = \frac{190}{0,45} = 422,22$$

$$\frac{422,22}{2,96} + 190 + \frac{W_a}{2,63} + 20 = 1000$$

W_a=1702,55 kg

0/4 arası :1702,55x0,56=953,43 kg

4/8 arası :1702,55x0,44=747,12 kg

Su miktarı :1000 dm^3 190 L

32,19x10^{-3} x=6,12x10^{-3} L=6,12 cm^3

KAYNAKLAR

ARYA, C.,(1990), Factors Influencing Chloride-Binding in Concrete, Cement and Concrete Research, 20, 291-300.

BARTON, K.,(1976), Protection Against Atmospheric Corrosion, English Translated (ed.J.R. Duncan) John Willey and Sons Inc. New York.

BAWEJA, D., ROPER, H., GUIRGUIS, S., SIRIVIVATNANON, V., (1992), Measurement of Corrosion of Steel Reinforcement Under High Chloride Conditions, Istanbul Conference, 1543-1563.

BERKE, N.S., (1994), Predicting Chloride Profiles in Concrete, Corrosion, 50, 3, 234-239.

BOAH, J.K., (1990), Electrochemical Behaviour of Steel in Saturated Calcium Hydroxide Solution Containing Cl^-, SO_4^{2-} and CO_3^{2-} ions, Corrosion, 46, 2,153-158.

CALLEJA, J., (1990), Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, Dayanıklılık, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Seminer , Ankara.

CAO, H.T., (1991), Corrosion of Steel in Concrete with and without Silica Fume, Cement and Concrete Research, 21, 316-324.

DARR, G.M., PUNZET, M., LUDWING, U., (1977), On the Chemical and Thermal Stability of Ettringite, Cembureau Seminar on Reaction of Aluminates During the Setting of Cements, Netherlands.

DEHGHANIAN, C., LOCKE, C.E., (1982), Electrochemical Behavior of Steel in Concrete as a Result of Chloride Diffusion into Concrete: Part 2, Corrosion-Nace, 38, 9, 494-499.

DEHRİ, İ., ERBİL, M., (1989), Şehir ve Endüstri Atmosferinde Bulunan Bazı Kirleticilerin Demirli Malzemelerin Korozyonu Üzerine Etkileri, Beşinci Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 279-283, Adana.

DERRIEN, F., CARPIO, R., (1990), Cathodic Polarization Behaviour of Steel in Solitions Simulating Concrete, Cement and Concrete Research, 20,4, 636-643.

DHIR, R.K., (1993), Quantifying Chloride-İnduced Corrosion from Half-cell Potential, Cement and Concrete Research, Vol:23 1443-1454.

ERBİL, M., (1988), Bazı İnhibitörlerin Klorür Çözeltilerinde Demir Korozyonuna Etkileri Üzerine Bir Araştırma, Doğa Kimya Dergisi, 12, 3.

ERDİK, E., SARIKAYA, Y., (1986), Temel Üniversite Kimyası, Cilt I ve II, Hacettepe-Taç Kitapçılık Ltd. Şti. Ankara. (1003)S.

ERSOY, U., (1987), Betonarme Temel İlkeler Taşıma Gücü Hesabı, Cilt I, Evrim Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 643S.

FATTUHI, N.I., HUGHES, B.P., (1988), SRPC and Modified Concretes Subjected to Severe Sulphuric Acid Attack, Magazine of Concrete Research, 40, 144, 159-166.

FIGG, J., (1983), Chloride and Sulphate Attack on Concrete, Chemistry and Industry, 770-775.

FRANCOIS, R., MASO, J.C., (1988), Effect of Damage in Reinforced Concrete on Carbonation or Chloride Penetration, Cement and Concrete Research, 18,6, 961-970.

FTIKOS, Ch., PARRISSAKIS, G., (1985), The Combined Action of Mg^{+2} and Cl^{-} Ions in Cement Pastes, Cement and Concrete Research, 15, 593-599.

FTIKOS, Ch., PARRISSAKIS, G., (1987), A Study on The Effect of Some Ions Contained in Seawater on Hydrated Cement Compounds,Concrete Durability International Conference, 1651-1665.

GAU, Y., CORNET, I., (1985), Penetration of Hardened Concrete by Seawater Chlorides With Impressed Current, Corrosion-Nace, 41, 2, 93-100.

GALİP, H., ERBİL, M., (1990), Sülfat İyonlarının Klorürlü Ortamlarda Demirli Malzemelerin Korozyonu Üzerine Etkisi, Korozyon Cilt:2 Sayı:3

GIANETTI, F., AKMAN, (1994), Betonarmenin Dayanıklılığını Geliştirmek Üzere Korozyon İnibitörü Olarak Kalsiyum nitrit Kullanımı, IV. Korozyon Sempozyumu Bildirileri 107-114.

GJORV, O.E., VENNESLAND, O., (1982), Seawater Salts and Alkalinity of Conrete, Journal ACI, 73, 9, 512-516.

HAGUE, M., KAWAMURA, N., (1992), Carbonation and Chloride- induced Corrosion of Reinforcement in Fly Ash Concretes, ACI Materials Journal, 89, 1, 41-48.

HAKDİYEN, İ., (1980), Genel ve Teknik Kimya, Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul, (496)S.

HELMY, I.M., (1991), Chemical Attack on Hardened Pastes of Blended Cements, Part II: Attack of Seawater, Zement-Kalk-Gips, 44, 3, 139-144.

HINATSU, J.T., GRAYDON, W.F., FOULKES, F.R., (1989), Voltammetric Behaviour of Iron in Cement I. Development of a Standart Procedure for Measuring Voltammagrams, Journal of Applied Electrochemistry, 19, 6, 868-876.

HINATSU, J.T., GRAYDON, W.F., FOULKES, F.R., (1990), Voltammetric Behaviour of Iron in Cement II: Effects of Sodium Chloride and Corrosion Inhibitor Additions, Journal of Applied Electrochemistry, 20, 841-847.

HOPE, B.B., (1989), Corrosion İnhibitors for Use in Concrete, ACI Materials Journal, 86, 6, 602-608.

KOCATAŞKIN, F., (1976), Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Müh.Mim. Fakültesi İnşaat Bölümü, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı:1060, İstanbul.

KRAATZ, D.B., (1987), Irrigation Canal Lining, FAO of the United Nations, Rome.

LEA, F.M., (1970), The Chemistry of Cement and Conctere, 3rd.ed., London, p.442.

LIN, S.H., (1990), Chloride Diffusion in a Porous Concrete Slab, Corrosion, 46, 12, 964-967.

LOTO, C.A., (1989), Electrochemical Potential Monitoring of Corrosion and Coating Protection of Mild Steel Reinforcement in Concrete, Corrosion, 45, 7, 553-557.

LUPING, T., (1992), Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, 89,149-53.

MCGRATH, P.F., HOOTON, R.D., (1996), Influence of Voltaje on Chloride Diffusion Coefficients from Chloride Migration Tests, 26, 8, 1239-1244.

MOUKWA, M., (1989), Penetration of Chloride Ions from Seawater into Mortars Under Different Exposure Conditions, Cement and Concrete Research, 19, 894-904.

NEVILLE, A.M., (1987), Properties of Concrete, Longman Scientific and Technical, Longman Group UK Limited, Longman House, Essex CM20 2JE, UK.

ÖZDEMİR, İ.H., (1981), İlaveli Genel Anorganik ve Teknik Kimya, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1046)S.

POSTACIOĞLU, B., (1986), Beton (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar,Beton) Cilt I Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, (400)S.

POSTACIOĞLU, B., (1987), Beton (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar,Beton) Cilt II, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul (403)S.

POURBAIX, M., ZOUBOV, N., (1966), Atlas of Electrochem.Eq in Aqueous Solut., J.W. Arrowsmith Ltd., Printed in Great Britain.

SAETTA, A.V., (1993), Analysis of Chloride Diffusion into Partially Saturated Concrete, ACI Materials Journal, 90, 5, 441-451.

SKOOG, A.D., WEST, D.M., (1986), Fundamentals of Analytical Chemistry, Wing King Tong Co.,Ltd., Hong Kong, p859.

TIKALSKY, P., CARRSQUILDO, J., (1992), İnfluence of Fly Ash on the Sulfate Resistance of Concrete, ACI Materials Journal, 89, 1, 69-75.

TSE 706 (1980), Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 707, (1980), Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 802, (1985), Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3440, (1982), Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3526, (1980), Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3530, (1980), Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini (Granülometrik Birleşim Tayini), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3674, (1981), Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3732, (1982), Beton Agregalarında Klorür Miktarı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

YALÇIN, H., (1994), Betonarme Demirlerinin Korozyonunun Üç Elektrot Yöntemi ile Ölçülmesi, IV. Korozyon Sempozyumu Bildirileri 133-143.

YAZICI, B., (1989), Demirin Yapay Deniz Suyu İçindeki Korozyonu Üzerine Sülfür ve Amonyum İyonlarının Etkileri, Doktora Tezi, Adana.

YONEZAWA,T., ASHWORTH, V., PROCTER, P.M., (1988), Pore Solution Composition and Chloride Effects on the Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion, 44, 7, 489-499.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında benden değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Prof.Dr. Mehmet ERBİL ve Sayın Doç.Dr. Birgül YAZICI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin bilgisayarda yazımı sırasında büyük katkıları bulunan ablam Yrd.Doç.Zeliha SELEK'e, deneylerimin yapımı sırasında bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Tarsus'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Mersin'de tamamladım. 1992 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun oldum. 1993 yılında öğretmenlik görevine başladım, halen Adana Remzi Oğuz Arık İlköğretim Okulu'nda bu görevi yürütmekteyim .