

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARMEDE ÇELİK KOROZYONU**

**728746**

**İnşaat Mühendisi Fatih Mehmet ŞAHİN**

**FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FBE METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI MALZEME PROGRAMI**

**728746**

**İSTANBUL , 2002**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARMEDE ÇELİK KOROZYONU**

**İnşaat Mühendisi Fatih Mehmet ŞAHİN**

**FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)**



*Prof. Dr. Cemalettin Zaman İyayın*  
*Doç. Dr. Selahattin Yumurtacı*

**İSTANBUL , 2002**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                    | iv   |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                 | v    |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                    | vi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                  | viii |
| ÖNSÖZ .....                                                            | ix   |
| ÖZET .....                                                             | x    |
| ABSTRACT .....                                                         | xi   |
| 1. GİRİŞ .....                                                         | 1    |
| 2. KOROZYON OLGUSU .....                                               | 2    |
| 3. BETON DONATILARIN TANIMI .....                                      | 3    |
| 3.1 Beton İçin Çelik Donatı Çeşit ve Özellikleri .....                 | 3    |
| 3.2 Normal Beton Donatı Çubuk Özellikleri .....                        | 3    |
| 3.3 Beton Çeliğinin Korozyon Prosesi .....                             | 5    |
| 4. BETON .....                                                         | 7    |
| 4.1 Betonun Dayanıklılığı .....                                        | 8    |
| 4.2 Betonun Çelik Korozyonuna Etkisi .....                             | 9    |
| 4.2.1 Beton Özelliklerinin Korozyon Hızına Etkisi .....                | 11   |
| 4.2.2 Beton Rutubetinin Etkisi .....                                   | 12   |
| 5. BETON DONATILARDAKİ KOROZYON GELİŞİMİ ve NEDENLERİ .....            | 13   |
| 5.1 Korozyon Ortam Şartları ve Durumu .....                            | 13   |
| 5.1.1 Korozyon Ürünleri ve Elektrokimyasal Mekanizma Süreci .....      | 14   |
| 5.1.1.1 Karbonatlaşma .....                                            | 15   |
| 5.1.1.2 Klorür İyonu Korozyonu .....                                   | 16   |
| 5.1.2 Pasifliğin Klorür İyonu Etkisi ile Bozulması .....               | 19   |
| 5.1.2.1 Zararlı Klorür Limiti .....                                    | 21   |
| 5.1.3 Korozyona Uğrayan Çelik Donatıların Potansiyeli .....            | 22   |
| 5.2 Deniz Ortamındaki Betonarme Yapıların Korozyonu .....              | 26   |
| 5.2.1 Deniz Suyu İçindeki Korozyon .....                               | 27   |
| 6. KOROZYONUN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN TEŞHİSLER ve İNCELEMELER ..... | 29   |
| 6.1 Muayene ve Deneyler .....                                          | 30   |
| 6.1.1 Karbonasyon Deneyi .....                                         | 31   |
| 6.1.2 Betonarme Çeliğinin Potansiyelinin Ölçülmesi .....               | 31   |

|       |                                                                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1.3 | Beton pH Derecesi ve Klorür Tayini .....                                                                              | 32 |
| 7.    | BETON DONATILARDA KOROZYONA KARŞI ALINABİLECEK<br>ÖNLEMLER ve TEDBİRLER .....                                         | 37 |
| 7.1   | Beton Yapısı ile İlgili olanlar ( a ) .....                                                                           | 37 |
| 7.1.1 | Pas Payının Arttırılması .....                                                                                        | 37 |
| 7.1.2 | Klorür Miktarının Zararlı klorür Limitinin Altına Düşürülmesi .....                                                   | 37 |
| 7.1.3 | Kür .....                                                                                                             | 39 |
| 7.2   | Dışarıdan Korozif Ögelerin Betona Girmesini Engellemeyi<br>Amaçlayanlar ( b ) .....                                   | 39 |
| 7.2.1 | Beton Permeabilitesinin Azaltılması .....                                                                             | 39 |
| 7.2.2 | Beton Yüzeylerinin Polimer veya Plastik ile Kaplanması .....                                                          | 40 |
| 7.2.3 | Portland Çimentosu Şerbeti ile Kaplama .....                                                                          | 40 |
| 7.2.4 | Çimento Harçlarının Uygulanması .....                                                                                 | 40 |
| 7.2.5 | Yüzey Kaplamaları .....                                                                                               | 40 |
| 7.2.6 | Anti-Karbonasyon Kaplamaları .....                                                                                    | 40 |
| 7.2.7 | Su Geçirimsiz Kaplamalar .....                                                                                        | 41 |
| 7.3   | Betonarme Yapılardaki Çeliklerin Korozyonuna Pozolanın Etkisi ( c ) .....                                             | 41 |
| 7.3.1 | Reçinelerin Uygulanması .....                                                                                         | 42 |
| 7.4   | Çelik Donatıların Kaplanması ( d ) .....                                                                              | 43 |
| 7.5   | Çelik Donatıların Katodik Korunması ( e ) .....                                                                       | 43 |
| 7.6   | Deniz Ortamındaki Betonarme Yapılarda Alınabilecek Önlemler .....                                                     | 44 |
| 7.6.1 | Katodik Koruma .....                                                                                                  | 45 |
| 7.6.2 | Galvanik Anotlarla Katodik Koruma .....                                                                               | 45 |
| 7.6.3 | Dış Akım kaynağı ile Katodik Koruma .....                                                                             | 45 |
| 7.7   | Onarım ve Güçlendirme Sistemleri .....                                                                                | 46 |
| 7.7.1 | İzo-BTS Beton Tamir Sistemi .....                                                                                     | 46 |
| 7.7.2 | Yapı Elemanlarındaki Çatlaklarda Epoksi Enjeksiyon ile Tamirler .....                                                 | 48 |
| 7.7.3 | İzo-PST Proses Sistemi ile Yapı Elemanlarında Uygulanacak Statik<br>Takviyeler .....                                  | 49 |
| 7.7.4 | Tüm Betonarme Yapı Elemanlarının Kütlesel Beton Koruması .....                                                        | 50 |
| 7.7.5 | İzo-KTS Proses Sistemi ile İskele Onarım, Kazık Yenileme ve Koruma .....                                              | 50 |
| 7.7.6 | Epoksi Kaplamalar, özellikleri, Ürünler ve Kaplama Alanları .....                                                     | 51 |
| 7.7.7 | Su İzolasyonu İçin Gerekli Ürünler .....                                                                              | 52 |
| 7.8   | Donatı Korozyonunu İyileştirici ve Engelleyici Ürünler .....                                                          | 54 |
| 7.9   | Korozyonu ve Korozyonun Oluşumunun Çeşitli Nedenlerini Belirleyici<br>Cihazlar .....                                  | 56 |
| 8.    | SONUÇ ve ÖNERİLER .....                                                                                               | 58 |
|       | KAYNAKLAR .....                                                                                                       | 61 |
|       | EKLER .....                                                                                                           | 62 |
|       | Ek 1 Betonarme Çeliklerinin cins ve özellikleri .....                                                                 | 63 |
|       | Ek 2 ACI 'da yayımlanmış klor iyonu eşik değerleri ve Karbonatlaşma –<br>klorür içeriği – korozyon oluşma riski ..... | 64 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ek 3 7.7.1 'den 7.7.4 'e kadar ki tüm prosesleri içeren bir uygulamayı gösteren Şekil 7.1 ..... | 65 |
| Ek 4 Şekil 7.2 'den Şekil 7.8 'e kadar ki tüm şekiller .....                                    | 66 |
| Ek 5 Şekil 7.9 'dan Şekil 7.14 'e kadar ki tüm şekiller .....                                   | 67 |
| Ek 6 Şekil 7.15 'den Şekil 7.19 'a kadar ki tüm şekiller .....                                  | 68 |
| Ek 7 Şekil 7.20 'den Şekil 7.25 'e kadar ki tüm şekiller .....                                  | 69 |
| Ek 8 Şekil 7.26 'dan Şekil 7.30 'a kadar ki tüm şekiller .....                                  | 70 |
| Ek 9 Şekil 7.31 'den Şekil 7.37 'ye kadar ki tüm şekiller .....                                 | 71 |
| Ek 10 Şekil 7.38 'den Şekil 7.40 'a kadar ki tüm şekiller .....                                 | 72 |
| Ek 11 Şekil 7.41 'den Şekil 7.45 'e kadar ki tüm şekiller .....                                 | 73 |
| Ek 12 Şekil 7.46 'dan Şekil 7.50 'ye kadar ki tüm şekiller .....                                | 74 |
| Ek 13 Şekil 7.51 'den Şekil 7.52 'ye kadar ki tüm şekiller .....                                | 75 |

|                |    |
|----------------|----|
| ÖZGEÇMİŞ ..... | 76 |
|----------------|----|



TEKNOLOJİ VE YATIRIM BAKANLIĞI  
MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI  
T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

## SİMGE LİSTESİ

$E_s$  Elastisite Modülü

$f_y$  Minimum Akma Sınırı

$E_{cu}$  Minimum Kopma Uzaması



## KISALTMA LİSTESİ

|      |                                             |
|------|---------------------------------------------|
| ACI  | American Concrete Institute                 |
| ASTM | American Standart Test Method               |
| BS   | Beton Standartı                             |
| ECE  | Electro-Chemical Chloride Extraction        |
| Mpa  | Mega Paskal                                 |
| PVC  | Polyvinylchloride ( Bir tür plastik madde ) |
| TS   | Türk Standartı                              |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1 Beton içindeki çeliğin korozyon prosesi .....                                                   | 6     |
| Şekil 4.1 Beton içine oksijen difüzyon hızının su / çimento oranına bağlılığı .....                       | 9     |
| Şekil 5.1 Korozyon hızının tuz konsantrasyonuna göre değişimi .....                                       | 17    |
| Şekil 5.2 Klorür iyonu etkisiyle iki betonarme demiri arasındaki bir korozyon<br>Hücresinin oluşumu ..... | 20    |
| Şekil 5.3 Pas tabakası .....                                                                              | 23    |
| Şekil 5.4 25°C 'de elektrot potansiyeli ile ortamın pH derecesi arasındaki ilişki .....                   | 24    |
| Şekil 5.5 Beton içindeki çeliğin anodik polarizasyon eğrileri .....                                       | 26    |
| Şekil 6.1 Klorürle kirlenmiş beton ve yapısı .....                                                        | 33    |
| Şekil 6.2 Yapıda bulunan O <sub>2</sub> 'nin korozyon reaksiyonunu devam ettirmesi .....                  | 33    |
| Şekil 6.3 Beton ve donatının klorürlü bir ortamdaki mekanizması .....                                     | 35    |
| Şekil 6.4 Elektro-potansiyel prosenin başlangıcı .....                                                    | 35    |
| Şekil 6.5 Katot olan donatının klorür iyonlarını itmesi ve gelişen katot reaksiyonu.....                  | 36    |
| Şekil 6.6 Prosesin işleyişi ve klorür iyonlarının beton dışına çıkması.....                               | 36    |
| Şekil 7.1 7.7.1 'den 7.7.4 'e kadar ki tüm prosesleri içeren bir uygulama .....                           | 65    |
| Şekil 7.2 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.3 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.4 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.5 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.6 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.7 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.8 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 66    |
| Şekil 7.9 Anıtkabir İzo-BTS .....                                                                         | 67    |
| Şekil 7.10 Anıtkabir İzo-BTS & PST .....                                                                  | 67    |
| Şekil 7.11 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 67    |
| Şekil 7.12 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 67    |
| Şekil 7.13 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 67    |
| Şekil 7.14 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 67    |
| Şekil 7.15 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 68    |
| Şekil 7.16 Brisa İzo-PST .....                                                                            | 68    |
| Şekil 7.17 İzo- BTS ve epoksi kaplama ile tamir.....                                                      | 68    |
| Şekil 7.18 İzo-BTS & PST .....                                                                            | 68    |
| Şekil 7.19 İzo-BTS & PST .....                                                                            | 68    |
| Şekil 7.20 İzo-BTS & PST .....                                                                            | 69    |
| Şekil 7.21 Epoksi kaplama .....                                                                           | 69    |
| Şekil 7.22 Epoksi kaplama. ....                                                                           | 69    |
| Şekil 7.23 Epoksi kaplama .....                                                                           | 69    |
| Şekil 7.24 Epoksi kaplama .....                                                                           | 69    |
| Şekil 7.25 Epoksi kaplama .....                                                                           | 69    |
| Şekil 7.26 İzo-KTS .....                                                                                  | 70    |
| Şekil 7.27 İzo-KTS .....                                                                                  | 70    |
| Şekil 7.28 İzo-BTS & PST & KTS .....                                                                      | 70    |
| Şekil 7.29 İzo-BTS & PST & KTS .....                                                                      | 70    |
| Şekil 7.30 İzo-BTS & PST & KTS .....                                                                      | 70    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                       | Sayfa |
|-------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 7.31 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.32 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.33 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.34 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.35 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.36 İzo-BTS & PST & KTS .....                  | 71    |
| Şekil 7.37 Philips İzo-PST .....                      | 71    |
| Şekil 7.38 Philips İzo-PST .....                      | 72    |
| Şekil 7.39 İzo-PST .....                              | 72    |
| Şekil 7.40 İzo-PST .....                              | 72    |
| Şekil 7.41 İzo-PST .....                              | 73    |
| Şekil 7.42 İzo-PST .....                              | 73    |
| Şekil 7.43 Su izolasyonu .....                        | 73    |
| Şekil 7.44 Su izolasyonu .....                        | 73    |
| Şekil 7.45 Su izolasyonu .....                        | 73    |
| Şekil 7.46 CANIN-Korozyon analizörü .....             | 74    |
| Şekil 7.47 DYNA Çekip-çıkarma cihazı .....            | 74    |
| Şekil 7.48 MODEL Scanlog .....                        | 74    |
| Şekil 7.49 RESİ Direnç ölçer .....                    | 74    |
| Şekil 7.50 SCHMIDT Çekici .....                       | 74    |
| Şekil 7.51 TICO Ultrasonik beton bileşen ölçeri ..... | 75    |
| Şekil 7.52 TORRENT Geçirgenlik ölçeri .....           | 75    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1 Betonarme çeliklerin sınıflaması ve özellikleri .....                                                            | 4     |
| Çizelge 5.1 Betondaki eşik klorür iyon miktarı .....                                                                         | 18    |
| Çizelge 3.2 Betonarme çeliklerinin cins ve özellikleri .....                                                                 | 63    |
| Çizelge 5.2 ACI 'da yayınlanmış klor iyonu eşik değerleri ve Karbonatlaşma – klorür<br>İçeriği – korozyon oluşma riski ..... | 64    |



## ÖNSÖZ

Şu an, buraya gelene kadar bazı kademe ve yollardan geçmem gerekti. Bu engelleri aşmam husunda bana yardımcı olan bazı saygıdeğer insanlar, kurum ve kuruluşlar oldu. Nezdinizde onlara açıklamalarıyla teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Belli bir zamanda derleyip, toparlayıp, meydana getirdiğim bu çalışmayı şimdi siz Kimya-Metalurji Mühendislik Fakültesi, Metalurji Bölümü 'ne hizmeti geçen saygıdeğer öğretim üyeleriyle ( Profesörlerimiz, Doçentlerimiz, Y. Doçentlerimiz, Doktorlarımız, Hocalarımız, Öğretim Görevlilerimiz, Asistanlarımız ) departmandaki tüm çalışanlar ve teknik ekiple paylaşıyor olmaktan mutluluk duyuyor ve teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmamda ve bölüme girdiğimden itibaren danışmanlığımı üstlenen, derslerini aldığım değerli öğretim üyesi sayın Prof. Ahmet Topuz 'a, her konudaki cesaretlendirme ve teşviklendirmesinden yapıcı tavsiyelerine kadar gösterdiği anlayışa ve yardımlarına özel teşekkürlerimi bildiririm. Bölüme kabulümden bugüne iyi niyetlerini, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli öğretim üyesi ve bölüm başkanımız sayın Prof. Müzeyyen Marşoğlu 'na ve değerli öğretim üyesi, hepsinden öte bir öğrenciyle arkadaş denli yakınlık hissettirecek bir büyüğüm olan sayın Prof. Nişan Sönmez 'e de ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar, her zaman olduğu gibi şimdide yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini bir an olsun benden eksik etmeyen, beni bugünlere getiren, benim için herşeyin iyi olmasını benden daha çok isteyen ailem 'e ( Özgenç & Şahin ) teşekkür ederim.

Bu güzel çalışmanın ortaya çıkmasında gerekli doküman, bilgi ve çeşitli tür ve şekillerde, dolaylılıkla ve manen yardımlarını esirgemeyen İZOMİR İzolasyon ve Yapı Malz. Paz. İth. İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti. sahibi sayın Muhsin Pala ile akabinde irtibatta olduğum İZOMAS Korozyon Kontrol Müh. San. Ve Tic. A.Ş. sahibi sayın Gürbüz Arıburnu ve sayın İsmail Çoksayar 'a teşekkürlerimi bildiririm.

Aynı bölümümde eğitim alma imkanımın olmasından dolayı taşıdığım gururu, onun madden yanımda olmasada halen manevi olarak yanımda çok yüksek hissettiğimden ve beni görüyorsa onunda benimle gurur duyduğuna emin olduğumdan dolayı rahmetli sevgili babam Dr. Erol Şahin ' e teşekkür ediyorum.

Konusunu hatırlayamayıp, bilerek ve/veya bilmeyerek adını sayamadığım kişi ve/veya kişilere, kurumlar ve kuruluşlara ve aklıma şu an için gelmeyen her ne varsa onlara, önceden özür diliyor, açıkça belirtilmemiş olsada, manevi yönden tüm içtenlik ve kalbimle sonsuz teşekkürlerimin onlarla birlikte olduğunu bilmelerini istiyorum.

Yapılacak o kadar çok şey varki ve ben yolun yarısına bile gelmedim diyorum, onun için daha çok ama çok çalışmam lazım ve yapacağım. Ancak o zaman hayatta muvaffak olabilirim. Tekrardan bitirme tezi boyunca emeği geçen ve yardımcı olan herşeye ve herkese teşekkürlerimi borç bilirim.

## ÖZET

Betondaki metallerin korozyonu inşaatı, taşımayı, ve diğer bir çok sanayii etkileyen milyonlarca dolarlık bir problemdir. Bu problem hakkında çok şeyler yazılmış ve korozyonun nasıl kontrol altında tutulabileceğini inceleyen bir çok rapor üretilmiş olduğu halde, korozyonun nasıl meydana geldiğine, oluşum mekanizmasına dair çok az şey yazılmıştır. Bilindiği gibi, karayollarının yapısı daha ziyade buzlanmayı önleyici tuzların ve denize yakın olmanın etkisiyle korozyona uğrar. Binalarda ve karayolu dışındaki tesislerde meydana gelen ve bunun kadar ciddi olan korozyon problemleri hakkında ise daha az bilgi üretilmiştir. Bu gibi tesis ve yapıların çoğu karayolları gibi tuz temasında olmadığı halde korozyona uğramaktadır.

Son yirmi yılda betonarme yapıların önemli bir kısmında çok ciddi hasarların meydana geldiği izleniyor. Bu hasarların öncelikli sebebinin klor kapmış betonarme çeliği olduğu anlaşılmaktadır. Betonarme çeliğinin paslanabilmesi ancak betonun doğal koruma kabiliyetinin azalması (karbonasyon) veya koruyucu tabakanın klor iyonu tarafından “delinmesi” ile gerçekleşir. Bu gelişmenin çabukluğu, betonun mukavemetinin, dayanıklılığının önünde görülüp tutulması ile yapılan inşaatlarda daha da artmaktadır. Yapının, üzerine gelen yükleri taşıyabilme özelliği olan sağlamlıktan (dayanımdan) önce, yapının ömrünü (servis verme müddetini) dikkate alarak, yük dışındaki etkilere karşı “dayanıklılığını” sağlamalıyız.

Bu çalışmada, her türlü beton ve benzeri çimentolu çevrenin içindeki metalleri nasıl koruduğu incelenmektedir. Ayrıca, donma önleyici tuz, deniz atmosferi, ve başka tuz kaynakları olmadığı halde, bu yapılarda neden korozyon oluştuğuna dair deliller sunulmaktadır. Betonarme çeliklerinin korozyona uğrama nedenleri, korozyondan korunma ve çeliği korozyona uğramış betonarme elemanların onarımına ait çözüm önerileri verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Betonarme, Çelik, Donatı Korozyonu, Servis Ömrü, Güçlendirme

## **ABSTRACT**

The corrosion of metals in concrete is a multibillion dollar problem which affects the construction, transportation, and many other industries. While much has been written about the problem, and numerous reports have appeared which discuss how this corrosion can be controlled, little has appeared on the mechanism whereby this corrosion occurs. It is well known that highway structures corrode, for the most part, due to the influence of deicing salts or marine environments. Relatively little has appeared about the equally severe corrosion problems which occur in buildings and other nonhighway structures. Most of these structures are not exposed to the salts present in highway structures, yet they still corrode.

It has been observed since the last two decades that reinforced concrete structures deteriorate. The main and common cause of this has been determined as the presence of ions of chloride on the reinforcing steel under the concrete cover. Corrosion of reinforcing steel develops only and when the inherent protection of concrete decays (carbonation) and/or the passivating layer around the steel getting punctured by the chloride ions. The rate of development of this mechanism gets higher and higher in the structures that were designed and/or constructed with a view of strength for concrete only, taking the durability aspects aside. It has now been widely accepted that durability aspects should be given priority with consideration of service conditions and life, before the strength of the structure, to sustain and maintain it under the service loads and the environment.

This search discusses how all forms of concrete and similar cementitious environments protect embedded metals. It also presents evidence to explain how, and why, corrosion occurs in these structures, even in the absence of deicing salts, marine environments, or other salt sources. Factors leading to corrosion in reinforcing elements in concrete, with proposed solution and measures for protection against corrosion and for repairing concrete structures with corroded steel elements.

**Keywords :** Reinforcing Concrete, Steel, Reinforcement Corrosion, Service Life, Strength

## 1. GİRİŞ

Malzemelerin özelliklerini ana hatları ile “Fiziksel-Mekanik-Kimyasal” başlıkları altında gruplandırabiliriz. Malzemenin kimyasal bileşimi onun içinde bulunduğu ortamla tepkime oranına en çok etki eden en önemli özelliğidir. Metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla kimyasal tepkimeye girerek bozunmaları, yani orjinal niteliklerinde ve bileşimlerinde istenmeyen değişiklikler olması “METALİK KOROZYON” olarak bilinir. Halen yapılan çalışmalar dünyadaki, metalik korozyon kayıplarının her ülkede Gayri Safi Milli Hasıllarının %3.5–5 ‘i arasında bir yük yüklediğini göstermektedir. Bu kayıp Türkiye için % 4.5 civarındadır. Korozyon kayıpları yalnız metal kaybı olarak düşünülmez. Kayıplar “malzeme-enerji-sermaye-emek-bilgi” kayıplarının toplamından oluşur. Korozyonla mücadelede “metal-ortam-arayüzey” ilişkisini korozyonu engelleme veya kontrol altına alma açısından düşünerek planlama yapmak gerekir. Korozyonu engelleme veya daha geçerli bir yaklaşımla hızını azaltıp kontrol altına almak için metal, ortam veya arayüzey değiştirilebilir ve bu değişiklikler ve malzemenin yüzey topoğrafyası birbirine en uygun şekilde “tasarlanabilir”.

Çelikler, çeşitli nedenlerle zamanla korozyona uğrayan, hatta kullanılmaz hale gelebilen malzemelerdir. Ülkemizde her yıl demir ve çeliğin büyük bir kısmının, korozyon sonucu kaybedildiği ve kullanılmaz bir hale geldiği aşıkardır. Korozyon sonucu kaybedilen metal, çoğu kez kendi maliyetini de aşan kayıplara neden olmaktadır. Beton içine çelik donatı yerleştirilmesine ilk kez 1850 yılında başlanmasına karşılık beton içindeki donatı korozyonu son 15-20 yılda tüm dünyada fevkalade önem kazanmış, donatıların korozyonu, korozyonun önlenmesi ve kontrolü ile ilgili çalışmalar büyük sayılara ve boyutlara ulaşmıştır. Betonarme yapılarda çeliğin korozyona uğraması; beton ile çelik arasındaki aderansı düşürüp, iç gerilme ve çatlaklar oluşturarak yapının tahrip olmasına neden olmaktadır. ( Çakır , 1997 )

## 2. KOROZYON OLGUSU

Korozyon, çevrenin elektro-kimyasal etkisi ile oluşan ve özellikle metallerde önemli hale gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Korozyon, metallerin elektron kaybederek oksitlenmeleri ve metal iyonuna dönüşmesi olarak da bilinir. Elektron alışverişi şeklinde gelişen reaksiyonlara elektro-kimyasal reaksiyonlar denir. Elektro-kimyasal süreç birbirinden ayrı şekilde fakat aynı zamanda meydana gelen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından oluşur. Anot reaksiyonu adı verilen oksidasyon, sulu ortamda metalin elektron kaybederek katyona dönüşmesidir. Reaksiyonda gösterildiği gibi elektron kaybeden metal elemana anot adı verilir. Katot reaksiyonu adı verilen redüksiyon ise ortaya çıkan elektronların reaksiyonlarında olduğu gibi sarf edilmesidir.



Elektro-kimyasal korozyonun sürekliliği için anot reaksiyonunun muhakkak surette katot reaksiyonu ile tamamlanması gerekir. Anot reaksiyonunda meydana gelen metal iyonu, bulunduğu sulu ortam içinde çözülür, dağılır ve/veya çökelen bir korozyon ürünü meydana getirir, böylece anot olan metalde, bir malzeme kaybı, yani bir hasar oluşur. Korozyonun sürekliliği için bir diğer koşul ise katot ve anodun elektriksel akım geçişini sağlayan bir iletkenle bağlı olmaları ve anotta açığa çıkan elektronların katoda iletilmesidir. Birisi aktif öbürü daha az aktif iki metalin birbiri ile teması aktif metalin çözünmesine sebep olur. Galvanik korozyon olarak bilinen bu olayda elektron veren metal anot, alan metal ise katot olur. ( Yüzer , 1998 )

### 3. BETON DONATILARIN TANIMI

#### 3.1 Beton İçin Çelik Donatı Çeşit ve Özellikleri

Normal beton çeliklerinin basınç ve çekmede kullanılabilir mukavemetleri beton basınç mukavemetinin yaklaşık 15 katı, çekme mukavemetinin 100 katı kadardır. Bu özellikler iki malzemenin uygun birleşimi ile kullanılarak basınç etkisini beton, çekme etkisini çelik taşıyacak şekilde tertiplenmesi gerekli kılmaktadır. Böylece, betonarme kirişlerde basınç etkisine beton direnç gösterir, çekme yüzeyi tarafına yakın konulmuş boyuna donatı, çekme kuvvetine direnç gösterir ve ilave konulan donatılarla kesme kuvvetinin oluşturduğu eğimli çekme etkilerine direnç gösterir. Hiçbir zorunluluk olmaması halinde bile minimum donatı olarak bütün beton kesitlerde donatı kullanılmaktadır ki, kazaen oluşan eğilme moment etkilerini alabilsin ve kırılmayı önlesin. Betonarmede en önemli prensip, donatı ile betonun birlikte deformasyon yapmasıdır. Donatı ile etrafındaki beton arasında birbirine kenetleyen aderans bu iki malzemenin birbirine göre farklı hareket etmemesini birlikte çalışmalarını sağlayandır. Bu aderans kimyasal olarak yüzeylerin birbirine kaynaması sonucu oluşur ve ilave olarak beton-çelik birleşim yüzeyinin pürüzlü olması ve çubuktaki eğrilikler aderansı destekleyici etkenlerdir.

#### 3.2 Normal Beton Donatı Çubuk Özellikleri

En çok bilinen donatı tipi yuvarlak kesitli çubuklardır. Normal kullanım amacı için 6 mm'den 28 mm'ye kadar hatta daha büyük çaplı üretilmektedir. Yüzeyleri pürüzsüz olduğu gibi, pürüzlüde üretilirler ki bunlara Nervürlü çubuk olarak da adlandırılır. İki önemli sayı çeliğin karakterini belirler; Çeliğin akma sınırı ve Elastisite modülü  $E_s$ . Elastisite modülü bütün donatı çubuklarında yaklaşık olarak aynı değerdedir ve  $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$  (  $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$  ) olarak alınabilir. Çekme ve basınç altında aynı gerilme-deformasyon özelliklere sahiptir. Çeliklerin kimyasal bileşimlerinde bulunan karbon miktarı mekanik özelliklerini etkilemektedir. Karbon miktarı az olan ve piyasada yumuşak çelik olarak adlandırılan S220(a) sınıfı çelikler başlangıçta elastik davranış göstermekte ve akma sınırında aynı gerilme altında fazla uzama yapmaktadır. Bileşiminde karbon oranı arttıkça uzama özelliği azalır. Yüksek mukavemetli karbon çeliklerinde ( S420(b) ) akma limiti çok belirgin değildir ve elastik davranıştan sonra deformasyon sertleşmesi denilen eğrinin yatıklaşması başlar ve maksimumdan geçer aşağı iner ve kopma meydana gelir.

Bu tür çeliklerde akma gerilme değeri olarak ACI standartı : deformasyon= 0.0035 'e karşılık gelen gerilme değeri alınmasını önermiştir. TS 500 Kalıcı deformasyon miktarı 0.002 olan gerilme değerini akma gerilme değeri olarak önermiştir. Ayrıca yüksek mukavemetli çeliklerin elde edilmesinin bir diğer yoluda soğukta işlenmesidir ki buda akma limit değerlerini yükseltmeye yönelik hareket olur. Donatı çubukları kullanılmadan önce kir, yağ, ve yapışık olmayan pastan temizlenmelidir. Donatının projesindeki biçimde yerine konmasında özel itina göstermeli, esas donatının çubukları dağıtma donatısı ve etriyelerle iyice bağlanmalıdır. Beton dökülürken donatı yerinin değiştirilmemesi gerekir. Çubukların etrafında gerekli beton tabakasının sağlanması için, donatı askıya alınmalı ve kalıpla donatı arasında beton takozlar ve iki sıra donatı arasında çelik çubuk parçaları konmalıdır. Etriyelerin de yan tarafta betonla sarılmasına özellikle dikkat edilmeli ve döşeme betonla iyice sarılmış olması mutlaka sağlanmalıdır. Donatısı altta bulunan bir yapı elemanı doğrudan doğruya zemin üzerine yapılacak ise, zemin türü göz önüne alınarak en az 50 mm kalınlığında beton veya benzeri bir tabaka ile örtülmelidir. Betonarme Çelikleri ;

TS 500 tarafından betonarme çelikler için önerilen sınıflar ve sahip olmaları gereken diğer özellikler Çizelge 3.1 'de verilmiştir;

Çizelge 3.1 – Betonarme Çeliklerin Sınıflaması ve Özellikleri

| <u>Çelik Sınıfı</u>                            | <u>Minimum Akma Sınırı (fy)</u> | <u>Minimum Kopma Uzaması (Ecu)</u> |
|------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| S220(a)<br>( düz yüzey , doğal sertlik )       | 220 Mpa                         | 0.18                               |
| S420(a)<br>( nervürlü , doğal sertlik )        | 420 Mpa                         | 0.12                               |
| S420(b)<br>( nervürlü , soğukta işlenmiş )     | 420 Mpa                         | 0.10                               |
| S500(bs)<br>( çelik hasır , doğal sertlik )    | 500 Mpa                         | 0.08                               |
| S500(bk)<br>( çelik hasır , soğukta işlenmiş ) | 500 Mpa                         | 0.05                               |

Ayrıca “Beton Çeliklerinin cins ve özellikleri” ile ilgili detaylı bir çizelgede “Çizelge 3.2” olarak EK 1 'de verilmiştir. Beton özellikle en önemli yapı malzemelerinin başında

gelmektedir. Mühendislik alanında en yaygın biçimde kullanılan metal bilindiği gibi çeliktir. Mekanik özellikleri çok üstün olan bu metalin en önemli kusuru korozyona dayanıklılığının çok düşük olmasıdır. Çelik rutubetli ve oksijen içeren ortamlarda korozyona uğrar. Çeliğin korozyona uğraması için her zaman başka bir metale de ihtiyaç yoktur; aynı çelik çubuk üzerinde elektro-kimyasal hücre kendiliğinden oluşabilir. Atmosferik ortamda havanın nemi demir yüzeyinde yoğunlaşarak elektrolit ortamı, çeliğin kendisi de elektriği ileten elektronik iletkeni oluştururlar.

Dökme demir ise, yüzey ve yeraltı sularında, başlangıçta normal bir hızda korozyona uğrar, fakat, çeliğe nazaran daha uzun bir faydalı ömrü vardır. Bunun nedeni, dökme demirin fazla et kalınlığına sahip bir konstrüksiyon malzemesi olmasından daha çok, farklı bir korozyon davranışı sergilenmesinden ileri gelmektedir. Bilindiği gibi dökme demir ferrit fazı ile grafit lamellerine yapışır. Meydana gelen bu doku, malzeme tamamen korozyona uğramış olsa da hala kafi bir mukavemete sahiptir. (Şengil , 1992 ; Kaplan , 1998 ;Topuz , 2000 )

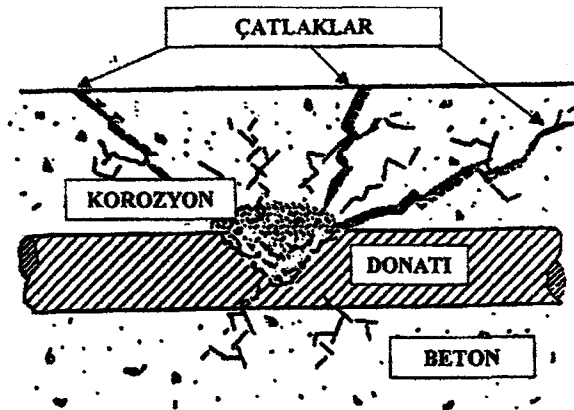
### 3.3 Beton Çeliğinin Korozyon Prosesi

Çelik yapıların göreceli olarak az olduğu inşaatlarımızda donatılı yani içinde değişik miktar ve kalınlıkta çelik ( ön gerilmeli veya gerilmemiş ) bulunan beton en yaygın olarak kullanılan malzemedir. En önemli inşaat malzemelerinden biri olan betonun çekme dayanımını artırmak amacıyla gerekli yerlere betonarme demiri ( çelik takviye ) kullanılır. Betonarmede kullanılan çelik, gerçekte atmosferik etkilere ve sulu çözeltilere dayanaksız yumuşak demirdir. Ancak bu çeliğin beton içersindeki korozyon hızı çok yavaştır. Bu durum çeliği çepeçevre saran betonun bazik özelliğinden ileri gelir. Ayrıca betona gömülü çeliğin yüzeyine atmosfer oksijeni çok zor ulaşır, bu da yine korozyon hızının düşmesinde yardımcı olur. Çelik donatıyla dayanımı güçlendirilmiş beton dünyada en çok kullanılan inşaat malzemelerindendir. Beton içerisinde yerleştirilen demir donatı ile oluşturulan yapılarda kaliteli bir beton; uygun kür koşullarının sağlanması, donatının iyi yerleştirilmiş olması, uygun su / çimento oranının seçilmesi, uygun agrega kullanılması v.b. koşullar sağlanarak elde edilir. Beton dayanımını arttırmak üzere kullanılan betonarme demirlerindeki korozyon sadece metalin değil beton yapının ömrü açısından da önem taşır. Betonarme yapılarda dayanıma etki eden etmenler ( karma suyu, çimento türü, agrega bileşimi, betonarme yapının bulunduğu çevre v.b. ) aynı zamanda betonarme demirinin korozyonuna etki eder. Beton

içerisindeki demirin korozyonu aşağıdaki tepkimelerle yürümektedir. (Borgard vd., 1990 ; Yıldırım ve Yıldırım , 1995 ; Çoban , 1998 )



Beton elektrik direnci ve içerisindeki iyon oranı çeliğin korozyonuna etki eder. Direnç büyüdükçe korozyon azalır, iyon oranı arttıkça korozyon artar. Beton pH derecesinin yüksek oluşu nedeniyle beton içinde yürüten korozyon olayında katotda hidrojen çıkışı değil oksijen redüksiyonu meydana gelir. Yani korozyon hızı doğrudan katot bölgesine oksijen difüzyonu hızına bağlıdır. Atmosferden beton bünyesine giren oksijen, boşluk suyu içinde çözünerek yüzeye en yakın olan betonarme demirlerinin anot olmasına neden olur. Daha derinde olan ve az oksijen alan bölgelerdeki demirler de katot olur. Korozyon reaksiyonunun yürütmesi için yalnız oksijene değil, aynı zamanda ve mutlaka suya da ihtiyaç vardır. Beton, alkalinitesi yüksek bir ortamdır ve içindeki çelik yüzeyinde kararlı, koruyucu bir oksit tabakası oluşturarak anodik akım yoğunluğunun kısıtlanmasına yardımcı olur. Bu olaya alkali pasivasyon adı verilir. Ancak beton, klorür iyonlarının donatıya kadar nüfuz etmesine neden olacak kadar geçirimli ise, ortamda su ve oksijen varsa ve karbonatlaşma nedeni ile ortamın pH'ı 11'in altına düşerse donatı yüzeyindeki pasiv demiroksit tabakası tahrip olur, korozyon süreklilik kazanır. Şekil 3.1 'de "Beton İçindeki Çeliğin Korozyon Prosesi" görülmektedir.



Şekil 3.1 – Beton İçindeki Çeliğin Korozyon Prosesi

#### 4. BETON

Beton taşa benzer bir malzemedir, çimento-kum-çakıl malzemelerinin su ile karıştırılması sonucu sertleşir. Çimentonun su ile karşılaşmasını takiben kimyasal reaksiyon ( hidratasyon ) başlar ve kum çakıl tanelerini birbirine bağlar ve yekpare bir malzeme elde edilir. Beton hazırlanırken çimentonun hidratasyonu için gerekli olan kadar su konulursa, beton akıcı olmaz ve kalıplara gereği gibi yerleştirilmesi, donatı çubukları arasına girmesi zorlaşır. Bu nedenle kimyasal reaksiyon için geçerli su miktarından daha fazla su konularak betona akıcılık kazandırılır. Betonun meydana getiren birleşim malzemeleri Kum-Çakıl-Çimento-Su oranları değiştirilerek mukavemeti farklı olan betonlar elde edilir. Buna ilave olarak özel üretilmiş çimento, özel agrega, katkı maddeleri ve kür koşulu ( sıcak buhar gibi ) kullanılarak daha farklı özelliklere sahip beton elde edilebilir. Beton ; %15 su - %10 çimento - %75 agrega - %2 hava 'nın bileşiminden meydana gelir. Bazen yan elemanlar da doluluğu arttırmak için, taş tozu veya unu yoğunluğu arttırmak için, madeni kırıntı veya mineraller de katkı malzemesi olarak bileşimde yer alırlar.

Betonun çekmeye karşı zayıflığını ortadan kaldırmak için 19.yy 'ın ikinci yarısında çekme mukavemeti yüksek olan çelik ile beton birlikte kullanılmaya başlandı ve böylece demir takviyeli beton yani BETONARME ortaya çıkmış oldu. Betonla birlikte kullanılan çelikler genellikle çubuk şeklindedir ve beton dökülmeden önce kalıp içine planlandığı konumda yerleştirilir. Beton dökümü sırasında donatı çubuklarının arasını tam dolduracak şekilde yerleştirilerek yekpare demirli beton elde edilmiş olur. Donatısız yüksek mukavemetli betonun ( normal betonların 3 katıdır ) tek eksenli basınç mukavemet değerinin 40 'dan 80 Mpa hatta daha fazla olması gerekir, elastisite modülü ve çekme mukavemeti yüksektir, sünme katsayısı düşüktür.Daha dayanıklı ve aşınmaya ve korozyona karşı daha dirençlidir. En çok kullanılan yerler olarak yüksek binaların kolonlarında kesiti küçültmek için kullanılır. Köprülerde de kullanılır. Kesit küçüldüğünden ölü yük azalır ve daha büyük açıklıkları geçmek mümkün olmaktadır. Zamanla deformasyonu yani sehimler azalır.

B I betonları; basit karışım reçeteleri ve normal teknolojilerle elde edilebilir ve B100 - B150 - B200 - B250 - veya C10 , C15 , C20 ve C25 sınıflarını kapsar. B II betonları ise; üstün teknoloji gerektirirler ve özellikleri olan yapısal konstrüksiyonlarda kullanılırlar. Bu betonlar, B300 - B350 - B400 - B450 ve B500 veya C35 , C40 , C45 ve C50 sınıflarını kapsarlar. Hafif Betonlar : 0.700 - 2.00 T/M3 - Normal Betonlar : 1.200 - 2.800 T / M3 ve Ağır Betonlar : 2.800 - 5.000 T / M3 yoğunluğa sahip olan çeşitleridir.

Beton “universal” bir yük taşıyan malzemedir; atmosfere, toprak altına, tatlı ve tuzlu suya maruz tüm yapılarda kullanılabilir. Beton suya dayanıklıdır, beton ile üretilen yapılara istenilen şekil verilebilir ve en önemlisi en ucuza ve çalışma yerinde temin edilebilen bir malzemedir. Beton iyi işlenebilir, mukavemeti ayarlanabilir ve dış etkenlere dayanıklıdır. Beton kılcal çatlakları içerisinde her zaman az miktarda su bulunur. Bu su kalsiyum tuzları ve başka iyonları içerir. Bu nedenle beton, heterojen yapıli kuvvetli iyi bir elektrolit olarak düşünülebilir. Bir elektrolit olarak betonun iyonik iletkenliğı de çok düşüktür. İletkenliğın düşüklüğü betonarme demirleri üzerinde korozyon hücrelerinin gelişmesini güçleştirici bir etki gösterir.

Çimento ile suyun karışımı sonucu oluşan kimyasal reaksiyon ürünleri agregaları ve beton içindeki metalik malzemeleri bağlayarak katılaşırlar ve sonuçta “kompozit” bir malzeme olan “beton” oluşur. ( Özışık , 1997 , 1997-1999 ; Kaplan , 1998 )

#### 4.1 Betonun Dayanıklılığı

Betonun orjinal şeklini, kalitesini ve kullanılabilirliğini içinde bulunduğı ortamın etkisine direnç göstererek, kimyasal, fiziksel ve diğeri tahrip edici etkilere maruz kalmasına rağmen koruması “betonun dayanıklılığı” olarak tanımlanır. “Fiziksel nedenler” yüzey aşınmaları ve çatlamalardır. “Kimyasal nedenler” ise;

- 1) Sertliğı düşük kar, yağmur suları gibi yumuşak sular ile temas betonun çözünmesine neden olur.
- 2) Çevreden gelen çözeltilerin bazı katyonik bileşenleri ile çimento hamurunun bazı katyonların yer değıştirmesi.
- 3) Beton bünyesinde ortamdan giren çözeltilerin çimento bileşenleri ile reaksiyonu sonucu oluşan hacimce geniş ürünlerin etkisi ile çatlama, patlama, kabuklanma ve deformasyon oluşumu.

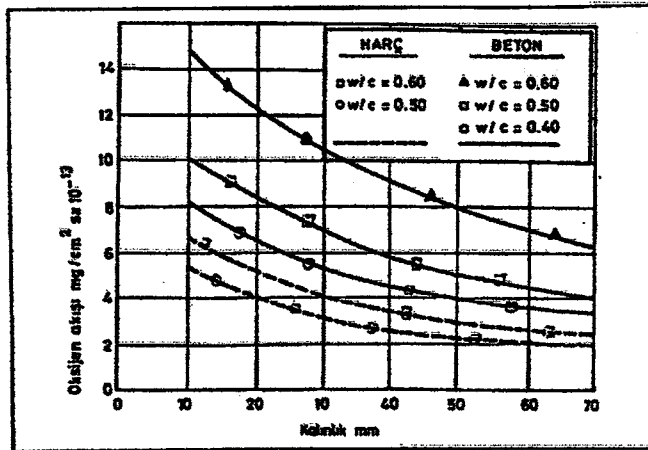
Beton, boşluklu yapıda olmasına rağmen, difüzyona karşı direnci nedeniyle, oksijen, karbondioksit, sülfürdioksit gibi gazların ve özellikle klorür olmak üzere tuz gibi zararlı maddeler içeren çözeltilerin çelik yüzeyine ulaşmasını önleyen fiziksel bir engeldir. Bu özellik boşluk yapısı, bünyesindeki su miktarı, elektriksel iletkenliğı, su/çimento oranı ve pas payı gibi etkenlere bağlıdır.

Beton içindeki toplam boşluk oranı betonun dayanımını ve geçirgenliğini etkileyen önemli bir faktördür. Boşluk oranının artması beton dayanımının düşmesine, geçirimliliğin artmasına neden olur. Betonun bünyesindeki suyun miktarını ve geçirimliliğini beton yüzeyindeki ortamın bağıl nemi de etkiler. Donatının korozyonunun önlenmesinde en önemli faktör beton örtü kalınlığıdır.

Beton örtü, donatıya nemin ve havanın difüzyonunu önleyen fiziksel bir engel olması nedeni ile, minimum beton örtü kalınlığının belirlenmesi amaçlanmalıdır. Korozyon hızının azaltılmasında, betonun elektriksel direncinin artırılması önemli bir etkindir. (Mailvaganam , 1992 ; Çakır , 1997 ; Yüzer , 1998 )

#### 4.2 Betonun Çelik Korozyonuna Etkisi

Gerek korozif element oksijenin ve gerekse onun etkisini hızlandıran suyun ve klorür iyonunun donatı yüzeyine erişme hızı çelik korozyonuna etki eden en önemli parametredir. Bu hız betonun “geçirimliliğine” bağlıdır. Beton geçirimliliğini etkileyen en önemli parametre ise “su / çimento maddesi” oranıdır. Bu oranın 0.40 civarında veya daha az olması betonun klorür, su , oksijen ve karbondioksit geçirimliliğini çok önemli boyutta azaltır. Oksijenin betonarme demirleri yüzeyine kadar penetre olması büyük ölçüde beton yapısına ve porozitesine bağlıdır. Beton boşluk suyu içinde çözünmüş olan oksijenin difüzyon katsayısı çok küçüktür. Diğer taraftan betonun su ile doygunluk yüzdesi ve beton yapımı sırasında kullanılan su / çimento oranı da oksijen difüzyon hızını etkiler.



Şekil 4.1 - Beton içine oksijen difüzyon hızının su / çimento oranına bağlılığı

Şekil 4.1 'de "Su ile doygun halde bulunan değişik su/çimento oranındaki beton ve harçlar içinde oksijen difüzyonunun beton kalınlığına göre değişimi" görülmektedir. Su/çimento oranı arttıkça betonun porozitesi artmakta ve buna paralel olarak oksijen difüzyon hızında da artış olmaktadır. Örneğin, su/çimento oranı 0,40 dan 0.60' a çıkarılacak olursa oksijen difüzyon hızında yaklaşık iki kat artış olmaktadır. Bu durumda betonarme demirlerinin korozyon hızında da iki kata varan bir artış olması beklenebilir. ( ACI 222R-85 , 1985 ; Pullar-Strecker , 1987 )

Betonarme bir yapıda betonun fiziksel ve kimyasal olarak koruyucu özellikleri ile çeliği korozyondan koruduğu bilinmesine karşın, betonarme yapılarda donatının korozyonuna neden olan faktörler şu şekilde özetlenebilir:

- a) Betonun yaşı,
- b) Betonun yeterince iyi yerleştirilememesi, kürtünün yapılamaması, agrega ve çimento pastasının segregasyonu gibi nedenlerle betonun üniform olmaması,
- c) Çimento miktarının yetersiz olması,
- d) Pas payının gereğinden düşük olması,
- e) Ortamın zararlı etkisi

Beton üretilir üretilmez rötre ve benzeri nedenlerle çatlaklar. Bu çatlaklar başlangıçta mikro düzeyde olmasına rağmen, rötre, sünme, termik genleşmeler, mekanik yüklemeler gibi etkenlerle zamanla genişler ve donatının paslanmasına yol açan agresif öğelerin çeliğe ulaşmasına neden olurlar. Betonun iyi sıkıştırılması ve donatı üzerindeki pas payının artırılması ayrıca geçirimsizliği artırır ve yayınan az miktardaki maddelerin donatı yüzeyine ulaşma süresini azaltır. Betonun yapısının homojen olması, geçirimsizliğinin az olması ve beton mukavemetinin yüksek olması çeliği korozyondan korur. Homojen betonun boşlukları az olur ve sağlam bir yapısı olur. Ayrıca geçirimsizlik için beton üzerindeki kaplama malzemelerinin önemli rolü vardır. Beton, iyi malzeme ile kaplanırsa, dış tesirlerin ve korozif ortamların tesirine karşı korunmuş olur. ( Balta ve Cilason , 1994 ; Çakır , 1997 )

Beton en kuru koşullarda bile bir elektrolit ortamı kabul edilebilir. pH derecesinin yüksek oluşu nedeniyle beton içinde yürüten korozyon olayında katotda hidrojen çıkışı değil oksijen redüksiyonu meydana gelir. Yani korozyon hızı doğrudan katot bölgesine oksijen difüzyonu hızına bağlıdır. Atmosferden beton bünyesine giren oksijen, boşluk suyu içinde çözünerek

yüzeye en yakın olan betonarme demirlerinin anot olmasına neden olur. Daha derinde olan ve az oksijen alan bölgelerdeki demirler de katot olur.

Atmosferden beton içindeki çelik yüzeylerine oksijen taşınımı iki yolla gerçekleşir. Eğer beton kuru halde ise, yani beton boşlukları su ile dolu değilse, atmosferden beton iç bölgelerine oksijen taşınımı gaz akışı şeklindedir ve çok hızlıdır. Eğer beton boşlukları su ile dolu ise, oksijenin su içinde çözünerek metal yüzeyine kadar difüze olması gerekecektir. Beton boşluklarındaki durgun çözelti içinde meydana gelen oksijen difüzyonu son derece yavaş bir olaydır. Bu durumda korozyon hızı doğrudan oksijen difüzyon hızının kontrolü altına girer. Sürekli su altında bulunan betonlardaki betonarme demirlerinin korozyon hızı bu nedenle çok yavaştır. Korozyon reaksiyonunun yürütmesi için yalnız oksijene değil, aynı zamanda ve mutlaka suya da ihtiyaç vardır. Bu nedenle tam olarak kuru betonlar içinde de korozyon söz konusu değildir. Yani beton mükemmel bir şekilde çevresinden izole edilerek beton bünyesine suyun girmesi önlenabilirse korozyon meydana gelmez. Bu çelişkili durum ancak periyodik olarak ıslanan ve kuruyan betonlar içindeki çeliğin etkili şekilde korozyona uğrayacağını gösterir. Kuruma sırasında atmosferik oksijen beton boşlukları içine kadar nüfuz ederek metal yüzeyine temas eden su içinde çözünür. Böylece katot reaksiyonu için gerekli olan oksijen metal yüzeyine kolayca taşınmış olur. Atmosferden betonarme demirlerine kadar oksijen difüzyonu betonun permeabilitesine bağlıdır. Kompakt ve geçirimsiz bir beton yapılmak suretiyle atmosferden beton bünyesine oksijen girmesi son derece azaltılabilir. Bu ise, betonun su / çimento oranını düşürmek, çimento dozajını artırmak, çimento cinsini seçmek, kalıplara betonu vibre ederek yerleştirmek ve uygun koşullarda kür yapmak ile mümkün olabilir. (Mailvaganam, 92 ; Yüzer, 1998)

#### 4.2.1 Beton Özelliklerinin Korozyon Hızına Etkisi

Çimento cinsinin etkisi ve dozajı : Betondaki çimentonun cinsi çeliğin korozyonu açısından önemlidir. Çimento kaliteli olmalıdır. Traşlı çimentolar üzerinde korozyon hızı çok yavaştır. Korozyon başlamışsa klorürlerin meydana getirdiği korozyonun hızı, karbonasyonunkinden çok daha fazladır. Çimentolarda tri kalsiyum alüminat (  $C^3A$  )'nın az bulunması durumunda betonun mukavemeti artar, fakat klorürlere karşı direnci azalır. Bu nedenle korozif etkilerin azlığı açısından  $C^3A$  orta sınırlarda bulunmalıdır. Klorür iyonlarının tri kalsiyum alüminat ile çözünmeyen bir tuz oluşturması beton içindeki serbest klorür iyonlarının azalmasına neden olacağından, betonarme demirlerinin korozyonu açısından yararlıdır. Çimento dozajı

artırıldığında beton yoğunluğu artar ve porozitesi azalır. Kullanılan çimento cinsi de önemlidir. Puzolanlı çimentolar, beton boşluklarında bulunan serbest kireci silikat bileşikleri halinde bağliarak beton boşluklarını doldurur. Böylece beton permeabilitesinde azalma meydana gelir. Ancak puzolanların bu etkisi uzun süre içinde ortaya çıkar. Diğer taraftan puzolanlar serbest kireci bağliarak beton pH derecesinin düşmesine neden olur. Bu ise, korozyon hızını artırıcı yönde etki gösterir.

Su / çimento oranı : Beton karışımı içine bazı özel katkı maddeleri katılarak su/çimento oranı düşürülebilir. Böylece beton içindeki boşluklar minimuma indirilmiş olur. Çimentonun hidratasyonu için kimyasal olarak gerekli su miktarı % 30 dan daha azdır. Pratikte su/çimento oranı genellikle % 40-50 arasında alınır. Fazla su betonun boşluklu olmasına neden olur. Ayrıca beton karışımı içine hava katkı maddesi (AEA) katılarak beton içindeki boşlukların birbirinden bağımsız kapalı hücreler halinde oluşması sağlanabilir. Böylece beton porozitesinin zararlı etkileri azaltılmış olur.

Beton dökümü ve kürü : Beton kalıplara yerleştirilirken, vibrasyon yapılarak tam olarak kalıp içine yerleşmesi sağlanmalıdır. Dökümden sonraki ilk günlerde, betonun içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı ve relatif rutubeti beton kalitesi açısından büyük önem taşır. Dökümden sonra sıcak ve kuru ortamlarda bekletilen betonlar uygun şekilde kristalleşemediklerinden boşluk yüzdelerinde artış meydana gelir. ( Pullar-Strecker, 1987 ; Yüzer, 1998 ; İzomas, 1992-2001 )

#### 4.2.2 Beton Rutubetinin Etkisi

Beton rutubeti korozyon olayını iki şekilde etkiler. Her şeyden önce korozyon olayının yürütmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Diğer taraftan rutubet arttıkça betonun elektriksel iletkenliğinde de artış olur. Bunun sonucu olarak çelik yüzeylerinde oluşan korozyon hücrelerinin etkinliği artar. Bunların dışında, betonun rutubet derecesi, beton bünyesine oksijen difüzyonu açısından da önemli bir etkindir. Düşük rutubetli betonlarda atmosferden çelik yüzeylerine oksijen difüzyonu çok kolaydır. Bunun aksine olarak, sürekli su altında kalan betonlarda boşlukların içi su ile dolu olduğundan oksijen difüzyonu çok güç ve yavaştır. Pratikte sıkça rastlanan diğer bir konu da, betonun küçük bir bölgesinin ıslanması ve fakat diğer bölgelerinin kuru kalmasıdır. Bu durumda ıslak bölgelerdeki çelik anot olurken kuru kalan ve bol oksijen alan diğer bölgeler katot gelir.

## 5. BETON DONATILARDAKİ KOROZYON GELİŞİMİ VE NEDENLERİ

Beton içerisindeki klinker bileşiklerinin su ile reaksiyonu esnasında, silikatların hidrolizi ile kalsiyum hidroksit oluşur. Bu hidroksit kuvvetli bir bazik özelliğe sahiptir ve beton sertleştikten sonra da betondaki boşlukların içinde doymuş çözelti halinde bulunur. Taze betonun pH değeri alkali oksitlerinin de etkisiyle 12.5 civarında bulunur. Ancak beton yaşlandıkça, atmosferdeki karbondioksitin de etkisiyle, pH değeri zamanla düşer, Ama bu düşme aşırı derecede gerçekleşmez. pH derecesinin yüksekliğiyle, çelik yüzeyinde pasif bir oksit katı ( $Fe_2O_3$ -katı) oluşur ve bu kat çeliği uzun süre korozyona karşı korur. Beton yapının çeşitli şekillerde tuzlu suyla teması söz konusu olabilir. Böyle durumlarda beton bünyesine giren klorür iyonları, betonarme çeliğinin yüzeyinde önceden oluşan oksit filmini parçalar ve çeliği şiddetli derecede bir korozyona uğratabilir. Beton içerisindeki çeliğin korozyonunu sadece çelik kaybı olarak değerlendirmek yanlıştır. Çünkü korozyon sonucu oluşan kimyasal bileşiklerin (pasın) çeliğe göre daha çok hacim gerektirmesi beton içerisinde iç gerilmelere ve çatlamalara neden olur.

Deniz suyu içerisindeki betonarme yapılarda ise, deniz suyunun pH derecesi ve klorür iyonu miktarı beton içerisindeki çeliğe etki eder. Deniz suyunun pH derecesi yaklaşık 8 civarındadır. pH derecesi normal bir değerde olduğundan oksijen beton yüzeyine difüzyonla girer. Oksijen ve suda çözünmüş klorür iyonları çelik yüzeyine betondaki kılcal çatlaklardan girerek çeliğe koroziv bir etki yaparlar. Asitler çeliğe büyük zarar verirler. Çeliği aşındırarak korozyona sebep olurlar. Çeliğe zarar veren en önemli asitler sülfürik asit, nikrik asit ve hidrojen klorürdür. Asitler genellikle beton karışım suyunda bulunur veya beton sertleştikten sonra temas ettiği sular vasıtasıyla içeriye girer.

### 5.1 Korozyon Ortamının Şartları ve Durumu

Galvanik korozyon en önemli elektrolitik korozyon çeşitlerinden biridir. Çözelti içerisinde iki farklı metalden anot görevi üstleneni korozyona uğrar. Betonarme çeliği içerisinde demir, krom, nikel, molibden gibi metaller bulunmaktadır. Korozyon olayı demir metalinde meydana gelir. Diğer metaller katot durumunda bulunduklarından korozyona uğramazlar. Doğru akımın betona etki etmesi sonucu, akım beton içindeki çeliğe zarar verir ve korozyonu hızlandırır. Dolayısı ile, akım kaçakları mutlaka önlenmelidir.

Beton içerisindeki çelikte pas olayı meydana geldiği takdirde pas beton ile çelik arasındaki aderansı olumsuz yönde etkiler. Beton ile çelik aşağı yukarı aynı genleşme katsayısına sahip, yani aynı uzama ve kısalmayı gösterebilen malzemelerdir. Halbuki pas, paslanan bölgede çelik içerisindeki demirin hacmini yaklaşık 5-6 kat arttırabilmektedir. Beton çeliğin bu genleşmeyi yapmasını engellemeye çalışır, sonuçta beton iç gerilmelerle yırtılır. Çelik üzerindeki pas tabakası, bir süre sonra pasifliğini kaybeder ve korozyonun tekrar başlaması sonucu dökülmeye başlar. Dökülme sonucu kesit zayıflar ve betonla çelik çalışamaz olur. ( Borgard vd., 1990 )

### 5.1.1 Korozyon Ürünleri ve Elektrokimyasal Mekanizma Süreci

Betonarme içindeki çeliğin korozyonunda, bazı noktalarda demir metali çözülürken diğer noktalarda katodik reaksiyon meydana gelir. Bunun sonucunda arayer suyunda oksijen içeriği yeterince yüksekse  $\text{OH}^-$  hidroksil iyonları oluşur. İkinci aşamada çözülmüş  $\text{Fe}^{+2}$  metal iyonları suda mevcut diğer anyonlarla birleşerek çeliği kaplayan bir çökelti meydana getirirler. Beton içindeki çelik donatılar, teorik olarak, yüksek pH'daki (12.5~13.5 ) bir ortama maruz kaldıkları ve bu koşullarda yüzeyleri her zaman pasif bir film ile kaplı olduğu için korozyona uğramazlar. Ortamın pH'ı 12 civarında iken çelik yüzeyindeki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  veya  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pasif demir oksit film tabakası kararlı haldedir çeliği korozyona karşı korur. Koruyucu film, demir katyonlarının elektrottaki çözeltiye girmesini ve oksijen anyonunun çelik yüzeyi ile temasını engelleyen bir bariyer gibi davranır. Bu olaya Passivasyon adı verilir. Bu örtü tabaksında ileride daha detaylı olarak bahsedeceğiz. ( Yalçın ve Akat, 2000 )

Pasif tabakanın çeşitli etkiler nedeniyle zedelenmesi, bozulması neticesinde korozyon başlayacaktır. Bu tip etkilere iki örnek olarak, ortamda klor iyonu konsantrasyonunun belirli bir sınır değerini aşması ve karbonatlaşmayı verebiliriz. Çelik korozyonu başlıca iki nedene bağlı olarak gelişir:

- a) Karbonatlaşma
- b) Klorür iyonlarının etkisi

Çelik donatı yüzeyinde korozyonun başlaması için buraya su ve koroziv element oksijenin erişmesi gereklidir. Eğer karbonatlaşma sebebi ile pH'ı düşmüş bölge metal yüzeyine kadar ulaşmış veya klorür iyonları pasif metal yüzeyine erişmiş iseler, her iki halde de çelik donatı

yüzeyindeki pasif tabaka tahrip olur ve altında açığa çıkan metal, betonun geçirimsizliğine bağlı olarak yüzeye erişen su ve oksijenin etkisi ile hızla korozyona uğrar. Korozyon ürünleri ise içerdikleri demirden daha büyük hacme sahip oldukları için betonu çatlatarak korozif sulu ortamın beton içine daha fazla yayınarak hem korozyonu hızlandırmasına hem de, meydana gelen çatlaklar ile betonun dayanıklılığının azalmasına neden olurlar. Çeliğin temas ettiği noktalarda, klorür konsantrasyonunun yüksek olduğu yerlerde pas tabakaları kırılır. Pasif kalan kısım katot, pasın kırıldığı kısımlar anot görevi üstlenir ve böylece korozyon başlar. Anot asidik, katot ise bazik özelliğe sahiptir. ( Çakır, 1997 ; Cansever, 2000 )

Çeşitli sebeplerle beton içine süzülen klor iyonlarının bir kısmı  $C^3A$  ile reaksiyona girerek klora alüminatları oluşturur, yani klor iyonlarının bir kısmı "tutulmuş" olur. Fakat  $C^3A$  'sı yüksek çimento kullanılarak imal edilen betonlarda kandro tuzu oluşumu, dolayısıyla hacim genişlemesi nedeniyle betonda çatlaklar oluşacak, klor diffüzyonu kolaylaşacaktır.

Beton içindeki klor iyonu konsantrasyonu sınır değeri  $OH^-$  hidroksil iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak ifade edilir.  $(Cl)^- / (OH)^- < 1$  ise ortamın pH'ı kararlı "geothite" (  $\alpha FeOOH$  ) ve "manyetit",  $(Cl)^- / (OH)^- > 1$  ise pH'da bir azalma söz konusudur ve yeşil pas I (  $2Fe(OH)_2$  ),  $FeOHCl$ ,  $Fe(OH)_2Cl$  ) denilen bir ara bileşen ve buradan "lepidocrocite" (  $8FeOOH$ ,  $FeOCl$  ) meydana gelir ve pasivasyonu bozan asıl ürün de budur...  $Cl^-$  ; klor konsantrasyonunu,  $OH^-$  hidroksil iyonu konsantrasyonunu göstermektedir.  $Fe^{+2}$  metal iyonlarının çözeltide bulunan anyonlar ile birleştiğini ve korozyon ürünlerini meydana getirir. ( Yalçın ve Akat, 2000 )

#### 5.1.1.1 Karbonatlaşma

Atmosferdeki karbondioksit ve rutubetin birlikte etkisi ile ( karbonik asit şeklinde ) beton bünyesindeki kalsiyum hidroksit, kalsiyum karbonata dönüşür.



Bilindiği gibi hidratasyon neticesinde beton içinde  $Ca(OH)_2$  meydana gelmiştir ve  $Ca(OH)_2$  ortamın alkalinitesine etkilidir. Fakat havanın  $CO_2$  'si ile birleşerek kalsiyum karbonatı oluşturur.  $Ca(OH)_2$  suda eriyebilen bir madde olduğu halde kalsiyum karbonat suda erimez. Diğer bir değişle beton geçirimsiz hale gelir. Bu donatının korozyonu açısından iyidir. Fakat öte yandan kalsiyum karbonat oluşumu betonun alkalinitesini azaltır, pasif tabakanın

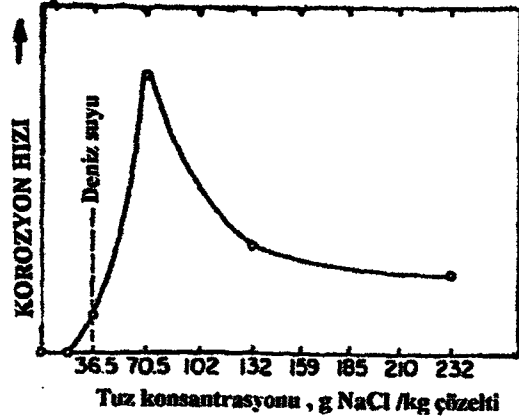
bozulmasını kolaylaştırır. Karbonatlaşmanın olmadığı durumda ise beton içindeki  $\text{Ca(OH)}_2$  suyla yıkanır ve beton daha da geçirimli hale gelir ki bu korozyon için daha da kötüdür.

Karbonatlaşma beton ortamının alkaliliğini pH 8.5'a kadar düşürür. Eğer karbonatlaşmış bölge çelik donatı yüzeyine erişirse buradaki pasif koruyucu film tahrip olur ve korozyon başlar. Beton yüzeyi atmosferle temas halinde olduğundan atmosferdeki karbondioksit çimento içindeki kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer ve kalsiyum karbonatla su açığa çıkar. Kalsiyum karbonat yavaş yavaş derinlere doğru inerek çeliğe temas eder ve korozyonu başlatır. Buna Karbonasyon olayı denir. Beton karbonasyona uğradığı zaman betonda serbest klor miktarı artar. Bunun nedeni çözeltili içindeki klorların veya beton gözenekleri üzerinde bulunan klorların ayrılmasıdır. Klorürler karbonasyona uğramış bölgede çelik donatıya doğru daha hızlı hareket ederek, daha önce betona ulaşmaktadır. ( Pullar-Strecker, 1987 ; Şengil, 1992 ; Çakır, 1997 ; Yüzer, 1998 )

Eğer betonda çatlak varsa çatlakın iç kısımları tamamen karbone olur. Çatlak bölgenin uç kısmı çeliğe değdiği zaman hemen korozyon başlar. Çünkü klorürler karbonasyona uğramış çatlak bölge içerisinde son derece hızlı hareket ederler. Karbonatlaşma hızı zamanın kare kökü ile orantılıdır. Karbonatlaşma derecesi betonun su içeriği ve ortam rutubetinin bir fonksiyonudur. Karbonatlaşma “yüzey/hacim” oranı ile de ilişkilidir. Bu oranın yüksek olduğu yapılarda karbonatlaşma daha hızlıdır. Beton yüzeylerinin uygun organik boyalarla boyanması karbonatlaşmayı büyük oranda engelleyebilir.

#### 5.1.1.2 Klorür İyonu Korozyonu

Su içinde bulunan çözülmüş oksijen konsantrasyonu korozyon açısından büyük önem taşır. Oksijenin sudaki çözünürlüğü oldukça küçüktür ve sıcaklık arttıkça azalır. Oksijenin tuzlu sular içindeki çözünürlüğü de saf suya göre daha azdır. Tuz konsantrasyonu arttıkça su içinde çözülmüş haldeki oksijen konsantrasyonu gittikçe azalır. Bu nedenle yüksek konsantrasyondaki tuzlu sular içinde korozyon hızının artık artmadığı görülür. Şekil 5.1 ‘de “Tuz konsantrasyonu ile korozyon hızı arasındaki bağıntı” görülmektedir.



Şekil 5.1 - Korozyon hızının tuz konsantrasyonuna göre değişimi

Şekilden görüldüğü üzere, başlangıçta çözelti içindeki tuz konsantrasyonu arttıkça klorür iyonu etkisi ile korozyon hızında da artış olmaktadır. Ancak tuz konsantrasyonu belli bir değere eriştikten sonra ( 75 g tuz / kg çözelti ) korozyon hızında azalma görülmektedir.

Bu durum tuz konsantrasyonunun artışı ile birlikte su içinde çözülmüş olarak bulunan oksijen konsantrasyonunun azalmasından ileri gelmektedir. ( İzomas , 1992-2001 )

Beton içine klorür iyonu betonun hazırlanması sırasında veya daha sonra dış ortamdan nüfuz ederek girebilir. Korozyona sebep olan klorür iyonları serbest iyonlardır (  $Cl^-$  ) . Beton kurudukça klorür ve hidroksil iyonlarının oranı azalır. Buna karşın ortam gittikçe korozyona elverişli olur.

- a) Betonun hazırlanması sırasında beton bünyesine klorür şu şekillerde girebilir;

- . Kullanılan agregalardan: Örneğin denizel kökenli kumlardan,
- . Karma suyundan: Bazı koşullarda deniz suyu karma su olarak kullanılabilir,
- . Priz hızlandırıcı olarak kullanılan klorürlerden:  $CaCl_2$  gibi,

- b) Betona dış ortamdan giren klorür;

- . Denizel ortamda deniz suyu taşıyan atmosferden: Denizel atmosfere maruz beton yapılarda,

- . Deniz içindeki yapılara deniz suyundan: Limanlarda deniz içindeki betonarme her tür yapılarda,
- . Suyun donmasını engellemek için kullanılan tuzdan: Yollarda, köprülerde, garajlarda,
- . Tuzlu su içeren topraktan

Tehlikeli klörür miktarı ile ilgili değerler muhtelif standartlarda serbest veya toplam ( asitte çözünen ) klörür oranlarının betondaki çimentoya ( ağırlıkça oranı şeklinde verilmiştir. “Betondaki Eşik Klorür İyon Miktarları” Çizelge 5.1 ‘de verilmiştir;

Çizelge 5.1 - Betondaki Eşik Klorür İyon Miktarı

| Kaynak                                            | Eşik Klorür Miktarı<br>( % Çimento Ağırlığı )              |                             |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                   | Serbest Klorür<br>( Suda Çözünen )                         | Toplam<br>(Asitte Çözünen ) |
| ACI 201 (Amerikan Beton Enstitüsü Komite Raporu ) | 0.1 (Klorlu Ortama Maruz)<br>0.15 ( Klorsuz Ortama Maruz ) | -                           |
| ACI 222                                           | -                                                          | 0.20                        |
| BS 8110                                           | -                                                          | 0.40                        |

Ayrıca “ACI ‘da yayınlanmış klor iyonu eşik değerleri” ve “Karbonatlaşma – klorür içeriği – korozyon oluşması riski” ile ilgili detaylı bir çizelgede “Çizelge 5.2” olarak EK 2 ‘de verilmiştir. Beton içindeki toplam klorürler “bağlı” ve “serbest” olmak üzere iki bileşenden oluşur. Başlangıçta beton içine giren klorür iyonlarının bir kısmı, çimento hidrasyon reaksiyonu sırasında çimento klinker bileşiklerinden tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik olan tri kalsiyum alümino klorürü ( Friedel tuzu )  $( 3 \text{ CaO} . \text{Al}_2\text{O}_3 . \text{CaCl}_2 . n \text{ H}_2\text{O} )$  oluşturur. Böylece klorür iyonunun bir kısmı bağlanmış olur. Bu bağlı klorürün pasifliği bozucu etkisi yoktur. Serbest Klorürler ise çelik korozyonu üzerinde etkili klorür miktarıdır. Klorür iyonunun zararlı etkisi ancak beton içinde % 0,2 den fazla (  $4,5 \text{ kg Cl}^- / \text{m}^3$  ) klorür bulunması halinde söz konusu olabilir. Serbest klorür betonun su ile muamelesinde suya geçebilen klorürdür. Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine çevreden penetre olabilen klorür miktarı da o derece az olur. Çelik donatı yüzeyine ulaşan klorürün pasif filmin tahribinde oynadığı rol ile ilgili değişik teoriler vardır. Klorür iyonu pasif filme nüfuz eder ve filmi parçalayarak korozif element oksijen ve

suyun metal yüzeyine erişerek onun korozyona uğramasını ( oksit filmi teorisi) veya metal yüzeyine  $O_2$  ve  $OH^-$  'a tercihi olarak adsorbe olan klorür iyonları metal iyonlarının daha çabuk çözünmesini ve çözünebilir kompleksler oluşturmasını sağlar ( Schiessel ve Raupach, 1991 ; İzomas, 1992-2001) [2].

### 5.1.2 Pasifliğin Klorür İyonu Etkisi İle Bozulması

Beton içine klorür başlıca iki yoldan girer. Bunlardan birincisi ve önlenemez olanı, beton karışımı hazırlanırken kullanılan kum, çakıl, karışım suyu ve çeşitli katkı maddeleri ile giren klorür bileşikleridir. İkincisi ve pratikte daha sık rastlanam, beton sertleştikten sonra çevreden beton içine difüzlenen klorür iyonlarıdır. Betonarme demirlerinin korozyonu üzerine başlangıçta ve sonradan giren bu klorürlerin etkisi farklıdır. Başlangıçta beton içine klorür iyonlarının bir kısmı, çimento hidratasyon reaksiyonu sırasında çimento klinker bileşiklerinden trikalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik olan trikalsiyum alümino klorürü oluşturur. Böylece klorür iyonunun bir kısmı bağlanmış olur. Bu bağlı klorürün pasifliği bozucu etkisi yoktur. Korozyon üzerine beton boşluk suyu içinde çözünmüş halde bulunan serbest klorür iyonları etkili olur. ( Yalçın ve Akat, 2000 ) klorür iyonu, elektronegativitesi yüksek bir iyondur. Bu nedenle metal yüzeyinde oksijen ve hidroksit iyonlarından daha sağlam şekilde adsorbe edilir. Adsorbe olan bu klorür iyonları korozyon sonucu oluşan demir iyonları ile birleşerek demir klorür halinde çözeltiye geçer. Böylece metal yüzeyinde  $Fe(OH)_2$  çökmesi ve pasif filmin oluşması önlenmiş olur. Bu bölgede korozyon olayı artık oto katalitik olarak devam eder. Çünkü çözelti içine giren demir klorür su ve oksijenle birleşerek pası oluştururken, klorür iyonu yeniden çözelti içine karışır. Klorür iyonu doğrudan korozyon yaratmaz. Ancak bir katalizör gibi korozyon olayının hızını artırıcı olarak rol oynar. Klorür iyonu ile kirlenmiş betonlar içinde çukur korozyonu olayına sıkça rastlanır.

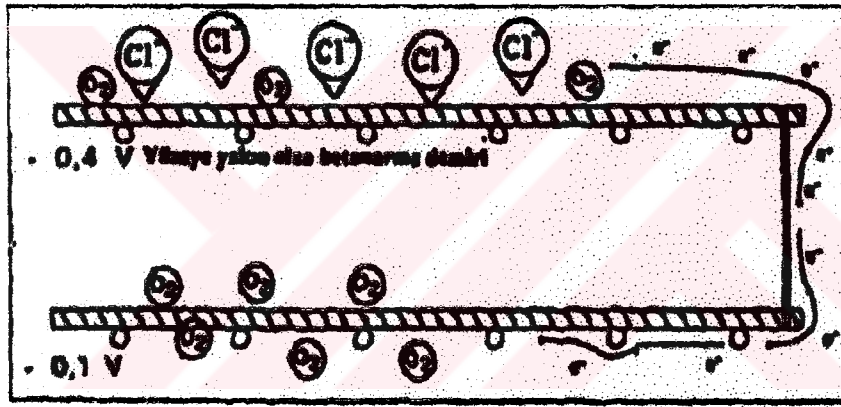


Klorür iyonunun çukur korozyonu oluşturması yukardaki zincirleme reaksiyonların dar bir bölgede yürütmesi sonucu ortaya çıkar. Çevreden beton içine difüzlenen klorür iyonları pasif halde bulunan betonarme demirleri üzerindeki pasif tabakayı bozarak korozyona neden

olabilir. Klorür iyonu su içinde çözülmüş olarak beton kılcal çatlaklarından veya boşluklarından ilerleyerek belli bir süre içinde yüzeye en yakın olan betonarme demirine ulaşır. Burada metal yüzeylerinde bulunan pasif tabakayı geçerek metal yüzeyinde adsorblanır.

Betonarme demirlerinin potansiyeli pasif halde iken  $-0,200$  Volt'dan daha pozitifdir. Klorür iyonlarının adsorbsiyonu ile betonarme demirlerinin potansiyelinde negatif yönde artış olur. Böylece yüzeye yakın olan betonarme demirleri anot olurken alt kısımda kalan ve klorür iyonlarının erişemediği demirler katot olur. Metalik bağlantı yoluyla anottan katoda doğru bir elektron akımı başlar.( ACI 222R-85, 1985 ; Pullar-Strecker, 1987 )

Şekil 5.2 'de "Klorür İyonu Etkisiyle İki Betonarme Demiri Arasındaki Bir korozyon Hücresinin Oluşması" görülmektedir.



Şekil 5.2 – Klorür İyonu Etkisiyle İki Betonarme Demiri Arasındaki Bir Korozyon Hücresinin Oluşumu

Bu iki betonarme demiri arasında bir korozyon hücresi oluşur. Klorürsüz bir ortamda meydana gelen korozyon olayında anot bölgesinde çözünen demir iyonları demir hidroksit halinde metal yüzeyinde çökeldiği halde, ortamda klorür bulunması halinde çökeltme ve metalin pasifleşmesi söz konusu olmaz. Aksine olarak, anot reaksiyonu ile çıkan hidrojen iyonları pH'ı düşürür ve korozyon hızlanarak devam eder. Korozyon hızı katot bölgesine oksijen difüzyon hızının kontrolüne girer ve katotta oksijen redüksiyon reaksiyonu için harcanan elektronlara eşdeğer miktarda demir çözeltiye geçer. Böylece daha az oksijen alan bölgelerde şiddetli bir korozyon olayı başlamış olur. ( Yalçın ve Akat, 2000 )

1. Beton içindeki çeliğin doygun bakır-bakır sülfat referans elektrotuna göre ölçülen potansiyel değeri eğer, - 0,200 Volt'tan daha pozitif ise, %90 bir olasılıkla korozyon mevcut değildir.
2. Beton içindeki çeliğin doygun bakır-bakır sülfat referans elektroduna göre ölçülen potansiyeli eğer, - 0,200 Volt ile 0,350 Volt arasında bulunuyorsa, söz konusu çeliğin korozyona uğrayıp uğramadığı belirsizdir.
3. Beton içindeki çeliğin doygun bakır-bakır sülfat referans elektroduna göre ölçülen potansiyel değeri eğer, - 0,350 Volt'dan daha negatif ise, %90 bir olasılıkla söz konusu çelik korozyona uğramaktadır.
4. Beton içindeki çeliğin doygun bakır-bakır-sülfat referans elektroduna göre ölçülen potansiyel değeri eğer, - 0,500 Volt'dan daha negatif ise, şiddetli korozyon olayı söz konusudur.

Beton içindeki çeliğin doygun bakır-bakır sülfat referans elektroduna göre ölçülen potansiyeli eğer pozitif bir değer gösteriyorsa, ya beton kuru haldedir veya çeliğe kablo bağlantısı iyi yapılmamıştır., ya da çevreden kaçak akımlar söz konusudur. Bu değerlendirmeler saf su veya içme suyu derecesinde temiz sular için geçerlidir. Klorür içeren sularla temas eden betonlarda çeliğin pasifliği bozulabilir. ( Yüzer, 1998 )

Tuzlu zemin ve sular ile temas eden beton bünyesine su içinde çözünmüş olarak klorür iyonları girebilir. Daha sonra beton kuruduğu zaman su buharlaşarak uzaklaşır. Klorür ise beton boşlukları içindeki su içinde çözünmüş olarak kalır. Bu olay permeabilitesi yüksek olan betonlarda daha etkin şekilde kendini gösterir. Bataklık, sel yatağı ve çöl gibi tuzlu zeminler içinde bulunan beton borularda bu olay gerçekleşebilir. Yer altı suyu bulunmasa bile, yağış suları toprak içinde bulunan klorür iyonunu çözerek beton bünyesine taşıyabilir. Bu olay zeminin heterojen yapısı nedeniyle bölgesel olarak kendini gösterir ve beton içinde yer yer farklı klorür konsantrasyonu oluşmasına neden olur.

#### 5.1.2.1 Zararlı Klorür Limiti

Korozyon olayının yürümesi için mutlaka suya ve oksijene ihtiyaç vardır. Yine aynı nedenle sürekli deniz suyu içinde bulunan betonlarda da oksijen yetersizliği sonucu korozyon hızı düşüktür. Bu nedenle betonarme demirlerinin korozyonuna yalnızca klorür konsantrasyonu

ile karar verilmesi doğru olmaz. Betonarme demirlerinin korozyonu konusunda karar verilirken aşağıdaki hususlarında belirlenmesi gerekir. ( İzomas, 1992-2001 )

- Beton içindeki klorür iyonun bağlı olduğu katyon,
- Klorürün beton içine pirizden önce veya beton sertleştikten sonra girmiş olduğu,
- Beton içinde klorürden başka örneğin sülfat gibi iyonların da bulunup bulunmadığı,
- Beton içinde bazı bölgelerde klorür konsantrasyon farkının bulunup bulunmadığı,
- Beton rutubeti ve pH derecesi.

### 5.1.3 Korozyona Uğrayan Çelik Donatıların Potansiyeli

Oksijen ve suyun dışında beton içindeki korozyon olayına etki yapan başka faktörler de vardır. Bunların başında pH derecesi gelir. Normal bir betonun pH derecesi 12 den yüksektir. Demir + su sistemi için hazırlanmış olan Pourbaix Diyagramı göz önüne alınırsa, bu pH derecesinde demirin ya bağırsıklık, ya da pasiflik bölgesinde olduğu görülür.

pH'sı 12.5 ~ 13.5 olan beton içindeki pasif film ile kaplı çelik donatı yüzeylerinde korozyon olmaz. Dolayısı ile çelik potansiyeli anodik yönde kaydırılırsa dahi herhangi bir çözünme olmaz; çelik polarize olur ve yüksek anodik potansiyellerde su oksitlenerek oksijen gazı açığa çıkar. Fakat sistemde klorürün bulunması pasif tabakayı tahrip edip alttan çeliği açığa çıkardığı için çelik fazla polarize olmaz, fakat derhal çözünmeye başlar.

Beton içinde bulunan donatı için önemli anodik reaksiyonlar ile katodik reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir. Katodik reaksiyonlar, donatı yüzeyinin etrafındaki pH 'a ve O<sub>2</sub> 'nin varlığına bağlıdır.

Anot reaksiyonları,





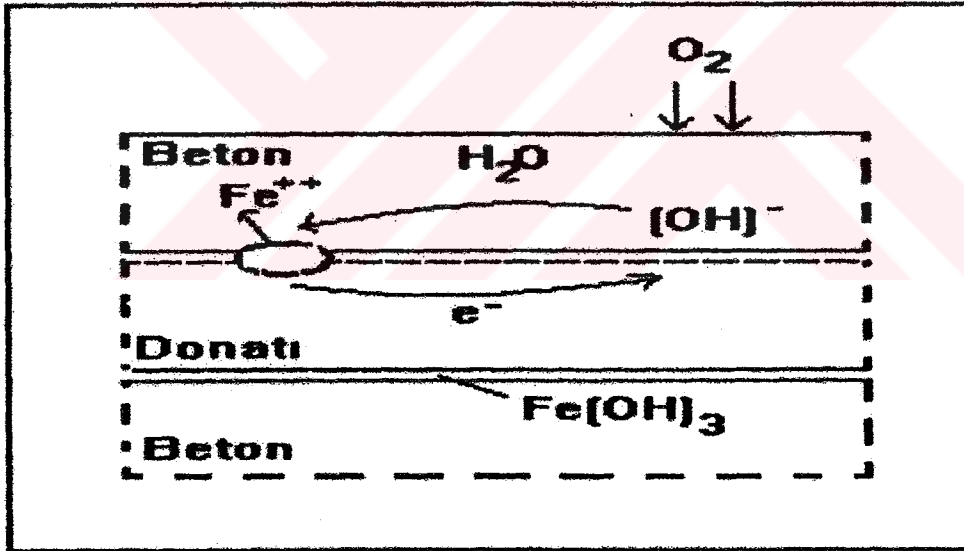
Katot reaksiyonları,



Katotta açığa çıkan hidroksil, anotla açığa çıkan demir iyonları ile birleşerek reaksiyonu ile gösterilen ferrohidroksite, sonra daha kararlı haldeki ferrihidroksite dönüşür.

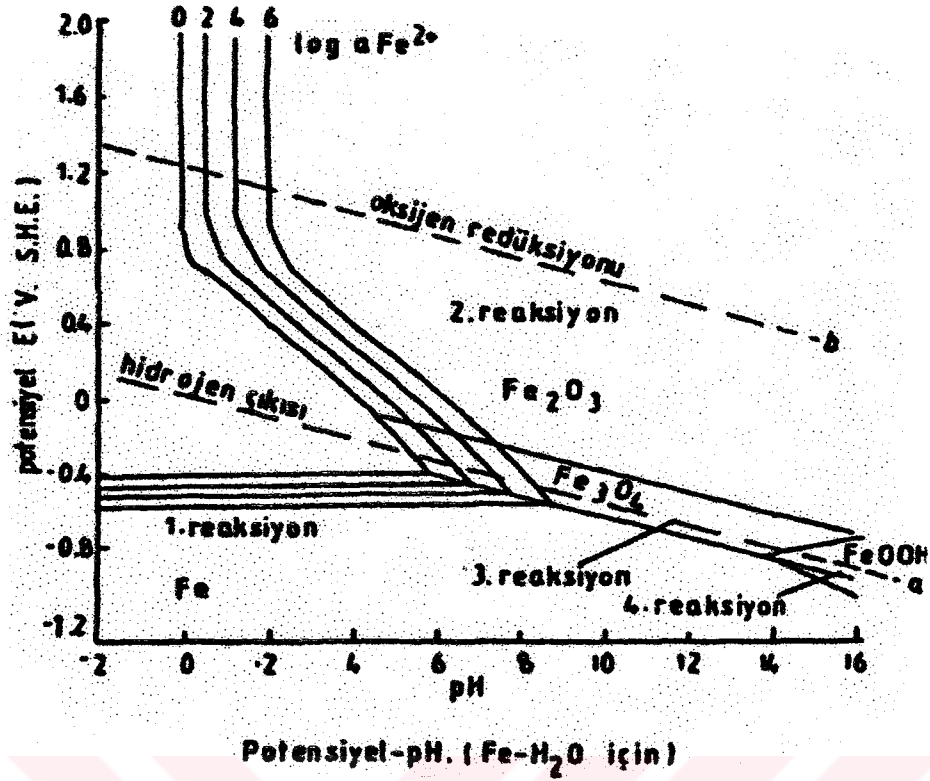


Passivasyon sağlayan ve donatıyı kaplayan pas tabakası da Şekil 5.3 'de görüldüğü gibi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  'tür. ( Yüzer, 1998 )



Şekil 5.3 – Pas Tabakası

Yeterli yoğunluktaki ve yeterli pas payına sahip betonarme elemanında betondaki su miktarı fazla olsa bile O<sub>2</sub> difüzyonu azaldığı için korozyon tehlikeli sınırlara ulaşmayacaktır. Ancak  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  'nin betonda karbonatlaşması veya ortamda belirli sınırı aşmış serbest Cl<sup>-</sup> 'nin varlığı donatı korozyonuna yol açacaktır.



Şekil 5.4 – 25°C ‘de Elektrot Potansiyeli ile Ortamın pH Derecesi Arasındaki İlişki

Metalik korozyonuna ait ortamın asit etkisini belirten elektro-kimyasal denge diagramları Pourbaix tarafından hazırlanmıştır. Şekil 5.4 ‘te “25°C ‘de Elektrot Potansiyeli ile Ortamın pH Derecesi Arasındaki İlişki” gösterilmektedir. Potansiyel pH ( Pourbaix ) diagramları denge termodinamiğine dayalı olup üç bölge belirlerler :

- Muafiyet – Metalin termodinamik olarak dengede ( kararlı ) olayı korozyondan muafır.
- Korozyon – Metalin iyonları termodinamik olarak denge durumunda ( kararlı ) olup, ekseri hallerde korozyon termodinamik yönden öngörülemez bir hızla yer alacaktır.
- Pasivite – Metalin bileşikler termodinamik olarak dengededir (kararlıdır). Bu bileşikler ( yani pasif filmler ) alt tabakaları çevre ile daha fazla reaksiyona girmekten alıkoymalırlar ve koruyucu görev yapabilirler.

Ortamın asitlik veya baziklik kudretini belirten pH değerleri ile metal yüzeyinin oksidasyon veya redüksiyon kudretini belirten elektrot potansiyeline göre hazırlanmış bulunan diagramlar, bir metal ile oksidinin veya oksitlerinin ve çözünebilen tuzlarının kararlılık şartlarının önceden tespit imkanını sağlamaktadır. Diyagramda pH derecesinin  $10 < \text{pH} < 13$  olduğu bölgelerde betonarme demirlerinin potansiyel değerine bağlı olarak ya bağışıklık, ya da pasifleşme bölgesinde olduğu görülmektedir. Ancak bu durum beton içinde hiç klorür iyonu bulunmaması hali için geçerlidir.

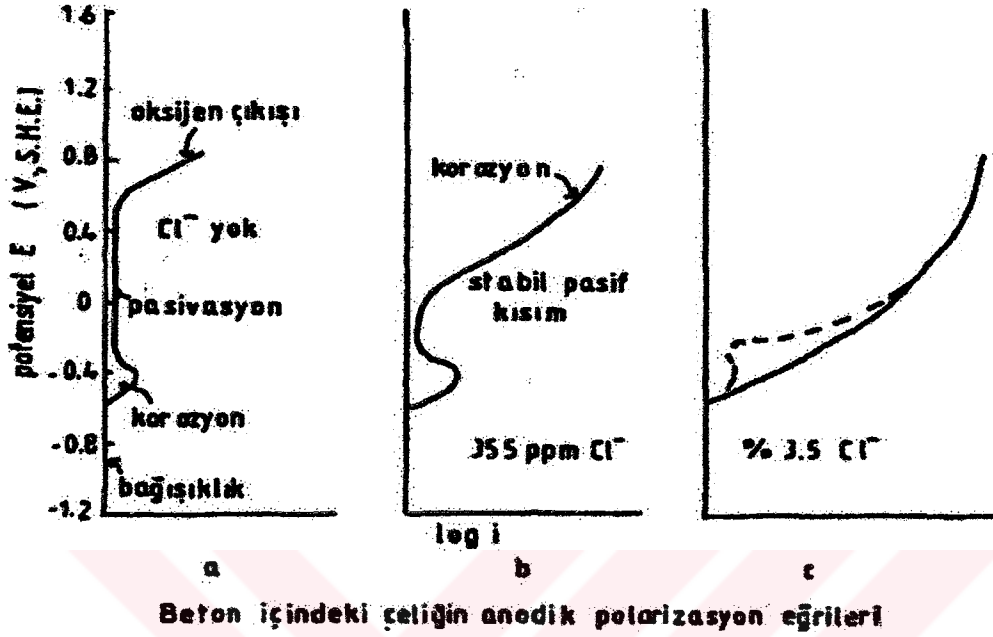
Beton içinde klorür iyonu bulunması halinde durum oldukça farklıdır. Klorürlü ortamlarda demir çok dar bir potansiyel aralığında pasif halde bulunur. İçinde %3,5 oranında klorür iyonu bulunan bir beton için potansiyel - pH diyagramı görülmür. Klorür iyonlarının etkisi ile korozyon bölgesi genişler, diğer taraftan potansiyelin yüksek olduğu bölgelerde pasifleşme bozulur ve çukur tipi korozyon başlar. Pasif olan bölge içinde de pasif tabakanın koruyucu özelliği yeterli değerlidir. Pasif bölgenin klorür iyonu etkisi ile ne derece daraldığı, betonarme demirlerinin klorürsüz betonlar içinde % 3,5 klorür içeren betonlar içinde çizilen anodik polarizasyon eğrilerinden (  $E\text{-log } i$  ) anlaşılabilir. Klorür içermeyen bir beton içindeki betonarme demirleri yaklaşık olarak  $-300 \text{ mV (SHE)}$  de pasifleşmeye başlamakta ve pasif bölge  $+500 \text{ mV}$  potansiyele kadar devam etmektedir. Buna karşılık, içinde % 3,5 oranında klorür bulunan bir beton içindeki betonarme demirlerinde pasifleşme yine  $-300 \text{ mV}$  civarında başlamakla birlikte, çelik çok dar bir bölgede pasif olarak kalmakta ve yaklaşık  $-100 \text{ mV}$  civarında pasiflik bozularak klorür etkisi ile çukur tipi korozyon olayı başlamaktadır. (Schiessel ve Raupach, 1991 ; Çoban, 1998 ; Cansever, 2000)

Pasivite incelemesi şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Pasif filmler ekseri yüksek pH 'lı çevrelerde karbonlu çeliği koruyamazlar. Oksitleyiciler, korozyon durdurucuları, veya başka araçlar baz alınarak korozyonu önlemekte kullanılmaktadır.
- 2) Klorür seviyesinde rastlanan çok farklı değerler betondaki karbonlu çelikte korozyon başlangıcını belirtmektedir. Bu değerler paslanmaz çelik, titan, ve diğer korozyona dirençli alaşımları pasiviteden kurtarmaya yarayan seviyelerden daha yüksektir.

Şekil 5.5 “Beton İçindeki Çeliğin Anodik Polarizasyon Eğrileri” verilmiştir. Buna göre a parçasında, ortamda klor iyonu mevcut değildir ve gayet kararlı bir pasif tabaka mevcuttur. Şeklin b parçasında ise ortamda 335 ppm klor iyonu bulunması halidir. Hiç klor iyonu

olmaması halinde daha küçük fakat yine de passivasyon stabil olduğu bir bölge mevcuttur. Klor iyonu konsantrasyonunun 35000 ppm ( %3.5 ) 'e ulaşması halinde ise pasif tabaka görülmektedir.



Şekil 5.5 – Beton İçindeki Çeliğin Anodik Polarizasyon Eğrileri

## 5.2 Deniz Ortamındaki Betonarme Yapıların Korozyonu

Deniz suyu içinde yük taşıyıcı olarak bulunan iskele, platform ve köprü çelik ayakları deniz suyunun şiddetli korozif etkisi altında bulunmaktadır. Korozyon hızı özellikle su çarpma bölgesinde artmaktadır. Deniz içi çelik kazıkları korozyondan korunmak üzere korozyonun etkin olduğu bölgelere koruyucu kaplama uygulanmakta ayrıca kazıkların tamamı katodik olarak korunmaktadır. ( Koç, 1998 )

Çelik boru veya H profil olarak deniz tabanındaki çamur içine çakılmış olan bu kazıklar deniz suyunun şiddetli korozif etkisi altında kısa sürede korozyona uğrayarak taşıyıcı görevlerini yapamaz hale gelirler. Çeşitli denizlerde tuzluluk derecesi farklı olmakla beraber, deniz suyu içinde bulunan tuzların yaklaşık %75'ini sodyum klorür oluşturur. Klorür iyonu demir ve çeliğin pasifleşmesini önleyen aktif bir iyondur. Bu nedenle, deniz içinde bulunan çelik yüzeylerinin oksit tabakaları ile kaplanarak zamanla pasifleşmesi mümkün olmaz. Diğer taraftan deniz suyunun elektriksel iletkenliği de çok yüksektir. Çözülmüş tuz konsantrasyonuna bağlı olarak deniz suyunun rezistivitesi 25-50 Ohm.cm arasında değişir. Bu nedenle de çelik kazıkların katodik koruma akım ihtiyaçları oldukça büyük değerler

göstermektedir. Uygulanacak katodik koruma sisteminin seçiminde de zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların en önemlisi akımın çok sayıda kazık arasında homojen olarak dağıtılmasıdır. Rezistivitenin düşük oluşu, çelik yüzeylerde oluşan galvanik hücrelerden geçen korozyon akımının artmasına neden olur.

Deniz suyu içindeki korozyon hızı olarak literatürde 0,08 – 0,13 mm/yıl (Ortalama 0,10 mm/yıl) değerleri verilmektedir. Ancak korozyon olayı üniform dağılımlı olmayıp, bazı bölgelerde daha etkili olmak üzere çukurcuklar şeklindedir. Deniz içinde çakılmış olan kazıkların korozyonunu etkili şekilde önlemek üzere katodik koruma uygulanmaktadır. Aynen zemin içi yapılarda olduğu gibi, deniz içi yapılarda da hem galvanik anotlu hem de akım kaynaklı katodik koruma sistemleri uygulanabilmektedir. Ancak deniz suyu içindeki korozyon olayının bazı özellikleri nedeniyle uygulamada bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Katodik koruma uygulamasına geçmeden önce, deniz içi korozyonun karakteristik özelliklerinin incelenmesi yararlı olacaktır. ( Chandler, 1984 )

### 5.2.1 Deniz Suyu İçindeki Korozyon

Deniz suyu yüksek konsantrasyonda klorür iyonu içerdiği için metal yüzeylerinde anodik polarizasyon oluşmaz. Korozyon olayı genellikle katodik depolarizasyon reaksiyonunun kontrolü altındadır. Su altında yürüyen depolarizasyon olayı için iki temel reaksiyon söz konusudur.

a-) Hidrojen çıkışı :



b-) Oksijen difüzyonu :



Deniz suyunun pH derecesi 7.50 - pH 8.50 arasında değiştiği için katod bölgelerinde (a) reaksiyonunun gerçekleşmesi güçtür. Korozyon olayının yürüyebilmesi için katod bölgesinde yeteri miktarda oksijen difüzyonlanması ve (b) reaksiyonunun oluşması gerekir. Bu durum deniz içine çakılmış kazıklarda korozyon olayının yürütmesinde önemli rol oynar. Metal yüzeyine oksijen difüzyonlanması yönünden kazık profili boyunca birbirinden farklı üç korozyon bölgesi söz konusu olur. Metal yüzeyine en kolay oksijen difüzyonu deniz seviyesi üzerinde kalan ve gel-git olayı ile dalga etkisi sonucu zaman zaman ıslanan bölgede görülür. Oksijen deniz

suyu içinde az miktarda çözünebilir. (yaklaşık 8-10 mg/lt). Bu nedenle deniz yüzeyinden aşağıya doğru gidildikçe, atmosferden oksijen difüzyonu gittikçe azalır. Bu durum kazık profili boyunca korozyon hızının da büyük ölçülerde değişmesine neden olur. ( Chandler, 1984 ; Koç, 1998 )

Deniz yüzeyinin 1m. kadar üzerinde korozyon hızının maksimum değeri aldığı görülmektedir. Bu bölge gel-git ve dalga etkisi ile zaman zaman ıslanmakta ve metal yüzeyine doğrudan oksijen temas edebilmektedir. Korozyon hızının maksimum olduğu bu bölge kazığın en zayıf noktasıdır. Bu bölgedeki korozyon hızı birçok araştırmacı tarafından değişik denizlerde ölçülmüştür. Meksika körfezinde maksimum korozyon hızı 1.4 mm/yıl olarak bulunmuştur. Kazık yüzeylerinde oluşan korozyon oyuk tipinde olduğundan üniform yapıda değildir. Ortalama korozyon hızı yukarıda verilen değerden daha düşüktür. Yapılan bir araştırmada, 15 yılda ortalama korozyon derinliği deniz suyu içinde 4mm, dalga etkisinde kalan bölgede 8 mm olarak bulunmuştur. [4]

## 6. KOROZYONUN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN TEŞHİSLER VE İNCELEMELER

Betonarme yapıların servis ömrünü etkileyen faktörler, çevre etkileri ( mikro iklim ), tasarım, kötü malzeme, kötü iş ve rutin bakımların aksatılması olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin hepsi, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ve Cl<sup>-</sup> 'nin betona nüfuz etmesini aşırı hızlandırır. Yapının genç yaşlarında başlayıp gelişebilen bu nüfuzun ardından tahribat faslına geçilmekte, “ kanser ” hızla yaygınlaşmaktadır. Kötü işçiliğin bir sonucu olan tehlikeli bir şey de, düşük paspayıdır. Beton ne kadar kaliteli yapılırsa yapılsın, paspayı çok düşük olursa, beton karbonasyon açısından çok büyük risk altındadır. Betonda kanser kendini ilk olarak çatlaklar ve lekeler olarak gösterir. Betonun “ ben hastayım ” diye verdiği bu ilk sinyaller, tecrübeli ve bilgili personel tarafından değerlendirilmelidir. Örneğin çatlakların yapıdaki konumu, genişlikleri, boyutları ve betondaki renk değişimlerinden araştırmayı yapan kişi gerekli mesajları alabilmeleridir. Teşhiste doğru karar vermek için söyle bir çalışma sırası uygulanmalıdır :

- a-) Şüpheli yapının genel olarak incelenmesi;
- b-) Kalite kontrol raporları incelenmesi, eğer kalite kontrolü yapılmamış ise, numune alarak ve tahribatsız deneylerle beton karışımı hakkında bilgi sağlanması;
- c-) Taşıdığı yük ve doğal çevre şartları açısından kanser riskli bölgelerin tesbiti;
- d-) Çatlak incelenmesi;
- e-) Karbonasyon, klor deneyleri ve elektropotansiyel ölçümler;
- f-) Beton bileşenleri hakkında bilgi verecek diğer deneyler.

Çatlak muayenelerini aşağıdaki iki kademede yapmak uygun olur; “A” kademesi olarak:

- A 1-) Genişlik ve derinlik tesbiti;
- A 2-) Paspayı ölçümü;
- A 3-) Çatlak derinliği ve genişliği;
- A 4-) Çatlak haritası, fotoğraflar ve detaylı çizim;
- A 5-) Verilerin incelenmesi ve B kademesine geçilip geçilemeyeceğine karar verilmesi.

“B” Kademesi (Detaylı deney ve muayeneler):

B 1-) Donatının bir kısmının beton içinden açığa çıkarılması;

B 2-) Elektropotansiyel ölçümler;

B 3-) Toz numune alınması;

B 4-) Beton yüzeyindeki lekelerin incelenmesi;

B 5-) Karot numune alınması;

B 6-) Varsa endoskop ile inceleme.

Korozyon açısından en riskli bölgeler tesbit edildikten sonra, bu bölgelerde betonarme çeliği açığa çıkarılır, rengi ve durumu hakkında rapor tutularak, fotoğraf çekilir. Genellikle,  $0.5 \times 0.5$  m<sup>2</sup> 'lik bir beton yüzey alanı bu iş için yeterli bilgiyi verebilmektedir. Çeliğin açığa çıkmasından sonra korozyon potansiyelini ölçmek mümkündür. Elde edilen bu bilgileri, çevre şartlarını da göz önünde bulundurarak, çeliğin korozyonu açısından aktif veya pasif kıyaslanmasında kullanılır. Çünkü ölçülen bu potansiyeller betonun o andaki fiziksel durumuna da bağlıdır. Örneğin betonun nemi ölçüm esnasında düşük ise, elde edilen düşük potansiyel ölçümleri, bize yanıltıcı bilgiler vermektedir. ( Balta ve Cilason, 1994 ; Bogard vd., 1990 )

## 6.1 Muayene ve Deneyler

Betonarme çeliklerinin korozyonu sonucu meydana gelen içsel gerilmeler betonu çatlatır, hatta şiddetli korozyon halinde demirler üzerinde bulunan beton kabuk halinde kalkabilir. Ancak betonun bu görünüşü her zaman betonarme demirlerinin korozyonundan ileri gelmez. Betonların sülfat korozyonu ve alkali-agrega reaksiyonu da benzer şekilde çatlamalara neden olabilir. Bu nedenle korozyon olayına kesin olarak karar verebilmek için betonarme demirlerinin potansiyelinin ölçülmesi ve beton içindeki klorür konsantrasyonunun belirlenmesi gerekir. Elektro-potansiyel araştırma sonuçlarının daha verimli kullanılabilmesi için elektrik direnç deneyleri tavsiye edilebilir. Bilindiği gibi elektro kimyasal bir olay olan korozyon, beton boşluklarında bulunan nem içindeki iyonların varlığı ile gelişir. Bu iyonlar betonun elektriksel iletkenliğinde rol oynarlar. Betonun iletkenliği, kalitesine ve nem miktarına bağlı olarak 100 Ohm.cm 'den 100.000 Ohm.cm'e kadar değerler alınabilir. Elektriksel direnç ne kadar yüksek olursa, beton korozyona karşı o kadar dayanıklıdır

diyebiliriz. Yapılan ölçümler sonucu tespit edilen riskli bölgelerden toz veya karot şeklinde numune alınarak karbonasyon, klor deneyi ve çimento dozu tayini deneyleri yapılabilir. Numune almadan önce paspayının kalınlığı ve çeliğin konumu tespit edilmiş olmalıdır. ( İzomas, 1992-2001 )

### 6.1.1 Karbonasyon Deneyi

Bu deney, betondan alınmış numuneler üzerine bir baz indikatörü ( ör:fenolfitalein ) püskürtülmesiyle elde edilen renk değişiminden yararlanarak yapılır. Betona geçirimli boşluklar yardımı ile giren  $\text{CO}_2$ , boşluk suyundaki serbest  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile birleşerek ortamın pH değerini düşür. Bilindiği gibi pH değeri bir ortamdaki  $\text{H}_3\text{O}^+$  veya  $\text{OH}^-$  iyonlarının konsantrasyonu hakkında bilgi veren 1-14 arası boyutsuz bir değerdir. Beton yüzeyine sürülen baz indikatörü, yaklaşık pH değeri 11-12.5 arası olan betonu, koyu pembe renge dönüştürür. pH değeri karbonasyon sonucu 8-9 'a düşmüş beton ise renk değişimi göstermez. Bilindiği gibi çeliğin korozyona karşı doğal koruyucu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tabakası ancak yüksek pH değerinde varlığını korur.

### 6.1.2 Betonarme Çeliğinin Potansiyelinin Ölçülmesi

Betonarme çeliklerinin potansiyeli ASTM - C 876 ya göre ölçülür. Bu amaçla doygun bakır / bakır sülfat referans elektrodu kullanılır. Deney sonunda elde edilen değerleri ASTM C-876 'ya göre değerlendirilerek betonarme çeliklerinin korozyon durumu hakkında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir; ( İzomas, 1992-2001 )

- Potansiyel değeri -200 mV dan daha pozitif ise, betonarme çelikleri % 90 bir ihtimalle pasif halde bulunmaktadır.
- Potansiyel değeri -350 mV dan daha negatif ise, betonarme çelikleri % 90 bir ihtimalle korozyona uğramaktadır.
- Potansiyel değeri -200 mV ile - 350 mV arasında bulunuyor ise, betonarme çeliklerinin korozyona uğrayıp uğramadığı hakkında bir karar verebilmek mümkün değildir.

### 6.1.3 Beton pH Derecesi ve Klorür Tayini

Beton içinde bulunan klorür konsantrasyonu biri asitte çözünen, diğeri suda çözünen olmak üzere iki şekilde tayin edilir. Klorür konsantrasyonu tayini için betondan numune alınış şekli sonuca etki yapar. Klorür konsantrasyonu yüzeyden itibaren derinliğe göre değişir. Bu nedenle numunenin alınmış olduğu derinlik büyük önem taşır. Beton bir breyz makinası ile delinerek belli derinlikten çıkan toz halindeki beton toplanır ve klorür tayini deneyi bu numune üzerinde yapılır. Toz halindeki beton numunesi asitte çözülerek klorür iyonları gümüş nitrat çözeltisi ile titre edilir. Böylece beton içindeki toplam klorür bulunmuş olur. Suda çözünen klorür konsantrasyonunu bulmak için, toz edilmiş betondan alınan bir miktar numune su içinde 24 saat bekletilir. Çözeltiye geçen klorür iyonları nötrü ortamda gümüş nitrat ile titre edilir.

Beton içine girmiş olan klorürü yüzeyden basınçlı su ile yıkayarak kısmen temizlemek mümkündür. Bu amaçla 10 MPa basıncındaki temiz su beton yüzeylerine püskürtülür. Bu su beton boşluklarına girerek orada bulunan klorür iyonlarını çözerek dışarı taşıyabilir. Ancak bu tip temizleme yüzeylerde etkili olur. Daha etkili bir klorür giderme yöntemi de elektrokimyasal olarak “iyon taşınması” yöntemidir. Klorür iyonu, elektrokimyasal olarak yürüten korozyon reaksiyonunda kimyasal katalizör olarak rol alır. Dışardan tekrar  $Cl^-$  iyonu girmese de, beton içindeki mevcut klorürler  $O_2$ 'le suyun bulunduğu ortamlarda donatıyı korozyona uğratmaya devam ederler. Anot bölgesinde yürüten korozyon reaksiyonu, klorür iyonunun etkisi ile meydana gelen reaksiyonlar şöyledir. ( İzomas, 1992-2001 )



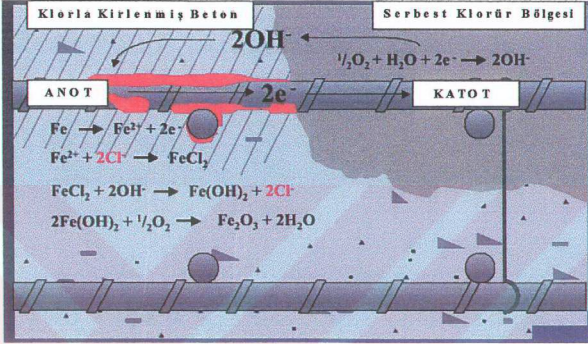
Burada üretilen elektronlar, katot bölgesinde su ve  $O_2$  'li ortamda harcanırlar. Katot bölgesinde yürüten reaksiyon ise, şöyledir;



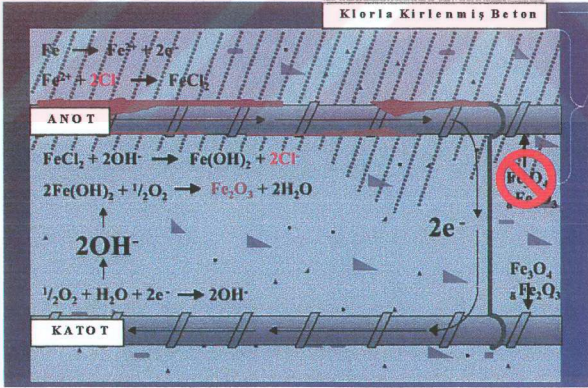
Bunların toplamı olan toplu reaksiyon;



Bu toplu reaksiyondan da görülmektedir klorürle kirlenmiş bir betonda  $\text{O}_2$  bulunduğu zaman korozyon reaksiyonu devam eder. Bu reaksiyonun tam şematik görüntüsü Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 olarak aşağıdadır.



Şekil 6.1- Klorürle Kirlenmiş Beton ve Yapısı

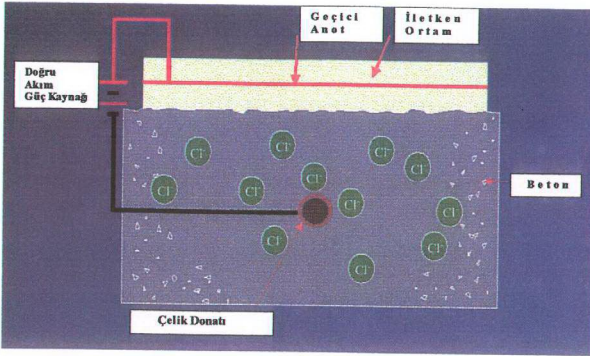


Şekil 6.2- Yapıda Bulunan  $\text{O}_2$ 'nin Korozyon Reaksiyonunu Devam Ettirmesi

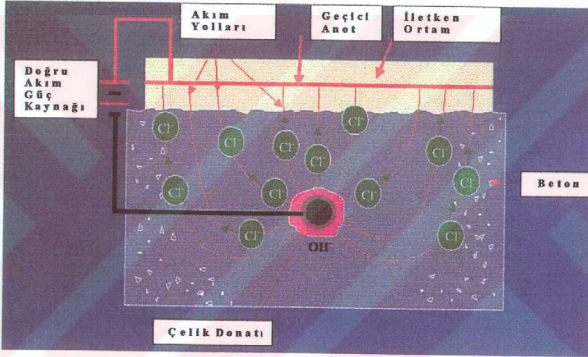
Bağıl nemin yüksek olduğu denize yakın ortamlarda, rüzgarın ve hava sirkülasyonlarının etkisiyle de deniz suyunda sürekli  $\text{Cl}^-$  İyonu ortama taşınmaktadır. Betonun gözenekli yapısı dikkate alınır, beton içine  $\text{O}_2$  difüzyonu kaçınılmazdır. Bu koşullarda, betonun sürekli

olarak klorla kirlenmesi doğal bir olaydır. Beton yüzeyine yapılacak işlemlerden sonra artık klorür girişi engellense bile, daha önce girmiş olan  $\text{Cl}^-$  iyonları korozyonun sürekli olarak devam etmesini sağlamaya yeterlidir. [3]

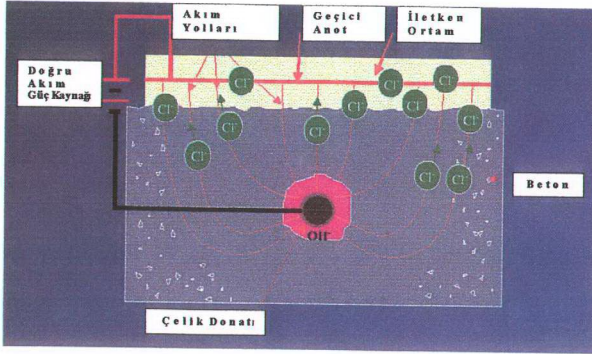
Yerinden alınan örneklerde zararlı  $\text{Cl}^-$  limiti üzerinde,  $\text{Cl}^-$  iyonu tespit edilmiştir. Çözölmüş halde bulunan  $\text{Cl}^-$  iyonları, elektrikle yüklü olduğundan uzaklaştırma işleminde elektro kimyasal yöntemler uygulanır. İşte, elektro-kimyasal olarak klorürün beton içinden beton dışına çıkarılması işlemine elektro-kimyasal klorür ekstraksiyonu denir ve bu tanıımı ECE ile sembolize ediyoruz. ECE prosesi elektrokimyasal bir proses olduğundan, bu prosesin uygulanmasında 4 temel eleman bulunması gerekir. Bunlar anot, elektrolit, katot ve doğru akım güç kaynağıdır. Anot olarak kullanılacak malzemelerin elektrolit olan beton içinde kalması ve olabildiğince harcanmaması gerekir. Yapılan çalışmalarda, geliştirilen anot; titanyum bazlı karma oksit kaplı anottur. Bu anotların yüzeylerinin artırılması ve akım dağılımının homojenizasyonu için elek şeklinde kullanılması uygulamada tercih edilmelidir. Elektrolitik ortam olan betonun bu prosesin uygulamasında mutlaka iletken özellik taşıması gerekir. Su ile ıslanmış betonlarda, beton gözeneklerinde bulunan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  betonda iletkenliği sağlar.  $\text{Cl}^-$  iyonlarıyla kirlenmiş olan betonlarda da mevcut klorür iyonları bu iletkenliğin artmasına sebep olur. Betonun aşırı kuru olması halinde su ile ıslatılması gerekir. Özellikle alkali-silika reaksiyonlarının oluştuğu betonlarda başta olmak üzere, betonda iletkenliği artırıcı çözelti olarak lityum borat kullanılmaktadır. Bu çözelti donatının daha fazla pasifleşmesine de ayrıca yardımcı olmaktadır. pH değeri çok düşmüş olan (pH 9) betonlarda iletkenlik artırıcı elektrolit olarak çeşitli çözeltileri kullanılır. Bu süreçte katot olarak beton içindeki mevcut donatı kullanılır. Donatı negatif elektrikle yüklü olacağından,  $\text{Cl}^-$  iyonlarını itecek ancak yüzeyinde katot reaksiyonları devam edecektir. ECE projesi öncesi katot yüzeyleri bazik bir karakter taşıırken bu prosesin uygulanması sırasında bu özelliğinden bir miktar kaybolur. Çünkü katot bölgesine suda mevcut  $\text{H}^+$  iyonları göç eder. Bu iyonların bir kısmı burada indirgenirken kalan kısmı ortamın bazik karakterini aşağıya çeker. Bu nedenle bu prosesin kontrollü bir şekilde yapılmasına mutlak surette ihtiyaç vardır. İşte prosesin kontrolü doğru akım güç kaynağından sağladığımız enerjinin kontrol edilmesi ile sağlanır. Uygulamada donatı potansiyeli ve doğru akım kaynağından çekilen akım 2 ayrı parametre olarak ele alınır. Ve bu parametreler sınır değerleri belirlenerek uygulanır. Sistemin şematik olarak işleyişi kademeli olarak Şekil 6.3 , Şekil 6.4 , Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 'da verilmektedir. Bu prosesin işleyişi ve klorür iyonlarının beton dışına çıkarılış basamakları görsel ve şematik olarak, aşağıda verilmektedir. ( İzomas, 1992-2001 )



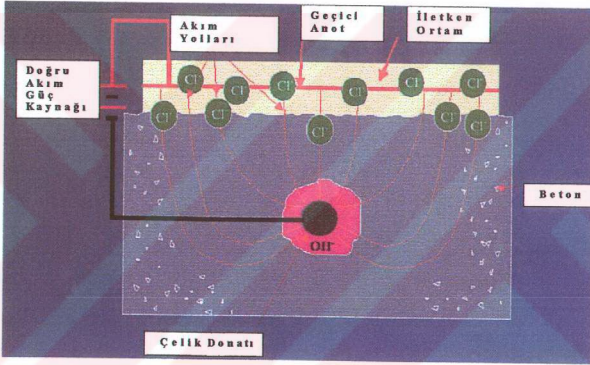
Şekil 6.3- Beton ve Donatının Klorürlü Bir Ortamdaki Mekanizması



Şekil 6.4- Elektro-Potansiyel Prosesin Başlangıcı



Şekil 6.5- Katot Olan Donatının Klorür İyonlarını İtmesi ve Gelişen Katot Reaksiyonu



Şekil 6.6- Prosesin İşleyişi ve Klorür İyonlarının Beton Dışına Çıkması

## 7. BETON DONATILARDA KOROZYONA KARŞI ALINABİLECEK ÖNLEMLER VE TEDBİRLER

Tedavi metodunun belirlenmesi, malzeme seçimi ile birlikte yapılmalıdır. Betonda kendini çatlaklar olarak belli eden hastalığın beraber pas lekeleri de mevcut ise, yani çelikte korozyon başlamış ise, beton yüzeyi kesilip alınmalı ve çelik temizlendikten sonra tedavi yapılmalıdır. Çatlak ne olursa olsun, tedavi etmeden önce, aktifliğini kaybettiğinden emin olunmalıdır. Çatlak tedavisindeki en önemli amaç çeliğin korozyonunu engellemektir. Ancak genel görüş, 0.3 mm'den büyük çatlakların tehlike oluşturduğu ve tedavi edilmesi gerektirir. Beton içindeki çelik donatıların korozyonundan korunması için günümüzde uygulanan yöntemler;

- a) Beton yapısı ile ilgili olanlar,
- b) Dışarıdan korozif öğelerin betona girmesini engellemeyi amaçlayanlar,
- c) Çeliğin korozyonunu frenlemek için betona yapılan katkıları,
- d) Çelik donatıların kaplanması,
- e) Çelik donatıların katodik korunması.

olarak genel bir sınıflandırma yapabiliriz. ( Mailvaganam, 1992 ; Balta ve Cilason, 1994 )

### 7.1 Beton Yapısı ile İlgili Olanlar ( a )

#### 7.1.1 Pas Payının Artırılması

Betonarme çelikleri üzerindeki beton tabakası kalınlığı ( pas payı ) ne kadar fazla olursa betonarme çelikleri korozyondan o derece iyi korunmuş olur. Betonarme demirleri genellikle yüzeyden 5.0 – 7.5 cm derine konur. Su altında bulunan bir beton içine difüzlener klorür konsantrasyonu yüzeyden itibaren mesafeye bağlı olarak azalır. Eğer beton atmosferde bulunuyor ise, yüzeye yakın olan bölgede yağmur suları ile yıkanma olacağından bu bölgede klorür konsantrasyonu düşüktür. ( Balta ve Cilason, 1994 ; İzomas, 1992-2001 )

#### 7.1.2 Klorür Miktarının Zararlı Klorür Limitinin Altına Düşürülmesi

Beton içinde ne miktarda klorür bulunması halinde betonarme çeliklerinde korozyon olayının başlayacağı tartışmalı bir konudur. Bu konuda literatürde farklı değerler bulunmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Karayolları Laboratuvarlarında yapılan geniş kapsamlı araştırmalarda, beton içerisinde % 0,20 'den fazla klorür bulunması halinde betonarme çeliklerinin korozyona uğrayacağı ortaya konulmuştur. Bu klorür beton içinde bulunan toplam klorürdür. Bunun yaklaşık olarak % 75' ini suda çözünebilen klorür tuzları oluşturmaktadır. Yukarıda verilmiş olan değerler normal betonlar içindir. Ön gerilmeli betonarme çelikleri klorür etkisine normal betonlardan daha duyarlıdır. Ön gerilmeli betonlar için maksimum klorür limiti % 0,08 olarak verilmektedir.

Standartlarda verilmiş olan bu limit değerler çoğu zaman garanti sağlamaz. Çünkü difüzyon yoluyla beton bünyesine giren klorür iyonları beton içinde üniform biçimde dağılmaz. Yüzeyden derine doğru parabolik bir azalma gözlenir. Diğer taraftan beton yapısındaki farklılıklar nedeniyle klorür konsantrasyonu da yer yer farklılık gösterir. Bu farklılık iki betonarme çeliği arasında konsantrasyon pili oluşmasına ve bunun sonucu olarak korozyon hızının artmasına neden olur. Yüzeye yakın olan betonarme çelikleri rutubetli ve klorürlü halde iken, daha derinde olan demir kuru ve klorürsüz durumda olabilir. Bazı halde de beton içinde yukarıda verilen limit değerlerin çok üzerinde klorür iyonu bulunmasına rağmen betonarme demirlerinin korozyona uğramadığı görülür. Tam olarak kuru olan betonlarda klorür etkili olmaz. Korozyon olayının yürümesi için mutlaka suya ve oksijene ihtiyaç vardır. Yine aynı nedenle sürekli deniz suyu içinde bulunan betonlarda da oksijen yetersizliği sonucu korozyon hızı çok düşüktür. Bu nedenle betonarme çeliklerinin korozyonuna yalnızca klorür konsantrasyonu ile karar verilmesi doğru olmaz. Betonarme çeliklerinin korozyonu konusunda karar verilirken aşağıdaki hususlarında belirlenmesi gerekir.

- Beton içindeki klorür iyonunun bağlı olduğu katyon,
- Klorürün beton içine pirizden önce veya beton sertleştikten sonra girmiş olduğu,
- Beton içinde klorürden başka örneğin sülfat gibi iyonların da bulunup bulunmadığı,
- Beton içinde bazı bölgelerde klorür konsantrasyon farkının bulunup bulunmadığı,
- Beton rutubeti ve pH derecesi.

Daha önce açıklandığı üzere, beton pH derecesi düşük olduğu zaman klorür iyonlarının betonarme demirleri üzerine zararlı etkisinde artış olmaktadır. Bu nedenle yalnız klorür

konsantrasyonu için limit değer vermek yerine  $[Cl^-] / [OH^-]$  molar oranı için limit verilmesinin daha doğru olacağı ileri sürülmektedir. Yapılan deneyler betonarme çeliklerinin korozyon hızının  $[Cl^-] / [OH^-]$  oranına bağlı olarak değiştiğini açıkça ortaya koymaktadır. Betonarme çelikleri kalıplara yerleştirilirken bağlantı noktaları kaynaklı değilse direnç oluşabilir. Bu direnç düşük voltajlı akımı taşımakta zorluk yaratır. Bu nedenle elektriksel bağlantıların yeterli olup olmadığı katodik koruma uygulanmadan önce deneysel olarak belirlenmelidir. Bağlantı kontrolü doğrudan direnç ölçülerek yapılabildiği gibi, beton yüzeyinden yapılan potansiyel ölçümleri ile de belirlenebilir. Aynı noktadan ölçülen iki ayrı betonarme çeliğinin potansiyelleri arasında 5 mV dan daha fazla fark bulunmaması halinde bağlantıların yeterli olduğuna karar verilir. ( İzomas, 1992-2001 )

### 7.1.3 Kür

Çimentolu harçların küre ihtiyaçları vardır. Çünkü çabuk kuruma, çimentolu harcın hidrasyonu yarıda bırakıldığı gibi ayrıca, hidrasyon sonucu oluşacak ısı da, çatlaklara neden olur. Bu yüzden kür oldukça önemlidir.

## 7.2 Dışarıdan Korozif Öğelerin Betona Girmesini Engellemeyi Amaçlayanlar ( b )

Betonarme çeliklerinin korozyonuna neden olan bileşenler beton içine dışardan gelir. O halde porozitesi ve permeabilitesi düşük bir beton yapılarak betonarme çeliklerinin korozyonu büyük ölçüde azaltılabilir. Veya beton çevresinden izole edilerek zararlı bileşenlerin özellikle klorür ve oksijenin beton içine difüzyonu tam olarak önlenir. Bu amaçla beton yüzeyleri geçirimsiz bir malzeme ile kaplanır veya boyanır. Beton permeabilitesini azaltmak veya beton yüzeylerini geçirimsiz hale getirmek amacıyla pratikte çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

### 7.2.1 Beton Permeabilitesinin Azaltılması

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

### 7.2.2 Beton Yüzeylerinin Polimer veya Plastik ile Kaplanması

Beton sertleştikten sonra yüzeylerine monomer halinde bir plastik madde sürülerek orada polimerleşmesi sağlanır. Bu yolla tam geçirimsiz bir tabaka elde edilebilir. Plastik maddenin beton yüzeyine sıkıca yapışmasını sağlamak için kaplamanın uygulanmasından önce vakum yapılarak beton boşlukları içinde bulunan su, buhar halinde uzaklaştırılır.

### 7.2.3 Portland Çimentosu Şerbeti ile Kaplama

Beton sertleştikten bir kaç gün sonra, beton yüzeyleri bir çimento şerbeti ile kaplanır. Çimento şerbeti tam geçirimsiz olmamakla beraber beton içine klorür difüzyon hızını büyük ölçülerde azaltır.

### 7.2.4 Çimento Harçlarının Uygulanması

Çimento harcı uygulamadan önce, eski beton yüzeyi mümkün olduğu doygun – yüzey - kuru hale getirilmelidir. Eski beton yüzeyi, tercihen polimer katkı bir çimento şerbeti ile kaplanmalıdır. Genellikle kullanılan polimerler, çimentonun hacimce yarısı kadardır. Bazı durumlarda sadece polimer de kullanılabilir. Bütün bu işlemlerin amacı, tedavi malzemesi ile eski beton arasında iyi bir bağ sağlamak ve çimento karışımından su emilmesini engellemektedir.

### 7.2.5 Yüzey Kaplamaları

Yüzey kaplamalarının tek amacı betona doğal çevreden agresif maddelerin girmesini engellemektedir. Agresif maddeler değişik fiziksel durumlarda bulunabileceği ( gaz, sıvı ) için değişik karakterlerde birçok kaplama malzemesi vardır.

### 7.2.6 Anti-Karbonasyon Kaplamaları

Bu kaplamalar, betona atmosferdeki  $CO_2$  'nin ve  $O_2$  'nin girmesini engelleyerek, karbonasyon olayını durdurmak amacıyla kullanılırlar. Bu tür kaplamaların bileşenleri

genellikle klor içeren lastikler, poliüretan reçineleri veya akrilik emülsiyonlardır. Anti-Karbonasyon kaplamalarının çoğu ince bir tabaka halinde bir boya gibi yüzeye sürülürler ve beton boşluklarındaki suyun buhar halinde, betondan çıkışını engellemezler. Aksi halde beton yüzeyi ile kaplama arasında hava kabarcıklarını oluşturması ve kaplamanın bu noktalardan zedelenmesi kaçınılmaz olur.

### 7.2.7 Su Geçirimsiz Kaplamalar

Bu tür kaplamalar, genellikle poliüretan ve akrilik kökenli olurlar. Genellikle betonda oluşan çatlakların kaplamasında kullanılırlar. Yüzey gözenekleri veya çatlaklar, doldurulmak yerine, yüzeyin fiziksel özellikleri değiştirilerek su itici hale getirilir. Kullanılan koruyucu kaplamalar temelde şu ana bileşenlerden oluşurlar;

- Bağlayıcılar
- Sulandırıcılar
- Çözücüler
- Dolgu ve boya bileşenleri

Bu dört bileşenden, bağlayıcılar önemlidir. Çünkü yüzeye aderansı ve zamanla yıpranmaya karşı direnci sağlar. Sulandırıcılar ve çözücüler vizkositenin düşürülmesi için kullanılırlar. Genelde dolgu, koruyucu kaplamanın amacına göre kullanılırken, boyalar ise mimari ve estetik isteğe göre kullanılırlar.

### 7.3 Betonarme Yapılardaki Çeliklerin Korozyonuna Pozolanın Etkisi ( c )

Pozolan malzemeler ince öğütülmüş silisli ve alüminli maddelerdir, yalnız başlarına bağlayıcılık özellikleri olmamasına rağmen normal şartlarda kireç veya çimento ile karıştırıldığında su ile yaptığı reaksiyon sonunda, suda çözünmeyen, kararlı, bağlayıcı malzeme özelliği kazanır. Portland çimentosuna pozolan ilave edildiğinde çimentonun hidratasyonu sonunda açığa çıkan ve betonun durabilitesinde önemli rolü oynayan  $\text{Ca(OH)}_2$  (serbest kireç), pozolan içindeki  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  arasında oluşan reaksiyon sonucunda tesbit edilir. Çimentoya ikameli olarak katılan pozolan, betonun plastikliğini artırır, terlemeyi, segregasyonu, hidratasyon ısını ve betonun geçirgenliğini azaltır. ( Yüzer, 1998 )

Klorür iyonları konsantrasyonu belirli bir değere eriştikten sonra, bu iyonlar betonla çelik arasındaki tabakaya geçerek pasiviteyi kaldırır. Bu iyonlar çimentodaki kalsiyum aluminatlarla reaksiyona girerek kalsiyum kloroaluminatlara dönüşür ve bunlar da ayrıca çeliklerin korozyonunu hızlandıran serbest klorür iyonları oluşturur. Ara boşluklardaki  $\text{Ca(OH)}_2$  'in atmosferik  $\text{CO}_2$  ile reaksiyonundan oluşan betonun karbonasyonu da çeliğin korozyona uğramasını sağlar. Ortamdaki pH değeri bu sırada azalarak çeliğin pasif durumdan aktif duruma geçişine sebep olur. Betondaki çatlaklar da korozif elementlerin kolayca migrasyonunu sağladıklarından, korozyon hızının artmasına yardımcı olur. Betonun korozyona karşı mukavemetini arttırmak için taze betona çeşitli maddeler katılır. Pozolan bunlardan biri olup; betonun hidrasyon ısısı ile sülfat etkisini azaltır ve betonda yoğun bir yapı elde edilir. Pozolan ara boşlukları doldurup, geçirgenliği azaltır ve serbest  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyonu sonucu kalsiyum silikat hidrat oluşturur. Böylece hidrasyona uğramış ürünün betonarme çeliğe tutunma mukavemeti artar. Pozolan içeren taze betonun akışkanlığı da artarak kolay işlenebilir bir hal alır. Bu durum betonun fiziksel özelliklerine iyi yönde etki eder.

Sonuçlara göre, %20 pozolanlı numuneler pozolansız numunelere göre daha uzun süre korozyona karşı dayanıklıdır. Başlangıçta pozolansız numuneler pozolanlı numunelere göre daha az korozif etki göstermiştir. Bu durum pozolanlı numunelerin önce daha yüksek geçirgenlik gösterdiği ve çimento miktarının pozolanlı numunelerde daha az olduğundan kaynaklanabilir. Diğer taraftan, pozolan daha sonra kalsiyum hidroksitle reaksiyona uğrayıp, daha sıkı yapılı bir beton oluşur ve böylece oksijen ve klorür iyonlarının betona olan geçirgenliği oldukça azalır. Sabit su çimento orantılı pozolansız bütün numunelerin korozyon hızı, pozolanlı numunelerin korozyon hızından yaklaşık 2 ile 2.5 kat daha fazladır. Böylece, betonarme yapılarda belirli miktarda çimentonun yerine pozolan katarak bu yapıların korozyona karşı direnci artırılır. İçerisinde pozolanik katkıların bulunması beton permeabilitesi için yararlı olacaktır. Çünkü pozolanik katkı beton içerisinde kristalleşerek boşlukları doldurur. ( Avcı, 1998 )

### 7.3.1 Reçinelerin Uygulanması

Reçine kökenli tedavi, malzemenin bileşenleri karıştırılırken kimyasal reaksiyonlar egzotermik olarak başlar. Yani, reaksiyon kendinden sıcaklığını artırarak devam etmektedir. Bu yüzden malzemeler de erken sertleşmeler olabilir. Bu tür olumsuzlukları engellemek için, eski beton yüzeyine kaplama sürülmesi ve reçine harcının hazırlanması arasında geçen

zaman iyi hesaplanmalıdır. Reçine harçları betonu geçirimsizlik ile koruduğu için, reçine uygulanırken akışkan olmalı ve iyi sıkıştırmaya müsaade etmelidir.

#### 7.4 Çelik Donatıların Kaplanması ( d )

Çeliğin organik ve metalik katmanlarla kaplanması, metalik kaplama olan çinko kaplamadır. Kendisini feda ederek çeliği galvanik olarak koruyan çinkonun klorürlü beton ortamındaki performansı ile ilgili çelişkili bulgular vardır. Fakat klorür iyonu ve karbonatlaşma birlikte çinkonun çözünmesini arttırmalar; çinko korozyon ürünleri de çeliğinkiler gibi, hacim genişlemesi ile betonu çatlatabilir. Çeliğe uygulanan diğer kaplama organik epoksi kaplamadır. Uygulamada çok iyi sonuçlar alınan bu kaplamada sorun kaplı donatıların taşınması ve yerleştirilmesinde karşılaşılan kaplama tahribatıdır. ( Mailvaganam, 1992 )

#### 7.5 Çelik donatıların Katodik Korunması ( e )

En etkin yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Katodik korumanın prensibi korozyona uğrayan metalin potansiyelini katodik yani, korozyonun olmadığı yönde denge potansiyeline veya çok az katodik bölgeye kaydırarak ya anodik reaksiyonu ihmal edilir boyuta indirmek veya korunacak malzemenin katot olarak davranmasını sağlamaktadır. Özellikle çelik yapıların su içinde veya toprak altında korunmasında en etkin yöntemlerden olan katodik koruma beton içindeki donatıları da aynı etkinlikle koruyabilir. Burada karşılaşılan en önemli sorun beton gibi çok yüksek bir dirence sahip “ elektrolitin ” ortaya çıkardığı sorunlardır. ( Yalçın ve Akat, 2000 )

Çelik donatıların katodik korunması, normal uygulamada olduğu gibi;

- a) Galvanik anotlar ve
- b) Dış akım kaynaklı katodik koruma,

olarak iki şekilde yapılmaktadır.

Betonarme yapılardaki katodik koruma uygulamalarında kullanılan harcanabilir anotlar çinko ve magnezyum esaslı şeritler, levhalar, kafes yapılı anotlardır. Son zamanlarda özellikle betonarme iskele ayaklarının çarpınma bölgelerinin korunmasında çinko anot levha ve

kafeslerine rastlanmaktadır. Katodik koruma halen köprülerde, liman kazıklarında, garaj zeminlerinde klorürlü ortama maruz beton yüzeylerinde başarı ile kullanılmaktadır.

## 7.6 Deniz Ortamındaki Betonarme Yapılarda Alınabilecek Önlemler

Deniz içine çakılan çelik kazıklardaki korozyonu önlemek üzere çeşitli malzemeler ile kaplama yapılması düşünülebilir. Ancak bu yöntemle uygun süreli etkili bir koruma yapılamamaktadır. Deniz içine çakılan kazıkların korozyondan korunması için en emin yol katodik korumadır. Katodik koruma uygulanmış olan çelik kazığın deniz içinde ve dipteki çamur içinde kalan bölgeleri korozyondan tam olarak korunabilmektedir. Ancak deniz suyunun sürekli olarak ulaşmadığı üst kısımdaki korozyonun en şiddetli olduğu bölgeyi katodik olarak koruyabilmek mümkün olmamaktadır. Bu bölge için ayrıca özel önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaçla deniz yüzeyinden itibaren  $\pm m$  'lik bölümün uygun malzemeler ile kaplanması yoluna gidilmektedir. Kaplama cinsi olarak epoksi, bitüm v.b. boyalar, plastik sargılar, beton veya metal plakalarla kaplama yapılması önerilmektedir. Son yıllarda metal kaplamalar özellikle MONEL - 400 alaşımı ile yapılan kaplamalar gittikçe önem kazanmaktadır. Bu metalin seçilmesinin başlıca nedenleri şunlardır. ( Koç, 1998 )

- 1- Monel metal deniz suyu korozyon etkisine, darbe ve sürtünme gibi mekanik etkilere dayanıklıdır.
- 2- Termal genleşme katsayısı çelik ile aynıdır ve çeliğe kolayca kaynak edilebilir.
- 3- Deniz içi canlılarına karşı toksit etkisi vardır.

Çelik kazıkların su yüzeyi bölgesinde kalan yaklaşık 2-3 metrelik bir kısmı metal ile kaplandıktan sonra ayrıca katodik koruma uygulanmaktadır. Monel metal çeliğe göre daha soy bir metaldir. Bu nedenle kaplama yapılan bu bölgede galvanik etki sonucu çelik kazığın korozyon hızında artış görülmektedir. Metal kaplama yapılmamış halde üst bölgede şiddetli korozyon söz konusu iken, kaplama yapılarak korozyon tüm olarak önlenmektedir. Ancak bu durumda kaplama bölgesinin hemen altında galvanik korozyon etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kaplamadan sonra kazığın katodik olarak korunması zorunludur. ( Chandler, 1984 )

### 7.6.1 Katodik Koruma

Deniz içi çelik kazıklar hem galvanik anotlarla, hem de dış akım kaynağı ile katodik olarak korunabilir. Katodik koruma sistemi seçiminde en önemli faktör akım ihtiyacının büyüklüğüdür. Bu nedenle söz konusu yapının katodik koruma akım ihtiyacının belirlenmesi büyük önem taşır.

Deniz içine çakılmış kazıklarda akım ihtiyacı başlangıçta oldukça yüksektir. ( 110-200 mA/m<sup>2</sup> ). Ancak bu değer katodik koruma uygulandıktan bir süre sonra ( 1-4 hafta ) polarizasyon etkisi ile süratle azalarak 30-50 mA/m<sup>2</sup> değerine kadar düşer. Bunun başlıca nedeni katodik reaksiyon sonucu meydana gelen hidroksit iyonlarının metal yüzeyinde sağlam bir hidroksi-karbonat çökeltisi oluşturmalarıdır. Bu çökelti birleşiminde bulunan silikat miktarına göre oldukça sağlam bir kabuk oluşturarak yüzeyi örter. Deniz içi canlıları da kabuklaşmaya yardımcı olurlar. Bunun sonucu olarak katodik koruma akım ihtiyacı gittikçe azalarak 20-30 mA/m<sup>2</sup> değerine kadar düşebilir. Kazığın zemin içinde kalan kısmı için akım ihtiyacı daha düşüktür ve genellikle 5-10 mA/m<sup>2</sup> arasındadır. ( Koç, 1998 )

### 7.6.2 Galvanik Anotlarla Katodik Koruma

Normal olarak 30 cm. çap ve 20 m. boyunda bir çelik kazığın toplam akım ihtiyacı 1-2 amper civarındadır. Deniz içinde galvanik anot olarak genellikle çinko veya alüminyum kullanılmaktadır. Daha hafif oluşu nedeniyle son yıllarda indium alaşımlı alüminyum anotlar tercih edilmektedir. Diğer taraftan 1 Amper x yıl akımı 3.37 kg. alüminyum anotdan elde edilirken, 11.2 kg. çinko kullanılması gerekmektedir.

10 kg 'lık standart bir alüminyum anotdan deniz suyu içinde 0.8 – 1.2 amper akım çekilebilmektedir. Bu oluşumda yukarıda sözü edilen bir çelik kazık için 10 kg 'lık 2-3 adet alüminyum kullanılarak kazığı 7-10 yıl koruyabilmek mümkün olabilecektir. Galvanik anotların kazıklara bağlantısı ya orta yerlere asılarak veya her kazık üzerine kaynak edilerek yapılmaktadır. ( Koç, 1998 )

### 7.6.3 Dış Akım Kaynağı ile Katodik Koruma

Çelik kazıklar galvanik anotlarla ayrı ayrı korunması yerine gruplar halinde dış akım kaynağı ile korunabilir. Bu durumda yapılacak ilk iş kazıkları düşük dirençli iletken bağlarla birbirine

bağlamaktır. İskele ayakları veya deniz üstü yollarında kullanılan çelik kazıklar genellikle simetrik bir biçim gösterir. Kazıkların dağılımındaki geometrik biçim ve kazık aralıklarındaki uzaklık yapılacak katodik korumanın projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Katodik korumada temel amaç her kazığa yeterli miktarda akım uygulayarak, kazık potansiyellerini yaklaşık olarak aynı düzeyde tutabilmektir. Bunu sağlamak için anotları deniz içine simetrik olarak yerleştirmek ve katot bağlantılarını da uygun yerlerden yapmaktır. Bu amaçla pratikte iki ayrı yol izlenmektedir;

**Birinci Yol:** Bütün kazıklar bir T/R ünitesinden ve tek not yatağından beslenmektedir. Bu yöntem ancak geometrik simetri söz konusu olduğu zaman uygulanmaktadır.

**İkinci Yol:** Kazıklar gruplandırılarak her grup katot için ayrı bir anot yatağı düzenlenmektedir. Bu anot yataklarının her biri için ya küçük kapasiteli ayrı bir T/R ünitesi kullanılmakta veya büyük kapasiteli bir T/R ünitesinden çekilen kablolarla anot yatakları beslenmektedir.

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde deniz içinde genellikle platinize titanyum, gümüş veya titanyum üzerine kaplama yapılmış anotlar tercih edilmektedir. ( Koç, 1998 )

## 7.7 Onarım ve Güçlendirme Sistemleri

Yapılarda beton tamirâtı ve statik takviye ihtiyacı bir çok durumda karşımıza çıkmaktadır. Korozyon hasarları, deprem hasarları, imalat hataları yada proje değişikliği veya kullanım amacının değişmesi gibi sebeplerle yapılara onarım ve güçlendirme yapılması gerekmektedir. Sebebi her ne olursa olsun bir çok durumda onarım ve güçlendirme ( tamir ve takviye ) sistemleri bir bütün olarak kullanılmakta ve iç içe geçmiş proses sistemler olarak açığa çıkmaktadır. Günümüzde betonarme yapılardaki korozyon hasarları acil onarım ve güçlendirme gerektiren en önemli konudur. Korozyon yüzünden bir çok sanayi tesisi ve köprülerin yanında tarihi ve kültürel önemi olan yapılarda kullanılması riskli hale gelmiş ve hatta bir kısmı servis dışı kalmıştır.

### 7.7.1 İzo-BTS® Beton Tamir Sistemi

İlk olarak karbonizasyona maruz kalmış, gevşek beton temizlenir, çünkü yüzeyden başlayarak yavaş yavaş içeri doğru ilerleyen karbonizasyon, beton mukavemetinde önemli

düşüşlere sebep olmaktadır. Betonarme yüzeylerinde yapılacak olan bu kırım işlemi, korozyona uğramış yapı elemanlarında en az korozyon derinliği kadar olmalıdır.

Uygulamada özel cipleme makineleri, kırıcı ve delicilerle bu düşük mukavemetli beton temizlenir. Daha sonra açığa çıkan donatılar, Sulu-Jet ile yapılacak sulu kumlama yöntemi ile temizlenir. Temizlik işlemleri bittikten sonra ilk olarak beton tamir sistemleri için geliştirilmiş koruyucu epoksiler ile açığındaki donatılar koruma altına alınır. Daha sonra kendi primeri ile birlikte gene özel beton tamir sistemleri için geliştirilmiş, içinde propilen iplik (duomix) ve özel küçük çelik teller (dramix) ile donatılı hale getirilmiş İzomet-BRM tamir harcı ile betonarme yüzeyi tamir edilir. ( İzomas , 1992-2001 )

Bu uygulamalar için aşağıdaki işlem sırası izlenir;

1. Beton Kırımı ve Sulu Kumlama: Beton korozyonuna yani karbonizasyona maruz kalmış ve mukavemetini kaybetmiş olan beton, kırıcı, delici ve ciplmeler ile temizlenir. Bu işlem korozyona maruz kalmamış sağlam betona ulaşılncaya kadar devam etmelidir. Beton kırımı sonrasında açığa çıkan tüm donatılar özel sulu kumla ile üzerlerindeki korozyon tabakasından arındırılmalıdır. Bu işlem sırasında donatılar üzerinde hiçbir şekilde pas kalmamalıdır, çünkü bir pil oluşumu olan korozyon, yüzeyde kalabilecek pas tabakalarının oluşturacağı potansiyel farkından dolayı devam edecektir. Donatılardaki bu temizlik seviyesine el raspaı ile ulaşılammaktadır. Kuru kumlama yapılması halinde ise ortamdaki devam eden diğer işlerin durdurulması gerekmektedir.

2. Epoksi Koruma: Sulu kumlama ile temizlenen donatılar özel serbest çözgen epoksi ile kaplanarak korunmalıdır. Bu epoksi ile kaplanan donatıların üzerinde epoksi kurumadan önce kurutulmuş, elenmiş silisli kum serpilerek yüzeyler pürüzlendirilmeli, ve üzerine yapılacak beton tamir harcına olan aderansı artırılmalıdır.

3. Primer: Beton tamiratı yapılacak tüm yüzeylerde, yüzey hazırlığı (kıırma, temizleme, vs.) bittikten sonra eski ve yeni beton arasında aderansı artırıcı İzomet-HOLD, polimer astar uygulanmalıdır.

4. Beton Tamiratı: Tüm hazırlıklar bittikten sonra astar uygulaması yapılan yüzeylere polimer bazlı, aderansı yüksek, rötresiz, yoğunluğu  $2\text{kg/dm}^3$  olan, mikro silika takviyeli, duomix ve dramix ile donatılı hale getirilmiş (fiber takviyeli) İzomet-BRM tamir harcı ile

uygulama yapılarak betonarme elemanları eski durumlarına getirilmelidir. Bunun yanında söz konusu yapılarda ihtiyaç duyulan pas payları beton tamirâtı aşamasında oluşturulmalıdır.

### 7.7.2 Yapı Elemanlarındaki Çatlaklarda Epoksi Enjeksiyon ile Tamirler

Betonarme döşemelerin üstünde donatı zafiyetleri sonucu oluşan çatlaklarda özel epoksi enjeksiyonlar ile çatlak tamirleri yapılacaktır. Bu işler için solventsiz, düşük viskoziteli özel enjeksiyon epoksileri kullanılmalıdır.

Bu uygulama için aşağıdaki işlem sırası izlenir;

1. Dübellerin yerleştirilmesi: Çatlak boyunca 20-25 cm ara ile enjeksiyon dübelleri ve memeleri yerleştirilir.
2. Epoksi Macun: Çatlakların üstü özel, çabuk prizlenen epoksi macunlar ile kapatılarak epoksi enjeksiyonun çatlak dışına çıkması engellenir.
3. Epoksi Enjeksiyon: Düşük viskoziteli, solventsiz, betonarme çatlaklarına enjeksiyon yapmak için özel olarak dizayn edilmiş enjeksiyon epoksileri ile en altta yerleştirilen dübelden başlayarak, aşağıdan yukarıya tüm çatlağın içinin doldurulması sağlanacaktır. Bu malzeme çok özel reçine ve sertleştirici kombinasyonuna sahip düşük viskoziteli enjeksiyon epoksidir.

Epoksi enjeksiyon hiçbir zaman için bir takviye yöntemi değildir. Sadece bir onarım yöntemidir. Yapılan incelemelerde betonarmedeki çatlakların sebebi döşemelerin negatif moment bölgelerindeki donatı eksikliğidir. Bu eksiklik giderilmeden yapılacak enjeksiyon betonu betona mükemmel bir şekilde yapıştırmasına rağmen olası bir kapasite artışında onarılan çatlağın hemen altından veya üstünden beton tekrar çatlayacaktır. Bunun önüne geçebilmek için çatlaklar epoksi enjeksiyon ile onarıldıktan sonra İzo-PST® Proses Sistemi ile statik takviyesi yapılmalıdır. Bununla beraber söz konusu yapılardaki kolon, giriş ve döşemelerin alt yüzlerinde bulunan korozyon çatlakları yapısal çatlaklar ile karıştırılmamalıdır. Buralarda enjeksiyon yapılmayacak, İzo-BTS® Proses Sistemi ile beton onarımları yapılacaktır. ( İzomas , 1992-2001 )

### 7.7.3 İzo-PST® Proses Sistemi ile Yapı Elemanlarında Uygulanacak Statik Takviyeler

Yukarıda anlatılan sistemlerle betonarme elemanlar hasar öncesi eski monolitik yapısına döndürülecektir. Daha sonra yapılacak statik takviye sonrasında betonarme elemanlarının eski kesitleri değiştirilmeyecektir. Bu durum bir yapı için hem mimari, hem de fiziksel bir zorunluluktur. İzo-PST® Proses Sisteminde özel takviye donatıları, statik takviye işlerinde kullanılan özel yapıştırıcı epoksiler yardımıyla betonarme yüzeylere yapıştırılır. Bu şekilde yapıştırılan donatılar betonarme kesitin içindeki mevcut donatılarla aynı şekilde çalışır ve dizayn aşamasında klasik betonarme hesapları uygulanır. ( Çoksayar , 1999 )

Bu uygulama için aşağıdaki işlem sırası izlenir;

1. Yüzey Hazırlığı: Statik takviye yapılacak yüzeyler her türlü kir, toz, yağ, su ve nemden arındırılır. Statik takviye kesinlikle mukavemetini kaybetmiş beton üzerinde yapılmaz, beton tamiratları bittikten sonra sağlam beton üzerinde uygulanır.
2. Primer: Yüzey hazırlığı bittikten sonra özel epoksi astar uygulaması yapılır.
3. Donatılar: Hazırlanacak projelere göre boyutlandırılacak özel İzo-PST® Statik Takviye elemanları kullanılmadan önce kumlanır, korozyona karşı korumak amacıyla epoksi ile kaplanır ve aderansı arttırmak için yüzeyleri kurutulmuş, elenmiş silisli kum ile pürüzlendirilir. Söz konusu bu lamalar sıcak haddelenmiş, sünekliğini kaybetmemiş olmalıdır.
4. Epoksi Yapıştırıcı: Astar uygulaması yapılan yüzeye daha önceden hazırlanmış olan İzo-PST® donatıları özel epoxy adhesivler ile yapıştırılır. Kullanılması gereken epoksi yapıştırıcı özel olarak statik takviye sistemleri için geliştirilmiş, serbest çözügen, yangın geciktirici ve kendinden söndürücü özelliklere sahip olmalıdır. Bu yapıştırma işlemi sırasında lamalar ve beton arasında hiç bir boşluk kalmamalıdır. Bunun sağlanması için malzeme sarfiyatı ve ziyanı göz önüne alınmamalı, donatıların üzerine konan epoksi yapıştırıcıların taşıma yöntemi ile hiçbir boşluk bırakmadan lamaların arkasını doldurması sağlanmalıdır.

#### 7.7.4 Tüm Betonarme Yapı Elemanlarının Kütlesel Beton Koruması

Betonarmedeki bağlayıcı eleman olan çimentonun hidratasyonu sırasında çimentonun kimyasında bulunan kalsiyum iyonları açığa çıkar. Açığa çıkan bu kalsiyum atmosferik etkilerle gelen kloritler, karbondioksit ve sülfürdioksit gibi kimyasallarla reaksiyona girerek betonarmede karbonizasyona yani korozyona sebep olur. Bu oluşumu durdurmak, eski betonları rehabilite edebilmek ve yeni yapılanları ileriki etkilere karşı koruyabilmek için özel kimyasal aktif bir malzeme ile kütlesel beton koruması yapılmalıdır. Bu malzeme uygulandığında 10-15cm betonun içine işleyerek kimyasal reaksiyona girer ve betonu, beton korozyonuna yani karbonizasyona karşı tam olarak korur. Aynı zamanda içerideki donatıların etrafını sararak donatıları da korozyona karşı korur. ( İzomas , 1992-2001 )

1. Yüzey Hazırlığı: Kütlesel beton koruması yapılacak yüzeyler sulu kumlama ile temizlenecektir. Bu uygulama yeni tamir edilmiş bölgelerde yapılmayacaktır. Bu işlemdeki amaç betonarmeyi suya doyurarak malzeme yüzeye uygulandığı zaman betonun içine işlemesini sağlayacak mekanizma olan ozmotik basınç ve kapiler etkiyi sağlamaktır.
2. Malzeme: Teknik özellikleri test raporları ile belirtilen, sülfat ve klora karşı dayanımlı, yoğunluğu  $1.25 \text{ kg/dm}^3$  olan ve uluslar arası kalite belgeleri ile kalitesi ispatlanmış, betonun içine işleyerek donatıların etrafını saran ve donatıları korozyona karşı koruyan, pozitif ve negatif basınçlarda 14 atm. su basıncına kadar su geçirimsizlik sağlayan kütlesel beton koruması ve su izolasyon malzemesi ile uygulama yapılacaktır.
3. Uygulama: Uygulama, toplam sarfiyat  $1.5 \text{ kg/m}^2$  olacak şekilde iki kat halinde yapılacaktır.

#### 7.7.5 Izo-KTS® Proses Sistemi ile İskele Onarım, Kazık Yenileme ve Koruma

Deniz yapılarında kazıklardaki korozyon çirpinti bölgesinde maksimum seviyeye çıkmaktadır. Tüm agresif kimyasal ve fiziksel etkilerin bulunduğu bu bölgede özel korumaya ihtiyaç vardır. Deniz yapılarındaki tüm kazıklarda ( hasarlı olanlarda yapılacak onarım ve güçlendirme sonrası ) Izo-KTS® Proses Sistemi uygulanmalıdır. Izo-KTS® Kazık Yenileme ve Koruma sisteminde, rijit PVC kılıflar bir kalıp olarak kullanılarak iç kısmı, Izomet-BRM® ( fiber takviyeli polimer tamir harcı ) ile doldurulmaktadır. Bu sayede beton içinde oluşacak yüzeysel gerilmeler ve çekme kuvvetleri fiber lif ve çelik teller ile alınacak, basınç

kuvvetinden dolayı oluşacak çekme kuvveti de PVC kılıfın doğuracağı ( etki-tepki ilkesi gereğince ) merkezci kuvvetler tarafından karşılanacaktır. Bu uygulama söz konusu deniz yapısının bulunduğu ortama göre değişecek gelgit ve çarpıntı bölgesi tabir edilen su seviyesinin bir metre altına kadar devam etmelidir. ( İzomas , 1992-2001 )

İzo-KTS® Proses Sisteminde kullanılan özel PVC kılıflar T kesitli olarak üretilmekte ve iç tarafta pozitif bir geçme sağlanmaktadır, dış yüzeyde ise düzgün bir PVC koruma yüzeyi sağlanmış olur. Izo-BTS® beton tamir sistemi, Izo-PST® statik takviye sistemi ve Izo-KTS® iskele onarım ve kazık tamir sistemi yapıların ihtiyaçlarına göre beraber kullanılmaktadır. Sistemlerin çözümünde oluşmuş olan hasarların giderilmesi ve sebeplerinin ortadan kaldırılması esas alınmalıdır. Yapısal elemanlarda hasarın oluşmasına etken olan esas sebepler analiz edilmeden ve bu sebepler ortadan kaldırılmadan yapılan tamiratlar başarısız olacaktır.

#### **7.7.6 Epoksi Kaplamalar, Özellikleri, Ürünleri ve Kullanım Alanları**

##### **ÖZELLİKLER**

İstenilen fiziksel ve kimyasal özelliklerde.

Her türlü mekana uygulanabilir.

Hijyenik, monoblok.

Kir tutmaz, kolay temizlenebilir.

Tozumaz, aşınmaz.

Gerektiğinde antistatik.

Kaymaz.

İstenilen RAL rengine.

Mat ve parlak yapılabilir.

##### **ÜRÜNLER**

Epoksi SLS kaplamalar.

Epoksi Mortar kaplamalar.

Epoksi Multilayer kaplamalar.

Epoksi Laminant kaplamalar.

Antistatik epoksi kaplamalar.

Anti-dusty boyalar.

Vinilester reçineli özel kaplamalar.

MMA zemin kaplamaları.

#### KULLANIM ALANLARI

Yakıt tankları.

Çelik konstrüksiyonlar.

Asit tankları.

Kanal ve borular.

Kanalizasyon tünelleri.

Fabrika zeminleri .

Köprüler.

Üretim ve depolama tesisleri.

İlaç fabrikaları.

Havaalanları.

Ameliyathaneler.

TV stüdyoları.

Hastaneler.

Hijyenik olması gereken ortamlar.

Bilgisayar odaları.

Et kombinaları.

Mağazalar.

Yemekhaneler.

Oteller.

( İzomas , 1992-2001 )

#### 7.7.7 Su İzolasyonu İçin Gerekli Ürünler

Voltex ile bina temel izolasyonlarında,

Kemper Sistem ile teras izolasyonlarında,

Penetron ile negatif ve pozitif beton su izolasyonlarında,

Waterstop-RX ile beton soğuk derzlerinde,

Bentomat ile kanal, gölet ve çöp depolama alanlarında, kesin çözümler sunmaktadır.

## VOLTEX

### ÖZELLİKLER

Voltex, yüzde yüz doğal malzemeden oluşan, uzun ömürlü, interaktif bir su yalıtım malzemesidir. İki geotekstil arasında yer alan doğal sodyum bentonit mineralinden oluşur. Sodyum Bentonit su ile temas ettiğinde, hacmini genişleterek geçirimsiz bir tabaka oluşturur. Voltex kolay uygulanır. Grobetona ihtiyaç gerektirmeden, doğrudan toprak yüzeyine yatay yada dikey serilir. Birleşim noktalarından herhangi bir kaynağa yada dikişe gerek duymaksızın üst üste bindirilerek döşenir ve gerektiğinde çivi ile çakılır. ( İzomas, 1992-2001 )

### KULLANIM ALANLARI

Metro yapıları.

Yapı Temelleri.

Diyafram duvarları.

Istinat duvarları.

Toprak altı yapı elemanları.

Kazık başları.

Ankraj detayları.

Asansör kuyuları.

Tünel yalıtımları.

Beton ya da toprak dolgulu teraslar

## PENETRON

### Kütlesel Beton Koruması ve Su İzolasyonu

Bütün betonarme yapılarda, eski veya yeni betonlarda rahatlıkla uygulanır.

Pozitif yada negatif su basıncı altında aynı başarı elde edilir.

Beton katkısı veya yüzeysel bir kaplama değildir.

Betonun içine 15-20 işler, kimyasal reaksiyona girerek kütlesel beton koruması ve su izolasyonu sağlar

Betonarmeyi ve içindeki donatıları korozyona karşı korur.

Betonu deniz suyunun, atık suların, agresif yer altı sularının ve birçok kimyasal çözeltilerin etkilerine karşı korur.

İçme suyu ile temas eden yerlerde onaylanmıştır.

Bu yüzden su depolarında, su kulelerinde, vb. yerlerde kullanılması özellikle tavsiye edilir.

7.7.1 'den 7.7.4 'e kadar ki tüm prosesleri içeren bir uygulamayı gösteren Şekil 7.1, EK 3 'de sunulmuştur.

7.7. Onarım ve Güçlendirme Sistemlerindeki tüm alt konulara ait şekiller Şekil 7.2 'den Şekil 7.48 'e kadar EK 4, EK 5, EK 6, EK 7, EK 8, EK 9, EK 10 ve EK 11 'de sunulmuştur.

## 7.8 Donatı Korozyonunu İyileştirici ve Engelleyici Ürünler

### Sika MonoTop 610

Donatı Korozyonunu Önleyen, Eski-Yeni Beton Aderansını Sağlayan Harç

Tek komponentli, çimento bazlı, silis dumanı içeren, polimer modifiye kaplama ve yapıştırma harcı.

Avantajları : Su ve klorid penetrasyonuna dayanımlıdır. Donatıyı rutubetten korur. Mekanik mukavemeti yüksektir. Toksik değildir. Don çözücü tuzların etkilerine karşı direnci artırır.

### **Sikagard 63 N**

Hafif tiksotropik, kalın uygulanabilen, solventsiz, 2 bileşenli epoksi reçine bazlı, kimyasallara karşı mükemmel dayanıklı koruyucu kaplama malzemesi. Hava koşullarına, korozyon ve kimyasalların etkilerine karşı üstün koruma sağlayan, ağır aşınma etkilerine karşı yüksek dayanım oluşturan koruyucu kaplama. Beton, taş, çimentolu harç ve sıva, epoksi harç, demir ve çelik üzerinde kaplama olarak. Depolama tanklarında, silolarda koruyucu boya kaplama, elektrokaplama, kimyasal ve ilaç tesislerinde, özellikle arıtma tesislerinde, petrokimya tesislerinde koruyucu kaplama olarak.

**Avantajları :** Solvent içermez, kimyasallara dayanıklılığı yüksek, rötre yapmaz, yüksek mekanik mukavemetli, düzgün yüzey oluşturur. Aşınmaya dayanıklı.

### **SikaTop Armatec 110 EpoCem ve SikaTop Armatec 108 ( İki Bileşenli )**

Üç bileşenli, çimento bazlı, epoksi modifiyeli korozyon önleyici ve yapıştırma harcı. Betonarme tamirlerinde teçhizat demiri için korozyona karşı koruma ve ince betonarme bölümlerinde teçhizat demirini korumak için. Eski betonların aderansının sağlanmasında.

**Avantajları :** Beton ve demire yapışması mükemmeldir. Korozyon önleyici özellik içermektedir. Su ve klor penetrasyonuna karşı bir engel oluşturur. Rutubetten etkilenmez. Mekanik dayanımı yüksektir. Solventsizdir. Yanmaz.

### **Sika Ferrogard 901**

Beton veya harç içindeki donatıyı korozyona karşı koruyan beton katkısı. Donatı yüzeyinde bir film oluşturmakta ( Katot ) ve donatının zor çözülen bileşimler ( Anot ) nedeniyle zarar görmesini engellemektedir. Korozyon riski yüksek olan ortamlarda; karbonasyon ve özellikle klorürün neden olduğu korozyona karşı olmak üzere; beton yollar, sanayi tesisleri, garaj binaları, köprüler, tünellerin giriş alanları, limanlar, su yapıları ve don çözücü tuzların kullanıldığı yerler.

**Avantajları :** Nitrojen içeren organik ve inorganik maddelerden oluşur. Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini negatif olarak etkilemez.

### **Sika Ferrogard 903**

Betonarme yapılarda donatıyı korozyona karşı koruyan emülsiyondur. Betonarme yüzeye uygulandığında betona nüfuz ederek donatının yüzeyine etki eder, donatının korozyon başlangıcını erteler ve korozyon hızını yavaşlatır. Yeraltı ve yerüstü yapılarında donatı korozyonuna engel olmak için, betonarme yapıların bakımı ve onarımı esnasında betonarme kusurlarının gözle tespit edilemediği durumlarda korozyona uğrayan veya aşırı derecede korozyona uğramış donatının iyileştirilmesinde kullanılır. Özellikle estetik özellikteki zayıf beton yüzeyli binaların servis ömürlerini uzatmak için elverişlidir.

**Avantajları :** Betonun yüzey görünüşünde değişiklik yapmaz. Uygulaması basit ve ekonomiktir. Betonarme yapının servis ömrünü uzatarak uzun vadede büyük ekonomik avantaj sağlar. Su buharının yayılma kapasitesini etkilemez.

ve SikaMonotop mortarı , SikaRefit 'de çözüm için kullanılır. ( Sika 1994-1998 )

## **7.9 Korozyonu ve Korozyon Oluşumunun Çeşitli Nedenlerini Belirleyici Cihazlar**

### **Canin - Korozyon Analizörü**

Beton yüzeyinde oluşan elektrik akım ürününü bir elektrik alan gibi değerlendirip ölçebilir. Buda yarı-hücre olarak bilinir. Tüm yüzeyde yapılan ölçümlerle, korozyonlu ve korozyonsuz yerler ayırt edilebilir. CANIN - Korozyon Analizörü donatı korozyon belirleyici bir cihaz olarak etkilidir. En önemlisi, önceden haber verme/önleme muhafaza cihazı olarak servis vermesidir. Şekil 7.46 olarak EK 12 'de sunulmuştur. [1]

### **Dyna Çekip-Çıkarma Cihazı**

Bu muayene betonarme ölçümlerinde 2 önemli fonksiyonu sağlar. Betonun yüzey sertliğinin belirlenmesi ( muayene direkt olarak bileşen üzerinde yapılır ) ve uygulanan kaplamaların yapıştırma kuvvetini ölçme ( plastik, beton, harçlar, sıvalar, bitümlü kaplamalar, rötüş boyama [cila], metaller üzerindeki kaplamalar gibi ) . Şekil 7.47 olarak EK 12 'te sunulmuştur.

## Model Scanlog

Yakın yerleşmiş, paralel çelik çubukların çapını belirler. Doğrusu, komşu çubuklarının eksen yeri tayini ve beton yüzeyinde belirlemede kullanılır. Şekil 7.48 olarak EK 12 'te sunulmuştur.

## Resi Direnç Ölçer

Beton içindeki çeliğin korozyonu bir elektrokimyasal süreçtir ki buda akımın geçmesine ve metallerin çözünmesine neden olur. En düşük elektrik direnci bile betonarme boyunca korozyon akımını geçirir ve korozyon ihtimalini yükseltir. Zamanla metal fonksiyonunu kaybeder. Korozyon oranında da artış olur. Resi'nin ölçülen değerlerinin grafiksel sunumunu, korozyonun belirttiği noktaların belirlenmesine izin verir. Şekil 7.49 olarak EK 12 'te sunulmuştur.

## Schmidt Çekici

Sıkıştırma kuvvetinin derecesine göre beton, harçlar ve zeminlerin ilk kuvvetini belirler. Şekil 7.50 olarak EK 12 'da sunulmuştur.

## Tico Ultrasonik Beton Bileşen Ölçeri

Malzemenin kuvveti ve kalitesiyle alakalı elastik özellikler ve yoğunluğa bağlı hız derecesinin bağlı bilgilerin belirlenmesine imkan verir. Mesela: Beton benzerliği, elastiklik modülü, beton kuvveti gibi. Şekil 7.51 olarak EK 13 'de sunulmuştur. [2]

## Torrent Geçirgenlik Ölçeri

Betonarme yapıların dayanıklılığının belirlenmesindeki genel etken olarak beton kaplamanın geçirimsizliği önemlidir. 2 şekli vardır; iki-daire vakum hücresi ve basınç düzengeci ki sağ açılardan yüzeye hava akışının iç daire boyunca yönlendirilmesini sağlar. Buda geçirgenlik katsayısının hesaplanmasına izin verir. Şekil 7.52 olarak EK 13 'de sunulmuştur.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yukarıdaki çalışmalar sonucunda korozyon ve yine çeliğin beton içerisindeki korozyonu gerek ülkemiz, gerekse diğer ülkeler açısından büyük önem taşımaktadır. Beton içerisindeki çeliği korozyona karşı korumak için bazı önlemlerin alınması gerekir. Bu prosese en çok oksijen, rutubet ve klorür iyonları neden olduğuna göre, öncelikle bunların beton ve çelikten uzaklaştırılmaları gerekir. Her şeyden önce, betonda kullanılan karışım ve suların bileşimlerine dikkat edilmeli ve beton yüzeyinde su toplanmamasına özen gösterilmelidir. Betonarme yapılarda korozyonu kontrol altına almada geçirimsizliği azaltılmış beton veya katodik korumada en önemli yöntemler olarak gözükmektedir. Beton içerisindeki çelik donatı korozyona uğramışsa bazı tamir yöntemleri uygulamak mümkündür. Örneğin donatı üzerindeki beton tabakası kaldırılarak donatı değiştirilebilir. Donatı üzerindeki beton çatlamış veya ufalanmışsa, bu beton tabakası donatının üzerinden kırılarak çıkarılıp çeliklerin açığa çıkması sağlanabilir. Daha sonra çeliğin üzerindeki korozyon ürünü birikimler temizlenmelidir. Çelik üzerine kum püskürtülmesi yüzeyin temizlenmesinde etkili bir yöntemdir. Donatı yüzeyleri temizlendikten sonra, bir fırça yardımı ile zengin çinko içeriği olan epoksi kaplama, donatı yüzeylerine uygulanırsa daha iyi sonuç alınabilir. Bu gibi işlemler için geliştirilmiş onarım ve güçlendirme sistemleri olduğu gibi donatı korozyonunu iyileştirici ve engelleyici ürünlerle beraber çalışılabilir.

Betonun iyi işlenmesi de korozyondan korunma açısından önem arz eder. Bunun için beton yüzeyin uygun bir malzeme ile kaplanması iyi sonuçlar verebilir. Ayrıca, aynı amaçla beton içerisinde korozyon hızını yavaşlatan kimyasal malzemeler de kullanılabilir. Hangi malzeme ve teknik kullanılırsa kullanılsın, tedavi malzemesi ve beraberinde uygulanacak teknik, eski betona mekanik ve fiziksel özellikler itibarıyla uyumlu olmalıdır. Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

- 1-) Eski betonla yeterli aderans,
- 2-) Malzemenin sıcaklık davranışı, eski betonla uyumlu olmalıdır. Bilhassa reçine türü malzemeler, ısı artışlarından olumsuz yönde etkilenirler,
- 3-) Mukavemeti çok düşük olmamalıdır,
- 4-) Kolay uygulanabilir ve ekonomik olmalıdır,
- 5-) Su, gaz ve agresif kimyasallara karşı geçirimsizliği bilinmelidir.

Bunlarla birlikte yapının muayene ve tetkik aşamasında yapılacak etüt ve değerlendirme çalışmalarıyla, hasarlı veya gerçek hasar riski belirli yapı parçalarına ve seçilmiş kısımlara daha özel ilgi ve hassasiyetle yaklaşmamız gerektiği sonucu ortaya çıkacaktır. Göz muayenesi, ölçmeler ve test sonuçları ile elde edilen müşahedeler usulünce belgelendirilmelidir. Yapının mevcut durumundaki toplam risk değerlendirilmesi sistematik bir tarzda belirlenmelidir. Bu yolda verilebilecek bazı ipuçları aşağıdadır;

- a-) Yapılacak onarıma kadar, yapının üstündeki yüklere karşı güvende olması sağlanmalıdır.
- b-) Problemin kaynağının dizayn ( proje ) kusurumu, inşa kusurumu olduğu bulunmalıdır.
- c-) Tüm çatlamlar, kaplama parçalanmaları, korozyon derecesi, vesaire gerektiği şekilde kaydedilmelidir.
- d-) Karbonasyon derinliği, kimyasal indikatörlerle tespit edilmeli ve sağlıklı olmayan, hasarlı beton sökülüp atılmalıdır.
- e) Muayene ve testlerden elde edilen bütün bilgiler toplanılmalı ve problemin özelliklerine ve yaygınlığına uygun olan onarım tekniği benimsenmelidir.
- f-) Mümkün olan onarım tekniklerinin maliyet etkisini değerlendirmelidir.

#### **İlk İnşaat Zamanında**

- (i) Beton düşük su-çimento oranında (azami: 0.45 ) hazırlanmalı ve iyice sıkıştırılmalıdır. Daha fazla su-çimento oranı betonu geçirgen yapar ve atmosferdeki karbondioksit giriş yolu sağlar. Karbonatlaşma derinliği su / çimento oranı ile artar.
- (ii) Betondaki asgari çimento miktarı dayanıklı betonu sağlayacak şekilde tesbit edilmelidir.
- (iii) Karbonatlaşma hızı daha mukavemetli betonda daha yavaş olur. Bu sebeple M15 mukavemet derecesinden aşağıdaki beton iyileştirilmiş takviyeli beton yapılarda kullanılmamalıdır.
- (iv) Yeterli beslenme betondaki mikro-çatlakları kontrol altında tutacaktır.
- (v) Beton kaplaması çelik takviyeyi korumaya ve parça kopmasına yol açacak kuvvetlere direnç sağlamaya yetecek kadar olmalıdır.

- (vi) Çukurcuklanma bölgeleri sıvalama ile örtbas edilmemeli, gereğince muamele edilmelidir.
- (vii) Özellikle beton karıştırma, sıkıştırma ve kıvamlandırmada, en yüksek işçilik ve kontrol standartları uygulanmalıdır.
- (viii) Sıkışık iş programının baskısı altında tamamlanması gereken işler kalitenin düşmanıdır. Bu gibi durumlardan kaçınılmalıdır. ( Balta , 1994 ; Schiessel ve Raupach, 1991 )

#### **Onarım Sırasında**

- (i) Etkili çareleri bulma yolunda, problemin sebebi tespit edilmelidir.
- (ii) Beton kaplamanın bütün hasarlı yerleri çıkarılıp alınmalı, alkali pH test ile tespit edilen sağlam beton seviyesine kadar kesilmelidir. Pahalı onarım katmanları, ekseriya bozuk beton kısmının kesilmemesinden dolayıyla kopup parçalanmaya uğrar.
- (iii) Betondaki çatlamlar zaman zaman kontrol edilmeli ve bunların meydana gelmesi ve yayılması gözetlenmelidir. Bunlar gereğince kapatılmalıdır.
- (iv) Tamir yapıldıktan sonra bütün yüzeyin klorür iyonları için geçirimsiz hale getirilmesi gerekmektedir. Bu iş için kütleli beton koruması ve su izolasyonu yapılması gerekmektedir.
- (v) Mümkün olduğunca rüzgar ve yağmura karşı koruyucu bir önlem alınmalıdır.
- (vi) Pas payının yetersiz olduğu bölgelerde polimer tamir harçları ile pas payı oluşturulmalıdır.
- (vii) Ortamsal elemanların etkilerinin karbonasyon profili kullanılarak belirlenmelidir.

“Kompozit” bir sistem oluşturan ( beton / metal ) ve benzer sorunların sebep olduğu metal korozyonuna maruz sistemler, ele alınıp irdelenmiş ve gelişmeler verilmiştir. Teknik eleman ve mühendislerimizin de korozyon konusunda bilgilendirilmesi, eğitilmesi ve onların korozyona karşı korunmanın gereğine inandırılmaları, ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Çoban, S. Z., (1998), Beton İçindeki Donatının Korozyon Probleminde İnhibitör Olarak Sodyum Benzoat Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yüzer, N., (1998), Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi ile Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yalçın, H., Akat, O., (2000), Öngerilmeli Beton Borularda Korozyon ve İsaköy-Darlık-Ömerli Boru Hattı Katodik Koruması, 8. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, A. TOPUZ ve N. Cansever (Ed.), 18-20 Ekim 2000, YTÜ, İstanbul.

Yıldırım, M. Ş., Yıldırım, S. T., (1995), Betonarme Çeliklerinde Korozyon ve Korozyondan Korunma Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 12-14 Nisan 1995, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Çakır, A. F., (1997), "Betonarme Yapılarda ve İnce Sert Seramik Kaplı Metal Yüzeylerinde Korozyon Kontrolü", 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 11-15 Haziran 1997, İTÜ, İstanbul.

Şengil, İ. A., (1992), Korozyon, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 351, İstanbul.

Schiessel, P., Raupach, N., (1991), "Macrocell Steel Corrosion In Concrete Caused By Chlorides", 83-85, International Conference of Durability of Concrete, Montreal/CANADA.

Borgard, B., Warren, C., Somayaji, S., Heidersbach, R., (1990), "Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete", 173-180, Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065, 1990, Philadelphia/U.S.A.

Balta, İ., Cilason, N., (1994), Betonda Kanser: Teşhis, Tedavi, 4. Korozyon Sempozyum Bildirileri, 25-27 Ekim 1994, İTÜ, İstanbul.

Mailvaganam, N. P., (1992), Repair and Protection of Concrete Structures, Chapman & Hall, 486, London.

Pullar-Strecker, P., (1987), Corrosion Damaged Concrete – Assessment and Repair, 99, Butterworths, London.

Özışık, G., (1997), Betonarme, 15-20, Birsen Yayınevi, İstanbul ve Özışık, G., (1997-1999), Beton, 3-4, Teknik Yayınları, İstanbul.

Sika, (1994-1998), Ürün Klavuzu, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., İstanbul/Türkiye

Çoksayar, İ., (1999), "Strengthening of R/C Elements by Adhesively Bonded Steel Plate", 315, International Conference on The Kocaeli Earthquake, M. Karaca ve D. N. Ural (Ed.), 2-5 Aralık 1999, İTÜ, İstanbul/Türkiye.

İzomas, (1992-2001), Ürün ve Servisler, İzomas Korozyon Kontrol Mühendislik San. Ve Tic. A.Ş., İstanbul/Türkiye.

Kaplan, S. A., (1998), "Beton, Betonarme, Beton Donatı Çelikleri", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü 6. Yarıyıl Lisans Betonarme Ders Notları, 1-2 / 26-30, Mart 1998, İÜ, İstanbul.

Koç, T., (1998), Deniz İçi Çelik Kazıkların Korozyonu ve Katodik Koruması, 1. Korozyon Sempozyumu, Ankara.

Avcı, E., (1998), Betonarme Yapılarda Çeliklerin Korozyonuna Pozolanın Etkisi, 1. Korozyon sempozyumu, Ankara.

ACI 222R-85: Corrosion of Metals in Concrete ACI Journal, Jan-Feb 1985, pg 3-33, U.S.A.

Chandler, K. A., 1984, Marine and Offshore Corrosion, 1-7, London

Cansever, N., (2000), "Korozyon ve Korunma", Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Bölümü Yüksek Lisans Ders Notları, Kasım 2000, YTÜ, İstanbul.

Topuz, A., (2000), "Malzeme II", Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Bölümü Lisans Ders Notları, Mart 2000, YTÜ, İstanbul.

#### **Internet Kaynakları :**

1. [www.corvib.on.ca/concrete/Default.htm](http://www.corvib.on.ca/concrete/Default.htm)
2. [www.norcure.com/Lifejacket2.htm#corrosion/about.htm](http://www.norcure.com/Lifejacket2.htm#corrosion/about.htm)
3. [www.corrosion\\_test.com/steel\\_corrosion.htm](http://www.corrosion_test.com/steel_corrosion.htm) , Rector, L., "Steel Corrosion in Concrete", Corrosion Control Technologies, Inc., U.S.A.
4. <http://64.224.111.143/events/intercorr/techsess/papers/sessions1/index.html> , Alldred, J. C., "Rebar Location and Cover Measurement to Aid Corrosion Potential Surveys", Protovale (Oxford) Ltd., England

**EKLER**

- Ek 1 Betonarme Çeliklerinin cins ve özellikleri
- Ek 2 ACI 'da yayınlanmış klor iyonu eşik değerleri ve Karbonatlaşma – klorür içeriği – korozyon oluşma riski
- Ek 3 7.7.1 'den 7.7.4 'e kadar ki tüm prosesleri içeren bir uygulamayı gösteren Şekil 7.1
- Ek 4 Şekil 7.2 'den Şekil 7.8 'e kadar ki tüm şekiller
- Ek 5 Şekil 7.9 'dan Şekil 7.14 'e kadar ki tüm şekiller
- Ek 6 Şekil 7.15 'den Şekil 7.19 'a kadar ki tüm şekiller
- Ek 7 Şekil 7.20 'den Şekil 7.25 'e kadar ki tüm şekiller
- Ek 8 Şekil 7.26 'dan Şekil 7.30 'a kadar ki tüm şekiller
- Ek 9 Şekil 7.31 'den Şekil 7.37 'ye kadar ki tüm şekiller
- Ek 10 Şekil 7.38 'den Şekil 7.40 'a kadar ki tüm şekiller
- Ek 11 Şekil 7.41 'den Şekil 7.45 'e kadar ki tüm şekiller
- Ek 12 Şekil 7.46 'dan Şekil 7.50 'ye kadar ki tüm şekiller
- Ek 13 Şekil 7.51 'den Şekil 7.52 'ye kadar ki tüm şekiller



## EK 1 Betonarme Çeliklerinin cins ve özellikleri

## Beton Çeliklerinin cins ve özellikleri (DIN 488'e göre)

| İşlenme Şekli   |                                                       |                                 | Beton çubuk çelikleri |               |               |               | Beton basır çelikleri    |               |               |               |
|-----------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                 |                                                       |                                 |                       |               |               |               | Kaynaklız                |               |               |               |
| Yüsey Görünümü  |                                                       |                                 | Düzgün Ç              | Nervürlü R    |               | Düzgün G      | Profilli P               | Nervürlü R    |               |               |
|                 |                                                       |                                 |                       | enine nervür  | Eğik nervür   |               |                          | Eğik Nervürlü |               |               |
| Yapımı          |                                                       |                                 | Sıcaktan işlenmiş U   |               |               |               | Soğuk şekillendirilmiş K |               |               |               |
| Tanımı          |                                                       |                                 | B St 22/34 GU         | B St 22/34 BU | B St 42/50 RU | B St 42/50 RK | B St 50/55 GK            | B St 50/55 PK | B St 50/55 RK | B St 50/55 RK |
| Kısa Gösterilme |                                                       |                                 | I G                   | I R           | III U         | III K         | IV G                     | IV P          | IV R          | IV RX         |
| 1               | Tanım çapları da mm olarak                            |                                 | 5-28                  | 6-40          | 6-28          | 4-12          | 4-12                     | 4-12          | 4-12          | 4-12          |
| 2               | Akma sınırı $B_s$ veya $B_{s,2}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | kp/cm <sup>2</sup> olarak en az | 2200<br>(220)         | 2200<br>(220) | 4200<br>(420) | 4200<br>(420) | 5000<br>(500)            | 5000<br>(500) | 5000<br>(500) | 5000<br>(500) |
| 5               | Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )                   | kp/cm <sup>2</sup> olarak en az | 3400<br>(340)         | 3400<br>(340) | 5000<br>(500) | 5000<br>(500) | 5500<br>(550)            | 5500<br>(550) | 5500<br>(550) | 5500<br>(550) |
| 4               | Genliğe bağlı olarak sürekli değişimli gerilmeler     | Düz çubuklar                    | 1800<br>(180)         | -             | 2000<br>(200) | 2000<br>(200) | 1200<br>(120)            | 1200<br>(120) | 1200<br>(120) | 2000<br>(200) |
| 5               |                                                       | Bükümlü çubuklar D = 15 de      | 1800<br>(180)         | -             | 2000<br>(200) | 2000<br>(200) | 1200<br>(120)            | 1200<br>(120) | 1200<br>(120) | 2000<br>(200) |
| 6               | mm. olarak tanım çaplarına göre uygun kaynak tipi     | ≤ 12                            | RA                    | RA            | RA<br>RP      | RA            | RA                       | RA<br>RP      | RA<br>RP      | RA<br>RP      |
| 7               |                                                       | ≥ 14                            | RA                    | RAE           | RAE<br>RP     | RP            | RP                       | -             | -             |               |
| 7               |                                                       | (Kısl DIN 4079)                 |                       |               |               |               |                          |               |               |               |

|    |                                                                                           |                |       |      |      |                           |                           |      |      |   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|------|------|---------------------------|---------------------------|------|------|---|
| 8  | Kopma uzaması 10                                                                          | % olarak en az | 18    | 18   | 10   | 10                        | 8                         | 8    | 8    | 8 |
| 9  | Kaynaklanmış beton çelik basırlarının düğüm noktasındaki kesme dayanımı 5 lik olarak (kN) |                |       |      |      | 0,35 FeBz<br>(0,035 FeBz) | 0,35 FeBz<br>(0,035 FeBz) |      |      |   |
| 10 | Kükme açısının 180° olduğu katlama deneyindeki kabarma çapı                               | 2 de           |       |      |      | 3 de                      |                           |      |      |   |
| 11 | Genye bükme deneyinde tanımlı                                                             | ≤ 12           | 4 de  | 5 de | 5 de |                           | 4 de                      | 4 de | 4 de |   |
| 12 | çaplarına göre bükülme yayının                                                            | 13 - 18        | 5 de  | 6 de | 6 de |                           |                           |      |      |   |
| 13 | çapı de mm olarak                                                                         | 20 - 28        | 7 de  | 8 de | 8 de |                           |                           |      |      |   |
| 14 |                                                                                           | 30 - 40        | 10 de |      |      |                           |                           |      |      |   |

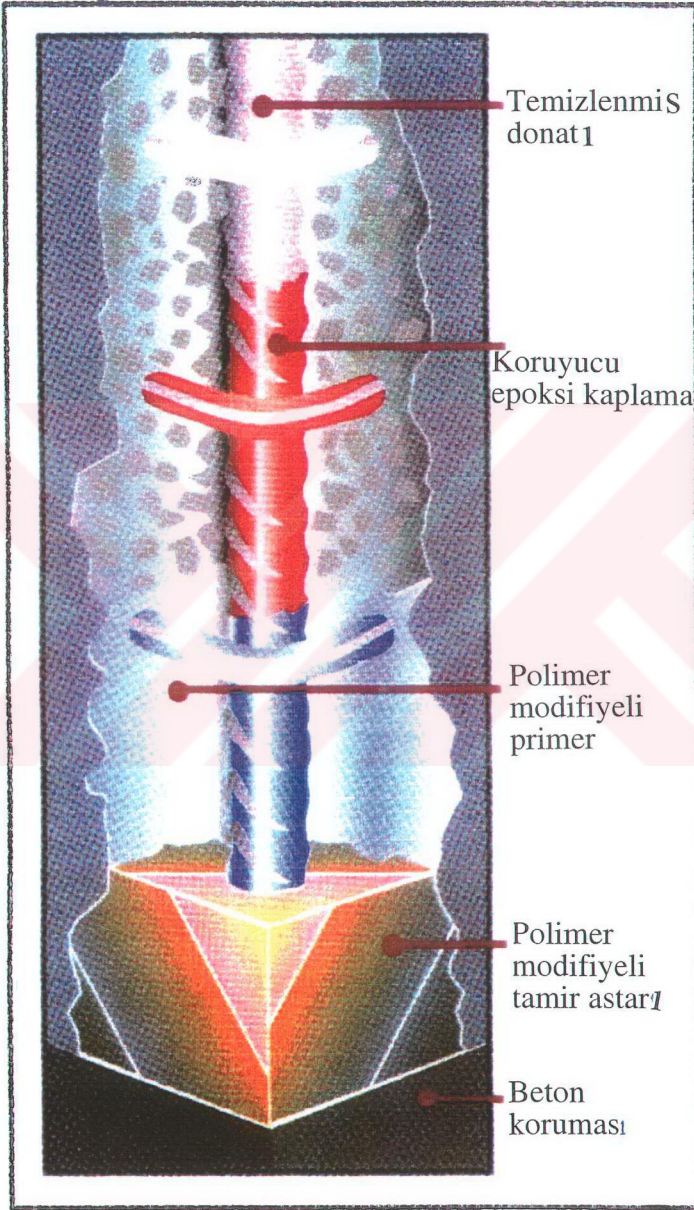
Cizelge 3.2 Betonarme Çeliklerinin Cins ve Özellikleri

EK 2 ACI da yayınlanmış klor iyonu esik degerleri ve karbonatlasma  
- klorur icerigi - korozyon olusma riski

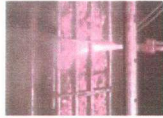
| ACI da yayınlanmış klor iyonu esik degerleri                                                   |                                                                                                                                                            | ACI 222R-85                                                                    |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ACI 201.1-77                                                                                   | ACI 318-83                                                                                                                                                 | ASTM C114 ile ölçülmüş<br>max. asitte çözünebilen<br>klor iyonu konsantrasyonu |        |
| Servis etkilerine maruz kalmadan önce,<br>beton içinde müsaade edilebilecek max.<br>klor iyonu | Agrega, çimento, katkı ve karıştırma<br>suyundan kaynaklanan, 28 günlük be-<br>ton içinde bulunabilecek max. suda<br>çözünebilen klor iyonu konsantrasyonu | Limit*                                                                         | Limit* |
| Öngerilmeli beton                                                                              | 0.06                                                                                                                                                       | Öngerilmeli beton                                                              | 0.06   |
| Nemli ortamda klor etkisine<br>maruz betonarme                                                 | 0.10                                                                                                                                                       | Servis sırasında klor etkisine<br>maruz betonarme                              | 0.15   |
| Nemli ortamdaki betonarme                                                                      | 0.15                                                                                                                                                       | Kuru veya nenden korunan<br>betonarme                                          | 1.00   |
| Betonun kuru kalacağı<br>yerüstü yapıları                                                      | Limit<br>yok                                                                                                                                               | Diğer betonarme yapılar                                                        | 0.30   |
| * Çimento ağırlığının yüzdesi olarak                                                           |                                                                                                                                                            |                                                                                |        |
| Karbonatlaşma-klorür içeriği-korozyon oluşması riski                                           |                                                                                                                                                            | Karbonatlaşma bakımından korozyon riski                                        |        |
| Çimento ağırlığının yüzdesi olarak                                                             |                                                                                                                                                            | Paspayından çok                                                                |        |
| Düşük (0-4 e kadar)                                                                            |                                                                                                                                                            | Tüm çevre şartları<br>için düşük risk                                          |        |
| Orta (0.4-1.0 arası)                                                                           |                                                                                                                                                            | Nemli çevre etkisi<br>için ortalama risk                                       |        |
| Yüksek (1.0 dan fazla)                                                                         |                                                                                                                                                            | Nemli çevre etkisi veya<br>düşük beton kalitesinin<br>oluşturduğu risk         |        |

Cizelge 5.2 - ACI da yayınlanmış klor iyonu esik degerleri ve karbonatlasma  
- klorur icerigi - korozyon olusma riski

EK 3 7.7.1 den 7.7.4 e kadar ki tum prosesleri  
iceren bir uygulamayi gosteren Sekil 7.1



Sekil 7.1 7.7.1 den 7.7.4 e kadar ki tum prosesleri  
iceren bir uygulama

**EK 4 Şekil 7.2 ‘den Şekil 7.8 ‘e kadar ki tüm şekiller****Şekil 7.2- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.3- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.4- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.5- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.6- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.7- Anıtkabir İz-BTS****Şekil 7.8- Anıtkabir İz-BTS**

EK 5 Şekil 7.9 ‘dan Şekil 7.14 ‘e kadar ki tüm şekiller



Şekil 7.9-Anıtkabir İzo-BTS



Şekil 7.10-Anıtkabir İzo-BTS & PST



Şekil 7.11-Brisa İzo-PST



Şekil 7.12-Brisa İzo-PST



Şekil 7.13-Brisa İzo-PST



Şekil 7.14-Brisa İzo-PST

EK 6 Şekil 7.15 ‘den Şekil 7.19 ‘a kadar ki tüm şekiller



Şekil 7.15-Brisa İzo-PST



Şekil 7.16-Brisa İzo-PST



Şekil 7.17-İzo-BTS ve Epoksi Kaplama ile Tamir



Şekil 7.18-İzo BTS & PST



Şekil 7.19-İzo BTS & PST

EK 7 Şekil 7.20 'den Şekil 7.25 ' e kadar ki tüm şekiller



Şekil 7.20-İzo BTS & PST



Şekil 7.21-Epoksi Kaplama



Şekil 7.22-Epoksi Kaplama



Şekil 7.23-Epoksi Kaplama



Şekil 7.24-Epoksi Kaplama



Şekil 7.25-Epoksi Kaplama

**EK 8 Şekil 7.26 ‘dan Şekil 7.30 ‘a kadar ki tüm şekiller**



**Şekil 7.26-İzo-KTS**



**Şekil 7.27-İzo-KTS**



**Şekil 7.28-Petkim İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.29-Petkim İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.30-Petkim İzo-BTS & PST & KTS**

**EK 9 Şekil 7.31 ‘den Şekil 7.37 ‘ye kadar ki tüm şekiller**



**Şekil 7.31-İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.32-İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.33-İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.34-İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.35-İzo BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.36-İzo-BTS & PST & KTS**



**Şekil 7.37-Philips İzo-PST**

EK 10 Şekil 7.38 'den Şekil 7.40 'a kadar ki tüm şekiller



Şekil 7.38-Philips İzopst



Şekil 7.39-İzo-PST



Şekil 7.40-İzo-PST

**EK 11 Şekil 7.41 'den Şekil 7.45 'e kadar ki tüm şekiller****Şekil 7.41-İzo-PST****Şekil 7.42-İzo-PST****Şekil 7.43-Su İzolasyonu****Şekil 7.44-Su İzolasyon****Şekil 7.45-Su İzolasyon**

EK 12 Şekil 7.46 ‘dan Şekil 7.50 ‘ye kadar ki tüm şekiller



Şekil 7.46-CANIN Korozyon Analizörü



Şekil 7.47-DYNA Çekip-Çıkarma Cihazı



Şekil 7.48-MODEL Scanlog



Şekil 7.49-RESİ Direnç Ölçer



Şekil 7.50-SCHMIDT Hammer

**EK 13 Şekil 7.51 ‘den Şekil 7.52 ‘ye kadar ki tüm şekiller****Şekil 7.51-TICO Ultrasonik Beton Bileşen Ölçeri****Şekil 7.52-TORRENT Geçirgenlik Ölçeri**

## ÖZGEÇMİŞ

|               |            |                                                                                                      |
|---------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum tarihi  | 21.08.1976 |                                                                                                      |
| Doğum Yeri    | İstanbul   |                                                                                                      |
| İlköğretim    | 1982-1987  | Arif Şenel İlköğretim Okulu                                                                          |
| Lise          | 1987-1994  | Özel İstek Bilge Kağan Koleji                                                                        |
| Lisans        | 1994-1999  | İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak.<br>İnşaat Mühendisliği Bölümü                                 |
| Yüksek Lisans | 2000- 2002 | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı |

## Çalıştığı Kurumlar

|                   |                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------|
| 1992/6-1992/9     | Efor Beynelmillel Nakliyat ve San. Tic. Ltd. ŞTİ |
| 1996-1997         | Setrans Uluslar arası Taş. Ltd. Şti.             |
| 1998-Devam ediyor | İnterfor Uluslar arası Taş. Tic. Ltd. Şti.       |