

DENİZE YAKIN ORTAMDA BETON KOROZYONU

Korkmaz YILDIRIM* ve Mansur SÜMER**

* Sakarya Üniversitesi Hendek MYO, Sakarya –Türkiye
** Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Sakarya-Türkiye

ÖZET

Denizler yeryüzünün yaklaşık % 78'lik kısmını oluştururlar. Denizlere yakın ve kıyı şeridinde bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanlar dolaylı olarak deniz suyu ve deniz ortamının oluşturduğu koşullardan etkilenmektedir. Bahsedilen ortamda bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanların değişik fiziksel ve kimyasal etkiler sonucunda dayanım ve durabilitesini kaybettiği bilinmektedir.

Bu çalışmamızda; Akdeniz ve Ege yerel iklim kuşağında bulunan, deniz kenarına 10 km. mesafedeki sanayi tesisinde yıllar bazında betonun maruz kaldığı korozyon nedenleri araştırılmış; deniz suyunun içerisinde bulunan çözünmüş bileşenler tespit edilmiş; yapı elemanlarında oluşan bozulma süreçlerinin hem malzemelerin özelliklerine, hem de deniz ortamının getirdiği koşulların şiddetine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Özellikle deniz kıyısında mikro iklim koşulları nedeniyle havada yoğunlaşan kimyasal karışımli su taneciklerinin, atmosferde taşınarak beton yüzeylere ulaştığında; betonda aşınma, parçalanma, oyulma gibi oluşumlarla yapı elemanlarının dayanımını olumsuz olarak etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Betonun korozyonu nedeniyle yapı elemanlarının dayanımının ve durabilitesinin azalmasını önlemek için çeşitli tedbirler alınabileceğine dair öneriler çalışmamız içeriğinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Aşınma, Bozulma, Durabilite, Dayanım

CONCRETE CORROSION ON SURROUNDINGS WHICH ARE CLOSED TO SEA

ABSTRACT

Seas form 78% portion of the earth approximately. Ferro concrete elements which are on buildings are closed to seas and on coast fascia are affected from conditions resulted by sea water and sea environment. It is known that concrete and ferro concrete elements which are on surroundings mentioned are lost their resistance and endurance because of different physical and chemical effects.

In this study, Corrosion causes which concrete was on the Mediterranean and on Aegean, and on industry establishment which is distance of 10 kms to shore was exposed have been searched; dissolved componenets whish are on sea water have been stabilized; It has been observed that depravation periods which are originated on building elements change according to both material propery and indensity of conditions which are from sea surroundings.

When water granules with chemical mixtures which were condensed on the air reason for micro climate conditions, reach to concrete surfaces, it was reached to result of endurance of building elements are affected with formations such as abrasion on concrete, disintegration, scouring especially on shore.

Cause of concrete corrosion; to prevent decreasing of endurance and resistance of building elements; proposals relating to various precautions have been submitted within our working.

Key Words : Corrosion, Abrasion, Depravation, Endurance, Resistance

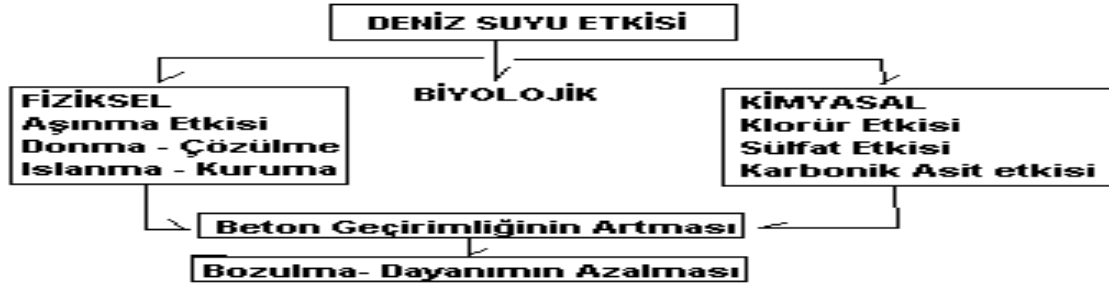
1. GİRİŞ

Betonarme yapı elemanlarında; beton ve çeliğin korozyon süreçleri birbirlerinin etkisinde olup, her iki süreç birleşerek yapı elemanının daha yoğun ve hızlı bir reaksiyonla dayanımının düşmesine neden olurlar. Deniz atmosferinde bulunan zararlı su, hava ve kimyasal etkenler nedeniyle beton yüzeylerde oluşan korozyon sebepleri konumuzun özünde ve yapımızdaki çalışmalarımızla ilgililerin faydasına sunulmuştur.

2. BETON VE BETONARME YAPILARDAKİ KOROZYONA DENİZ ORTAMININ ETKİ MEKANİZMASI

Denizler yeryüzünün yaklaşık %78'lik kısmını oluştururlar, birçok beton ve betonarme yapı elamanı denizle doğrudan veya dolaylı olarak temas halindedir. Bu elemanlar değişik fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler arasında; sülfat etkisi, magnezyum iyonları ile kalsiyum iyonlarının yer değiştirme reaksiyonları, karbonatlaşma, klorür korozyonu, donma-çözülme, tuz kristalizasyonu, dalgaların ve yüzen parçacıkların aşındırıcı etkileri sayılabilir. Yapının veya yapı elemanının yukarıdaki etkilerden herhangi birine veya hepsine maruz kalması ve etkinin şiddeti deniz seviyesine göre bulunduğu konuma bağlıdır. Genel olarak en çok hasar ıslanma-kuruma bölgesinde bulunan elemanlarda olduğu söylenebilir. Deniz ortamında bulunacak yapıların maruz kalacağı bozulmaya neden olan etkileri tablo.1 de ki gibi özetlemek mümkündür.

Tablo.1. Deniz ortamında bulunan yapıların maruz kaldıkları yıpratıcı etkiler



Deniz suyunun beton üzerindeki kimyasal etkisi çözülmüş tuzları içermesinden kaynaklanmaktadır, tipik tuzluluk oranı %3.5 civarındadır. Deniz suyunda bulunan tuzlar arasında, sodyum klorür (NaCl) magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K₂SO₄) sıralanabilir. Çalışmamızda ülkemizin çevresindeki denizlerden alınan deniz suyu numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo.2 de sunulmuştur.

Tablo.2. Ülkemizde Denizlerinde bulunan tuzluluk oranı ve iyon konsantrasyonları

Deniz	Yöre	Toplam Tuzluluk (%)	Mg ²⁺ (Mg/L)	SO ₄ ⁻² (Mg/L)	Cl ⁻ (Mg/L)	Na ⁺ (Mg/L)	Ca ⁺ (Mg/L)
Karadeniz	Akçakoca	1.8	640	1272	8402	5261	250
Marmara	Çınarlı	2,7	980	1945	12841	8049	379
Ege	Bodrum	3,7	1450	2836	18771	11768	560
Akdeniz	Fethiye	3,8	1450	2910	19271	12080	580

Deniz kenarında bulunan bir yapıda, dalgaların yoğun aşındırıcı etkileri, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, deniz suyundan kaynaklanan kimyasal ve biyolojik etkilenme görülür. Bu etkilerin yapının hangi bölgelerinde etkili olduğu tablo.3'de özetlenmiştir.

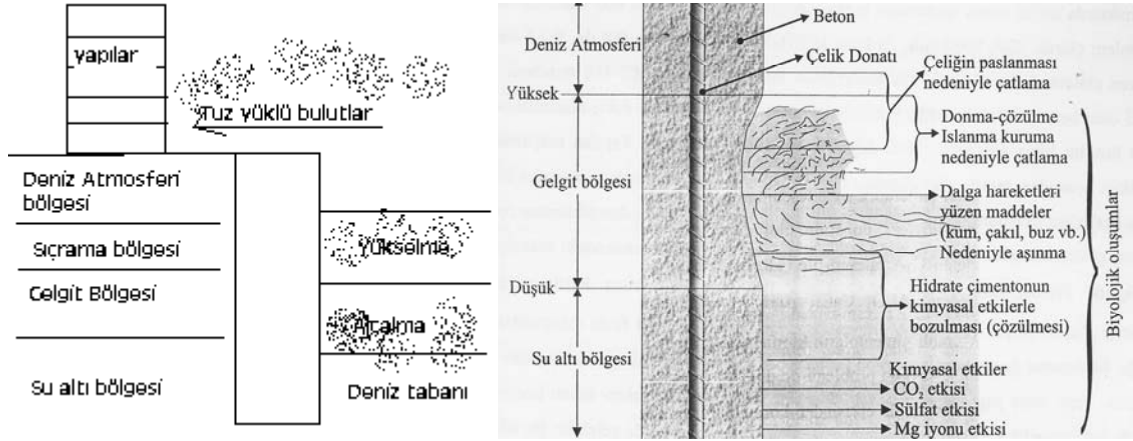
Tablo.3. Deniz ortamında yapının maruz kaldığı yıpratıcı etkiler ve bölgeler

Fiziksel Ve kimyasal bozulma Mekanizmaları	Denize maruz atmosferik ortam (İç Bölgeler)	Dalgaların vurduğu Bölge	Deniz suyunun alçaldığı ve yükseldiği bölge	Su Seviyesinin değişmediği bölge
Donatıda Paslanma	Çok	Çok	Çok	Az
Aşınma	Yok	Çok	Çok	Az
Islanma-Kuruma	Az	Çok	Çok	Yok
Donma Çözülme	Az	Çok	Çok	Az

Kendine ait özellikleri ve zararlı etkileri olan deniz ortamları şöyledir;

- Betonun doğrudan deniz suyu teması olmayan tuz yoğunluklu damlacıkların rüzgarla taşınarak yapıya ulaştığı atmosferik deniz ortamı, yerel şartlara, kıyının coğrafi yapısına ve hakim rüzgarlara bağlı olarak bu etki denizden km.'lerce içerileri etkiler.
- Gel-git seviyesi üzerinde kalan serpinti, sıçrama nedeniyle direkt temasın olduğu bölge
- Beton elemanının gel-git olayı ile etkilendiği bölge
- Beton elemanının suya gömülü olan bölgesi
- Deniz tabanı bölgesi

Denizle temasta olmayan yapıların, deniz suyu ile etkileşim mekanizmaları şekil.1 de verildiği gibi olmaktadır.



Şekil .1. Deniz kıyısı yapılarında görülen korozyon saldırıları.

Etkin kimyasal oluşumu açısından, deniz suyu hidrote çimento bileşenleri ile reaksiyon yapabilen magnezyum ve sülfat iyonları içerir. Deniz suyunda çözülmüş bulunan CO_2 karbonik etkisi yapar. İçerdiği yüksek sülfat iyon konsantrasyonu ile deniz suyu beton üzerinde sülfat etkisi yapar, C_3A ve CSH ile sülfat iyonlarının reaksiyonundan etrenjit oluşur. Bu bulgu oluşan etrenjitin ancak yüksek alkalili ortamda su emerek şiştiği ve genleştiği şeklinde yorumlanır. Deniz suyunun beton üzerindeki bir diğer kimyasal etkisi ise magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonlarıyla yaptığı yer değiştirme reaksiyonudur.

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Mg(OH)_2$ Oluşan $Mg(OH)_2$ brusit adıyla bilinir. Çökerek yüzeydeki gözenekleri tıkar ve koruyucu tabaka oluşturur. Bu tabaka genellikle suya gömülü bölgede görülür.

Ancak yapının serpinti dalgalarına maruz kalan yüzeyleri de bu tabakaların uzaklaşmasıyla reaksiyon tekrarlanır ve kütle kaybı süreklilik kazanır. Bu kısımlarda yer değiştirme reaksiyonları betonda bağlayıcılık özelliğini etkiler ve beton kolay hasar görür. Deniz suyunun rüzgarla taşınan iç bölgelerdeki yapılarda da etkileri gözlenmektedir. Deniz üstü(atmosfer) alanında tuza doymuş hava rüzgarla taşınarak karada klorların yoğunlaşarak depolanmasına neden olur. Sonuç olarak klor betondaki çatlak ve geçirgen kısımlardan içeri girerek betonarme donatısına varır ve donatı korozyonunu başlatır.

Atmosferdeki karbondioksit (CO_2) gazının bir kısmı suda çözünür dolayısıyla doğadaki tüm sular karbonik asit içerir ve yapı elemanı yüzeyinde suyun sertliği P^H değerine göre hasara yol açar. Islanma-kuruma etkisinin deniz suyu ile beton içine sızan tuzların kuruma esnasında suyun buharlaşmasıyla betonda kalması betondaki yoğunluğu artması, tekrar ıslanma sonucunda tuzların suyla teması sonucu hacimlerinin artarak betonda genleşme yaratmaları ve hasar oluşturmaları gözlenir. Islanma-kuruma ve tuzların kristalizasyon basıncı etkileri sıçrama ve gel-git bölgesinde dalgaların ve su içindeki yüzen cisimlerin aşındırıcı etkisiyle kendini gösterir. Üst gel git kısmı ve bunun üstündeki dalga serpinti bölgesinde betonda daha yüksek tuz miktarı görünmüştür. Deniz üstü yapılarda, kazık ve ayaklara çarpan dalgalar serpinti ile tabliye altında ve bağlantı kirişleri üzerinde tuz birikimine neden olurlar. Soğuk iklim bölgelerinde sıçrama ve gel-git bölgelerinde betonda aşınma ve tuz kristalizasyonunun yanı sıra donma- çözülme etkileri de betonda korozyona neden olmaktadır.

Batık alanda (tamamen su içerisinde) deniz suyunun çimento hidratasyon ürünleri ile kimyevi reaksiyona girmesi nedeniyle yapıda bozuşma ve dökülmeler görülür. Bu bölgede oksijen olmadığı için donatı korozyonu, donma çözülme olayı görülmez.

3. DENİZ KENARI YAPILARDA BETON KOROZYONUNA YOL AÇAN ÇEVRESEL ETKENLER

3.1. İklim ve Çevre Özellikleri

Bir yapının etrafındaki mikro iklim, o yapının özel geometrisi ve yerleşiminin makro iklimle birlikte oluşturduğu iklimdir. Yapının dayanıklılığında iklimin çok etkisi vardır. Sıcak ve kuru iklimlerde üretilen betonlarda çıkan, problemlerin asıl sebebi yüksek sıcaklık ve çoğu kez beton içindeki suyun hızla buharlaşması olup, sıcak ve kuru iklimin istenmeyen etkileri; - Karışım suyunun arttırılması, -betondaki işlenebilirlik kaybının artması, -priz müddetinin azalması, -Tuz içeren bir zeminin varlığı, - Orta ve uzun vadede dayanıklılık problemleridir. Yeryüzü iklimlerini global bir sistem içinde nisbi bir değerlendirme ile ayırmak gerekmiş, bu alanda iyi çalışmalar yapılmıştır. Bölgemiz için iklim durumu aşağıda tablo.4.'de verilmiştir.

Tablo.4. Orta enlem İklimi

İklim Grubu	Yağış Sıcaklık	Özellikler	Betona etki
Akdeniz iklimi	400-800 mm/yıl	12-38° CYazları sıcak kuru kışları yağmurlu	Sıcak iklim etkisi Tuzlu çevre

İklim sınıflandırması olarak kutup, ılıman, tropik, kontinental, deniz, dağ gibi birçok varyasyonu vardır. İklim farklılıklarının çıkaracağı olaylar olarak sel sularının miktarları, don olayı şiddeti, kum fırtınası vb. olaylar tanımlanabilir. Bunların, beton karışımlarında ve malzemelerin değişik performansında önemli etkileri olmaktadır.

Tablo: 5. Sıcak, yağışlı ve kuru iklimlerde beton kalitesini etkileyen nedenler

Neden	Özellik	Betonda gözlenen etkenler
İklim	Aşırı rüzgarlar, Yüksek sıcaklık değişimleri Nem değişimleri, Hızlı buharlaşma	Plastik büzülme çatlakları, çökme kaybı, Yüksek su/Çimento oranı gereksinimi, hidrasyon süresince sıcaklıktan dolayı dayanım kaybı,
İşçilik, İşyeri Kontrolü	Kısa iş programı, Sıkıştırma Kalıp, kür hataları Uygun olmayan karışım Yüksek su/çimento oranı	Betonda boşluk oluşumu Betonda ayrışma Düşük dayanım, plastik oturma Termik çatlaklar ve Karbonatlaşma
Planlama Şartları	Kalite kontrol da eksiklik Yetersiz bakım Hızlı betonlama	Kötü kalite beton üretim olasılığı Malzeme ve işçilik hataları Temel problemleri

Üst yapı beton elemanlarının yüzeylerinde bozulmalara yol açan çevre koşullarını çok açık bir şekilde belirleyecek, genel kabul görmüş bir yöntem yoktur. Çevre koşullarını durabilite açısından değişik sınıflara ayıran şartnameler mevcuttur. Örneğin, Avrupa Birliği Normalizasyon Komitesine ait (CEN) çevresel koşullar daha detaylı olarak tablo 6'de taslak halinde görülmektedir.

Tablo 6. Betonun durabilitesi açısından çevresel etki sınıfları

Etki	Çevre Koşulları
1	<u>Kuru ortam</u> , örneğin. - Normal konut ve ofislerin iç mekanları, - Rüzgar, yağmur, don gibi hava koşullarından etkilenmeyen veya zemin ve su etkisinde kalmayan dış cephe elemanları, - Bir yıl içinde kısa bir süre için yüksek neme sahip olan ortamlar (örneğin, yalnızca 3 aydan az süre bağıl nemin %60'ı aşması).
2	a) <u>Don etkisinin olmadığı nemli ortamlar</u> , örneğin - Nemin yüksek olduğu bina içleri, - Açık hava koşullarına, rüzgara açık dış cephe elemanları, - Zararlı unsurlar içermeyen su ve toprak içinde kalan yapı elemanları. b) <u>Don etkisinin olduğu nemli ortamlar</u> , örneğin - Açık hava koşullarına, rüzgara veya zararlı unsurlar içermeyen su ve zemine maruz yapı elemanları.
3	<u>Don etkisinin ve buz çözücü tuzların bulunduğu nemli ortamlar</u> , örneğin, - Don ve buz çözücü tuzlara, açık hava koşullarına veya zararlı unsurlar içermeyen su ve zemin koşullarına maruz kalan elemanlar.
4	a) <u>Deniz suyu ortamı</u> , örneğin - Deniz suyunun sıçrama ve gelgit bölgesindeki veya bazı kısımları suya gömülü bazı kısımları atmosfere açık elemanlar. - Deniz kıyılarında tuzlu suya doymun atmosferik koşullarda bulunan elemanlar.
Aşağıdaki sınıflar yalnız başına veya yukarıdaki gruplardan biri ile birlikte görülebilir.	
5 (Bkz. Tablo 7)	a) Hafif zararlı kimyasal ortam (gaz, sıvı veya katı) b) Orta zararlı kimyasal ortam (gaz, sıvı veya katı) c) Yüksek derecede zararlı kimyasal ortam "(gaz, sıvı ve katı)

Tablo .7. Çevresel etki sınıfları (TS EN 206-1)

Sınıf Gösterimi	Çevrenin tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait örnekler
1. Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok		
XO	Donatı bulunmayan beton: Donma- çözülme Etkisi ve kimyasal etki harici tüm etkiler Donatı veya gömülü metal içeren beton	Çok düşük rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton (Beton çok kuru)
2. Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon Donatı veya diğer gömülü metal içeren betonun hava ve nem etkisine maruz kalması halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır .		
XC 1	Kuru veya sürekli ıslak	Bağıl nemin çok düşük olduğu binaların iç kısımlarındaki beton, Sürekli şekilde su içerisindeki beton
XC2	Islak , arasıra kuru	Su ile uzun süreli temas eden beton yüzeyler, temeller Orta derecede veya yüksek rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton
XC3	Orta dereceli nemli	Yağmurdan korunmuş, açıkta bulunan betonlar
XC4	Tekrarlı ıslanma ve kurumaya maruz	XC2 etki sınıfı dışındaki, su temasına maruz beton yüzeyler
3 Deniz suyu haricindeki klorürlerin sebep olduğu korozyon Donatı veya diğer gömülü metal içeren betonun, buz çözücü tuzları da ihtiva eden, deniz suyu haricindeki kaynaklardan gelen klorürleri ihtiva etmesi halinde etki, aşağıda şekilde sınıflandırılır .		
XD1	Orta derecede nemli	Hava ile taşınan klorürlere maruz beton yüzeyleri
XD2	Islak, arasıra kuru	Yüzme havuzları, klorürleri içeren endüstriyel sulara maruz betonlar
XD3	Tekrarlı ıslanma ve kurumaya maruz	Klorürleri ihtiva eden Serpintilere maruz köprü kısımları, Kaldırımlar, araba park yeri döşemeleri
4. Deniz Suyundan Kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon Donatı veya diğer gömülü metal içeren betonun deniz suyunda bulunan klorürlere veya deniz suyundan kaynaklanan tuz taşıyan hava ile temas etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır .		
XS 1	Hava ile taşınan tuzlara maruz, fakat deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	Sahilde veya Sahile yakın yerde bulunan yapılar
XS2	Sürekli olarak su içerisinde	Deniz yapılarının bazı bölümleri
XS3	Gelgit, dalga ve serpinti bölgeleri	Deniz yapılarının bazı bölümleri

Çevresel etki sınıflarında sadece sülfat etkisi, donma çözülme, buz çözücü tuzlar, deniz suyu gibi bazı genel fiziksel ve kimyasal etkilerin dikkate alınması gerekmektedir. Türk standardında TS EN 206-1' de verilen çevresel etki sınıflaması ise Avrupa birliği normlarına benzer şekilde düzenlenmiş ve tablo.7 gösterilmiştir. Beton tablo 7'de tarif edilen etkilerin birden fazlasına maruz kalabilir. Bu nedenle betonun maruz kaldığı saldırı, çevre şartlarının yarattığı etki sınıflarının birleşimi olarak ifade edilebilir.

3.2. Nemin varlığı

Betonun bozulmasına yol açan tüm kimyasal reaksiyonların gelişmesi suyun varlığına bağlıdır. Nemin beton içinde bulunması, ortamdaki bağıl neme kıyasla çok daha önemlidir. Bağıl nem betonun nem içeriğinden fazla olduğu zamanlarda beton, atmosferden suyu hızla bünyesine alır. Betonun ıslanması kurumasına kıyasla daha hızlıdır. Beton değişken iklim koşullarında, sürekli ıslanan kuruyan bölgelerde, deniz kıyılarında çoğunlukla suya doygun konumdadır. Ortamın bağıl nem seviyesine göre değişik bozulma süreçlerinin gelişme riski (CEB) Avrupa Beton Komitesi tarafından tablo 8'de gösterildiği gibi değerlendirilmektedir.

Nem içinde zararlı kimyasal maddelerin en çok rastlanılanları ve betonda yol açtığı hasarlar aşağıdaki gibidir.

a-Karbon dioksit : Karbonatlaşma olayına yol açar.

b-Oksijen : Donatı korozyonuna yol açar.

c- Asitler : Çimento eritir

d-Klorürler : Donatı korozyonuna yol açar.

e-Sülfatlar : Çimento ile genişleyen reaksiyona yol açar.

f-Alkaliler : Agregaya ile genişleyen reaksiyona girer.

Nemin içinde bulunan klorür iyonlarının bulunduğu ortamda (nem tutuculuk) hidroskobik etki nedeniyle betonun su içeriği artar.(Baradan,2002)

Tablo : 8. Nem durumunun kalıcılık üzerine etkisi

Etkifli Bağıl Nem (%)	Bozulma İşlemi				
	Karbonatlaşma	Çeliğin Korozyonu		Don Etkisi	Kimyasal Etkiler
		Karbonatlaşmış Beton	Klor Etkisinde Kalmış Beton		
Çok düşük (<45)	1	0	0	0	0
Düşük (45-65)	3	1	1	0	0
Orta (65-85)	2	3	3	0	0
Yüksek (85-98)	1	2	3	2	1
Doygun (>98)	0	1	1	3	3

0 = Risk yok

1 = Düşük risk

2 = Orta risk

3 = Yüksek risk

3.3. Sıcaklık seviyesi

Sıcaklığın kimyasal reaksiyonların hızını arttırdığı bilinen bir gerçektir. (Cilason,2000) Nemin varlığı, nem içinde zararlı maddelerin varlığı ve sıcaklık seviyesi herhangi bir ortamı karakterize etmek için dikkate alınması gereken en önemli parametrelerdir. Betonda karbonatlaşma olayı en hızlı şekilde bağıl hava neminin %50-60 olduğu ortamlarda gelişir. Bu nem seviyesinin üstünde ise, beton içindeki boşluklar su ile dolu olduğundan CO₂ beton içine giremez, % 95 bağıl nem değerinde karbonatlaşma tamamen durur. Buna karşılık korozyon hızı % 50-60 nemde oldukça yavaşken, karbonatlaşmış betonda % 75-80 nemde ve klorürlü ortamda ise % 90-95 nemde en yüksek değerine ulaşmaktadır. Betonun nem içeriğinin genellikle ortamın bağıl nemine kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu,

betonun klorür içermesi halinde, klorürlerin nem tutucu etkisi nedeniyle bu fark daha da belirginleşir. Ayrıca doygun betona oksijen girişinin azalması nedeniyle korozyon oluşumunun yavaşladığı görülmektedir.

3.4. Kimyasal etkenler

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini; betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliliğinin artması, çatlamlar, dökülmeler, kapak atmalar ve betonun yumuşaması, dayanımı ve rijitliğini kaybetmesi olarak gösterir. Betonun kimyasal reaksiyonlar sonucu zamanla bozulmasına sebep olarak zararlı maddelerin (iyon-molekül) çoğunlukla çevreden nem yoluyla beton yüzeyine taşınımı ile olduğu bilinmektedir. Böylece bozulma süreci hızlanmaktadır. Bu kimyasal reaksiyonlar kuru ortamda oluşmazken, korozyonun oluşmasını sağlayan su veya su buharının varlığıdır. Kimyasal içerikli damlacıkların taşınımı yavaş olduğundan beton yüzeylerinde zararlı etkileri yıllar sonra ortaya çıkar. Kimyasal reaksiyonların oluşumu, büyük ölçüde maddelerin beton bünyesine taşınım hızına bağlı olup dolayısıyla betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Ayrıca sıcaklık iyon veya moleküllerin hareketliliğini artırarak reaksiyonun hızlanmasını sağlar. Kimyasal reaksiyona giren oluşumların en önemlileri sülfat, asit ve alkali oluşumlarıdır. Deniz suyundaki tuz etkileri ile ortamda bulunan kimyasal tuzlar, kireç taşı, şap, lateks, nişasta, reçene, kaolin, linter gibi kimyasallar fiziksel etkileri olan materyallerdir.

Betonun korozyonuna yol açan kimyasal reaksiyonları üç grupta toplamak mümkündür.

I.Grup Reaksiyonlar, düşük sertlikteki suların çimento hidrate bileşenlerini çözmesi ve yıkayarak beton bünyesinden uzaklaştırması şeklinde gelişir.

II. Grup Reaksiyonlar, agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesidir. Reaksiyon ürünleri ya yıkanarak uzaklaşır veya suda çözünmeyen yeni bir yapı oluşturur. Asitlerin ve Mg^{2+} iyonu içeren suların oluşturdukları hasarlar bu tür reaksiyonlara örnektir.

III. Grup Reaksiyonlar, genişleyen ürünler oluşturarak betonda hasara yol açarlar. Sülfat etkisi, MgO ve CaO gibi çimento bileşenlerinin gecikmiş hidratasyonları, alkali silika reaksiyonu(ASR), beton içine gömülü çelik donatının korozyonu bu tür bozulmaların en tipik örnekleridir.(Baradan,2002)

Korozyonun oluşum hızı sıvı içindeki pH değeri ile ilgilidir. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest CO_2 veya H^+ iyonu içeren sular, endüstriyel atıklar, kanalizasyonların karıştığı sular, atmosfere karışan gazların nemle asit yağmuru şeklinde yerüstü ve yer altı yapı elemanlara zarar verirler.(Cilason,2000) Sıvı içindeki pH 4.5-4.0 arasında ise zararlı reaksiyon saldırısı şiddetli, 4.5 ve üzerinde ise çok şiddetli oluşur. Sertlik derecesi düşük olan kar suyu, yağmur suyu gibi saf sular çimento içindeki kalsiyumlu bileşenlerin çözünmesine neden olurlar. Hidrate çimento bileşenleri içinde kalsiyum hidroksit litrede 1230 mg çözünürlükte saf su ile en fazla hidrolize uğrayan bileşendir. Çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz sona erer. Sürekli suyun akması veya yenilenmesi durumunda ise kalsiyum hidroksit tamamen çözünüp yıkanarak hamur dışına atılabilir. Bu kez çözünme bağlayıcı özellikteki CSH jellerinde başlar, bunun sonucunda kireç içeriği azalır. Azalma sonucu betonda dayanım kaybı başlar, kirecin boşaldığı gözenekler nedeniyle geçirimsizlik artar.

3.5. Islanma

Yağmur birçok etkiyi bünyesinde taşır. Beton yüzeyinde birikmiş zararlı maddeleri yıkar götürür. Beton yüzeyi kuru ise kolaylıkla absorbe (emilir) edilir. Beton yüzeyinde gecikmiş ve ağır olmak üzere oluşan hidratasyonu hızlandırır. Deniz kenarı yapılarda beton

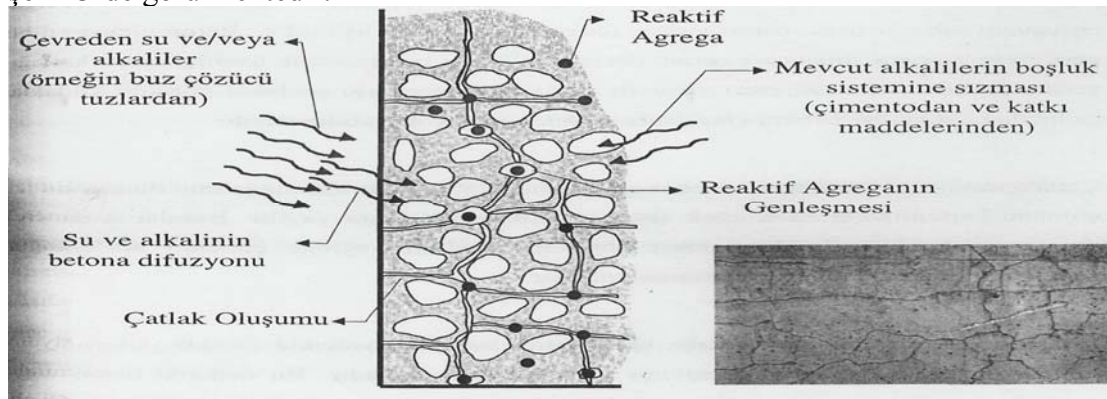
yüzeyinde ıslanma-kuruma neticesinde tuz birikimi görülür. Deniz kenarı yapılarda beton yüzeyi kuru ve su emici olup ıslanma, dalga etkisi, rüzgar, serpinti ve yoğunlaşma bu yüzeylerde zarar verecek tuz birikimine neden olur.

3.6. Rüzgar

Rüzgar denizden tuz ve karadan tuzlu tozun beton yüzeye taşınmasında etkili rol oynar. Dalganın rüzgarla taşınan serpintisi yapı elemanının üzerine gelir. Gece oluşan çığ ve bunun suya dönüşümü yüzeydeki tuzu beton tabakasına indirerek korozyona neden olur. (Cilason 2000)

4. DENİZE YAKIN ORTAMDA BULUNAN TESİSİMİZDE BETON KOROZYONUN OLUŞUMU

Araştırma kapsamında ele alınan sanayi tesisi denize 10 km. mesafededir. Akdeniz ve Ege iklim kuşağında olan tesis civarında, micro iklim olarak; yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı hava görülür. Ayrıca bağıl nem oranı %60 – 85 civarında olup, her mevsimde beton yüzeylerde su buharı damlacıkları gözlenmektedir. Bilindiği üzere iyon değiştirme reaksiyonları, agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesi şeklinde gelişir. Ortamda bulunan asitler iyon değişimi ile çimento hamuru bileşenlerinden çözünebilen veya çözünemeyen kalsiyum tuzları meydana getirmişler. Bağıl nemden dolayı oluşan kimyasal içerikli su buharı damlacıkları beton yüzeyinde geçirimsizlik hasarını yavaş yavaş başlatmış ve asitlerin sertleşmiş beton üzerindeki, kalsiyum bileşenleri ($Ca(OH)_2$ CSH ve CAH) saldırıda bulunan asidin kalsiyum tuzlarına dönüştürmesi şeklinde gelişmiştir. Nem, alkali-slika ve asit etkilerinin betonda yol açtığı bozulmalar ve dökülmelerin nasıl oluştuğu şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 2. Nem, Alkali-Slika ve Asit reaksiyonu ile betonun bozulması

Kalsiyum tuzları su ve sıcaklık ortamında yavaş ve hızlı çözüldüklerinden, çimento harcı belirli zaman sürecinde bozulmuş ve beton harap olmuştur. Tesisin klor üretim tesislerinin bulunduğu yerde bağıl nemin su buharı damlacıkları ile beton yüzeyini kaplaması ve gündüz sıcaklığı ile kuruyan beton yüzeyde reaksiyon oluşumu farklıdır. Bu farklılık fabrika binası yapı elemanlarında resimlerle tespit edilmiştir. Kenar kirişler, korkuluk tabanları, bordürler, rüzgar ve serpintiye açık olduklarından erken hasar gören yapı elemanları olup tesisde mevcuttur.

Denizden esen rüzgar ve atmosferik ortamda taşınan kimyasal karışimli su zerrecikleri beton yüzeylerde, tabliye altlarında toplanmışlardır. Yüksek neme sahip bu bölgelerde tabliye altı kiriş ve kolonlarda ciddi hasarların olduğu görülmektedir Böyle bir hasar fotoğraf.1’de görüldüğü gibi bir fabrika tesisinde gözlenmiştir.



Fotoğraf 1. Tabliye altı görünümü

Donatılı kolonlar klor korozyonuna maruz elemanlar olup korozyon bir başlayınca durdurmak mümkün olamamaktadır. Çoğu zaman beton yüzeylerde nemle yoğunlaşan su damlacıkları içindeki kimyasal içerikleri, (Tuz, Klor vs.) yüzeyde bırakarak birikime neden olur. Bu yüzeylerde çatlak, dökülme ve bozulmalar görülür. Sıcak iklim şartlarında klor taşınabilirliği nedeniyle yapı elemanlarında bozulma ve dökülmeler olmuştur.

Kıyı şeridindeki endüstriyel yapılarda soğutma suyu, yangın suyu kullanımından ciddi korozyon problemleri gözlenmiştir. Sanayi tesislerindeki soğutma suyu olarak deniz suyu kullanımı nedeniyle borularda korozyon başlamakta, hasar gören borulardan sızan sular nedeniyle temel elemanları ciddi hasarlar görebilmektedir.



Fotoğraf 2. Beton yüzey görünümü

Asit etkisi farklı yerlerde kendini farklı gösterir. Örneğin, nemli ortamlarda özellikle endüstriyel bölgelerde atmosferde bulunan SO_2 ve CO_2 gazları aside dönüştüğünden beton elemanlarını etkilemektedir. Fabrikamızda asit etkisine; bacalarda, kanalizasyon sularında, arıtma tesislerinde, asit buharının olduğu klor üretim tesisi betonlarında rastlanmıştır. Asit reaksiyonlarının hızı ve şiddeti, asit tipine, etkilenme süresine, asit yoğunluğuna göre değişmekle birlikte zamanla betonda döküntüler yapmıştır.

Havada bulunan CO₂ gazı su da kolaylıkla çözünerek karbonik asit oluşturur.

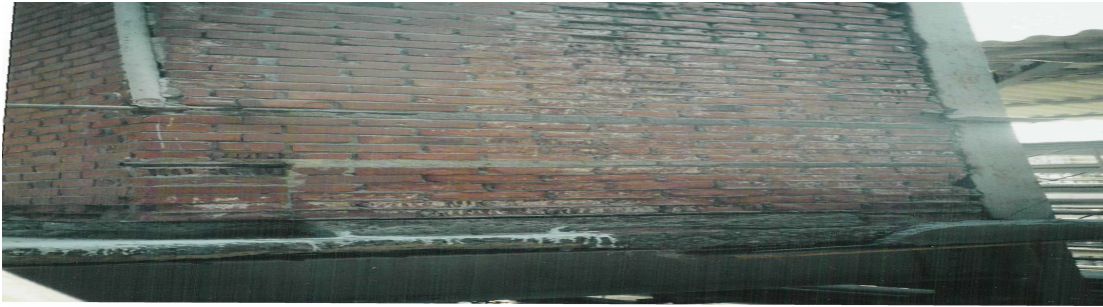
$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ Suyun içinde CaO yine su içinde bulunan CO₂ ile birleşerek CaCO₃ oluşturur. CaCO₃ ise karbonik asitle reaksiyona girip kalsiyum bikarbonatı oluşturur. $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ kalsiyum bikarbonat oluşumu çimentodaki CaOH₂ ile birleşerek CaCO₃ oluşturur. (Baradan,2002)

$Ca(HCO_3)_2 + CaOH_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$ Bu oluşum az miktarda ise betonda dış ortama dayanıklılık gibi iyi sayılacak bir özelliğe sahiptir denilebilir, fakat bu oluşum arttığında betona hasar vermiştir.



Fotoğraf 3. Tabliye altı görünümü

Fotoğraf 2, 3 ve 4' de görülen beton hasarı yılda bir defada oluşabilecek asit yağmurunun etkisiyle oluşan hasar değildir. Bir defadaki asit yağmurunun beton yüzeyini çözmesi zordur. Resimlerde görülen betonlardaki hasarlar yukarıda belirtilen atmosfer gazlarının neden olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca yaptığımız incelemede ortamı etkileyen bağıl nem yardımıyla çözülmüş düşük yoğunluklu zararlı maddelerin zamanla suyun buharlaşması sonucu beton eleman üzerinde sürekli birikimi görülmüştür. Zararlı birikimler sertleşmiş çimento harcında değişimi başlatmış ve geçirimsizlik nedeniyle dayanım düşmüş, yüzeyde dökülmeler olmuş, hasar seviyesi donatıya kadar inmiştir.



Fotoğraf 4. Beton yüzey görünümü

Deniz ortamındaki çevresel etkenler nedeniyle yapıda görülen beton hasarlarına neden olan kimyasal maddeleri ve etkilerini tablo 10.daki gibi özetlemek mümkündür.

Tablo 9. Tesis de beton korozyonuna neden olan kimyasal maddeler ve etkileri

Kimyasal Madde	Betonda görülen etkiler
Baca gazları	Sıcak termal gerilmelere yol açar, soğuk, yoğun Sulforoz, hidroklorik asitle yavaş parçalanmış.
Nemle taşınan Deniz suyu	Sülfat etkisine dayanıksız betonu parçalar, geçirimsizlik sonucu betonda donatıyı paslandırır.
CO ₂	Kalsiyum karbonat,kalsiyum hidroksit ve karbonik asit oluşması sonucu beton çatlaklar, geçirimsizlik başlar ve donatı paslanır
İyot	Betonda parçalayıcı etki görülür.
Klor	Uzun zaman içinde betonda gözeneklilik ve dökülmeler yaparak, donatıya kadar parçalamış, donatı korozyonu başlamış.

5.ÖNERİLER

Yapılan araştırmalardan da görüldüğü gibi yapılar buldukları ortamın özelliğine göre çeşitli etkilere maruzdur. Bu da yapının zamanla bozulmasına işlevinin sona ermesine ve emniyetinin azalmasına yol açmaktadır. Bu tür etkilerin ne olduğu bilirse ona tedbir almak mümkün olur. Bu tedbirler gerek malzemelerin üretiminde ve gerekse üretildikten sonra dıştan yapılacak yalıtımlarla olabilir. Bu çalışmada da ifade edilen bozulma ve hasarların oluşmaması için malzeme üretiminde ve üretim sonrası alınacak önlemleri şöyle sıralayabiliriz.

- Deniz suyu sülfat etkisinde önlem olarak çimentoda C₃A içeriğinin %3'ten az, SO₃ içeren çimentoda ise %10 ile sınırlanması önerilir.
- ACI 318 standardı S/C oranı 0.5 olan betonda C₃A içeriğini %8 ile sınırlamakta, S/C oranının 0.4'e düşürülmesi ile C₃A üst limitine artırarak %10 değerine müsaade edilebileceği belirtilmelidir.
- Tekrarlı ıslanma-kuruma ve aşınma problemi olan beton yüzeyler incelendiğinde ince agregaların beton kütesinden kolay ayrılarak, kaba agregalarında zamanla yok olarak hasar gözlenmiş olup bunun önlemi olarak su emmesi düşük ve yoğun bir agregaya karışımı kullanılması önerilir.
- Betonda meydana gelen hasar donma-çözülme nedeniyle ise bu bölgelerde yapılacak beton elemanlarda bozulmayı önleyecek en etkili önlem betonda hava sürükleyici katkı maddesi kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.
- Bu bölgelerde yüksek dozajlı beton sınıfı seçilmeli, şiddetli etki durumunda C 30-C35 üzeri beton kullanılmalıdır. Betonun küründe gözlenen olumsuzlukları ortadan kaldırmalıyız. Betonda karbonatlaşma olayının hızını arttıran oluşum olan yüksek su/çimento kullanımını engellemek gerekir.
- Yapımızda olduğu gibi ıslanma-kurumaya maruz elemanlarda su/çimento oranı 0.50 civarında olmalıdır. Esasında tüm beton yüzeylerin geçirimsiz maddeler ile kaplanması en uygun yöntem olarak önerilir. Betonda korozyonu önlemek için beton üretiminde kullanılan malzemelerin kalitesine, çimento türüne, sıkıştırma miktarına ve üretimin her aşamasında kalite kontrolünün iyi yapılmasına özen gösterilmelidir.
- Yeterli kalınlıkta pas payı kullanılmalıdır. Korozyon bölgesinde pas payı en az 50-60 mm. olmalıdır.
- Yapı elemanlarının tasarımı yapılırken zararlı suların eleman üzerinden kolayca nasıl uzaklaştırılacağı düşünülmelidir. Bu bağlamda yapının dış cephesindeki mimari detaylarda, yağmurun yıkama etkisi, toz, kir, klorür ve zararlı maddelerin birikiminin olabileceği düşünülmeli bunun içinde yatay yüzeylerden kaçınılmalıdır. - Çok şiddetli etki durumunda betonun izole edilmesi, donatının korozyona karşı koruyucu maddelerle kaplanması önerilir.

KAYNAKLAR

1. B.Baradan ve H.Yazıcı, 2002. "Betonarme Yapılarda Kalıcılık"DEÜ.80-220.
2. TS 11222 "Beton, Hazır beton-sınıflandırma-özellikler-performans; üretim ve uygunluk kriterleri" Türk Standartları, 16-18, 2001
3. N.Cilason ve N.Aksoy, 2000."Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması" Yalkın yayınevi 91.
4. "Beton çatlakları" Türkiye Hazır Beton Birliği yayınları. www.thbb.org.
5. Hazır Beton Dergisi, 1999. Türkiye Hazır Beton Birliği yayınları.
6. Corrosion in Concrete [www.corrosion doctros.org](http://www.corrosion.doctors.org)
7. M.Sümer, 2001."İleri Beton Teknolojisi Yayınlanmamış Ders notları" 5-25.
8. M.S.Akman, 1992, "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi", İTÜ, İstanbul, 132-194.
9. M.Arslan, 2001. " Beton " Atlas Dağıtım, Ankara, 158.