



PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
**BETON YAPILARDA İNHİBİTÖR KULLANIMININ KOROZYON
ÖNLEMEDEKİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özlem AYDIN*¹, Zeki ÇİZMECİOĞLU²

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Geliş/Received: 15.11.2012 Kabul/Accepted: 25.09.2013

ÖZET

Bu çalışmada, beton yapılarda korozyon oluşumunda klorun rolü ve inhibitörlerin korozyonu önlemedeki etkinlikleri incelenmiştir. Korozyon, çeliğin en kesit kaybına ve beton-çelik aderansının azalmasına, böylece betonarme elemanın taşıma gücünün azalmasına yol açar. Korozyon nedeniyle yapının deprem güvenliğinin kaybolması, zamanla yapının kullanılamaz hale gelerek servis ömrünü tamamlaması olasıdır. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için korozyona karşı çeşitli önlemler almak gerekir [1]. Mevcut metodların arasında korozyon inhibitörleri, öncelikli olarak klor nedenli korozyonu önlemek ve durdurmakta basit ve maliyet etkin önleme tekniği olarak sunulabilmektedir [2].

Anahtar Sözcükler: Betonarme, inhibitör, korozyon, beton, klorür.

EVALUATION EFFICIENCIES OF INHIBITORS IN THE INHIBITION OF REINFORCEMENT CORROSION IN REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT

In this study, the effects of chloride in the formation of corrosion in concrete structures and efficiencies of inhibitors in the inhibition of reinforcement corrosion were evaluated. Corrosion of the steel causes the loss of the cross-section and can lead to reduced adherence between concrete and steel so corrosion can lead to reduced strength of reinforced concrete. Earthquake safety of structure is likely to deteriorate and completion of the service life of the structure is likely to come unusable due to corrosion. To minimize these problems need to take various measures against corrosion. Between existing methods, corrosion inhibitors can be presented primarily in order to prevent and stop the chloride induced corrosion as a simple and cost effective prevention technique.

Keywords: Reinforcement, inhibitor, corrosion, concrete, chloride.

1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılardaki korozyon gelişimi, yapılardan beklenen emniyet ve servis ömrü ile ilgili gereksinimleri büyük ölçüde etkilemektedir. Klorür etkileri, karbonatlaşma gibi çeşitli agresif şartlara maruz kalan betonarme elemanlar kısa sürede kullanım dışı kalabilmektedir [3].

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ozlemaydin12@gmail.com, tel: (532) 270 74 84
Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Betonun hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yeterince dayanıklı olması, betonun dayanımı kadar önemlidir. Özellikle deniz atmosferine veya suyuna maruz yapılarda ve endüstri yapılarında kalıcılık, en önemli sorunlardan biridir. Yapıların inşası çok zor ve pahalı olduğu için, yapı sahipleri, yapı için uzun bir servis ömrü talep ederler. Örneğin, bundan 50 yıl önce, geleneksel bir betonarme yapı için, 25 yıllık bir servis ömrü çok makul bir istek iken, bugün birçok yapı 100 yıllık bir servis ömrü için tasarlanmakta, bu nedenle dayanıklılık gittikçe artan bir önem kazanmaktadır [4] Beton yapılarda inhibitör kullanımı, uygulama kolaylığı, ekonomikliğı ve etkin performansı nedeniyle korozyonu önlemede en uygun yöntemlerden biri olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, literatür ışığında çeşitli inhibitörlerin korozyonu engellemedeki etkinlikleri incelenecektir.

2. BETON YAPILARDA DONATI KOROZYONUNUN MEKANİZMASI

Çimento ile su arasındaki hidrasyon reaksiyonları sonucu oluşan Ca(OH)_2 (sönmüş kireç) betonun pH'ını yüksek tutar. (yaklaşık 12~13) [5]. Beton içindeki yüksek alkali ortamı, donatı çeliğine sıkıca yapışarak bir film oluşturur [6]. Betondaki çelik, normal olarak çelik çimento ara yüzeyinde alkalın çimento matrisi içerisinde oluşan bu pasif film tarafından korozyondan korunmaktadır [7]. Bu pasif film deniz atmosferi veya tuzlar ile gelen klor ile veya betonun atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyonu sonucunda karbonasyon ile pH'ının düşmesi sonucunda zarar göerek depassivasyona uğrayabilir [2].

Korozyon her zaman birbirini tamamlayan iki elektro-kimyasal reaksiyonla meydana gelir. Bunlar oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarıdır. Oksidasyon atom halindeki metalin (çeliğin) elektron kaybederek iyona dönüşmesi, redüksiyon ise atomdan ayrılan elektronların başka bir ortamda harcanmasıdır. Oksidasyona anot reaksiyonu, redüksiyona katot reaksiyonu adları verilir [1]. Bunlardan birinin önlenmesi korozyon sürecini durdurur. Kendi tuzlarından biriyle hazırlanmış elektrolitik sıvıya daldırılmış metal, bir yarı hücre oluşturur. Onun belirli bir elektro potansiyeli mevcuttur, başka bir yarı hücreye iletken aracılığıyla bağlandığında tam hücreye yani pile dönüşür [1].

Betonarmedeki çelik çubuğun korozyonu için başka bir iletkene gerek yoktur; aynı çelik çubuk üzerinde elektrokimyasal tam hücre kendiliğinden oluşur. Nem, elektrolitik ortamı, çeliğin kendisi de elektronları ileten elektronik iletkeni oluşturur. Oksijen konsantrasyonundaki farklılık çelik üzerinde anot ve katot bölgelerini oluşturur. Bunlardan oksijeni az olan bölgeler hasar gören anot, çok olan bölgeler ise korunan katottur. Oksijen paradoksuna göre, paslanma, oksijenin oranla az bulunduğu bölgelerde daha belirgindir [4].

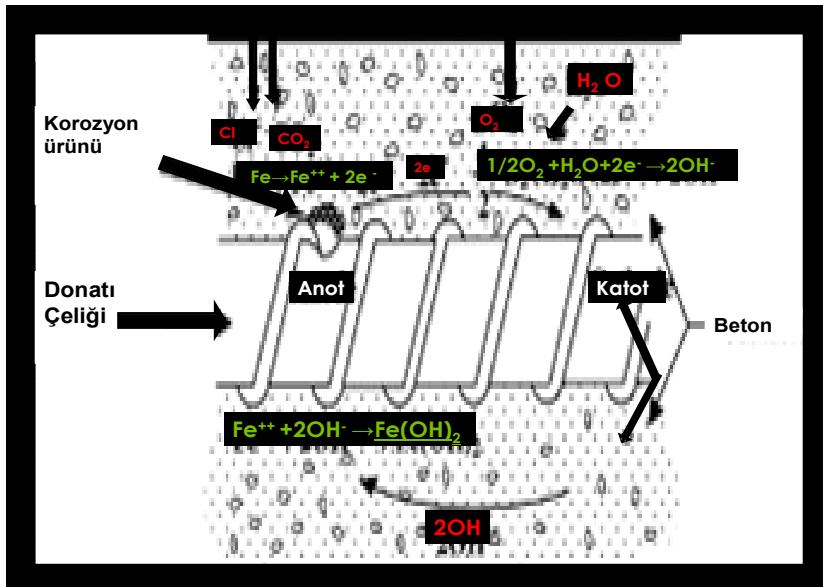
Demirin anot ve katot reaksiyonları bazı tepkimeler ile oluşmaktadır. Bu tepkimeler sırasıyla aşağıda gösterilmiştir [1].

Anodik reaksiyon: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$

Anodik reaksiyonla üretilen elektronlar, anodik bölgeden kullanılacakları katodik bölgeye akarken, dış beton gözenek suyu çözeltisindeki karşı akım iyonik akışı korozyon akımını oluşturur [8].

Anodik reaksiyonda ortaya çıkan iki elektronun (2e^-) çelik yüzeyinde başka yerde "elektriksel nötralizasyonu" korumak için harcanması gerekir. Diğer bir deyişle; çelik üzerinde bir yerde yüksek miktarlarda elektriksel yükün birikmesi mümkün değildir; diğer bir kimyasal reaksiyon elektronları tüketmelidir. Bu olay, su ve oksijeni de kullanan bir reaksiyondur [9].

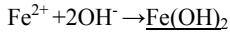
Katodik Reaksiyon: $2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{OH}^-$



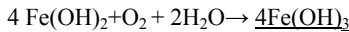
Şekil 1. Betondaki çeliğin korozyonunun şematik gösterimi [4].

Hidroksil iyonları, katodik reaksiyon da oluşur. Bu iyonlar, lokal bazikliği artırır ve böylece katotta karbonatlaşma ve klor iyonlarının etkilerini geri çevirerek pasif tabakayı sağlamlaştırır [9]. Katotta reaksiyon sonucu ortaya çıkan $(OH)^{-}$ iyonlarının elektrolitik sıvı sayesinde anoda gelmesiyle tam hücrenin elektrik devresi kapanır [1].

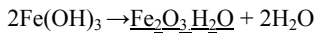
Anoda gelen bu hidroksil iyonları ile elektrolit solüsyonun içerisinde Fe^{2+} iyonları reaksiyona girerek ferro hidroksiti oluşturmaktadır [1]. Ferro hidroksitin ferik hidroksidi oluşması ve daha sonra hidrate ferik oksit ve pas oluşumunu gösteren tepkime dizisi aşağıdaki gibidir ve şekilde donatı çeliği üzerinde oluşan korozyon tepkimeleri detaylıca görülmektedir [9].



Demirli hidroksit



Ferik hidroksit



Hidratlanmış ferik oksit (pas)

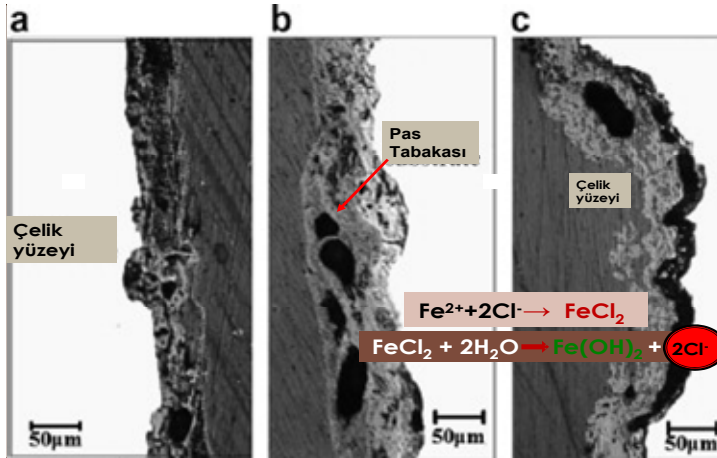
Çelik donatı korozyon sonucu kesit ve süneklik kaybına uğrar. Oluşan reaksiyon ürünleri nedeniyle betonda oluşan hacim artışı önceleri örtü betonunun çatlamasına, ilerleyen aşamalarda ise tamamen dökülmesine neden olur [4].

2.1. Pasifliğin Klorür İyonu Etkisi ile Bozulması

Korozyonun başlıca sebeplerinden biri olarak klor iyonları gösterilmektedir [6]. Betonun permeabilitesi ve porozitesi ne derece yüksek ise, çevreden beton içine klorür iyonları difüzyonu da o derece kolay olur. Zaman zaman ıslanan ve kuruyan betonlarda bu olay daha şiddetli olarak kendini gösterir [10].

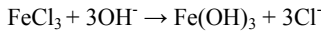
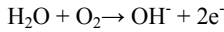
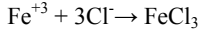
Tekrarlı ıslanma-kuruma etkisindeki deniz yapılarında deniz suyu ile beton içine sızan klorür iyonları, suyun buharlaşması sonucu beton içinde kalmakta, tekrar sayısı arttıkça klorür yoğunluğu da artmaktadır. Bu durumda deniz suyundaki klorür iyonu konsantrasyonundan daha

fazla miktarda klorür iyonu beton içinde birikebilmektedir [4].



Şekil 2. Donatı Çeliğinde Klor Kaynaklı Korozyon Oluşumu

Klorür iyonları, metal tarafından O_2 ve OH^- iyonlarına kıyasla daha çok ve daha kolay adsorbe edilir, anodik reaksiyonun oluşmasını kolaylaştırır, demirin iyonlaşmasını hızlandırır. Özetle klorür iyonları aşağıdaki bağıntılar ile gösterildiği gibi katalizör görevi yapar [4].



Cl^- iyonlarının tekrar ortaya çıkması yukarıdaki anodik reaksiyonun süreklilik kazanacağını da belirtmektedir [9]. Demir-klor kompleksleri anottan uzaklaşırken, çelik yüzeyini koruyucu pastan arındırarak açığa çıkarır ve korozyona süreklilik kazandırır [9].

3. BETON YAPILARDA KOROZYONA KARŞI İNHİBİTÖR KULLANIMI

Korozyon inhibitörleri betonarme yapılarda donatı çeliğinin korozyonunu yavaşlatabilen veya önleyebilen kimyasallardır. Korozyonu inhibite eden katkıları, betonarmeyi korozyon hasarlarına karşı korumada diğer metodlar arasında koruma mekanizması yönünden eşsizdir ve beton matrisinin ayrılmaz bir parçasıdır. İnhibitörlerin çoğu çelik donatı yüzeyini kimyasal yönden dengeleyici olarak davranır. Bir kısmı da beton geçirimliliğini azaltacak şekilde hareket eder. Korozyon inhibitörleri genel olarak yeni yapılarda beton katkısı olarak kullanılır. Fakat onarım amacı ile de beton içerisine yama olarak katılabilir, beton yüzeyine püskürtme veya boya olarak uygulanabilir [11].

Korozyondan korumada inhibitörün avantajları, betonarme içerisinde eşit olarak dağılması ile çelik tüm yüzeyini koruması ve betonu geçirimsiz kılmasıdır [12].

Korozyon inhibitörleri korozyon hızını düşürmede, başlangıç aşamasında veya yayılım aşamasında klor eşik değerini artırarak ya da klor geçirim oranını düşürerek çalışabilmektedir [2].

İnhibitörler tipik olarak üç kategoriye ayrılır:

- ✓ Anodik korozyon inhibitörleri
- ✓ Katodik korozyon inhibitörleri
- ✓ Organik korozyon inhibitörleri [11].

Her üç tipteki korozyon inhibitörü de donatı korozyonunu aşağıdaki mekanizmalarla azaltabilecek maddeler içerir [12].

- Bariyer tabakası oluşturarak
- Metal ile temas eden çevreye etki ederek [12].

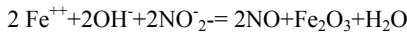
Anodik inhibitörler, kromatlar, nitritler, alkali fosfatlar, molibdatlar, silikatlar ve karbonatlardan yapılabildiği korozyon reaksiyonunun anodik kısmını minimize edecek şekilde davranırlar. Bu inhibitörler çeliği pasive etmek için anodik yüzeyde çözünmez koruyucu bir film oluştururlar [11].

Katodik inhibitörler, çinkodan ve antimon, manganez, magnezyum ve nikel tuzlarından oluşup çeliğin katodik yüzeyinde çözünmez bir film oluştururlar. Bunlar genellikle anodik inhibitörlerden daha az etkindirler fakat daha güvenlidirler [11].

Aminler, esterler, sülfonatlar gibi organik inhibitörler, çeliğin tüm yüzeyindeki anodik ve katodik reaksiyonları bloke ederler. Organik inhibitörler betonun geçirimsizliğini azaltan por tıkaçıcılar olarak da davranırlar [11].

Korozyon inhibitörleri ilk defa 1960'lerde incelenmiştir. İlk inhibitörlerin bazıları sodyum nitrit, sodyum ve potasyum tuzları içermektedir. Çalışmalar sodyum ve potasyum tuzlarının betonun mukavemetini düşürdüğü ve korozyonu engellemede karmaşık sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Bununla birlikte o dönemde incelenen diğer inhibitörlerin betonarmeyi korozyondan korumada umut verici olarak görülmüştür. Bugün sıklıkla korozyon inhibitörleri, örneğin epoksi kaplamalı çelik gibi diğer korozyondan koruma sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır. Örneğin Florida'da bazı yerlerde epoksi kaplamalı çeliklerde yaşanan bazı problemlere karşı inhibitörler buralarda alternatif olarak kullanılmaktadır. Yine inhibitörler, epoksi kaplamalı çeliklerin çoğunlukla kullanılmadığı ön gerilimli beton uygulamalarında da kullanılır. Yine anodik bir inhibitör olan kalsiyum nitrit beton mineral katkılarından silis dumanı ile birlikte kullanıldığı zaman silis dumanı klor iyonlarının içeri nüfuziyetini azaltır ve kalsiyum nitrit korozyon başlangıç için eşiği yükseltir. Ayrıca silis dumanı kalsiyum nitritin indirgediği beton direncini dengeler ve dirençte net bir artış sağlar [11].

Halen sadece birkaç tane ticari korozyon inhibitör katkısı mevcuttur. En yaygın anodik inhibitör kalsiyum nitrit, Daxex korozyon inhibitörü (DCI veya DCI-S) ticari adıyla mevcuttur. Bileşimi genel olarak %30 kalsiyum nitrit ve %70 sudur. Kalsiyum nitrit çelik yüzeyindeki pasif filmi kararlı hale getirerek ve betonarmede korozyonun başlaması için gerekli olan klor eşiğ değerini yükselterek korozyonu düşürür [11].



Rhecrete 222+ da organik esaslı bir ticari inhibitördür. Aktif bileşeni amin ve esterlerin su esaslı bileşimidir. Üreticilere göre bu karışım çelik donatı üzerinde anodik ve katodik reaksiyonlara karşı fiziksel bariyer vazifesi gören koruyucu bir film oluşturmaktadır. Bu inhibitör ayrıca hidrofobik kimyasal bir bileşim ile beton porlarını astarlayarak klor iyonlarının beton içerisine girişini azaltır [11].

Sika Tarafından üretilen ticari inhibitörlerden Ferro Gard 901 ve Ferro Gard 903, amino alkol ,dimetiletanolamin ve sürfaktanların su esaslı karışımıdır. Ferro Gard 901 sulu katkıdır. Ferro Gard 903 ise sertleşmiş beton yüzeyinden içeri nüfuz edecek şekilde uygulanmak üzere tasarlanmıştır ve çelik yüzeyinde korozyonu engelleyen çözünmez bir tabaka oluşumunu sağlar. Bir diğer amin ve alkolün karışımından yapılmış organik Sika ürünü olan inhibitör de Armatec 2000 dir. Hem Ferro Gard hem de Armatec 2000 inhibitörleri betonarmeye uygulandıklarında beton yüzeyinden donatı yüzeyine kadar nüfuz ederler ve donatı yüzeyinde anodik ve katodik reaksiyonları engelleyen bir film oluştururlar [11].

Bahsedilecek son ticari inhibitörde Axim Beton Teknolojileri tarafından üretilen Catexol 1000Cl katkı inhibitörüdür. Catexol 1000Cl imalatçısı tarafından belirli bir data piyasaya sürülmemiş olmakla birlikte organik ve nitrit inhibitörlerinin kombinasyonu olabilir [11].

DCI ticari adı ile bilinen kalsiyum nitrit inhibitörü haricinde yukarıda açıklanan diğer inhibitörler 1990'larda tanıtılmıştır. Bu korozyon engelleyici katkıların yürürlüğe girmesinden bu yana bu inhibitörlerin kendi alanlarında saha performanslarının değerlendirilmesi için zaman yeterli olmamıştır. Dataları çoğu laboratuvar çalışmalarından ortaya çıkmıştır [11].

Muralidharan, Saraswathy, Merlin Nima ve Palaniswamy yaptıkları çalışmada ağırlık kaybı ölçümleri, potansiyel-zaman davranış çalışmaları, potansiyodinamik polarizasyon çalışmaları ve elektrokimyasal impedans ölçümleri ile hidroksit, sitrat, stanat gibi kompleks ve inhibitif iyonların betondaki donatı korozyonuna etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu araştırmaların belirgin özelliği %100 portland puzolanik çimentoda 10.000 ppm klorid mevcudiyetinde donatının pasifliği hızlı bir şekilde bozulmaktadır. Bununla birlikte hidroksit, sitrat, stanat gibi inhibitif ve kompleks iyonlar içeren %100 portland puzolanik çimentoda donatı 30.000 ppm klorid mevcudiyetinde bile pasifliğini sürdürmektedir. Hidroksit, sitrat, stanat gibi inhibitif iyonların katkısı betonarme donatı korozyonunu azaltmaktadır. Sitrat, stanat ve kalsiyum oksitleri portland puzolanik çimentoda çeliğin korozyon hızının kontrolünde çok etkili bulunmuşlardır ve hiçbir zararlı etkileri tespit edilememiştir [13].

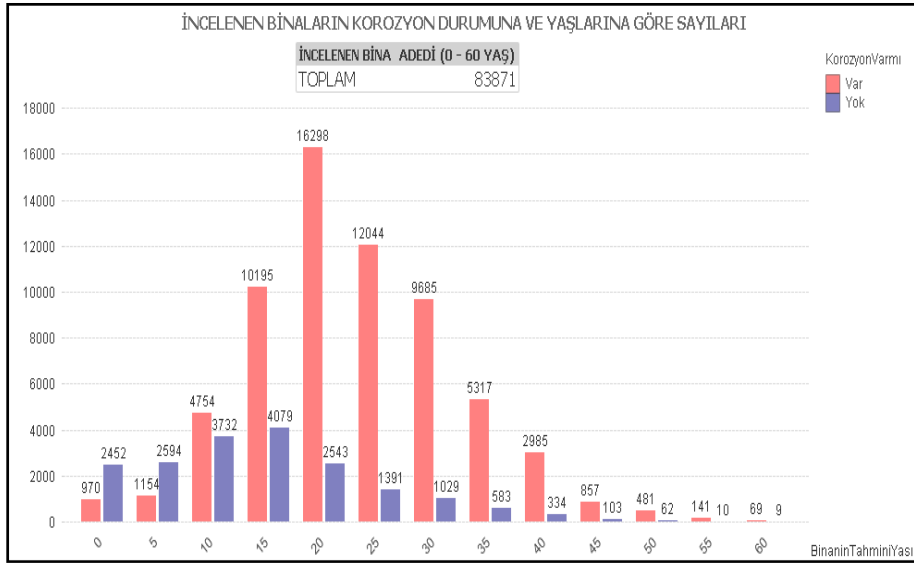
Kondratova ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, iki çeşit ticari korozyon inhibitörünün beton karışımına katılması ile inhibitörlerin korozyonu önlemedeki performansları değerlendirilmiştir. İki çeşit ticari korozyon inhibitörü beton karışımına katılmıştır. Bu inhibitörlerden OCI (ticari organik korozyon inhibitörü) anodik ve katodiktir ve sudaki amin ile esterlerin kombinasyonudur. Diğer inhibitör ise CNI kalsiyum nitrit esaslı korozyon inhibitörü olup minimum % 30 kalsiyum nitrit içerir ve anodik korozyon inhibitörüdür. Betonarme numuneler ABD de doğal deniz ortamına maruz bir adaya bırakılmıştır. Üç yıllık maruziyet sonucunda çatlaksız beton numunelerde her iki korozyon inhibitörünün de korozyon hızını düşürmekte etkin olduğu ve OCI nin CNI'ya göre korozyon hızını düşürmede biraz daha etkili olduğu tespit edilmiştir [14].

Ormellese ve arkadaşları, alkalın ortamdaki karbon çelik donatının klor kaynaklı korozyonuna karşı organik maddelerin engelleyici davranışı üzerine çalışmışlardır. Karbon çelik donatının klor kaynaklı korozyonunun en önemli sebebi betonarme yapılarıdaki zamanından önce oluşmuş hatalardır. Birincil korozyonun önlenmesinde ve klor kaynaklı korozyonun durdurulmasında korozyon inhibitörleri mevcut metodlar arasında basit ve maliyet etkin bir önlem tekniğidir. Bununla beraber ticari inhibitörlerin performansı sadece kısmen tatmin edicidir. Bu çalışmada organik esaslı inhibitörler değerlendirilmiştir. Beton por çözeltisi içinde klor mevcudiyeti simüle edilerek aminik ve karboksilik gruplardaki seksenden fazla sayıda inhibitörlerin donatı korozyonunu önlemedeki etkileri elektrokimyasal potansiyodinamik testlerden yararlanılarak araştırılmıştır. Potansiyodinamik eğrilerden aminlerin zayıf korozyon engelleyici etki gösterdiği tespit edilmiştir. Amino asitler kısmen korozyon engelleyici etki göstermiştir fakat bu da endüstriyel uygulamalar için yeterli değildir. Karboksilat esaslı maddeler özellikle poli karboksilatlar çok iyi korozyon engelleyici etkinlik göstermiştir bu da onları test edilen inhibitörler arasında en gelecek vaad eden adaylar yapmaktadır. Karboksilat esaslı maddeler alkalik zincir ile bir çeşit fiziksel bariyer oluşturup klor iyonlarını bloke etmekte veya metal yüzeyine ulaşmasını geciktirmektedir [2].

Tommaselli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sülfirik asit ve nitrik asit ile kirletilmiş bir doymuş kalsiyum hidroksit çözeltisinde sodyum nitrit ve sodyum molibdat inhibitörlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Konsantrasyona bağlı olarak her iki inhibitörde önemli engelleyici etkiler göstermişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda (%0,013 toplam çözelti kütlesi) sodyum molibdat sodyum nitritten daha fazla verimlilik göstermiştir fakat yüksek konsantrasyonlarda (%0,040 toplam çözelti kütlesi) inhibitif etkiler benzer bulunmuştur [15].

4. BİNALARIMIZDAKİ KOROZYON DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kuruluşu olan Bimtaşın yaptığı araştırmalarda binaların hasar durumları incelenmiş, binalarla ilgili toplanan bilgilerle bir veritabanı oluşturulmuş ve bilgiler analiz edilebilecek şekilde getirilmiştir. Binalardan alınan verilerdeki korozyon durumunun bölgelere, yaşa, bina yapım kalitesine v.b. göre sınıflandırılması sonucu korozyonun çok ciddi bir tehlike olduğu görülmüştür. Türkiye'deki korozyon kayıplarının GSMH'nin %4,36'sına eşit olduğu araştırmalar sonucu elde edilmiştir. Bimtaş'tan alınan verilerden elde edilen sonuçlarla 50 yıl olarak öngörülen bina ömrünün 28 yılda ciddi korozyon hasarları sebebiyle ekonomik olarak sona erdiği anlaşılmıştır [16].



Şekil 3. İncelenen binaların korozyon durumuna ve yaşlarına göre dağılımı [16].

Bu ülkemiz için çok ciddi bir ekonomik kayıp ve kaynak israfıdır, aynı zamanda insan hayatını da tehlikeye sokmaktadır, bu yönden bakıldığında da insan hayatı hiçbir maddi ölçüyle değerlendirilemeyecek kadar değerli olduğu göz önüne alınırsa, korozyonla ilgili alınması gereken tedbirlerin önemi ve aciliyeti açıkça görülmektedir [16].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada, beton yapılarda korozyon oluşumunda klorun etkisi, çelik donatıların korozyonunun engellenmesinde veya yavaşlatılmasında inhibitörlerin rolü incelenmiştir. Ayrıca İstanbul'daki betonarme yapıların korozyon durumları esas alınarak ülke çapında yapıların korozyon durumları hakkında genel değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan araştırmalar ve literatür incelemeleri sonucu aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır:

1. İnhibitör kullanımı, beton yapıları korozyondan korumak için mevcut metodlar arasında, uygulama kolaylığı, ekonomikliğı ve etkin performansı nedeniyle eşsiz yöntemlerden biridir.

2. İnhibitörler beton içerisinde donatının çevresini çözünmez bir tabaka halinde sararak veya beton porlarını tıkayarak klor iyonlarının çelik donatıya temasını engellemektedirler ve korozyon oluşumunu önlemekte ya da devam eden korozyonu yavaşlatmaktadır.

3. Önlem içermeyen betonarmelerle, inhibitör içeren betonarmeler karşılaştırıldığında inhibitörlerin korozyonu engellemedeki etkileri açıkça görülmüştür.

4. Piyasada halen sadece birkaç tane ticari korozyon inhibitörü mevcuttur. Bunlara örnek olarak Darex kalsiyum nitrit (DCI), Sika Ferro Gard 903, Sika Ferro Gard 901, Catexol 1000Cl, Rheocrete 222+ ve Armatec 2000 verilebilir. Bu ticari inhibitörler dışındaki inhibitörler hakkında bilgi çok sınırlıdır. Bu nedenle yeni inhibitörler üzerine araştırmalar sürdürülmelidir.

5. Ticari inhibitör katkılarının çoğu 1990'lı yıllardan sonra geliştirildiğinden bu inhibitörlerin kendi alanlarında saha performanslarının değerlendirilmesi için zaman yeterli olmamıştır. Dataların çoğu laboratuvar çalışmalarından ortaya çıkmıştır.

6. Bugün yurt dışında sıklıkla korozyon inhibitörleri, örneğin epoksi kaplamalı çelik gibi diğer korozyondan koruma sistemleri ile birlikte bu sistemlerin eksikliklerini tolare edebilmek için kullanılmaktadır. Ya da farklı korozyondan koruma sistemlerinin uygulanamayacağı özel durumlarda (örn. ön gerilmeli betonlar gibi) bu sistemlere alternatif olarak kullanılabilir.

7. Korozyonun, binaların esas iskeletini oluşturan ve taşıyıcı vazife gören çelik kolon ve kirişlerde kesit kaybına yol açarak yapıları depreme karşı dayanıksız hale getiren en önemli etken olduğu bilindiğinden, deprem sonrası hasar görmüş binaların pek çoğunun korozyon kaynaklı olduğu açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak ülkemizin deprem kuşağında yer alması nedeniyle olası depremlerde yapılarımızın korozyon kaynaklı hasarlarının önüne geçebilmek için yeni yapılacak yapılarda korozyona karşı inhibitörlerin kullanılması ve inhibitörlerin saha performanslarının pratikte karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi önerilir.

KAYNAKLAR / REFERENCES

- [1] Boğa A. R., "Uçucu Küllü Betonarme Elemanlarda Donatı Korozyonunun Hızlandırılmış Yöntemlerle Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2005.
- [2] Ormellese M., Lazzari L., Goidanich S., Fumagalli G., Brenna A., "A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete", Corrosion Science, 51, 12, 2959-2968, 2009.
- [3] Yiğiter H., Baradan B., (2008), "Mineral Katkıların Donatı Korozyonuna Etkisinin Elektrokimyasal Yöntemlerle İncelenmesi" <http://www.prefab.org.tr/makaleler/86-1.pdf>, [Erişim Tarihi 22 Aralık 2011].
- [4] Haberal Y., "Uçucu Küllü Betonlarda Klor İyonu Geçirgenliğinin ve Donatı Korozyonunun İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2010.
- [5] Öztekin, E., (2001), "Donatı Korozyonuna Karşı C 30 Kullanımı", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı, İstanbul Bülten Sayı 55, <http://www.imoistanbul.org.tr/ist-bulten/sayi55/eoztekin.htm>, [Erişim Tarihi 4 Ocak 2011].
- [6] Gel, M. K., (2003), "Betonarme Yapılarda Donatıların Korozyonu ve Su Yalıtımı", TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427-2003/5, http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8d7421593caf098_ek.pdf?dergi=168. [Erişim Tarihi 15 Mart 2011].
- [7] Ngala V.T., Page C. L., Page M. M., "Corrosion inhibitor systems for remedial treatment of reinforced concrete", Corrosion Science, 44, 9, 2073-2087, 2002.
- [8] Bentur N., Diamond S., Berke, N.S., "Steel Corrosion in Concrete", Modern Concrete Technology, 1997, 6: 7-9.
- [9] Delikanlı F., "Donatılı Betonda Korozyon Hasarı ve Giderilme Yolları", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, 2001.

- [10] Yalçın H. ve Koç T., “Mühendisler için Korozyon”, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.
- [11] Kepler J., “Evaluation of Corrosion Protection Methods for Reinforced Concrete Highway Structures”, Structural Engineering and Engineering Materials SM Report No. 58, University of Kansas Center For Research, Inc., 2000.
- [12] Al-Amoudi O.S.B., Maslehuddin M., Lashari A.N., Almusallam, A.A., “Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete ”, Cement and Concrete Composites, 25, 4-5, 439-449, 2003.
- [13] Muralidharan S., Saraswathy V., Merlin Nima S.P., Palaniswamy N., “Evaluation of a composite corrosion inhibiting admixtures and its performance in Portland pozzolana cement”, Materials Chemistry and Physics, 86, 2-3, 298-306, 2004.
- [14] Kondratova I.L., Montes P., Bremner T.W., “Natural marine exposure results for reinforced concrete slabs with corrosion inhibitors”, Cement and Concrete Composites, 25, 4-5, 483-490, 2003.
- [15] Tommaselli M.A.G., Mariano N. A., Kuri S.E., “Effectiveness of corrosion inhibitors in saturated calcium hydroxide solutions acidified by acid rain components”, Construction and Building Materials, 23, 1, 328-333, 2009.
- [16] Çizmeçioğlu Z., Yılmaz K., Aydın Ö., Çelik A., (2010), “Kentsel Dönüşümün En Önemli Gereçeklerinden Biri Olan Fakat Gözardı Edilen Faktör Korozyon”, http://mmg.org.tr/mmg_57_web.pdf, [Erişim Tarihi 22 Aralık 2011].