CivilTech
AFYON KOCATEPE UNIVERSITY, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CORROSION FORMATION IN REINFORCED CONCRETE AND PREVENTION METHODS

İlker Bekir Topçu[1], Ahmet Demirok[2],

[1,2]ilkerbt@ogu.edu.tr, demiroka@yahoo.com

Abstract

The most important feature of a reinforced concrete structure is its ability to maintain performance until the end of its service life. Here, the performance of both concrete and reinforcing steel is important. When the reinforced concrete structure is examined, it is seen that it consists of reinforcing steel and surrounding concrete. If this concrete cover can sufficiently surround and protect the steel, it can work together for many years. Concrete casting and maintenance in accordance with the rules, keeping the concrete permeability at the lowest level, leaving enough Concrete cover, making the appropriate curing, water / cement ratio are the main features sought for concrete quality. The quality of concrete, working with reinforcing steel and non-corroding of the reinforcement are very important for its performance life. In addition, the concrete produced must fulfill its duty against corrosion. As a result of material and workmanship defects, the concrete, which is in a high permeable state, becomes exposed to external influences, breathing more oxygen, water and chloride into it and its alkali structure may deteriorate more rapidly. In the researches, it was observed that the biggest problem occurred as a result of the damage caused by the corroded reinforcement to the concrete. If the concrete surface deforms, it becomes more open to external factors. As a result of the negative effects of external factors, the building element fills the service life with great speed. Structures whose service life has expired or decreased have been exposed to all kinds of danger and carry a great risk in life. Thanks to the measures that can be taken to reduce these effects in reinforced concrete structural elements, the life of the building can be kept at the desired levels.

Keywords: corrosion; reinforced concrete; reinforcement; chlorine permeability; concrete quality

BETONARMEDE KOROZYON OLUŞUMU VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ

Özet

Bir betonarme yapıdan beklenen en önemli özellik, kendi servis ömrünün sonuna kadar performansını devam ettirebilmesidir. Burada hem beton hem de donatı çeliğinin performansı önem arz etmektedir. Betonarme yapı incelendiğinde, donatı çeliği ve etrafını saran kompozit haldeki betondan oluştuğu görülmektedir. Eğer bu beton örtüsü çeliğin etrafını yeteri kadar sarabilir ve onu koruyabilirse birlikte uzun yıllar çalışabilmektedir. Kurallarına uygun beton döküm ve bakımı, beton geçirimliliğinin en alt seviyede tutulması, yeterli pas payının bırakılması, uygun kür yapımı, su/çimento oranının uygun

[1,2] *Eskişehir Osmangazi University, Civil Engineering Department, Eskişehir, 26480, Turkey*

olması beton kalitesi için aranan başlıca özelliklerdir. Betonun kalitesi, donatı çeliği ile birlikte çalışması, donatının korozyona uğramaması performans ömrü için oldukça önemlidir. Ayrıca üretilen betonun da korozyona karşı görevini yerine getirmesi gerekmektedir. Malzeme ve işçilik kusurları neticesinde yüksek geçirimli bir halde bulunan beton, dış etkilere açık hale gelerek, içerisine daha fazla oksijen, su, klorür teneffüs eder ve alkali yapısı daha hızlı bir şekilde bozulabilir. Yapılan araştırmalarda en büyük sıkıntının korozyona uğramış donatının betona yaptığı tahribatlar neticesinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Beton yüzeyi deformasyona uğrarsa dış etkenlere daha açık bir hale gelmektedir. Dış etkenlerin olumsuz etkileri neticesinde yapı elemanı büyük bir hızla servis ömrünü doldurur. Servis ömrü dolan ya da azalan yapılar ise her türlü tehlikeye açık hale gelmiş ve yaşamsal anlamda büyük risk barındırmaktadır. Betonarme yapı elemanlarında bu etkileri azaltmak adına alınabilecek önlemler sayesinde yapının ömrü istenilen seviyelerde tutulabilmektedir.

Anahtar kelimeler: korozyon; betonarme; donatı; klor geçirimliliği; beton kalitesi

1. Giriş

Beton ve betonarme günümüz inşaat teknolojisinde vazgeçilemeyen yapı elemanları olarak yerini korumaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte betona ait birçok dezavantaj ortadan kaldırılmıştır. Bu gelişmelere örnek olarak, betonların belli bir standartta üretimini sağlayan hazır beton tesislerinin artması, yapı kimyasallarındaki gelişmeler, ilgili standart ve yönetmeliklerde yapılan olumlu güncellemeler ve bilinçli beton imalatı düşünülebilir. Bir betonarme yapıdan beklenen en önemli özellik, kendi servis ömrünün sonuna kadar performansını devam ettirebilmesidir. Burada hem beton hem de donatı çeliğinin performansı önem arz etmektedir. Betonarme çeliklerinden beklenen korozyona uğramadan uzun yıllar hizmet vermesidir [1]. Ayrıca üretilen betonun da korozyona karşı görevini yerine getirmesi gerekmektedir. Malzeme ve işçilik kusurları neticesinde yüksek geçirimli bir halde bulunan beton, dış etkilere açık hale gelerek, içerisine daha fazla oksijen, su, klorür teneffüs eder ve alkali yapısı daha hızlı bir şekilde bozulabilir. Yapılan araştırmalarda en büyük sıkıntının korozyona uğramış donatının betona yaptığı tahribatlar neticesinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Bunun temel sebebi, korozyona uğramış donatı 2 ile 6 kata kadar hacim artışı meydana getirir. Buda bir iç gerilme oluşturarak betonun çatlamasına neden olur [2].

Sonuç olarak çeliğin taşıyıcı kesit alanı azalır, betonarme yapı bütünlüğü bozulur ve parçalanma meydana gelir. Bu tür hasarları en aza indirmek adına betonun geçirimsiz, bir başka deyiş ile yüksek dayanımlı ve performanslı olması ayrıca örtü betonu kalınlığının (pas payı) yeterli ve sürekli olması çok önemlidir [3]. Betonarme donatısı olarak kullanılan çeliklerin korozyona karşı olan dirençleri çok düşüktür fakat buna rağmen bu malzemeler beton içerisinde korozyona uğramadan uzun süre dayanır. Bunun nedeni betonun yüksek alkali bir yapıda olmasıdır [4]. Betonun içerisindeki alkali ortam, metal üzerinde pasif bir film tabakası oluşturur ve bu tabaka korozyon hızını azaltır [5]. Bunun aksine geçirimliliğin artması korozyona, korozyonun artması da aynı şekilde hacim artışı ve dolayısıyla daha fazla dış etkilere maruz kalmasına ve betonun çatlamasına neden verebilmektedir. Beton bir kere çatlar ise tamamen atmosferik etkilere karşı savunmasız kalır ve yapı elemanı büyük bir hızla servis ömrünü doldurur [6]. Servis ömrü dolan ya da azalan yapılar ise her türlü tehlikeye açık hale gelmiş ve yaşamsal anlamda büyük risk barındırmaktadır. Korozyonla mücadele edebilmek için öncelikle korozyonun nasıl oluştuğu ve etki mekanizması üzerinde durmak gerekir.

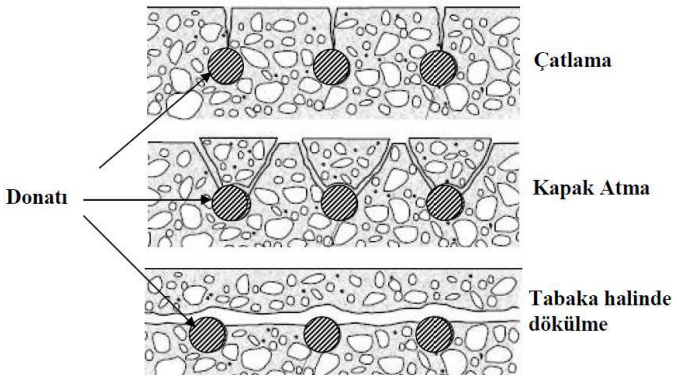
2. Malzeme ve Metot

Betonarme yapı incelendiğinde, donatı çeliği ve etrafını saran kompozit haldeki betondan oluştuğu görülmektedir. Eğer bu beton örtüsü çeliğin etrafını yeteri kadar sarabilir ve onu koruyabilirse birlikte

uzun yıllar çalışabilmektedir. Beton yüzeyindeki örtü tabakası ise O2 ve CO2 gibi gazların ayrıca SO3 ve Cl- gibi zararlı iyonların çelik donatıya ulaşmasını engellemek veya geciktirmek amacıyla fiziksel bir koruma sağlar. Bu fiziksel korumanın etkinliği pas payının kalınlığına ve geçirimsizliğe bağlıdır [7]. Betonun kendisini kimyasal etkilere karşı koruyuculuğu, çimento sırasında açığa çıkan Ca(OH)2 ve NaOH bileşenlerinden ve dolayısı ile pH değerini 13 civarında tutan yüksek alkalinitesinden kaynaklanmaktadır [8]. Fakat betonun geçirimliliği ve pas payının yeterli olmaması betonu fiziksel ve kimyasal etkilere karşı savunmasız bırakır. Sonuç olarak hidratasyon ürünü olan Ca(OH)2'in, betona sızan CO2 ile reaksiyona girmesine neden olur. Betonun pH'ı hızla düşmeye başlayarak donatının çevresindeki alkali ortamı yok eder [9]. Burada korozyon, korozyonun etki mekanizması ve korozyon oluşumuna etki eden etmenler incelenecektir.

2.1. Korozyon ve Korozyon Etki Mekanizması

Beton içerisindeki yüksek alkali ortam bazı nedenlerden dolayı (deniz suyu, tuzlar ile gelen klor, betonun atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyonu sonucu oluşan karbonasyon ile pH'ının düşmesi gibi) zarar görerek depasivasyona uğrayabilir [10]. Artık kimyasal koruma yok olmuştur. Çelik donatının yüzeyindeki doğal pasivite bozulur ve betonarme yapıda donatı korozyonu oluşmaya başlar [11]. Oksijen konsantrasyonundaki farklılık çelik üzerinde anot ve katot bölgeleri oluşturmaktadır. Bunlardan oksijeni az olan bölgeler hasar gören anot, çok olan bölgeler ise korunan katottur [12]. Donatı çeliğinin korozyonu sonucu oluşan ürünlerin hacmi, çeliğin hacminden 6 kata kadar daha fazladır [7]. Bu hacim artışından kaynaklı genleşmeler betonda çeşitli şekillerde hasara neden olur ve korozyon hızlanır ([13]. Şekil 1'de korozyona uğramış betonarme elemanda görülen tipik hasar çeşitleri gösterilmiştir.



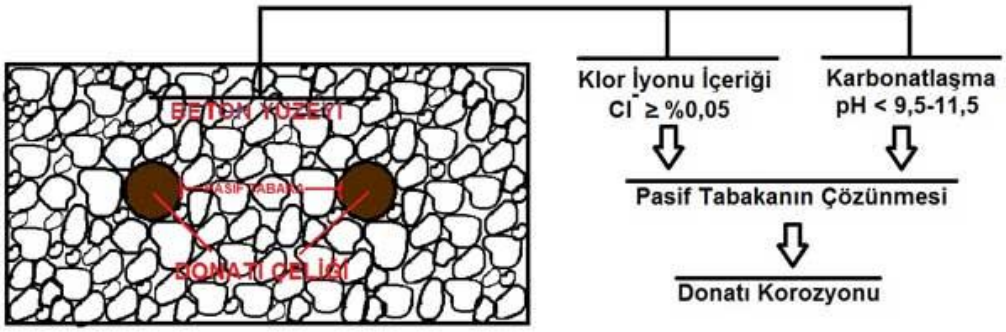
Şekil 1. Korozyon Sonucu Oluşan Hasar Çeşitleri [14]

Oluşan bu hasarlar neticesinde, beton-donatı arasındaki aderans kaybolmakta ve betonarme yapı elemanları görevlerini yapamaz hale gelmektedir. Beton içerisindeki çelik donatılar, klorür iyonlarının karbonatlaşmasından veya nüfuz etmesinden kaynaklanan korozyon nedeniyle çatlama sonucu bozulduğundan, beton kapağında takviye korozyonu ilerledikçe çatlaklar ortaya çıkar ve beton örtüye hızla yayılır. Çelik donatı boyunca beton kaplamada korozyon kaynaklı çatlak oluşumu, donatı için korozyona bağlı olarak çatlamanın bozulma sınırı olarak kabul edilir. [15]

2.2. Korozyon Oluşumuna Etki Eden Etmenler

Betonarme yapılarda donatı korozyonu iki şekilde başlayabilmektedir:
1. Betonarme elemanlardaki pas payı betonun yeterli geçirimsizliğe sahip olmaması nedeniyle karbonatlaşarak bazikliğini yitirmesi, böylece koruyucu tabakanın bozulması sonucu donatının korozyona açık hale gelmesi durumunda,
2. Donatıda korozyon klor iyonlarının etkisi sonucu da meydana gelmektedir. Özellikle deniz kenarındaki yapılarda klor iyonları pas payını geçerek, donatıya ulaşabilmektedir.

Korozyonun gerçekleşebilmesi için daima su ve oksijen gereklidir. Korozyon miktarını her ikisi de belirler. Örneğin, kuru havada çelikte korozyon görülmez. Havadaki nem oranı %30'un altında ise normal veya normalin altındaki sıcaklıklarda korozyon önemsenmeyecek kadar azdır. Korozyonun, rutubeti giderme yoluyla engellenmesi buna dayanır. Betonarme yapılarda özellikle donatılar korozyon etkisine maruz kalabilmektedir. Donatıda meydana gelen korozyon sonucu önemli kesit kayıplarının yanında donatı-beton aderansı da zamanla yok olmaktadır. Betonun porozitesi ne derece yüksek ise, çevreden beton içine klorür iyonları difüzyonu da o derece kolay olur. Islanıp tekrar kuruyan betonlarda bu olay daha şiddetli olarak kendini gösterir [16].

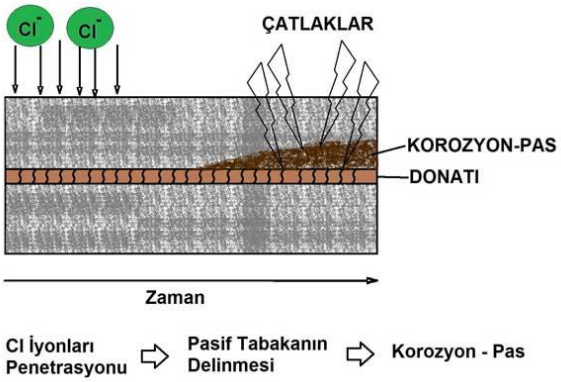


Şekil 2. Korozyon Oluşumu

Bunun sonucu bir bütün olarak çalışması gereken donatı ve beton birbirinden farklı davranmaya başlamaktadır. Taşıyıcı elemanlarda donatı korozyonu sonucu oluşan aderans düşüklükleri nedeni ile zamanla yapının taşıma gücünde önemli ölçüde azalma beklenebilir.

Betondaki klorürler çeşitli kaynaklardan gelebilmektedir. CaCl2 içerikli katkıların kullanılmasıyla yapı içine dökülebilirler veya klorür iyonları farkında olmadan, karışım suyu ve agregalar vasıtasıyla betona taşınmış olabilir. Bununla birlikte, çoğu yapıda klorür kaynaklı korozyonun ana nedeni; deniz ortamına doğrudan maruz kalma veya buz çözücü tuzların ve kimyasalların kullanımıyla klorürlerin ortamdan difüzyonudur. Çatlaksız betona dört farklı klorür taşıma mekanizması vardır, bunlar: kılcal emme, yüzeydeki yüksek konsantrasyon nedeniyle difüzyon, basınç altında geçirgenlik ve elektriksel potansiyel gradyanlar nedeniyle göç olarak gerçekleşmektedir. [17]

Korozyon oluşumuna neden olan en önemli neden klor etkisidir. Klorür iyonlarının dışarıdan betonun içine difüzyonu neticesinde, havanın nemi ve oksijenin de etkisiyle, beton elektro-kimyasal korozyona uğrar. Klorür iyonlarının konsantrasyonu belirli bir değere eriştikten sonra, bu iyonlar betonla çelik arasındaki pasiviteyi kaldırır. Çimentodaki kalsiyum aluminatlarla da reaksiyona girerek kalsiyum kloroalüminatlara dönüşür ve bunlar da ayrıca çeliklerin korozyonunu hızlandıran serbest klor iyonları oluşturur. Klorür ve karbondioksit gibi zararlı maddelerin bulunduğu ortamlarda, yeterli pas payı ve iyi kaliteli beton çok az veya hiçbir bakım gerektirmeden servis süresi boyunca içindeki donatıyı korozyona karşı korumaktadır. Fakat bu tabaka zarar gördükçe klorür iyonlarının beton içerisine girme işlemi kolaylaşır [18]. En çok karşılaşılan klor bileşikleri, sodyum klorür (NaCl) ve kalsiyum klorür (CaCl2) tuzlarıdır. Betona klorür dış ortamdan girebileceği gibi, önceden hammaddeler yoluyla da girebilmektedir. Örneğin; kışın buz çözücü olarak yollarda kullanılan tuzlar, endüstriyel ve evsel atıklardaki klorlu bileşikler dış ortamdan, beton katkı malzemeleri içerisinde klor tuzu oluşturan maddeler ise bileşim ile birlikte betona girmiş olabilir. Betonarmede çeliğin korozyona uğramasının en önemli nedeni betondaki klorür iyonlarının varlığıdır. Cl- iyonları alkali beton ortamı içerisindeki çelik yüzeyinde bulunan koruyucu oksit tabakasının depasivasyonuna neden olan en önemli etkendir [19].



Şekil 3. Klor Etkisi ile Korozyon Oluşumu

Betonda hasara yol açan klor, içerideki donatıya ulaştığında çelik üzerindeki koruyucu tabakayı (Fe(OH)3) yok eder. Klor, asit karakteri nedeni ile ortamın pH değerini indirger. Suda çözünen klor iyonları betonun elektrolitiğini artırarak korozyon mekanizmasındaki iyon geçişini hızlandırır. Bazı standartlar yapı elemanın türüne bağlı olarak sertleşmiş betonda klor iyonları için sınırlamalar getirmektedir. Klorür dışında, betonda kullanılan çimento türü ve dozajı, betona nüfuz edebilecek oksijenin etkisi, betonun pH değeri, porozite gibi nedenler de korozyona sebebiyet verebilmektedir.

Örneğin sülfata dayanıklı çimento üretiminde trikasiyumalüminat (3CaO.Al2O3 = C3S) oranına sınırlama getirilir. Bunu sebebi betonun yapısında bulunan kalsiyum hidroksitin, sodyum sülfatlar ile reaksiyona girerek kalsiyum sülfatı oluşturmasıdır. Kalsiyum sülfat sertleşmiş betonda genleşmelere neden olmaktadır. Bu genleşmeler betonun dış yüzeyinde derin çatlaklar oluşturmakta, pas payına zarar vermekte ve donatının korozyona uğramasına neden olmaktadır [20]. Betona ait pH değeri de korozyon için önemlidir. İlk aşamada betonda yüksek olan alkali ortam, CO2'in beton içerisine difüzyon yolu ile girmesi, beton boşluk suyu içinde bulunan Ca(OH)2'in çözünürlüğünü arttırması ve onunla reaksiyona girmesi ile hızla düşmeye başlar. pH'ın düşüşü, (eğer ortamda oksijen ve suda varsa) korozyon hızını arttıran bir etkendir. Çeliğin korozyonunun mümkün olduğu (başladığı) değer pH < 9.5 - 11.5 aralığındadır [21]. Beton boşluğunun yani porozitenin büyük olması geçirimliliği arttırır. Geçirimliliği yüksek olan betonlarda ise su ve zararlı maddeler beton içerisine kolayca sızacağı için hem betonun hem de beton içerisine gömülü çeliğin hasar görmesine veya birden fazla hasarın birlikte oluşmasına neden olur. Kılcal su geçirimliliği (kapilarite) daha çok bina cephelerinde, zemin suyunun yerçekimine rağmen ince kılcal boşluklardan yükselmesi şeklinde görülür. Beton içi kısımlarına kadar nüfuz eden bu sular neticesinde korozyon oluşumu da istenmeyen miktarda artabilmektedir.

3. Korozyonun Önlenmesi İçin Alınacak Tedbir ve Öneriler

Korozyon, elektrolit denen sıvı içindeki potansiyeli farklı iki metalin/elektrotun bir iletken ile birleştirilmesi sonucu anottan katoda kütle taşınması; kimyasal yolla kütle kaybıdır. Anot ile katot arasındaki uzaklık atom boyutunda ise üniform korozyon, uzak ve ortam asidik ise oyuklanma türü korozyon oluşur. Korozyonun engellenmesi için elektrot ile elektrolitin ayrılması, metaller arasındaki potansiyel farkın sıfırlanması yani farklı iki metalin bir arada kullanılmaması, metaller arasında bir iletkenin bulunmaması, elektrolit oluşmasının engellenmesi, bunun için ortamın sıcaklığının ve bağıl neminin düşük olması temel prensiptir. Betonarmenin korozyonunun önlenmesinde de bu temel prensiplerden yararlanılır. [2].

Beton sahip olduğu alkalilik neticesinde içinde bulunan donatıyı doğal olarak korumaktadır. Ancak, betonun geçirimli yapısı neticesinde maruz kalacağı klorür, karbondioksit, sülfat gibi dış etkiler neticesinde, oluşturmuş olduğu doğal koruma perdesi zamanla bozulur. Donatı üzerindeki pasif film

klorür iyonları ve karbonatlaşma nedeniyle kırılır kırılmaz korozyon başlar. Yapılarda donatı korozyonunun gelişimi iki farklı aşamada tanımlanabilir. Karbonatlaşmanın oluşması ve klorürler gibi korozyona yol açan iyonların çelik donatıya ulaşması için geçen süre başlangıç aşamasını oluşturur. Aktif paslanma aşamasında ise korozyon ilerler ve kabul edilebilir sınıra kadar ulaşır. Bu duruma ulaşıldığında iki seçenek vardır. Bakım ve onarım yapılarak yapının serviste kalması sağlanabilir ya da yapının servis ömrünü tamamladığına ve yıkılması gerektiğine karar verilir [22].

Betonarme elemanlarda korozyonu önlemek adına alınacak genel tedbirleri şu şekilde sıralayabiliriz:
- Kaliteli beton ve çelik kullanımı,
- Kurallarına uygun beton döküm ve bakımı,
- Beton geçirimliliğinin en alt seviyede tutulması,
- Yeterli drenajın sağlanması,
- Yeterli pas payının bırakılması,
- Uygun kür yapımı,
- Su/çimento oranının uygun olması,
- Betonda çimento ile mineral katkıların (yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi) birlikte kullanılması,
- Su yalıtımının yapılması,
- Donatı ve beton için koruyucu kaplamalar kullanılması,
- Katodik koruma gibi elektro-kimyasal metotların kullanılması,
- Beton üretiminde korozyon inhibitörlerinin kullanılması,

Normal bir beton geçirimsiz olmasına karşın dış ortam koşulları, betonun bünyesine katılan katkı malzemeleri vs. gibi nedenlerle betonda meydana gelen kimyasal değişimler geçirimliliğin bozulmasına neden olabilir. Kaliteli beton üretimi korozyonu önleyici/geciktirici en önemli hususların başında gelir. Boşluksuz beton oksijene karşı, zararlı tuzlara, agresif kimyasallara ve zemin sularına karşı bariyer oluşturabilmektedir. Su/çimento oranının düşük tutulmasıyla birlikte betonlar bu işlevlerini gerçekleştirebilecektir. Bununla birlikte uygun granülometri yapısı, deniz kumu ve yıkanmamış agrega kullanılmaması, etkili vibrasyon ve iyi bir beton işçiliği kaliteli, servis ömrü uzun bir beton üretiminin vazgeçilmezlerindendir. Yapıya suyun gelmesini engellemek ya da mevcut suyu uzaklaştırmak amacıyla söz konusu koşullar için uygun drenaj sistemleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Ancak bu drenaj sisteminin tek başına hiçbir zaman yeterli olamayacağı unutulmamalıdır. Bölgedeki suyun basıncı ve kimyasal yapısı tespit edildikten sonra su yalıtımı mutlaka yapılmalıdır. Uygulanan su yalıtımında kullanılan malzemelerin kalitesi ve uygulandığı detay, doğru işçilik, standart ve kurallara uygun aplikasyon yalıtımın başarı açısından çok büyük önem taşır. Yeterli pas payı bırakılması, donatının korozyonunu önleme açısından çok önemli bir parametredir. Fakat tek başına yeterli bir çözüm olduğunu söylemek teknik açıdan çok doğru değildir. Pas payı ne kadar çok olursa korozyona neden olan gaz veya sıvı maddelerin donatıya ulaşması o kadar gecikir.

Son zamanlarda oldukça yaygın olarak kullanılan bir başka yöntem epoksi kaplı çelik uygulamasıdır. Donatının tamamen epoksi ile kaplanarak korozyonun reaksiyon zincirini kırarak engellemesi prensibine dayanır. Tabii bu noktada epoksinin kalitesi ve kalınlığı birinci derecede önem taşır. Su hatlarının yakınında veya deniz suyu içeren, deniz suyunun rüzgarla taşındığı mekanlarda ve diğer sert iklim koşullarında normalde kullanılandan daha kalın bir kaplama kullanılması tavsiye edilir. Bir diğer önemli koruma yöntemi ise sisteme ters yönde bir doğru akım uygulanmasıyla donatının katodik olacak şekilde polarize edilmesidir. Anodik reaksiyonların durdurularak korozyon sürecinin engellenmesini sağlar. Bu sistemde dikkat edilmesi gereken en önemli detay sisteme gereğinden fazla akım yüklememek ve her bir noktaya eşit miktarda elektriksel akım ulaşmasını sağlamaktır.

Korozyon inhibitörleri betonarme yapılarda donatı çeliğinin korozyonunu yavaşlatabilen veya önleyebilen kimyasallardır. Korozyonu inhibite eden katkılar, betonarmeyi korozyon hasarlarına karşı korumada diğer metotlar 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 [23]. 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 [24]. Korozyondan korumada inhibitörün avantajları, betonarme içerisinde eşit olarak dağılması ile çelik tüm yüzeyini koruması ve betonu geçirimsiz kılmasıdır [25]. Korozyon inhibitörleri korozyon hızını düşürmede, başlangıç aşamasında veya yayılım aşamasında klor eşik değerini arttırarak ya da klor geçirim oranını düşürerek çalışabilmektedir [10].

İnhibitörler tipik olarak üç kategoriye ayrılır:

- Anodik korozyon inhibitörleri
- Katodik korozyon inhibitörleri
- Organik korozyon inhibitörleri [24].

Her üç tipteki korozyon inhibitörü de donatı korozyonunu aşağıdaki mekanizmalarla azaltabilecek maddeler içerir:

- Bariyer tabakası oluşturarak
- Metal ile temas eden çevreye etki ederek [25].

Anodik inhibitörler, kromatlar, nitritler, alkali fosfatlar, molibdatlar, silikatlar ve karbonatlardan yapılıp korozyon reaksiyonunun anodik kısmını minimize edecek şekilde davranırlar. Bu inhibitörler çeliği pasive etmek için anodik yüzeyde çözünmez koruyucu bir film oluştururlar [24]. 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 [24]. Aminler, esterler, sülfonatlar gibi organik inhibitörler, çeliğin tüm yüzeyindeki anodik ve katodik reaksiyonları bloke ederler. Organik korozyon inhibitörleri içinde bulunduğu betonun geçirimliliğini azaltarak, por tıkayıcı özellik de gösterebilmektedirler. [24].

4. Sonuç

Alınan bütün bu tedbirler korozyon oluşumunu tamamen ortadan kaldırmayabilir. Fakat istenilen servis ömrüne yakın süre betonarme elemanlar performansları etkilenmeden görevlerini yerine getirebilirler. Böylece yapının korunması ve sonradan oluşacak büyük maliyetlerin önüne geçilmesi sağlanmış olacaktır. Ülke ekonomisi penceresinden değerlendirildiğinde korozyonla mücadele için korunma metotları ve politikalar geliştirilmesinin kaçınılmazlığını ortadadır. Korozyon maliyetlerini düşürmek için, korozyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini teşvik etmek, etkin bir korozyon kaynaklı kayıpları önleme politikası oluşturmak gibi stratejilerin yaratılması düşünülebilir. Ancak bu stratejilerin başarısı ve devamlılığı, konuyla ilgili tüm birimlerin katılımı sağlanarak hükümet-eğitim ve teknoloji kurumları-sivil toplum örgütleri-sanayi iş birliği çerçevesinde gerçekleştirilmelidir. Konunun ekonomik yönünün yanı sıra canlı yaşamında doğrudan etkili çevre boyutu da en başta değerlendirilmesi gereken bir konu olarak ele alınmalıdır [26]. Tasarım aşamasından itibaren korozyon riski göz önünde bundurulmalı ve uygun metot ve araçlar kullanılmalıdır. Böylece milli servetimizin de vaktinden önce kaybolmasının önüne geçilmiş olacaktır.

Korozyonun yapı güvenliği, ülke ekonomisi ve çevre üzerindeki göz ardı edilemeyecek etkisine rağmen henüz gerekli ilgiyi gördüğünü söylemek ne yazık ki mümkün değildir. Oysaki yapı güvenliğinin canlı yaşamında ne derece önemli olduğunu acı felaketler yaşamış bir toplum olarak daha dikkatle düşünmemiz gerekmektedir. Özellikle Marmara ve Düzce depremlerinden sonra yapılan araştırmalarda yapılarda korozyonun olumsuz etkileri açıkça tespit edilmiştir. Yapıda beton ve donatı arasındaki aderansı bozan, ayrıca donatıda oluşturduğu kesit kaybıyla donatının tasarlanan işlevleri yerine getirememesine neden olan korozyonun önüne geçebilmek için devletçe bir politika belirlenmesinin ve bu politikadan taviz verilmeden ilerlenmesinin sorunun önlenmesinde büyük

yararları olacaktır. Baştan alınmamış önlemlerin sonradan büyük mali yükümlülükler getirdiği ve çözümlerinin de sınırlı olduğu unutulmadan yeni yapılacak her türlü yapıda korozyon konusu üzerinde titizlikle durulması konuyla ilgili her teknik bireyin görevi ve her vatandaşın da talebi olmalıdır [26].

Kaynaklar

[1] Seyhan, E. Korozyon Önleme Teknolojileri. Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 2006.

[2] Aköz, F. Betonarme Donatı Korozyonuna Neden Olan Faktörler ve Alınacak Önlemler. Corrosion Science and Engineering, 19: 22-28, 2011.

[3] Aköz, F., Zorbozan, M., Yüzer, N., Betonarme Yapılarda Korozyon Hasarının Tespiti ve Onarım İçin Öneriler. Metal Dünyası, 89: 25-28, 2000.

[4] Binici, H., Durgun, M.. Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı. İMO Teknik Dergi, 6141-6162, 2012.

[5] Yıldız, S., Keleştemur, O. Farklı Bölgelerde Üretilen PKÇ/B 32,5 R Çimentosunun Betonarme Yapılardaki Donatı Korozyon Potansiyeline Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 :757-764, 2004.

[6] Çil, İ. Betonarme Donatısında Elektriksel Yöntemlerle Korozyon Ölçümü. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8: 59-63, 2006.

[7] Yiğiter, H. Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektro Kimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, p. 304, 2008.

[8] Dogan, Ü. A. Beton Bileşim Parametrelerinin Geçirimlilik Özellikleri ve Gömülü Çelik Donatı Korozyonuna Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 135, 2008.

[9] Boğa, A. R. Yüksek Fırın Cürufu ve Korozyon İnhibitörü Kullanımının Beton İçerisindeki Donatı Korozyonuna ve Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 304, 2010.

[10] Ormellese, M., Lazzari, L., Goidanich, S., Fumagalli, G., Brenna, A. A Study of Organic Substance as Inhibitors for Chloride-Induced Corrosion in Concrete. Corrosion Science, 51 :2959- 2968, 2009.

[11] Erdoğdu, Ş., Kondratova, L., Bremner, T. Determination of Chloride Diffusion Coefficient of Concrete Using Open-Circuit Potential Measurements. Cement and Concrete Research, 34 :603-609, 2004.

[12] Haberal, Y. Uçucu Küllü Betonlarda Klor İyonu Geçirimliliğinin ve Donatı Korozyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, p. 109, 2010.

[13] Ann, K. Y., Jung, H. S., Kim, H. S., Moon, H. Y. Effect of Calcium Nitrite-based Corrosion Inhibitor in Preventing Corrosion of Embedded Steel in Concrete. Cement and Concrete Research, 36: 530-535, 2006.

[14] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H. Beton ve Betonarme Yapılarda Durabilite Kitabı. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, Eylül, 2010.

[15] Ouzaa, K., Ouzif, C. Numerical model for prediction of corrosion of steel reinforcements in reinforced concrete structures, Science Direct, March, 72-77, 2019.

[16] Yalçın, H., Koç, T.. Mühendisler için Korozyon. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.

[17]. Koleva, D. A., van Breuge, de Wit, K., J. H. W., van Westing, E., Boshkov, N., Fraaij, A. L. A. Electrochemical Behavior, Microstructural Analysis, and Morphological Observations in Reinforced Mortar Subjected to Chloride Ingress, Journal of the Electrochemical Society, Vol. 154, pp. E45–E56, 2007.

[18] Topçu, İ. B., Boğa, A. R.. Betonarmede Donatı ve Beton Arasındaki Aderansa Korozyonun Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1: 23-38, 2007.

[19] Topçu, İ. B., Ünal, O., Uygunoğlu, T. Betonarme Yapılarda Klorür Etkisi. İMO İzmir Şubesi, Beton Köşesi, 124 :36-41, 2005.

[20] Topçu, İ.B., Boğa, A.R. Uçucu Küllü Betonlarda Donatı Korozyonunun Aderans Dayanımına Etkisi, ACE 2006, 7th International Congress in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, Ekim 11-13, p. 455, 2006.

[21] Grubb, J.A., Limaye, H.S., Kakade, A.M. Testing pH of Concrete, Concrete Science, April, 78-83, 2007.

[22] Boğa, A. R. Uçucu Küllü Betonarme Elamanlarda Donatı Korozyonunun Hızlandırılmış Yöntemlerle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 112, 2005.

[23] Çizmecioğlu, Z., Aydın, Ö., Beton Yapılarda İnhibitör Kullanımının Korozyon Önlemedeki Etkinliğinin Değerlendirilmesi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5: 129-137, 2013.

[24] 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.

[25] 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.

[26] Özkun, T., Korozyonun Çevreye ve Yapı Güvenliğine Etkileri. Yalıtım Dergisi, 51, Kasım-Aralık, 2004.