



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 20.07.2019

Kabul Tarihi : 31.10.2019

Received Date : 20.07.2019

Accepted Date : 31.10.2019

### DONATILI BETONDA KOROZYON VE ADERANSIN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION OF CORROSION AND ADHERENCE IN REINFORCED CONCRETE

*Ramazan YAVUZ<sup>1</sup>, Osman GÜNAYDIN<sup>2</sup>, Kadir GÜÇLÜER<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Adıyaman, Türkiye.

<sup>3</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Adıyaman, Türkiye.

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ramazan YAVUZ, ramazanyvz02@gmail.com

#### ÖZET

Betonun hizmet gördüğü süre zarfında karşılaştığı zararlı etkilere karşı dayanıklı olması önemlidir. Betonun düşük çekme gerilme davranışı, çelik donatı ile geliştirilmektedir. Ancak beton içine gömülen donatının, korozyona uğrama riski bulunmaktadır. Çelik donatının korozyona uğraması, taşıma kapasitesi başta olmak üzere, sistemin tümünün deformasyona uğramasına sebep olur. Bu çalışmada korozyon inhibitörü kullanımının donatı korozyonuna ve beton ile donatı arasında oluşan aderansa etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 15 cm kenarlı betonarme küpler üretilmiştir. Beton ile donatı arasındaki aderans kuvveti, kübik betonarme örnek üzerinde test edilmiştir. Çimentonun ağırlıkça % 1' i oranında kalsiyum nitrat bazlı korozyon inhibitörü beton karışımında kullanılmıştır. Numunelere,  $20 \pm 2$  °C' de tatlı su kürü uygulanmıştır. Deney örneklerinin aderans özelliklerini belirlemek için çekme-çıkarma deneyi ve korozyon davranışlarını ölçmek için de yarı hücre korozyon potansiyeli ölçümü uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda korozyon inhibitörü kullanılan numunelerde kullanılmayan numunelere göre korozyon oluşumunun daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Korozyon etkisiyle donatı-beton aderansının azaldığı fakat korozyon inhibitörü kullanılan numunelerde aderansın arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans, Beton, Korozyon, Korozyon İnhibitör

#### ABSTRACT

It is important that the concrete is resistant to the harmful effects it encounters during its service. The low tensile stress behavior of the concrete is improved by steel reinforcement. However, there is a risk of corrosion of the reinforcement embedded in concrete. Corrosion of the steel reinforcement causes deformation of the entire system, in particular its carrying capacity. In this study, the effect of corrosion inhibitor usage on reinforcement corrosion and the adherence between concrete and reinforcement were investigated. In this study, 15 cm edged reinforced concrete cubes were produced. Bonding Strength between concrete and reinforcement were tested on cubic reinforced concrete specimen. The calcium nitrate-based corrosion inhibitor was used in the mixture of 1% by weight of cement. The specimens were cured in two different ways as normal water cure at  $20 \pm 2$  °C and salt water cure to create a corrosive environment. In order to determine the adherence properties of the test samples, a pull-out test and a semi-cell corrosion potential measurement were applied to measure corrosion behavior. As a result of the study, it was determined that the corrosion formation was slower than the samples not used in the corrosion inhibitor samples. It was determined that the adherence of the reinforcement-concrete decreased with the effect of corrosion but the adherence increased in the samples using the corrosion inhibitor.

**Keywords:** Adherence, Concrete, Corrosion, Corrosion Inhibitor.

## GİRİŞ

İnsanoğlu, var oluşundan bu yana olaylardan ve tehlikelerden korunmak ve hayatını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa gereksinim duymuştur. İlk çağlarda malzemeler doğada bulunduğu şekliyle kullanılmaktaydı. Daha sonraki süreçte, malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak insanlardaki düşünce ve becerilerin gelişimi ile doğadaki malzemeler işlenip şekillenerek kullanılmaya başlandı (Şimşek, 2012). Betonun bulunuşu 18. yüzyılın sonlarına kadar uzanmaktadır. Halen günümüzde de hızla devam eden betonun geliştirilmesiyle ilgili çalışmalarda betonun dayanımı, kalitesi, uzun süredeki davranışı, bakım tekniği, ekonomi, estetik, olumsuz şartlarda beton dökümü, katkılarla özelliklerini geliştirme vb. konularda çalışmalar devam etmektedir (Güner, 1999). Beton, çimento, doğal ve yapay iri agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve çimentonun hidratasyonu ile dayanım kazanan malzemedir (TS 11222, 2001 ve TS EN 206-1, 2002). Betonun birçok olumlu özelliğinin yanı sıra çekme dayanımı oldukça düşüktür. Beton elemanın çekme ve eğilme gerilmeleri karşısında çatlayıp kırılmasını önleyebilmek için, çekme gerilmelerinin olduğu bölgelere çelik donatılar yerleştirilmektedir. Çekme dayanımı yüksek olan çelik donatılar çekme dayanımı düşük olan betonu desteklemektedirler (Boğa, 2010). Bu çelik donatılar ve betondan oluşan yapı elemanının, betonarme olarak davranabilmesi için çubukların betona kenetlenmesi gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan çelik çubukla beton arasındaki kayma gerilmelerine “Aderans” denir (Karakoç, 1985). Donatı-beton aderansı korozyondan olumsuz etkilenir, hatta ileri derecede hasar durumunda aderans tamamıyla yok olur (Baradan vd., 2002). Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılardaki korozyon gelişimi, yapılardan beklenen emniyet ve servis ömrü ile ilgili gereksinimleri büyük ölçüde etkilemektedir (Yiğiter ve Baradan, 2008). Kötü ortam koşullarında betonun hızlı bir şekilde bozulmasını önlemek için yüksek kalitede ve dayanıklılıkta beton üretmek gerekir. Ancak beton içerisine giren zararlı iyonlar çelik donatının yüzeyindeki doğal pasiviteyi bozar ve genellikle betonarme yapılarda donatının korozyonuna neden olur (Baradan vd., 2002; Güneyisi vd., 2005; Yeau ve Kim, 2005; Erdoğan vd., 2004). Donatının korozyona uğramasıyla betonarme elemanların performansında çeşitli kayıplar olur. Bunlar; pas payı tabakasının çatlamasına bağlı olarak donatının etkili kesit alanlarındaki azalmalar, kesit alanındaki azalmaya bağlı olarak donatıların mekanik performansındaki azalmalar ve donatılı betonların aderans performanslarındaki azalmalardır. Korozyon nedeniyle aderans dayanımlarındaki kayıpları azaltmak için çeşitli önlemler alınmaktadır (Topçu ve Boğa, 2008). Bu önlemlerden bir tanesi korozyon inhibitörü kullanmaktır. Korozyon inhibitörleri betonarme yapılarda donatı çeliğinin korozyonunu yavaşlatabilen veya önleyebilen kimyasallardır. Korozyonu inhibite eden katkıları, betonarmeyi korozyon hasarlarına karşı korumada diğer metotlar arasında koruma mekanizması yönünden eşsizdir ve beton matrisinin ayrılmaz bir parçasıdır (Aydın ve Çizmecioglu, 2013). Korozyon inhibitörü kullanımı, uygulama kolaylığı, etkin performansı ve ekonomikliği nedeniyle korozyonu önlemede en uygun yöntemlerden biri olarak ele alınmaktadır.

## MATERYAL ve METOD

Çalışmada bağlayıcı olarak TS EN 197-1 ile uyumlu CEM I 42,5 R tipte çimento kullanılmıştır. Beton, Çimko hazır beton santralinden temin edilmiş olup su/çimento oranı 0.60 sabit tutularak C30 sınıfında beton kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında 0-5 mm 'lik elekler arasında kalan % 59 doğal kum, 5-12 mm 'lik ve 12-22.4 mm 'lik elekler arasında kalan % 41 doğal çakıl kullanılmıştır. Üretilen beton numunelerin hazırlanmasında 16 mm çapında ve 20 cm uzunluğunda nervürlü S 420a betonarme çeliği kullanılmıştır. İnhibitör olarak DCI korozyon inhibitörü kullanılmıştır. DCI, kalsiyum nitrit, su içeren bir solüsyon temelinde likit bir korozyon engelleyicisidir. DCI en az % 35 oranında kalsiyum nitrit içermekte olup özgül ağırlığı yaklaşık olarak 1.28 kg/lt' ye eşittir.

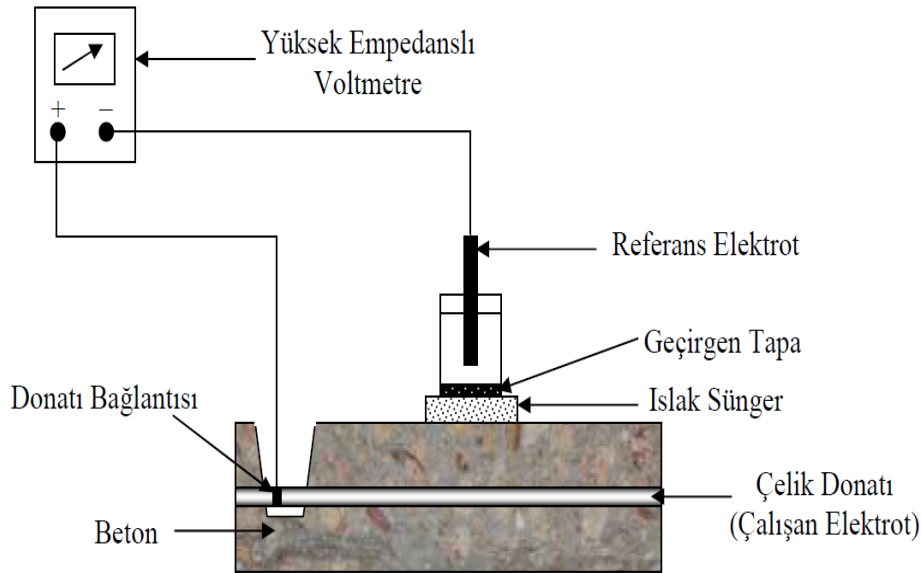
Üretilen betonların mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla yarı hücre potansiyeli ve çekme-çıkarma dayanımlarına ait her bir seri için 18 adet, toplamda 4 seri olacak şekilde 72 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 20 cm uzunluğunda  $\phi 16$ 'lık bir donatının gömüldüğü betonarme eleman şeklinde 15x15x15 cm boyutlarındadır. Numunelerin yüzeyi ile donatının birleştiği kısım epoksiyle kaplanmıştır. Üretilen bu numuneler 7, 28, 90 ve 180 günlük olmak üzere dört farklı kür süresinde tutulmuştur. Betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesi amacıyla üretilen numunelere  $23 \pm 2$  °C sıcaklığa sahip tatlı su kür havuzunda 7, 28, 90 ve 180 gün boyunca standart kür uygulanmıştır. Şekil 1' de üretilen numunelerde gömülü donatının korozyon aktivitesini tespit etmek amacıyla yarı hücre potansiyel deneyi uygulaması gösterilmiştir. Yarı hücre potansiyel deneyinden sonra ayrıca numuneler çekme - çıkarma deneyine tabi tutularak aderans dayanımları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Üretilen beton numuneleri.

Yarı hücre potansiyel korozyon test yöntemi, donatının korozyon potansiyelinin belli bir dönem zarfında ölçümüne dayanır ve korozyon olasılığı hakkında fikir verir. Yarı hücre potansiyeli ölçüm yöntemi hem yapı üzerinde hem de laboratuvarında olmak üzere en çok kullanılan, hasar oluşturmayan ve elektro-kimyasal tekniklerin uygulama bakımından en basit olanıdır. Bu yöntem betonarme donatısının korozyon aktivitesini tespit etmek amacıyla laboratuvarında betondaki kaplamasız donatıların elektriksel yarı hücre potansiyellerinin tespiti amacıyla kullanılmıştır.

Beton içindeki donatının korozyon potansiyelinin ölçümünde ASTM C 876'ya uygun Şekil 2' de gösterilen deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Yarı hücre potansiyeli ölçümünde yüksek empedanslı bir voltmetre aracılığıyla donatı potansiyeli bir referans elektroduna göre ölçülmüştür. Kür havuzlarında bekletilen numuneler 7, 28, 90 ve 180 günün sonunda havuzdan çıkartılıp yarı hücre potansiyeli okumaları yapılmıştır.



Şekil 2. Yarı hücre potansiyeli ölçüm düzeneği (Boğa, 2010).

Beton içine gömülü donatının potansiyeli, belirli bir yarı hücrenin donatı ile bağlantısı kurularak saptanmıştır. Elektrotun diğer ucu voltmetrenin negatif kutbuna bağlanıp açığa çıkartılan ve pasta temizlenen donatı ise voltmetrenin pozitif kutbuna bağlanmıştır. Bu şekilde devre tamamlanmış ve donatının yarı hücre potansiyeli belirlenmiştir. ASTM C 876'da da belirtildiği gibi referans elektrot olarak Cu/CuSO<sub>4</sub> (bakır/bakır sülfat) (CSE) elektrot kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen korozyon potansiyellerinin değerlendirilmesinde Tablo 1 ' de gösterilen ASTM C 876'nın sınır değerlerinden yararlanılmıştır.

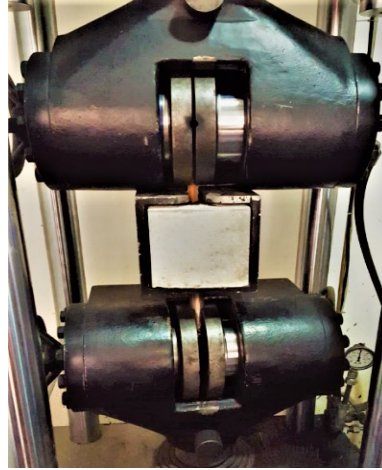
Tablo 1. Donatının korozyon potansiyelinin değerlendirilmesi (ASTM C 876-15, 2015).

Cu/CuSO <sub>4</sub> mV (CSE)	Korozyon Riski
E > -200	Korozyon olasılığı % 10
-200 > E > -350	Korozyon belirgin değil
E < -350	Korozyon olasılığı % 90

E < 500

Şiddetli korozyon

Şekil 3 ' te görülen tam otomatik, hidrolik çeneli, üniversal çekme cihazı ile çekme çıkarma deneyleri yapılmıştır. Farklı kür koşullarında bekletilen numuneler üzerinde her bir seride 3 numune olacak şekilde toplamda 6 seri yapılarak 7., 28., 90. ve 180. günlerde çekme - çıkarma deneyi ASTM C 234-91-a' ya uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Aderans Deney Düzenegi

Çekme - çıkarma deneyi sonrasında elde edilen çekme dayanımlarından yola çıkarak aderans kuvveti bulunmuştur. Bulunan aderans kuvveti, aderans gerilmesini belirlemek için formül (1)'de yerine yazılıp aderans gerilmeleri bulunmuştur.

Aderans gerilmesi,

$$\tau = \frac{\text{Aderans Kuvveti}}{\pi \times \phi \times \ell} \quad (1)$$

Bağıntısından hesaplanmıştır (Moetaz, ve Hawary, 1999). Bu formülde;

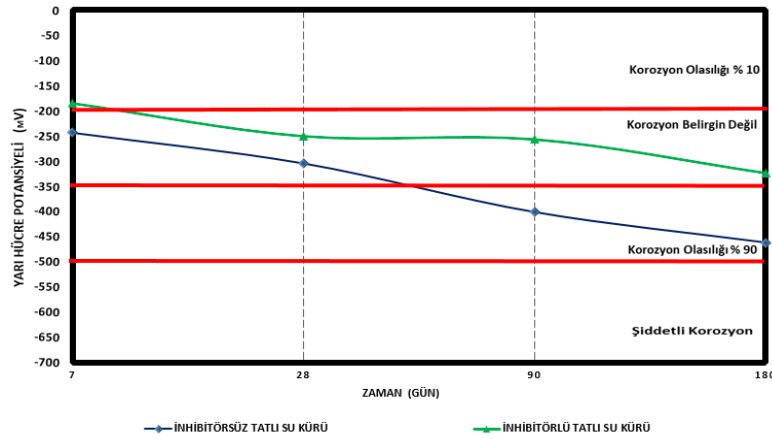
$\tau$  = Aderans gerilmesi

$\phi$  = Donatı çapı

$\ell$  = Aderans Boyu ( Betona gömülü donatı uzunluğu )

## BULGULAR ve TARTIŞMA

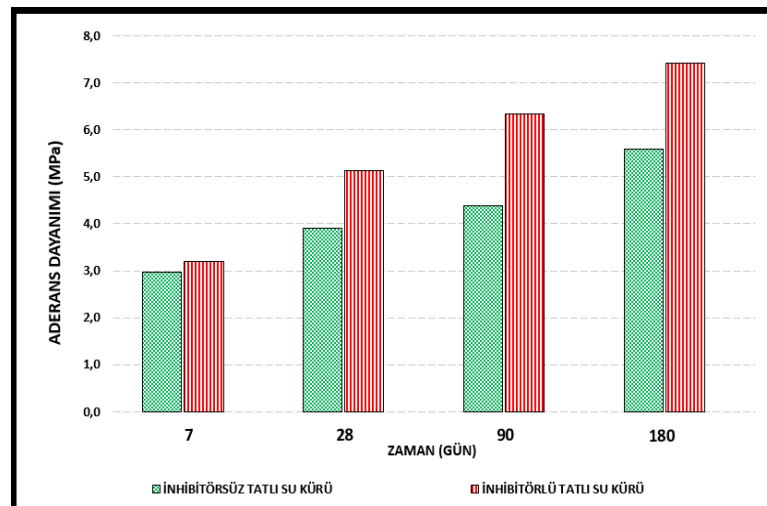
Şekil 4' te inhibitörsüz ve inhibitör katkılı betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyelinin zamanla değişimi verilmektedir. Kutuplaşmayla oluşan potansiyel fark'ın ifade edildiği Yarı Hücre Potansiyeli mV biriminde ölçülüp Tablo 1' de verilen sınır değerlerine göre donatının korozyon durumu hakkında yorum yapılmıştır. Yarı hücre potansiyelinin ölçüleceği donatılı numuneler, tatlı su küründe bekletilmiştir. Daha sonra bekletilen numuneler 7., 28., 90. ve 180. günlerde kür havuzlarından çıkarılıp yarı hücre potansiyeli okumaları yapılmıştır.



Şekil 4. Beton numunelerin içerisindeki donatının yarı hücre potansiyelinin zamanla değişimi

Şekil 4 incelendiğinde 7 günlük başlangıç kürü uygulandıktan sonra yapılan ilk okumada bütün numunelerin yarı hücre potansiyellerinin  $-350$  mV sınır değerinin üzerinde kaldığı görülmüştür. 7. günün sonunda inhibitörsüz tatlı su kürü ve inhibitörlü tatlı su kürü uygulanan serilerde yapılan okumalarda sırasıyla  $-244$  ve  $-185$  mV değerleri elde edilmiştir ve Tablo 1' deki sınır değerlere göre korozyonun belirgin olmadığı aralıkta olduğu hatta inhibitör ilavesi yapılan tatlı su küründe yarı hücre potansiyeli değerinin daha az negatif değerde kaldığı ve korozyon olasılığının % 10 olduğu aralıkta kaldığı görülmüştür. Serilerde 28., 90. ve 180. günlerin sonunda elde edilen yarı hücre potansiyeli okumalarının gittikçe daha negatif değerler aldığı ancak korozyon inhibitörü kullanılan numunelerin yarı hücre potansiyeli okumalarının daha düşük negatif değerlerde kaldığı görülmüştür. Korozyon inhibitörü kullanımının etkisi 180. günün sonunda özellikle korozyon inhibitörü kullanılan, inhibitörlü tatlı su küründeki numunelere ait yarı hücre potansiyeli okumalarının  $-350$  mV sınır değerinden daha pozitif değerde kaldığı görülmüştür.

Donatılı beton numuneleri ile donatılar arasındaki kenetlenmenin (aderans) korozyon inhibitörü kullanılmasıyla ne derece etkilendiğini incelemek amacıyla yarı hücre potansiyeli deneyi yapıldıktan sonra numunelerdeki donatılar çekip çıkarılmıştır. Deneyler sonucunda (1) bağıntısından yola çıkarak elde edilen aderans kuvveti değerlerinden aderans dayanımları bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Numunelerin farklı kür koşulları altında aderans dayanımı değerleri

Çekme – Çıkarma deneyi sonuçlarına göre en yüksek aderans dayanımı değerleri 180 günlük betonlarda, en düşük aderans dayanımı değerleri ise 7 günlük betonlarda tespit edilmiştir. Çekme – Çıkarma deneyi sonuçlarına göre 180. günün sonunda tatlı su kürüne ait inhibitör kullanılan ve kullanılmayan numuneler arasında %33'lük aderans dayanımı artışı bulunmaktadır. Korozyon inhibitörü kullanılan tatlı su kürüne tabi tutulan numunelere bakıldığında

ise inhibitörün beton içerisindeki donatının çevresini çözünmez bir tabaka halinde sarıp pas oluşmasını engellemesiyle beraber aderans dayanımlarının inhibitör kullanılmayan numunelerden dört seride de daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatının korozyon performansına ve aderansa etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada; betonlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve bunların arasındaki ilişkiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Kür sürelerinin artmasıyla beraber yarı hücre potansiyeli okumalarının gittikçe daha negatif değerler aldığı ancak korozyon inhibitörü kullanılan numunelerin yarı hücre potansiyeli okumalarının daha düşük negatif değerlerde kaldığı sonucuna varılmıştır. 180. günün sonunda tatlı su kürüne ait inhibitör kullanılan ve kullanılmayan numuneler arasında %53' lük yarı hücre potansiyeli okuma farkı bulunmaktadır. Bu sonuçlar aynı zamanda korozyon inhibitörü kullanımının yarı hücre potansiyeli okumalarının daha pozitif değerler almasında önemli olduğunu göstermiştir.

- Numunelerin içinde korozyon etkileri görülmüştür. Betonların içindeki çeliğin korozyona uğraması yalnız çeliğin kaybedilmesi ile kalmamış olup bunun yanında, korozyon sonucu oluşan kimyasal bileşiklerin (Pas), tek başına çeliğe göre daha çok büyük hacim kaplaması nedeniyle beton bünyesinde içsel gerilmeler ve çatlamalara sebep olmuştur.

- Çekme – Çıkarma deneyi sonuçlarına göre korozyon inhibitörü kullanılarak üretilen numunelere ait beton donatı aderansı üzerinde olumsuz bir etki yapmamıştır. 180. günün sonunda tatlı su kürüne ait inhibitör kullanılan ve kullanılmayan numuneler arasında %33' lük aderans dayanımı artışı bulunmaktadır. Bu sonuçlar aynı zamanda korozyon inhibitörü kullanımının aderans dayanımını arttırmada önemli olduğunu göstermektedir.

- Korozyondan kaynaklanan kayıpları en aza indirmek için; ülkelerin korozyon hakkında kendilerine özgün araştırma geliştirme (Ar-Ge) merkezlerinin kurulması ve bu merkezlerde yapılacak çalışmaların niteliğinin artırılmasıyla ulusal ve uluslararası ekseninde yaratılabilecek gelişmeler bilim dünyası açısından faydalı olabilir.

## KAYNAKLAR

ASTM C 876-15, (2015). Standart Test Method for Corrosion Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Aydın, Ö., Çizmecioglu, Z., (2013). Beton Yapılarda inhibitör kullanımının korozyon önlemedeki etkinliğinin değerlendirilmesi, Anonim, 132s, İstanbul.

Baradan, B., Yazıcı H., Ün H. (2002). *Betonarme yapılarda kalıcılık*, Ecem Ofset Matbaacılık, 282s.

Boğa, A. R., (2010). Yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatı korozyonuna ve beton özelliklerine etkileri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Erdoğlu Ş., Kondratova I. L., Bremmer T. W. (2004). Determination Of Chloride Diffusion Coefficient Of Concrete Using Open- Circuit Potential Measurements. *Cement and Concrete Research*, 34, 603-609.

Güneyisi E, Özturan T., and Gesoğlu, A. (2005). A study on reinforcement corrosion and related properties of plain and blended cement concretes under different curing conditions. *Cement And Concrete Composites*, 27, 449-461.

Güner, M.S., (1999). *Malzeme bilimi - yapı malzemesi ve beton teknolojisi*, Aktif Yayınevi, İstanbul.

Karakoç, C, (1985). Aderans Mekanik Etkileşim Olayı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Moetaz, M. and Hawary, E. (1999). Evaluation of bond strength of epoxy-coated bars in conc-rete exposed to marine environment, *Construction and Building Materials* 13,357-362.

TS 11222, (2001). Beton- Hazır Beton-Sınıflandırma, Özellikler Performans Üretim ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1, (2002). Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.


Topçu, İ.B., Boğa, A. R., (2008). Betonarmede donatı ve beton arasındaki aderansa korozyonun etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* C.XXI, S.1.


Şimşek, O., (2012). *Beton ve beton teknolojisi*, Seçkin Yayınevi, Ankara.


Yeau K.Y., Kim E. K. (2005). An experimental study on corrosion resistance of concrete with ground granulate blast-furnace slag. *Cement And Concrete Research*, 35, 1391-1399.

Yiğiter H., Baradan B., (2008). “Mineral katkıların donatı donatı korozyonuna etkisinin elektrokimyasal yöntemlerle incelenmesi”, <http://www.prefab.org.tr/makleler/86-1.pdf>, 22 Aralık 2011.

## ORCID

Ramazan YAVUZ  <http://orcid.org/0000-0002-7069-3231>

Osman GÜNAYDIN  <http://orcid.org/0000-0001-7559-5684>

Kadir GÜÇLÜER  <http://orcid.org/0000-0001-7617-198X>