



# Agresif Kür Ortamının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin İncelenmesi

Ramazan Yavuz<sup>1\*</sup>, Osman Günaydın<sup>2</sup>, Kadir Güçlüer<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7069-3231), reymyavuz@gmail.com

<sup>2</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7559-5684), [gunaydin@adiyaman.edu.tr](mailto:gunaydin@adiyaman.edu.tr)

<sup>3</sup>Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7617-198X), [kgucluer@adiyaman.edu.tr](mailto:kgucluer@adiyaman.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075676)

**ATIF/REFERENCE:** Yavuz, R., Günaydın, O., Güçlüer, K. (2022). Agresif Kür Ortamının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 349-354.

## Öz

Betondaki çelik donatının klorür kaynaklı korozyona uğraması sonucu betonarme yapıda meydana gelen hasar, yapının uzun süreli dayanımı için ciddi bir endişe kaynağıdır. Beton içerisindeki bu çelik donatıyı korozyona karşı korumak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada donatı korozyonundan korunma yöntemi olarak korozyon inhibitörü kullanılmıştır. Kullanılan korozyon inhibitörünün donatı korozyonuna ve beton-donatı aderansına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 15×15×15cm boyutlarında donatılı küp beton numuneleri kullanılmıştır. Beton karışımında çimentonun ağırlıkça %1'i oranında kalsiyum nitrat esaslı korozyon inhibitörünün kullanıldığı numunelere, deniz suyu baz alınarak hazırlanan tuzlu su kürü çözeltisinde 7, 28, 90 ve 180 gün olmak üzere dört farklı kür süresi uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde yarı hücre potansiyeli ve çekme-çıkarma deneyleri yapılmıştır. Yarı hücre potansiyeli deneyi numunelerde oluşan korozyon aktivitelerini çekme-çıkarma deneyi ise numunelerdeki aderans dayanımlarını belirlemek amacı ile yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda inhibitör kullanılan numunelerdeki korozyon oluşumunun inhibitör kullanılmayan numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca inhibitör kullanılan numunelerdeki aderans dayanımlarının inhibitör kullanılmayan numunelere göre arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Korozyon, Aderans, İnhibitör, Yarı Hücre Potansiyeli

## An Investigation of the Effect of Aggressive Curing Environment on Concrete-Steel Adherence

### Abstract

The damage to the reinforced concrete structure caused by chloride-induced corrosion of the steel reinforcement in the concrete is a major worry for the structure's long-term durability. Several ways for protecting this steel reinforcement in concrete against corrosion have been devised. Corrosion inhibitors were utilized in this investigation to prevent against reinforcement corrosion. The corrosion inhibitor's influence on reinforcement corrosion and concrete-reinforcement adhesion was studied. In the study, reinforced cube concrete samples with dimensions of 15×15×15 cm were employed. Four different curing times, 7, 28, 90, and 180 days, were applied to the samples in the brine curing solution generated from sea water, with 1% by weight of calcium nitrate-based corrosion inhibitor employed in the concrete mixture. On the prepared materials, half-cell potential and pull-extraction experiments were carried out. The half-cell potential test was used to measure the corrosion activities in the samples, and the tensile-extraction test was used to determine the samples' adhesion strength. As a consequence of the experiments, it was discovered that the corrosion formation in the samples containing inhibitor was lower than in the samples containing no inhibitor. Furthermore, it was discovered that the adhesion strength of samples including inhibitors was greater than that of samples containing no inhibitors.

**Keywords:** Corrosion, Adherence, Inhibitor, Half Cell Potential

\* Sorumlu Yazar: reymyavuz@gmail.com

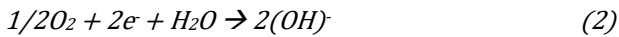
## 1. Giriş

Dünyada en sık kullanılan yapı malzemelerinden biri betonarmedir. Betonarme yapı malzemesinde çelik donatı ile beton birlikte kullanılarak betonun düşük çekme dayanımının çelik donatılarla güçlendirilmesi amaçlanır. Bu güçlendirme işlemi çekme gerilmeleri etkisi altındaki betonun çatlamasını ve kırılmasını önlemek amacıyla çekme gerilmelerinin meydana geldiği yerlere çelik donatılar yerleştirilerek uygulanır. Çelik donatı ve beton arasındaki aderans iyi olduğunda, bu iki malzeme tek bir malzeme davranışı gösterir (Boğa, 2005). Betonda kullanılan donatı çeliğinin hem fiziksel hem de kimyasal açıdan beton örtüsüyle korunabilmesi, betonarme yapı elemanlarının dayanıklılığı ve hizmet verdiği süre boyunca oldukça önemlidir. Fiziksel açıdan bakıldığında, çelik donatı, yoğun ve nispeten geçirimsiz beton örtü sayesinde karbondioksit, nem ve klorür iyonları gibi agresif maddelerin erişimi önlenerek korunabilmektedir. Kimyasal açıdan incelendiğinde ise beton örtü tabakası, çimentonun hidratasyonu ile oluşan yüksek alkali bir oksit film tabakası oluşturarak çelik donatıyı korozyona karşı koruyabilir (Zhang, 2021). Fakat yetersiz beton örtü kalınlığı veya agresif olan çevresel koşullar, donatı çeliğinin korozyona uğramasına neden olur. Oluşan korozyon nedeniyle çelik donatının kesit alanı küçülür ve aynı zamanda oluşan çukurlaşma etkisinin bir sonucu olarak, donatının sünekliği ve aderans özellikleri olumsuz yönde etkilenir (Özolt vd., 2014).

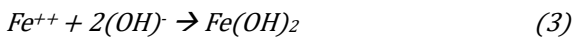
Beton-donatı kesit alanındaki değişim klorüre maruz kalan ortamlarda korozyon davranışı üzerinde özel bir etkiye sahiptir. Birkaç belirgin örnek vermek gerekirse, bazı koşullar altında gözenekler, boşluklar ve çatlakların klorür kaynaklı korozyonun başlamasını etkilediği gözlemlenmiştir (Angst vd., 2017). Beton içerisinde başlayacak olan bu çelik donatı korozyonu elektrokimyasal bir süreçtir. Korozyona uğrayan çelik donatı yüzeyi, anodik ve katodik reaksiyonların gerçekleştiği çelik gövdenin aracılığıyla elektriksel olarak bağlanan hem katodik hem de anodik bölgelerden oluşan karışık bir elektrot görevi görür. Anot ve katotta meydana gelen reaksiyonlara genel olarak “yarım hücre reaksiyonları” denilmektedir. Anottaki reaksiyon, metalin kaybolması veya çözünmesiyle sonuçlanan bir oksidasyon reaksiyonu iken, katottaki reaksiyon, çözülmüş oksijeni azaltarak hidroksil iyonlarının oluşumuyla sonuçlanan bir indirgeme reaksiyonudur. Demir (Fe) atomları elektronlarını kaybeder (Denklem 1) ve çevredeki alana demir iyonları ( $Fe^{2+}$ ) olarak hareket eder (H.-S. Lee vd., 2018; Li vd., 2021; Prasanna Chinthala, 2018).



Katodik işlemde, donatıyla beraber katoda aktarılan elektronlar oksijen ve suyla bir araya gelerek (Denklem 2) hidroksit iyonlarını oluşturur.

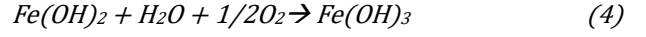


Anottan çözeltiye taşınan demir iyonları, demir hidroksiti oluşturmak için hidroksit iyonları ile reaksiyona girerler (Denklem 3).

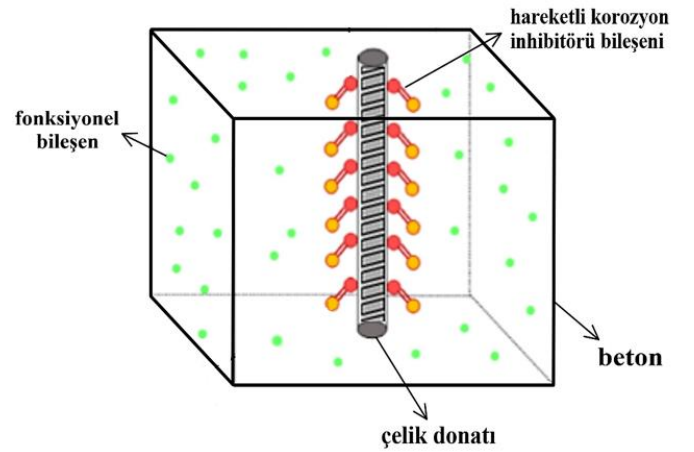


$Fe(OH)_2$  suda çözünmesi ve kararsız olması nedeniyle daha sonra oksijen ve suyla bir araya gelerek (Denklem 4) anodu çevreleyen sarı renkte boşluklu bir “pas tabakası” oluşturur. Hem

katodik hem de anodik reaksiyon sonucu oluşan ürünler birleşerek korozyon ürünlerini meydana getirir (Sassine vd., 2018; Yiğiter, 2008).



Donatı çeliği korozyonu, tüm dünyada betonarme yapıların bozulmasının ana nedenlerinden biri ve günümüzde inşaat mühendislerinin karşı karşıya olduğu önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Beton içindeki çelik donatıları korozyona karşı korumak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Son istatistiklere göre, 2019 yılında küresel korozyon maliyetinin 2.5 trilyon dolar veya dünya gayri safi hasılasının yüzde 3.4’ü olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle beton içerisindeki donatının korozyonunu geciktirmek, azaltmak veya kontrol altına almak ve dayanıklılığını artırmak için yeni teknolojiler ve malzemeler geliştirilmiştir. Geliştirilen korozyon önleme tekniklerinden bir tanesi ise inhibitör kullanımıdır. İnhibitörler, betona küçük konsantrasyonlarda eklenen, betonarme yapılarda korozyonun başlamasını önleyen veya korozyon başlama süresini uzatan kimyasallardır. İnhibitör korozyon direnç etkisi ve düşük maliyet ile donatının korozyona karşı korunması için en uygun ve verimli yöntemlerden biri olarak değerlendirilebilir. İnhibitörlerin çoğu çelik yüzeyinde koruyucu bir film oluşturarak (Şekil 1.) donatı çeliğini korozyona karşı korurken, bazı inhibitörler ise beton malzemesi ile reaksiyona girerek betonun geçirgenliğini azaltır (Topçu ve Uzunömeroğlu, 2020).



Şekil 1. Korozyon inhibitörünün işlevselliği (Figure 1. Functionality of the corrosion inhibitor) (Pan vd., 2020)

Bu çalışmada beton içine gömülü çelik donatının korozyonu ve aderans özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Donatılı olarak hazırlanan numuneler oda sıcaklığında tuzlu su kürüne tabi tutulmuştur. Beton içerisindeki donatının korozyon değerlerini tespit etmek için yarı hücre potansiyeli ve aderans dayanımlarını belirlemek için de çekme-çıkarma deneyleri uygulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

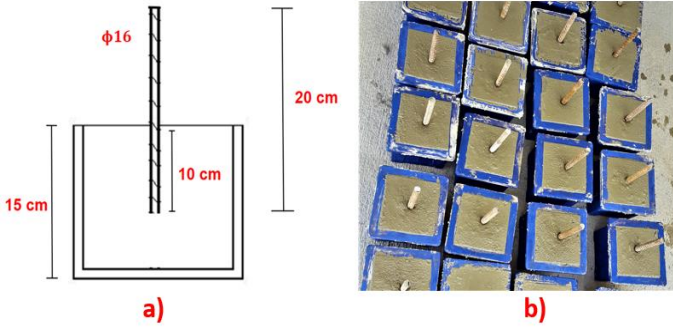
Yapılan deneysel çalışmada hazır beton santrali tarafından üretilen C30 beton kullanılmıştır. Deneylerde çelik donatıda oluşacak olan korozyona etkisini incelemek amacıyla üretilen donatılı beton numuneleri hazırlanırken, beton karışımında çimentonun ağırlıkça %1’i oranında kalsiyum nitrat esaslı korozyon inhibitörü katkısı kullanılmıştır. Korozyon inhibitörü olarak anodik inhibitörlerden en yaygın olan Darex korozyon inhibitörü (DCI) kullanılmıştır. İnhibitörün bileşimi genel olarak %30 kalsiyum nitrat ve %70 sudan meydana gelmektedir

(Kepler ve Locke, 2000). Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 1 m<sup>3</sup> beton karışımında bulunan malzeme miktarları (Table 1. Amount of material in 1 m<sup>3</sup> of concrete mix)

Malzeme Cinsi	Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )
Doğal kum	1132
İnce agrega	216
İri agrega	575
Su	185
Çimento CEM I 42.5 R	310
Korozyon inhibitörü	3.10
<b>Toplam</b>	<b>2421.1</b>

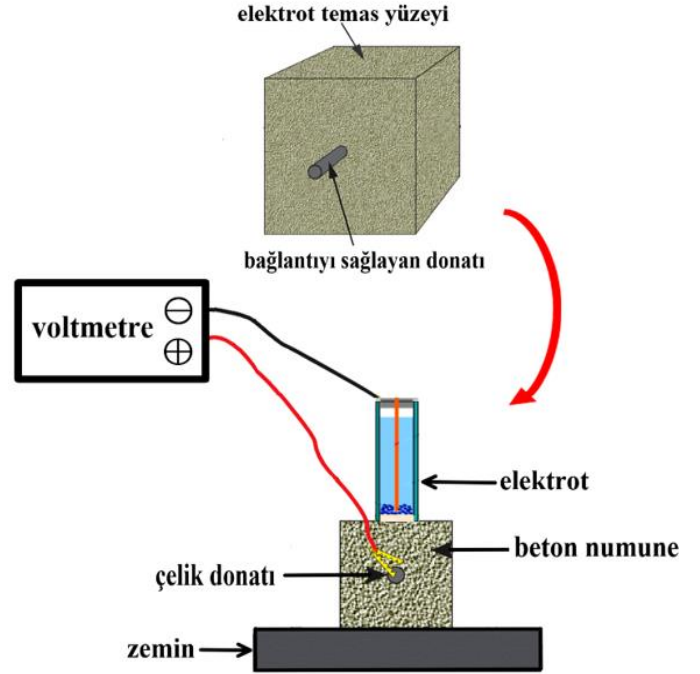
Çalışmada 15×15×15cm boyutlarında Şekil 2’de verilen 48 adet donatılı küp beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazır beton santrali tarafından temin edilen beton kalıplara döküldükten sonra 1-10sn olacak şekilde vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Vibrasyon işlemi uygulandıktan sonra 16 mm çapında ve uzunluğu 20cm olan S420a çelik donatısı, beton içerisine 10 cm’lik kısmı gömülü olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. a) Küp numune ve donatı boyutu b) Üretilen donatılı beton numuneleri (Figure 2. a) Cube sample and reinforcement steel size b) Produced reinforced concrete samples)

Numuneler kalıplarından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında (22 ± 2°C) ve kür süreleri 7, 28, 90 ve 180 gün olacak şekilde deniz suyu baz alınarak kür havuzunda hazırlanan tuzlu su kürüne (%3 NaCl) tabi tutulmuştur. Kür havuzundan çıkarılan numunelerin korozyon ölçümlerini yapmak amacıyla Şekil 3’te verilen yarı hücre potansiyel deney aleti kullanılmıştır. Yarı hücre potansiyeli, aktif korozyonun varlığını tahribatsız olarak tespit etmek için kullanılan hızlı ve uygun maliyetli bir yöntemdir. Yarı hücre potansiyeli ilk olarak 1957’de korozyon değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu yöntem, donatıdaki korozyonun elektro-kimyasal davranışını karakterize etmek için kullanılır. Bu yöntemde ortamın türü ne olursa olsun, sıcaklık +2 °C’den fazla olduğu sürece, yapının ömrü boyunca herhangi bir zamanda kullanılabilir. Genel olarak yarım hücre ölçümleri için referans elektrot olarak bakır/bakır sülfat elektrotu (Cu/CuSO<sub>4</sub>) veya gümüş/gümüş klorür elektrotu (Ag/AgCl) kullanılır. Bu deney yönteminde referans elektrotu beton yüzey üzerine yerleştirildikten sonra voltmetrenin pozitif kutbu çelik donatıya bağlanarak yarı hücre potansiyel okumaları yapılır e-ISSN: 2148-2683

(Amiri, 2020). Bu yöntemde betonda gömülü çelik donatı için olası anodik reaksiyonlar, agresif anyonların varlığına, elektrolitin pH’ına ve donatının yüzeyinde uygun bir elektrokimyasal potansiyelin mevcudiyetine bağlıdır. Buna karşılık olarak, olası katodik reaksiyonlar, O<sub>2</sub>’nin varlığına ve çelik donatı yüzeyinin çevresindeki pH’a bağlıdır (Zou vd., 2016).



Şekil 3. Yarı hücre potansiyeli deney düzeneği (Figure 3. Half-cell potential experimental setup) (Volpi-León vd., 2017)

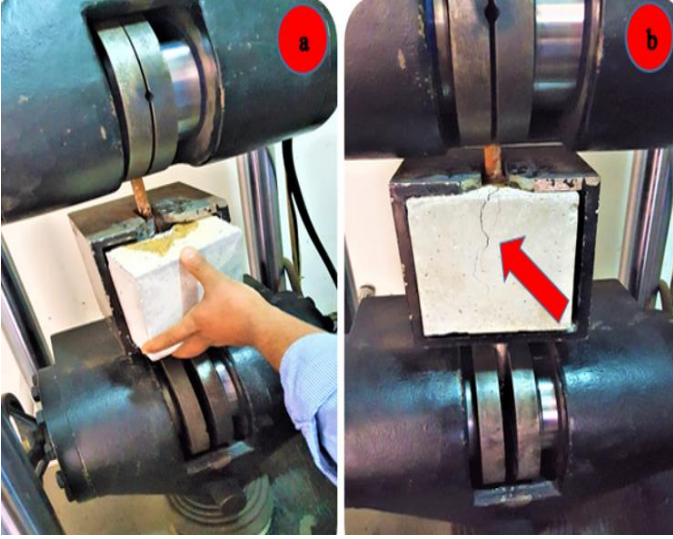
Yarı hücre potansiyel ölçümleri yapılacağı zaman çevresel parametreler olan test tarihi, test sırasında ve testten birkaç gün önceki hava durumu (sıcaklık, nem) dikkate alınmalıdır (Assouli vd., 2008). Bu nedenlerden dolayı yarı hücre potansiyel okumaları yapılmadan önce referans elektrotu kalibre edilmelidir. Betona gömülü çelik donatının farklı tipteki elektrotlara göre yarı hücre potansiyel sınır değerleri ve korozyon olasılıkları arasındaki ilişki Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. ASTM C 876’ya göre yarı hücre potansiyel değerlerine ait korozyon durumu (Table 2. Corrosion status of half-cell potential values according to ASTM C 876) (Reichling vd., 2013)

Cu/CuSO <sub>4</sub> mV (CSE)	Korozyon Durumu
-200 < E	Korozyon olasılığı %10
-350 < E < -200	Korozyon olasılığı %50
E < -350	Korozyon olasılığı %90
E < -500	Şiddetli korozyon

Korozyon ölçümleri yapıldıktan sonra donatılı beton numunelerin 7, 28, 90 ve 180 günlük aderans dayanımlarını ölçmek amacıyla Şekil 4’te verilen çekme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Çekme-çıkarma deneyi uygulama açısından basit

olması nedeniyle aderans deneyleri arasında en fazla uygulanan deney çeşididir. Bu deney yapılırken, silindir veya küp beton numune içinde gömülü halde bulunan çelik donatının eksenel çekme kuvveti sayesinde çekilip çıkarılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece, donatının betondan sıyrılması test edilmektedir (Tunç, 2020).



Şekil 4. Numunenin a) Kalıba yerleştirilmesi b) Çekip-çıkarması sonucu oluşan beton çatlağı (Figure 4. a) Placing the sample into the mold b) Concrete crack formed as a result of pull-out)

Çekme-çıkarma deneyi esnasında betona gömülü çelik donatı çekilirken veya yük uygulandığında kayma eğilimi gösterir. Donatı çubuğu ile beton arasındaki mekanik kilitleme ve kimyasal yapışma bu kayma eğilimine karşı bir direnç oluşturur. Belirli bir yükün ötesinde, kimyasal yapışma zarar görür ve daha sonra beton kaymaya karşı çelik donatıda bulunan nervürler sayesinde çelik donatının hareketine direnç gösterir. Gömülü çelik donatının kayması sırasında nervürlerin beton örtüye uyguladığı direnç sonucu beton örtü çatlar. Çelik donatı ve beton arasındaki bu dirençten dolayı oluşan sürtünme kuvveti, nervürlerin ve betonun kaymasına karşı koyarak hareketin ve beton üzerinde ortaya çıkan çekme kuvvetinin azalmasına yol açar (Khatua, 2017).

Yapılan çalışmada çekme-çıkarma deneyinden elde edilen çekme dayanımları kullanılarak aderans kuvvetleri bulunmuştur. Daha sonra bulunan aderans kuvvetleri Denklem 5'te verilen formülde yerine yazılarak aderans dayanımları hesaplanabilir.

$$\tau = \frac{\text{Aderans kuvveti}}{\pi \times \varnothing \times \ell} \quad (5)$$

$\tau$  = Aderans dayanımı,  $\varnothing$  = Çelik donatının çapı,  $\ell$  = Beton içine gömülü çelik donatı uzunluğunu ifade etmektedir (Tsiotsias ve Pantazopoulou, 2021).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Yarı Hücre Potansiyel Ölçümleri

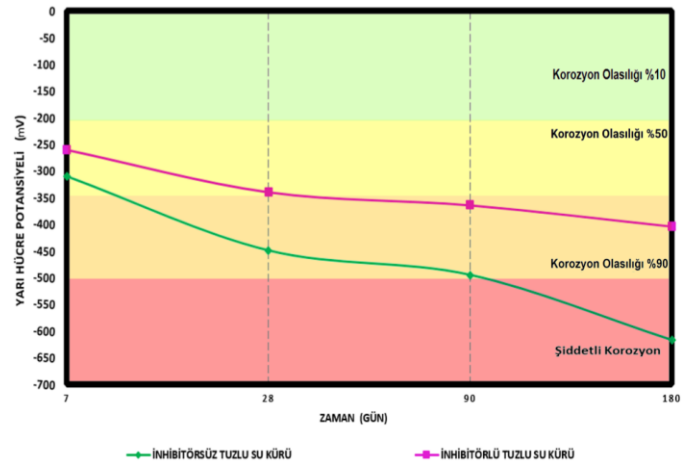
Kür süreleri 7, 28, 90 ve 180 gün olan numuneler %3 NaCl kullanılarak oluşturulan tuzlu su kür havuzundan çıkarıldıktan sonra küp numunenin donatının bulunduğu ve karşı yüzeyi hariç diğer dört yüzeyinden yarı hücre potansiyel okumaları alınmıştır. Küp numunelerin 4 yüzeyinden elde edilen yarı hücre potansiyel okuma değerlerinin ortalaması Şekil 5'te grafiksel olarak

verilmiştir. Hesaplanan bu değerler Tablo 2'de verilen ASTM C 876 sınır değerleri kullanılarak korozyon riskleri belirlenmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde en yüksek yarı hücre potansiyel okumalarının 180 günlük numunelere en düşük yarı hücre potansiyel okumalarının ise 7 günlük numunelere ait olduğu ve tüm serilerde inhibitör kullanılan numunelere ait okumaların daha düşük değerlerde kaldığı görülebilir.

Kür süresi 7 gün olan numunelere ait okumalar incelendiğinde inhibitörlü ve inhibitörsüz numunelere ait korozyon olasılığının %50 olan bölgede kaldığı görülmüştür. Fakat inhibitör kullanılan numunelere ait değerlerin kullanılmayan numunelere göre %39'luk bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Böylece kür süresinin 7 gün olmasına rağmen korozyon inhibitörü kullanımının korozyon oluşumunun azalmasında önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Kür süresi 28 gün olan numunelere ait değerler incelendiğinde inhibitör kullanılmayan numunelere ait değerlerin -350 mV sınır değerini aşarak korozyon oluşma olasılığının %90 olduğu bölgede olduğu görülmektedir. Buna karşılık olarak inhibitör kullanılan numunelere ait okumaların -350 mV sınır değerinin altında kaldığı ve kullanılmayan numunelere göre 32'lik artış gösterdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu artışın kür süresi 7 gün olan numunelerdeki artışa göre daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Yarı hücre potansiyel okumalarının kür sürelerine göre değişimi (Figure 5. Variation of half-cell potential values with respect to curing times)

Kür süresi 90 gün olan numunelere ait yüzdelik artış incelendiğinde numunelere ait artışın kür süresi 28 gün olan numunelere ait yüzdelik artışa göre daha dengeli ve yavaş olduğu görülmüştür. İnhibitör kullanılmayan numunelere ait değerler şiddetli korozyon bölgesine ait değerlere yaklaşmışken, inhibitör kullanılan numunelere ait okumaların ise şiddetli korozyon bölgesinden uzak olduğu gözlemlenmiştir. İnhibitör kullanılan numunelere ait değerler kullanılmayan numunelere ait değerlere göre %35'lik artış göstermiştir.

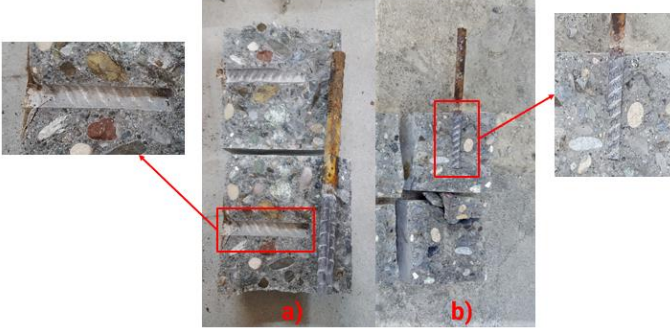
Kür süresi 180 gün olan numunelere ait değerler incelendiğinde inhibitör kullanılmayan numunelere ait değerler şiddetli korozyon bölgesine geçmiş ve inhibitör kullanılan numunelere ait değerlerin yaklaşık olarak iki katı bulunmuştur.

Sonuç olarak tüm kür sürelerine ait değerler incelendiğinde korozyon inhibitörü kullanımının korozyon oluşumu olasılığını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bu azalışın nedeni, inhibitör kullanımının betondaki geçirgenliği azaltarak klorür

iyonlarının çelik donatıya ulaşmasını engellediği şeklinde açıklanabilir.

### 3.1. Aderans Dayanımları

Çekme-çıkarma deneyi sonrası kür süresi 180 gün olan numunelere ait görüntü Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde inhibitör kullanılmayan numunede bulunan çelik donatı betondan ayrılırken, inhibitör kullanılan numunede ise çelik donatının beton tarafından sarıldığı ve hala betondan tam olarak ayrılmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca inhibitör kullanılan numunede çekme-çıkarma işlemi esnasında beton-donatı arasındaki aderansın tam olarak kaybolmamasından dolayı betonda parçalanmalar oluşmuştur.



Şekil 6. Çekme-çıkarma deneyi sonrası numunelere ait görüntüler a) İnhibitörsüz b) İnhibitörlü (Figure 6. Images of the samples after the pull-out test a) Without inhibitor b) With inhibitor)

Yarı hücre potansiyeli deneyi yapılarak numunelere ait değerler belirlendikten sonra donatılı beton numunelerin 7, 28, 90 ve 180 günlük aderans dayanımlarını tespit etmek amacıyla çekme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Çekme-çıkarma deneyi sonrası bulunan aderans dayanımları Şekil 7'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Aderans dayanımlarının kür sürelerine göre değişimi (Figure 7. Variation of bond strengths according to curing times)

Şekil 7'ye göre en yüksek aderans dayanımları 180 günlük, en düşük aderans dayanımlarının ise 7 günlük numunelere ait olduğu görülmüştür. Tüm serilere ait inhibitörsüz ve inhibitörlü numunelerin aderans dayanımı ortalamaları ise sırasıyla 3.9 MPa ve 4.7 MPa olarak hesaplanmıştır.

İnhibitör kullanılmayan numunelerde korozyonun oluşmasıyla birlikte inhibitör kullanılan numunelere göre aderans dayanımları daha düşük değerler almıştır. 7 gün olan

numunelerin aderans dayanımları incelendiğinde inhibitör kullanılan numunelere ait aderans dayanımlarında kullanılmayan numunelerin aderans dayanımlarına göre %15'lik bir artış görülmüştür.

Kür süresi 28 gün olan numunelerin aderans dayanımları incelendiğinde inhibitör kullanılan ve kullanılmayan numunelerin aderans dayanımları arasında %26'lık artış olmuştur. Bu yüzdeler artışın 7 günlük numunelerdeki yüzdeler artışa göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Kür süresi 90 ve 180 gün olan numunelerin aderans dayanımları incelendiğinde kür süresi 7 ve 28 gün olan numunelerde olduğu gibi korozyon inhibitörü kullanımının çelik donatı üzerindeki pasif tabakanın korumasını sağlayıp aderans dayanımı üzerinde olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak tüm kür süresi serileri incelendiğinde inhibitör kullanılan numunelere ait aderans dayanımları daha yüksek değerler almıştır. Bu sonuç klorür saldırısına maruz kalan betona gömülü çeliğin korozyonunun başlamasını geciktirmeye yardımcı olabileceği şeklinde açıklanabilir. Ayrıca inhibitör kullanılan numunelerin yüksek değerler almasının nedeni, inhibitör kullanımının donatı ve beton arasındaki kimyasal bağ kuvvetlendirdiği şeklinde değerlendirilmektedir.

### 4. Sonuç ve Öneriler

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yarı hücre potansiyel okumaları incelendiğinde en büyük değerlerin 7 günlük inhibitör kullanılan numunelerde, en küçük değerlerin ise inhibitör kullanılmayan 180 günlük numunelerde gözlemlenmiştir.
- Çelik donatının korozyon seviyesinin artmasıyla birlikte yarı hücre potansiyel okuma değerleri azalmıştır.
- Yarı hücre potansiyel okumaları değerlerindeki yüzdeler artış inhibitör kullanılan numunelerde kullanılmayanlara göre daha dengeli ve yavaş gerçekleşmiştir.
- Tüm serilerde inhibitör kullanılan numunelerdeki yarı hücre potansiyel okuma değerleri inhibitör kullanılmayan numunelere göre daha büyük değerler almıştır. Sonuç olarak inhibitör kullanımı çelik donatı korozyonu üzerinde olumlu etki oluşturduğu sonucuna varılmıştır.
- En düşük aderans dayanımları 7 günlük numunelerde, en yüksek aderans dayanımları ise kür süresi olan 180 günlük numunelerde hesaplanmıştır.
- Tüm seriler incelendiğinde inhibitör kullanılan numunelere ait aderans dayanımlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın nedeni inhibitör kullanımından kaynaklı donatı ile beton arasındaki kenetlenmenin artması olarak değerlendirilmektedir.
- Yarı hücre potansiyel deneyine göre bulunan korozyon olasılıkları ve çekme-çıkarma deneyi sonrası elde edilen aderans dayanımı arasındaki ilişki incelendiğinde, çelik donatıda korozyonun artmasıyla birlikte aderans dayanımlarının düştüğü tespit edilmiştir. Fakat korozyon inhibitörü kullanılmasıyla birlikte korozyondan az etkilenen numunelerdeki beton-donatı aderansında artış meydana gelmiştir.
- Yapılacak olan betonarme yapıların klorür kaynaklı korozyonunu engellemek için üretilecek olan betonlarda

zararlı iyonların neden olacağı donatı korozyonunun meydana gelmemesi için beton olabildiğince geçirimsiz olmalıdır.

- Beton içinde gömülü olan çelik donatının etrafında koruyucu bir tabaka oluşturan korozyon inhibitörünün kullanım miktarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Beton karışımına eklenen miktar çok düşük olursa donatı korozyonunu korumada yetersiz kalacaktır. İnhibitörün aşırı kullanılması durumunda ise sızıntıya ve çukurlaşmaya neden olacaktır. Bu nedenlerden dolayı, kullanılacak inhibitör miktarı (çimentonun ağırlığının %1'i) betonun gözenek çözeltisindeki klorür iyonlarının yoğunluğundan daha fazla olması durumunda çelik donatı için yeterli koruma sağlayabilecektir.

## Kaynakça

- Amiri, A. S. (2020). *A Comparison Between Ultrasonic Guided Wave Leakage and A Comparison Between Ultrasonic Guided Wave Leakage and Half-Cell Potential Methods in Detection of Corrosion in Reinforced Concrete Structure*
- Angst, U. M., Geiker, M. R., Michel, A., Gehlen, C., Wong, H., Isgor, O. B., Elsener, B., Hansson, C. M., François, R., Hornbostel, K., Polder, R., Alonso, M. C., Sanchez, M., Correia, M. J., Criado, M., Sagüés, A., & Buenfeld, N. (2017). The steel-concrete interface. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 50(2).
- Assouli, B., Ballivy, G., & Rivard, P. (2008). Influence of environmental parameters on application of standard ASTM C876-91: Half cell potential measurements. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 43(1), 93-96.
- Boğa, A. R. (2005). *Uçucu küllü betonarme elemanlarda donatı korozyonunun hızlandırılmış yöntemlerle araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi.
- Kepler, J. L., & Locke, C. E. (2000). Evaluation of Corrosion Protection Methods for Reinforced Concrete Highway Structures. *Corrosion*, 58, 231.
- Khatua, S. (2017). *Effect of accelerated corrosion on the bond strength of corrosion resistant reinforcing bars embedded in concrete*. Yüksek lisans tezi, Akron Üniversitesi.
- Lee, H.-S., Saraswathy, V., Kwon, S.-J., & Karthick, S. (2018). Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete: A Review. In *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. InTech.
- Li, Z., Jin, Z., Wang, P., & Zhao, T. (2021). Corrosion mechanism of reinforced bars inside concrete and relevant monitoring or detection apparatus: A review. *Construction and Building Materials*, 279.
- Ožbolt, J., Oršanić, F., & Balabanić, G. (2014). Modeling pull-out resistance of corroded reinforcement in concrete: Coupled three-dimensional finite element model. *Cement and Concrete Composites*, 46, 41-55.
- Pan, C., Chen, N., He, J., Liu, S., Chen, K., Wang, P., & Xu, P. (2020). Effects of corrosion inhibitor and functional components on the electrochemical and mechanical properties of concrete subject to chloride environment. *Construction and Building Materials*, 260.
- Prasanna Chinthala, S. (2018). *Study of corrosion inhibitors for reinforcement corrosion of low carbon steel in simulated pore solution*. Yüksek lisans tezi, Akron Üniversitesi.
- Reichling, K., Raupach, M., Broomfield, J., Gulikers, J., L'Hostis, V., Kessler, S., Ostermiski, K., Pepenar, I., Schneck, U., Sergi, G., & Taché, G. (2013). Full surface inspection methods regarding reinforcement corrosion of concrete structures. *Materials and Corrosion*, 64(2), 116-127.
- Sassine, E., Laurens, S., François, R., & Ringot, E. (2018). A critical discussion on rebar electrical continuity and usual interpretation thresholds in the field of half-cell potential measurements in steel reinforced concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 51(4).
- Topçu, İ. B., & Uzunömeroğlu, A. (2020). Properties of corrosion inhibitors on reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(2), 93-109. <https://doi.org/10.31462/jseam.2020.02093109>
- Tsiotsias, K., & Pantazopoulou, S. J. (2021). Analytical Investigation on the Effect of Test Setup on Bond Strength. *CivilEng*, 2(1), 14-34.
- Tunç, E. T. (2020). *Yüksek performanslı hafif betonlarda aderans özelliklerinin belirlenmesi*. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi.
- Volpi-León, V., López-León, L. D., Hernández-ávila, J., Baltazar-Zamora, M. A., Olguín-Coca, F. J., & López-León, A. L. (2017). Corrosion study in reinforced concrete made with mine waste as mineral additive. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(1), 22-31.
- Yiğiter, H. (2008). *Betonarme donatısında klorid korozyonu gelişiminin elektrokimyasal yöntemlerle belirlenmesi*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Zhang, W. (2021). *Effect of top-casting defects and transverse cracks on the corrosion behavior of steel in reinforced concrete exposed to chloride environment*. Doktora tezi, Chongqing Üniversitesi.
- Zou, Z. H., Wu, J., Wang, Z., & Wang, Z. (2016). Relationship between half-cell potential and corrosion level of rebar in concrete. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 51(8), 588-595.