



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Doğru akım uygulanan betonlarda donatı çapının hızlandırılmış korozyon başlangıcına etkisinin araştırılması

Investigation of the impacts of reinforcement steel's diameters on accelerated corrosion beginning for the concretes to which direct current applied

Yazar(lar) (Author(s)): İsmail HOCAOĞLU¹

ORCID¹: 0000-0001-9294-1120

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Hocaoğlu İ., “Doğru akım uygulanan betonlarda donatı çapının hızlandırılmış korozyon başlangıcına etkisinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 381-388, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.825028

Doğru Akım Uygulanan Betonlarda Donatı Çapının Hızlandırılmış Korozyon Başlangıcına Etkisinin Araştırılması

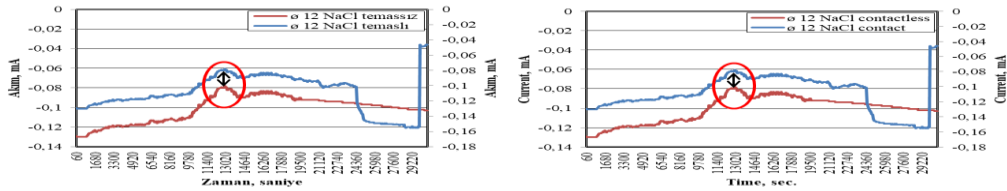
Investigation of the Impacts of Reinforcement Steel's Diameters on Accelerated Corrosion Beginning for the Concretes to which Direct Current Applied

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Betonlara farklı çaplarda donatı yerleştirilmesi / Placing reinforcement steels of different diameters in concrete
- ❖ Donatı yerleştirilen betonlara DC akım uygulanması / Application of DC current to concrete to which placed reinforcement steel
- ❖ Betonun içindeki ve dışındaki donatılara hızlandırılmış korozyon testi uygulanması / Performing accelerated corrosion testing of reinforcing steel inside and outside of the concrete

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada betonun içerisinde ve dışarısındaki donatılara hızlandırılmış korozyon testi uygulanarak akım geçişleri karşılaştırılmıştır. / In this study, the accelerated corrosion test was applied to the reinforcements steels inside and outside the concrete, and the electrical current passages were compared.



Şekil. NaCl temaslı ve NaCl temassız donatıların korozyon başlangıcı / **Figure.** Corrosion initiation of NaCl contact and NaCl contactless of reinforcement steels

Amaç (Aim)

Korozyon başlangıç aşamasını tahmin etmek. / To predict the initial stage of corrosion.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı çaptaki donatılara DC güç kaynağı ile hızlandırılmış korozyon testi uygulanması. / Application of accelerated corrosion test with DC power supply to different diameters of reinforcement steels.

Özgünlük (Originality)

Korozyon reaksiyonlarının oluşmaya başlama süresinin tahmin edilebilmesi bu çalışmaya özgünlük kazandırmaktadır. / The estimation of the onset time of corrosion reactions adds originality to this study.

Bulgular (Findings)

Donatılar üzerinden geçen akım ölçülerek korozyonun başlayıp başlamadığı hakkında bilgi edinilebileceği sonucuna varılmıştır. / It has been concluded that by measuring the current passage on the reinforcement steel, information can be obtained about whether the corrosion has started or not.

Sonuç (Conclusion)

Betonarme yapılarda elektriksel yöntemler kullanılarak korozyonun başlangıç aşamasının tespiti ile bu problemi bertaraf etmek amacıyla erken önlem alınabilir. / Early measures can be taken to eliminate this problem by determining the initial stage of corrosion in reinforced concrete structures by electrical methods.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Doğru Akım Uygulanan Betonlarda Donatı Çapının Hızlandırılmış Korozyon Başlangıcına Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

İsmail HOCAOĞLU*

Bolvadin Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 12.11.2020 ; Kabul/Accepted : 15.07.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 27.07.2021)

ÖZ

Bu çalışmada 300 dozajlı, 15cm küp boyutundaki betonlara hızlandırılmış korozyon deneyi uygulanmıştır. Betonların orta noktalarına donatı çapları sırası ile ø12, ø14 ve ø16 olan donatılar yerleştirilmiştir. Üretilen betonlar kalıplardan çıkartıldıktan sonra 28 gün süre ile kür edilmiştir. Betonlarda hızlandırılmış korozyon testi yapabilmek için DC güç kaynağı vasıtası ile 30 V gerilim uygulanmıştır. Betonlara uygulanan akım ampermetre ile kaydedilmiş ve çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Beton içerisindeki donatı çapının artması ile betondaki korozyon şiddetinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, hızlandırılmış korozyon, doğru akım.

Investigation of the Impacts of Reinforcement Steel's Diameters on Accelerated Corrosion Beginning for the Concretes to which Direct Current Applied

ABSTRACT

In this study, accelerated corrosion test is applied to 300 dosaged concretes whose sizes are 15cm cube. Reinforcement steel diameters of ø12, ø14 and ø16, respectively, were inserted into the middle points of the concrete. The concrete produced was cured for 28 days after being removed from the molds. In order to achieve accelerated corrosion test, 30 V stress intensity is applied by DC power supply. The currents passing through the concretes were recorded with the help of ampere meter and various comparisons were made. It has been concluded that, the increase in the diameter of the reinforcement steel in the concrete can decrease the corrosion intensity of the concrete.

Keywords: Concrete, accelerated corrosion, direct current.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton, günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesi olarak bilinmektedir. Ancak uygulamalarda bilinen avantajlarının yanı sıra, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan en bilineni çekme dayanımlarının düşük oluşudur. Bu dezavantajı bertaraf etmek amacıyla, yapılara uygulamalarda beton içerisine farklı çaplarda donatılar yerleştirilmektedir. Beton içerisine yerleştirilen donatı ile birlikte günümüzde betonarme olarak isimlendirilen yapılar oluşturulmaktadır. Diğer taraftan, betonarme yapılarda zamanla çeşitli etkenlerin neden olduğu korozyon reaksiyonları da meydana gelmektedir. Beton ile çelik donatıların korozyonu betonarme yapıların zamanla bozulmasında hatta yapısal olarak göçmesine neden olabilmektedir [1-2]. Betonarme yapılardaki korozyon, yapıların bozulmasında en etkili unsurlardan birisi olarak bilinmektedir [3]. Çelik çubuklarda meydana gelen korozyon, betonarme yapıların sismik performanslarını düşürmektedir [4]. Genellikle korozyon, betonun

karbonatlaşması ve klor iyonlarını geçirmesinden kaynaklanmaktadır [5]. Son yıllarda korozyona uğramış betonarme yapılardaki demirler ve çatlak şekilleri detaylı olarak araştırılmakta ve korozyonu önlemeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [6-7]. Önceden yapılan korozyon araştırmalarında, harçlar ve beton numuneleri üzerinde 3 laboratuvar tekniği kullanılmıştır [8]. Bunlar doğal etki ile korozyon [9-11], yapay iklim ortamları kullanılarak hızlandırılmış korozyon [12-16] ve elektronik yöntemler kullanılarak hızlandırılmış korozyondur [17-24].

Korozyon mekanizmasının oluşturulması için iletken kompozite ihtiyaç duyulmaktadır. Beton hem taze halde iken hem de sertleşmiş durumda iken elektriksel olarak iletkenlik göstermektedir. Betonun elektriksel iletkenliği ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Hocaoglu ve Uygunoğlu [25] taze haldeki betonlara alternatif gerilim uygulayarak priz bitiş süresinin kısaltılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Topçu vd. [26] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, farklı oranlarda yüksek fırın cüruf katkılı çimento pastalarına DC gerilim uygulamış ve çimento pastalarının elektriksel özellikleri incelenmiştir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ihocaoglu@aku.edu.tr

Bu çalışmada, 300 dozajlı betonlara 30 V doğru gerilim şiddeti (DC) uygulanarak farklı çaplardaki donatı yerleştirilmiş betonlarda hızlandırılmış korozyon deneyleri yapılmış, betonlara yerleştirilen donatıların çaplarına göre donatıların korozyon başlama süreleri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri (Material Used and Their Properties/Features)

Betonların hazırlanmasında çimento olarak Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan TS EN 197-1'e uygun CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır [27]. Çimentonun içerisindeki C_3S , C_2S , C_3A ve C_4AF ana bileşenleri oranları sırasıyla % 60.11, % 11.02, % 6.97 ve % 9.95'tir (Çizelge 1). Deneyler esnasında üretilen beton numunesi karışımında içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır. Yürürlükteki Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018), "betonarme elemanlar için beton çeliği olarak B420C ve B500C nervürlü donatı çelikleri kullanılacaktır" ifadesi yer almaktadır [28]. Ayrıca TS 708'de verilen koşullara ek olarak, "çekme dayanımı/akma dayanımı" oranının 1.35 değerinden küçük olması ($R_m/Re < 1.35$) ve eşdeğer karbon oranının % 0.55'i geçmemesi koşulu ile S420 beton çeliğinin kullanımına da izin verilmektedir [29-

30]. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde donatı olarak yönetmelik ve standartlara uygun $\phi 12$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ çaplarında ve en düşük akma dayanımları 420 MPa olan S420 sınıfı inşaat çelikleri kullanılmıştır.

2.2. Numune Üretimi ve Yapılan Deneyler (Production of Specimen and the Experiments Conducted)

Beton üretimi 300 dozajlı; su/çimento oranını 0,60 olarak tasarlanmış olup, kapasitesi yaklaşık 250 lt olan beton karıştırıcısı ile karıştırılmıştır (Şekil 1a). Sonrasında 15cm' lik küp boyutlarındaki polyester kalıplara konularak titreşim uygulanmıştır (Şekil 1b). Birim hacimdeki bileşen miktarları Çizelge 2' de gösterilmiştir. Karışım hesapları agreganın doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenerek hazırlanmıştır. Beton karışımlarında kullanılan kırma kumun (0-4mm), ince agrega olarak kullanılan kırma taşın (4-11,2mm) ve iri agrega olarak kullanılan kırma taşın (11,2-22mm) özgül ağırlıkları sırasıyla 2,68 ve 2,69 ve 2,70 olarak ölçülmüştür. Betona kıvam kazandırmak amacıyla % 1 oranında Polisan marka hiper akışkanlaştırıcı konulmuştur. Kullanılan hiperakışkanlaştırıcı tipi sentetik-dispersiyon sıvı olup yoğunluğu 1,23 kg/dm^3 'tür. Betonların kıvam sınıfı S4 olup slump (çökme) değeri 17,5 cm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical features of cement)

| İçerik, % | Teknik Özellikler |
|--------------------------------|-------------------|
| CaO | 63,6 |
| SiO ₂ | 19,6 |
| Al ₂ O ₃ | 4,72 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,27 |
| MgO | 1,91 |
| Na ₂ O | 0,34 |
| K ₂ O | 1,06 |
| SO ₃ | 4,72 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,04 |
| TiO ₂ | 0,41 |
| KK | 2,69 |
| Özgül ağırlık | 3,10 |
| İncelik, cm ² /g | 3308 |
| Kızdırma kaybı | 1,55 |
| Blaine, cm ² /g | 3054 |
| 28 günlük basınç dayanımı,MPa | 50,4 |

Çizelge 2. Birim hacimdeki beton bileşenleri (Component of concrete per cubic meter)

| S/ç | Çimento, (kg) | Su, (lt) | Kırma Kum (0-4mm), (kg) | Agrega (4-11.2mm), (kg) | Agrega (11.2-22mm), (kg) | Hiper Akış, (lt) | B.H.A (t/m ³) |
|------|---------------|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|
| 0.60 | 300 | 180 | 1036 | 302 | 550 | 3 | 2,37 |

Hazırlanan betonlar 15cm küp boyutundaki kalıplara yerleştirildikten hemen sonra numunelerin orta kısımlarına çapları sırası ile $\varnothing 12$, $\varnothing 14$ ve $\varnothing 16$ olan donatılar yerleştirilmiştir (Şekil 1c). Donatılar yerleştirilirken donatıların 12cm' lik kısmı beton içerisine gömülmüştür. 1 gün oda koşulunda bekletilen numuneler daha sonra kalıplardan çıkartılarak 28 gün süreyle kirece doygun 20 °C suda kür edilmiştir (Şekil 1d). Korozyona uğratılmış ve kontrol numuneleri üzerinde basınç testi uygulanmıştır. Kontrol numunelerinin ve betonun içerisinde meydana gelen hızlandırılmış korozyon testi uygulanmış numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 56,79 MPa ve 47,32 MPa olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1. Beton üretim aşamaları a- betonun karıştırılması, b- betona titreşim uygulanması, c- betonun içerisine donatı yerleştirilmesi, d- betonun kür edilmesi (Concrete production stages; a- mixing concrete, b- applying vibration to concrete, c- placing reinforcement steel in concrete, d- curing concrete)

Hızlandırılmış korozyon düzeneği hazırlamak için 30 V kapasiteli DC güç kaynağına, numune kovasına, % 3,5' lik NaCl çözeltisine, solüsyon içerisine yerleştirilecek 20cm x 20cm boyutlarında bakır levhalara, beton üzerinden geçen akımı ölçmek için bilgisayar bağlantı özelliği olan ampermetreye ve verileri kaydetmek için bilgisayara ihtiyaç duyulmuştur. Güç kaynağının pozitif kutbu (+) beton içerisindeki donatıya, negatif kutbu (-) solüsyon içerisindeki bakır levhaya bağlanmıştır. Sonrasında DC güç kaynağı 30 V' a ayarlanarak beton numuneler DC gerilime maruz bırakılmıştır. Verileri kaydetmek amacıyla ampermetrenin bir ucu beton içerisindeki donatıya, diğer ucu ise solüsyon içerisindeki bakır levhaya bağlanmış ve beton üzerinden geçen akımlar ölçülmeye başlanmıştır. Beton içerisindeki donatıların üzerinden geçen akımlar 60 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 2' de gösterilmiştir. Betonun içerisinde gerçekleştirilen hızlandırılmış korozyon deneyi, betonda yaklaşık 3mm çapında çatlak oluşup, çelik donatının üzerinden 3 Amperin üzerinde akım geçince sonlandırılmıştır (yaklaşık 14 gün). Betonun dışarısında gerçekleştirilen donatı korozyon deneyleri ise yaklaşık 8 saatte tamamlanmıştır.



Şekil 2. Hızlandırılmış korozyon düzeneyi (Accelerated corrosion mechanism)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Hızlandırılmış Korozyonda Ağırlık Kaybı (Weight Loss in Accelerated Corrosion)

Deney öncesi hazırlanan $\phi 12$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ çaplarındaki S420 sınıfı donatılar, hızlandırılmış korozyon deneyleri için 300 dozajlı betonların içlerine yerleştirmeden önce ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Korozyon deneyi bitirildikten sonra korozyona uğramış donatılar Clarke çözeltisi ile temizlendikten sonra donatılarda oluşan kütle kayıp miktarları belirlenmiştir (Çizelge 3). Clarke çözeltisi hazırlanırken 1000 mL HCl, 24 g Sb_2O_3 ve 71.3 g $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ kullanılmıştır [31]. Korozyona uğramış donatı ve Clarke çözeltisi ile temizlenmiş durumu Şekil 3' de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. Korozyona uğramış donatı (a) ve Clarke çözeltisi ile temizlendikten sonraki görünümü (b) (A view of corroded reinforcement steel (a) and the appearance after cleaning with Clarke's solution (b))

Çizelge 3. Donatılarda korozyon nedeniyle ağırlık kaybı (Weight loss due to corrosion in reinforcement steels)

| Donatı çapı | Deneyden önceki ağırlık (gram) | Deneyden sonraki ağırlık (gram) | Ağırlık kaybı (gram) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| $\phi 12$ | 2020 | 1755 | 265 |
| $\phi 14$ | 2305 | 2010 | 205 |
| $\phi 16$ | 2350 | 2155 | 195 |

Çapları $\phi 12$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ olan donatılardaki ağırlık kayıpları sırası ile % 13.11, % 8.89 ve % 8.29 oranlarında olduğu gözlemlenmiştir. Donatı çapının artması ile korozyon oranı azalmaktadır. Bu durum betonun içerisine yerleştirilen donatı çapının artması ile donatının üzerinden geçen akımın azalması, korozyon reaksiyonlarının daha geç başlamasına neden olduğu, donatı çapının daha az küçüldüğü ve donatının korozyona karşı daha dirençli olması nedenleriyle açıklanabilir.

3.2. Doğru Akım Uygulaması ile Korozyon Başlangıcı Tahmini (Corrosion Initiation Prediction with Direct Current Application)

Korozyon başlangıcını belirlemek için $\phi 12$ ' lik çapa sahip donatı yerleştirilen 300 dozajlı 2 adet 15cm' lik küp betonlar hazırlanmıştır. Donatılar taze haldeki betonların içerisine yerleştirilirken 12 cm' lik kısmı beton içerisinde, 6 cm' lik kısmı ise betonun dışarısında kalacak şekilde konumlandırılmıştır. Numunelerden bir tanesine donatı seviyesine kadar % 3.5' lik NaCl çözeltisine konularak hızlandırılmış korozyon testi için 30 V' lik DC gerilim uygulanmıştır. Diğer numune ise betonun yaklaşık yarı seviyesine kadar % 3.5' lik NaCl çözeltisine yerleştirilmek suretiyle 30 V DC gerilim uygulanmıştır (Şekil 4). Böylece bir deneyde donatı doğrudan NaCl solüsyonu ile temas etmesi sağlanmış ve korozyon reaksiyonları donatının betonun dışındaki kısmında gerçekleştiği gözlenmiştir. Betonun dışındaki gerçekleşen korozyon deneyi; beton dış yüzeyi ile donatının betonun dışında kalan kısmının birleştikleri yerden kopması sonucu bitirilmiştir. Diğer deneyde ise NaCl solüsyonu öncelikle beton ile temas etmiş ve beton içerisinden geçen elektrik iyonları donatıya temas etmiş ve korozyon reaksiyonları betonun içerisindeki donatıda gerçekleşmiştir. Literatürlerdeki uygulanan korozyon düzeneklerinde betonun içerisindeki donatılar korozyona uğratılmaktadır. Bu çalışmada betonun içindeki ve betonun dışındaki donatıların korozyonu arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. NaCl çözeltisi ile doğrudan temas etmeyen donatıdaki korozyon başlangıç reaksiyonları betonun içinde gerçekleşmiştir. NaCl çözeltisi ile doğrudan temas eden donatılarda ise korozyon başlangıç reaksiyonları betonun dışında gerçekleşmiş olup, betonun içindeki donatıda ise korozyon gözlenmemiştir. Bu sonuca beton içerisindeki donatıların korozyon testi sonunda, beton içerisinden çıkartılması ve gözlenmesiyle ulaşılmıştır (Şekil 5).



(a)



(b)

Şekil 4. Betonun içindeki (a) ve dışındaki (b) donatıların korozyona uğratılması (Corrosion of reinforcement steel inside (a) and outside (b) of concrete)



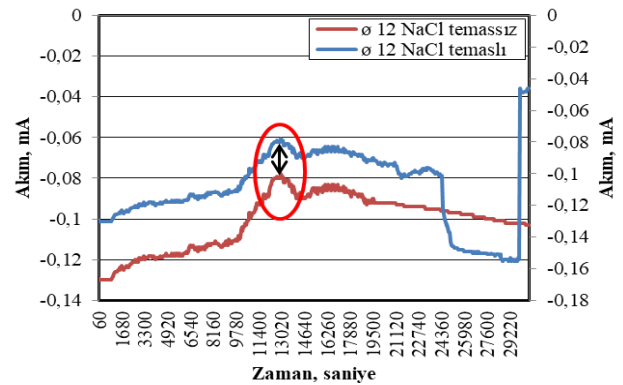
(a)



(b)

Şekil 5. Betonun içindeki (a) ve dışındaki (b) donatıların korozyon testi sonrası görünümü (A view of the reinforcement steels inside (a) and outside (b) the concrete after the corrosion test)

Her iki durumda da kaydedilen verileri karşılaştırmak amacıyla Şekil 4 hazırlanmıştır. Şekil 4 incelendiğinde donatı çapı aynı ($\phi 12$) olan, doğrudan % 3.5 'lik NaCl solüsyonuna maruz kalan donatı ile betonun içerisindeki korozyona uğratılmış donatılar karşılaştırıldığında, sırasıyla yaklaşık 208. ve 205. dakikalarda donatıların üzerinden geçen akımlar en yüksek değerler aldığı anlaşılmaktadır. Bu dakikanın korozyon başlangıcı olduğu düşünülmüştür. Doğrudan % 3.5' lik NaCl solüsyonuna maruz kalan donatılarda pas oluşumunun hızlanması neticesinde testin yaklaşık 3 saat sonunda çözeltide renk değişiminin arttığı (kahverengi renk aldığı) gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemsel inceleme ve akım geçişleri grafikleri karşılaştırılarak beton içerisindeki ve beton dışındaki donatılarda hızlandırılmış korozyon testi sonucunda korozyonun hemen hemen aynı dakikada başladığı belirlenmiştir (Şekil 6).

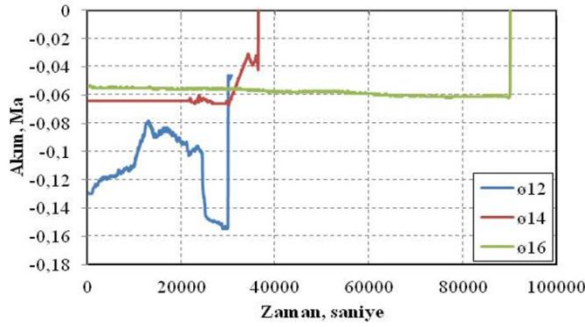


Şekil 6. NaCl temaslı ve NaCl temassız donatıların korozyon başlangıcı (Corrosion initiation of NaCl contact and NaCl contactless of reinforcement steels)

3.3. Donatı Çapının Hızlandırılmış Korozyon Başlangıcına Etkisi (The Impact of Diameter of Reinforcement Steel on Accelerated Corrosion Initiation)

Donatı çapının hızlandırılmış korozyon başlangıcına etkisini araştırmak amacıyla $\phi 12$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ çaplarında donatılar yerleştirilmiş betonlara 30 V DC gerilim uygulaması ile hızlandırılmış korozyon testi uygulanmıştır. Donatılarda korozyon başlangıç oranlarını karşılaştırmak için her 2 numunede % 3.5' lik NaCl çözeltisine yerleştirilmiştir. Korozyon düzeninde donatı çubuğu anot, plakalar katot ve NaCl çözeltisi de elektrolit olarak görev yapmaktadır. Donatı çapının korozyon oranına etkisini hızlandırılmış yöntem ile karşılaştırmak amacıyla akım geçişleri – zaman eğrileri çizdirilmiştir (Şekil 5). Korozyon testi başlangıcında $\phi 12$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ çaplarında donatı yerleştirilen betonlarda ilk akım geçişleri sırası ile 0.129 Ma, 0.064 Ma ve 0.054 Ma olarak ölçülmüştür. Önceki yapılmış olan araştırmalarda korozyon mekanizmasındaki ilk akım geçiş miktarı ile Cl⁻ iyonlarının geçiş miktarı arasında doğru orantı olduğu belirlenmiştir [32].

Hocaoğlu ve Topçu [33] tarafından gerçekleştirilmiş bir diğer çalışmada % 3, % 3.5 ve % 4 oranlarında NaCl solüsyonuna konulan ø12, ø14 ve ø16 donatılarına 18 saat süre ile 18 V DC gerilim uygulanmıştır. Solüsyondaki NaCl oranının azalması ve donatı çapının artması ile donatılardan daha az akım geçişi olduğunu gözlemlenmiş ve korozyon oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 7 incelendiğinde deney düzeneği hazırlanırken akım geçişleri negatif yönlü belirlenmiş olup; akım geçişleri ø12 olan donatıda en fazla olmuştur. En az akım geçişi ise ø16 çaplı donatıda gerçekleştiği belirlenmiştir. Dolayısı ile ø12 donatı içeren betonda Cl⁻ iyonunun daha hızlı geçmesi ile korozyonun diğer çaplı betonlardan daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Zamana göre akım geçişleri (Current transitions according to time)

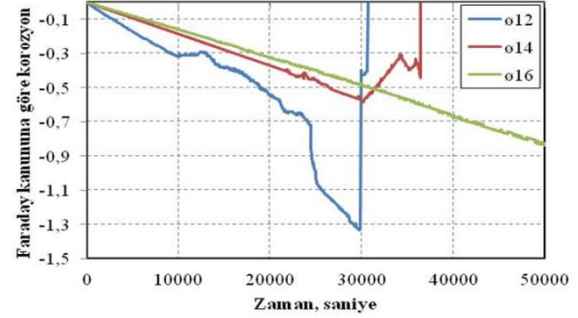
Hızlandırılmış korozyon yöntemi ile donatılarda kütle kayıp miktarları aşağıda gösterilen Faraday kanunu formülü ile hesaplanmıştır.

$$M = \frac{I.t.Aw}{n.F} \quad (1)$$

Formülde M; Çözünmüş metalin veya dönüştürülmüş oksidin kütle kayıp oranını, I; Beton üzerinden geçen akımı (Ma), t; Zamanı (saniye), Aw; Demir atom birim ağırlığını (55,847 gram), n; Demir atom değerliliği (genel olarak oluşan pas Fe(OH)₂ olduğundan; 2 veya 3), F; Faraday sabitini (96487 coulomb) ifade etmektedir.

Donatı çapının hızlandırılmış korozyona etkisini araştırmak amacıyla ø12, ø14 ve ø16 çaplarında donatılar yerleştirilmiş, betonların içerisindeki donatıların korozyona bağlı ağırlık kayıp oranları Faraday kanununa göre korozyonun zamanla Şekil 8'deki gibi değiştiği tespit edilmiştir. Faraday kanununa göre korozyona bağlı ağırlık kayıp oranı en fazla ø12 çapında donatı yerleştirilmiş betonda görülmüştür. En düşük korozyona bağlı ağırlık kayıp oranı ise ø16 donatı yerleştirilen betonda görülmüştür. Bu durum ø12' lik donatının üzerinden en fazla akım geçmesi nedeniyle kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Şekil 8 incelendiğinde özellikle ø12 ve ø14 çaplarındaki donatılarda ani pikler görülmektedir. Bu pikler korozyon artıklarının donatının belirli bir bölgesinde birikmesi neticesinde donatı üzerinden geçen akımın azalmasıyla

açıklanabilir. Çapı ø12 olan donatıda diğer çaplı donatılara göre ilk pik oluşumu daha erken gerçekleştiği gözlemlenmiş olup, korozyon reaksiyonlarının diğer çaplı donatılara göre daha çabuk gerçekleştiği ve pasın donatı üzerinde daha çabuk biriktiği yorumu yapılmaktadır. Çapı ø12 olan donatıda yaklaşık korozyon başlangıç zamanı olan 12300. saniyede (205. dakikada) Faraday kanuna göre korozyona bağlı ağırlık kayıp oranı % 0.28 iken, ø14 ve ø16 çaplı donatılarda korozyona bağlı ağırlık kayıp oranları % 0,22 ve % 0,19 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Faraday kanununa göre hesaplanan korozyon oranı (Corrosion ratio according to calculating Faraday's law)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Donatılarda korozyon neticesinde ağırlık kaybı oluşması; donatının çapını azaltacağından, betonarme yapılarındaki donatı - beton arasındaki aderansı azaltmakta ve bu durum betonun dayanıklılığı açısından büyük sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple korozyon başlangıcının önceden belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Betonarme yapılarda elektriksel yöntemler kullanılarak korozyon derecesi tespit edilip, çeşitli önlemlerin alınmasıyla betonarme yapıların kullanım süreleri uzatılabilir.

Bu araştırmanın sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Beton içerisindeki donatı çapı azaldıkça donatılarda korozyon reaksiyonları sonucu daha fazla ağırlık kaybına neden olmaktadır.
- Korozyon testi başlangıcında ø12, ø14 ve ø16 çaplarında donatı yerleştirilmiş betonlarda donatılar üzerinden geçen ilk akımlar sırası ile 0.129 Ma, 0.064 Ma ve 0.054 Ma ölçülmüş olup; donatı üzerinden geçen akımın yüksek olması korozyon riskinin yüksek olacağı hakkında bilgi verebileceği değerlendirilmektedir.
- Betonların içerisindeki donatılardaki DC akım geçişlerini izlemek suretiyle donatılarda korozyonun başlayıp başlamadığı hakkında bilgi edinilebileceği sonucuna varılmıştır.
- DC akım uygulanan donatılarda korozyon başlangıç zamanı betonun içerisindeki donatıda 205. dakikada, betonun dışındaki donatıda ise

208. dakikada gerçekleşmiştir. Sonuç olarak; donatılar üzerinden geçen akımın ilk negatif pik yaptığı dakikaların yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.

- DC gerilim uygulanan hızlandırılmış korozyon testinde, donatı çapı arttıkça donatının üzerinden geçen akım geçişinin azaldığı ve korozyon oranının azaldığı sonucuna varılmıştır.
- Çapı Ø12 olan donatılarda korozyon riskinin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Konut tipi yapılarda korozyon riskini azaltmak için kolonlarda en az Ø14' lük düşey donatının kullanılması yapılan deney sonuçlarına göre daha doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak; betonun içerisine konulan donatı çapı arttıkça korozyon başlangıcı için geçen süre de artmaktadır. Korozyon başlama süresi yapının ömrü açısından büyük önem arz etmektedir. Çalışmanın korozyonun ilerleyen aşamaları da incelenmesiyle daha kapsamlı sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

İsmail HOCAOĞLU: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Song H.W., Saraswathy V., "Corrosion monitoring of reinforced concrete structures – a review", *International Journal of Electrochemical Science*, 2: 1-28, (2007).
- [2] Elsener B., "Corrosion rate of steel in concrete-measurements beyond the tafel law", *Corrosion Science*, 47: 3019–3033, (2005).
- [3] Zhu W., François R., "Corrosion of the reinforcement and its influence on the residual structural performance of a 26-year-old corroded RC beam", *Construction and Building Materials*, 51: 461–472, (2014).
- [4] Bicer K., Yalciner H., Balkis A.P., Kumbasaroglu A., "Effect of corrosion on flexural strength of reinforced concrete beams with polypropylene fibers", *Construction and Building Materials*, 185: 574–588, (2018).
- [5] Cavaco E.S., Neves L.A.C., Casas, J.R., "Reliability-based approach to the robustness of corroded reinforced concrete structures", *Struct. Conc.* 18 (2): 316–325, (2017).
- [6] Cao C., Cheung M.M.S "Non-uniform rust expansion for chloride-induced pitting corrosion in RC structures", *Construction and Building Materials*, 51: 75–81, (2014).
- [7] Bazán A.M., Gálvez J.C, Reyes E., Galé-Lamuela D., "Study of the rust penetration and circumferential stresses in reinforced concrete at early stages of an accelerated corrosion test by means of combined SEM, EDS and strain gauges", *Construction and Building Materials*, 184: 655–667, (2018).
- [8] Jinwei C., Chuanqing F., Hailong Y., Xianyu Jin., "Corrosion of steel embedded in mortar and concrete under different electrolytic accelerated corrosion methods" *Construction and Building Materials* 241 (11): 71-79, (2020).
- [9] Fu C., Jin N., Ye H., Jin X., Dai W., "Corrosion characteristics of a 4-year naturally corroded reinforced concrete beam with load-induced transverse cracks", *Corrosion Science*, 117: 11–23, (2017).
- [10] Poupard O., L'Hostis V., Catinaud S., Petre-Lazar I., "Corrosion damage diagnosis of a reinforced concrete beam after 40 years natural exposure in marine environment", *Cem. Concr. Res.*, 36: 504–520, (2006).
- [11] Andrade C., Keddani M., Nóvoa X.R., Pérez, M.C., Rangel, C.M., Takenouti H., "Electrochemical behaviour of steel rebars in concrete: influence of environmental factors and cement chemistry", *Electrochim. Acta* 46: 3905–3912, (2001).
- [12] Ye H., Jin N., Fu C., Jin X., "Rust distribution and corrosion-induced cracking patterns of corner-located rebar in concrete cover", *Construction and Building Materials*, 156: 684–691, (2017).
- [13] Zhang R., Castel A., François R., "Concrete cover cracking with reinforcement corrosion of RC beam during chloride-induced corrosion process", *Cem. Concr. Res.*, 40: 415–425, (2010).
- [14] Ye H., Fu C., Jin N., Jin X., "Performance of reinforced concrete beams corroded under sustained service loads: a comparative study of two accelerated corrosion techniques", *Construction and Building Materials*, 162: 286–297, (2018).
- [15] Yuan Y., Ji Y., Shah S.P., "Comparison of two accelerated corrosion techniques for concrete structures", *ACI Struct. J.* 104: 344, (2007).
- [16] Lu Y., Hu J., Li S., Tang W., "Active and passive protection of steel reinforcement in concrete column using carbon fibre reinforced polymer against corrosion", *Electrochim. Acta* 278: 124–136, (2018).
- [17] Wang X., Zhang X.G., Dai H., "Determination of residual cross-sectional areas of corroded bars in reinforced concrete structures using easy-to-measure variables", *Construction and Building Materials*, 38: 846–853, (2013).
- [18] Bazán A.M., Gálvez J.C., Reyes E., Galé-Lamuela D., "Study of the rust penetration and circumferential stresses in reinforced concrete at early stages of an accelerated corrosion test by means of combined SEM, EDS and strain gauges", *Construction and Building Materials*, 184: 655–667, (2018).

- [19] El Maaddawy T.A., Soudki K.A., “Effectiveness of impressed current technique to simulate corrosion of steel reinforcement in concrete”, *J. Mater. Civ. Eng.*, 15: 41–47, (2003).
- [20] Imperatore S., Leonardi A., Rinaldi Z., “Mechanical behaviour of corroded rebars in reinforced concrete elements”, *Lect. Notes Appl. Comput. Mech.*, 61: 207–220, (2012).
- [21] Xia J., Jin W., Li L., “Performance of corroded reinforced concrete columns under the action of eccentric loads”, *J. Mater. Civ. Eng.*, 28: 4015087, (2016).
- [22] Abosra L., Ashour A.F., Youseffi M., “Corrosion of steel reinforcement in concrete of different compressive strengths”, *Construction and Building Materials*, 25: 3915–3925, (2011).
- [23] Lu Y., Hu J., Li S., Tang W., “Active and passive protection of steel reinforcement in concrete column using carbon fibre reinforced polymer against corrosion”, *Electrochim. Acta*, 278: 124–136, (2018).
- [24] Almusallam A.A., “Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars”, *Construction and Building Materials*, 15: 361–368, (2001).
- [25] Hocaoglu İ., Uygunoğlu T., “Alternatif gerilim uygulanan betonlarda s/ç oranının ve hiperakışkanlaştırıcı oranının priz bitiş süresi ve basınç dayanımına etkilerinin araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, ISSN: 1302-0900 (Print), ISSN: 2147-9429 (Online), (2019).
- [26] Topçu İ.B., Uygunoğlu T., Hocaoglu İ., “Yüksek Fırın Cüruf Katkılı Çimento Pastalarının Elektriksel Özdirençlerinin Araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, 21 (2): 257 – 264, (2018).
- [27] TS EN 197-1, “Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
- [28] Türkiye bina deprem yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarihli ve 30364 sayılı mükerrer Resmi Gazete, *Afet ve Acil Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, (2018.)
- [29] TS 708, “Beton çelik çubukları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Mart (1996).
- [30] TS 708, Çelik-Betonarme için donatı çeliği, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- [31] Topçu İ.B., Boğa A.R., “Çimento Tipinin Donatı Korozyonuna Etkisi”, *7. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 301-310, (2007).
- [32] Boğa A.R., “Yüksek Fırın Cürufu ve Korozyon İnhibitörü Kullanımının Beton İçerisindeki Donatı Korozyonuna ve Beton Özelliklerine Etkileri”, *Doktora Tezi*, ESOĞÜ, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2010).
- [33] Hocaoglu İ., Topçu İ.B., “Effect of DC Current and NaCl Ratio on Accelerated Corrosion at Different Diameter of Steels”, *BSEU Journal of Engineering Research and Technology*, 1: 18-23, (2020)