

Ara Kritik Su Verme Çift-Faz Isıl İşleminin Betonarme Çeliğinin Korozyon Davranışına Etkisi

Oğuzhan KELEŞTEMUR, Servet YILDIZ

ÖZET

Bu çalışmada; ara kritik su verme ısıl işlemi ile elde edilmiş dual-faz (DP) çeliğinin beton içerisindeki korozyon davranışı, ferrit-perlit yapısına sahip inşaat çeliği ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Korozyon deneyleri iki aşama halinde yapıldı. İlk aşamada, beton içerisindeki çeliklerin korozyon potansiyeli değerleri 30 gün boyunca her gün ASTM C 876 standardına göre belirlendi. İkinci aşamada ise, bu çeliklerin anodik ve katodik polarizasyon değerleri belirlenerek katodik polarizasyon eğrileri yardımıyla çeliklerin korozyon akım yoğunlukları hesaplandı. Dual-faz çeliğinin korozyon davranışı üzerine martenzit hacim oranının önemli rol oynadığı gözlenmiştir. Çalışma neticesinde, dual-faz çeliğinin martenzit hacim oranındaki artışa bağlı olarak korozyon hızının arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Dual-Faz, Martenzit, Beton.

The Effect of Quenching Intercritical Dual-Phase Heat Treatment on The Corrosion Behaviour of Reinforced Steel

ABSTRACT

In this study, corrosion behaviour of dual-phase (DP) steel obtained with intermediate quenching heat treatment has been assessed in comparison to ferrite-perlite reinforced steel in concrete. Corrosion experiments were conducted in two stages. In the first stage, the corrosion potential of steels embedded in concrete was measured every day for a period of 30 days in accordance with ASTM C 876 standard. In the second stage, anodic and cathodic polarization values of these steels were obtained and then the corrosion currents were determined with the aid of cathodic polarization curves. It has been observed that volume fraction of martensite have definite influence on the corrosion behaviour of dual-phase steel. As a result of this study, it is found that corrosion rate of dual-phase steel has increased with increase volume fraction of martensite.

Keywords: Corrosion, Dual-phase, Martensite, Concrete.

1. GİRİŞ

HSLA (High Strength Low Alloy) çeliklerinin bir türü olan dual-faz çeliklerinin mikro yapıları, yumuşak ferrit ana yapı içerisinde sert martenzit parçacıklarının dağılmasından oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar, dual-fazlı çeliklerin üretildikleri çeliklere göre düşük akma dayanımı, yüksek pekleşme, çekme dayanımı, enerji absorpsiyumu, yüksek direnci ve süneklik özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir (1- 12). Üretildikleri çeliklere göre üstün mekanik özellikleri parça ağırlığının %15-20 oranında azalmasını sağlamaktadır (13). Bu özelliklerinden dolayı dual-fazlı çelikler özellikle otomotiv endüstrisinin vazgeçilmezi haline gelmiştir. Dual-faz çeliğinin üstün özellikleri, araştırmacıları perlitik yapıya sahip olan yapı çeliklerinin dual-faz çeliği ile yer değiştirilerek kullanımının uygunluğunu araştırmaya yönlendirmiştir (14, 15). Mükemmel mekanik özelliklerin yanı sıra DP çeliğinin uygulamalarda doğru kullanımı için korozyon davranışının da bilinmesi

.....
Makale 18.10.2007 tarihinde gelmiş, 20.02.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

O. KELEŞTEMUR, S. YILDIZ, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ,
okelestemur@firat.edu.tr, syildiz@firat.edu.tr
Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.2.187-192

zorunludur. Bu doğrultudaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çeliklerin korozyon davranışları ile ilgili ilk çalışma Trejo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (1). Dual-faz çeliğinin beton içerisindeki korozyon davranışını ağırlık kaybı yöntemi ile inceleyen Trejo, dual-faz çeliğinin üretildiği çeliğe göre yüksek korozyon direncine sahip olduğunu ileri sürmüştür. Sarkar ve arkadaşları tarafından %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki dual-faz çeliğinin korozyon davranışını galvanostatik polarizasyon tekniği ile belirlemek amacıyla yapılan çalışmada ise, Trejo'nun aksine dual-faz çeliğinin üretildiği çeliğe göre düşük korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir (16). Dual-faz çeliğinin korozyon davranışını belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar konuyu yeterince açıklığa kavuşturamamış olup bu konudaki belirsizlik devam etmektedir.

Bu çalışma, dual-faz yapısı elde etmek amacıyla uygulanan ısıl işlem yöntemlerinden biri olan ara su verme (intermediate quenching) yöntemi ile inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan SAE1010 çeliğinden dual-faz çeliği üretilerek, elde edilen bu çeliğin beton içerisindeki korozyon davranışını belirlemek üzere planlanmıştır.

2. DENEY ÇALIŞMALARI

2.1. Malzeme ve Isıl İşlem

Dual-faz çeliği elde etmek üzere kullanılan malzeme İskenderun Demir ve Çelik Fabrikalarında üretilen SAE1010 çeliğidir. Bu çeliğin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Çelik Malzemenin Kimyasal Analizi

Alaşım Elemanı	C	Si	Mn	S	P
% Ağırlık	0,176	0,231	0,557	0,027	0,011

Bu malzeme ferritik-perlitik yapıya sahip 12 mm çapındaki inşaat çeliğidir. Bu çelikten metalografik incelemelerde kullanılmak üzere 15 mm boyunda, korozyon deneylerinde kullanılmak üzere ise 110 mm boyunda numuneler kesilerek ısıtılma işlemine hazır hale getirilmiştir. Dual-faz çeliği elde edebilmek amacıyla numuneler ara kritik su verme ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Bu ısıtılma işlemi, numunelerin 900 °C sıcaklıkta 1 saat bekletilip buzlu suda su verilmesinin ardından, 730 °C tavlama ortamında 25, 50 ve 75 dk süre ile tavlanaarak buzlu suda su verilmesi şeklinde yapılmıştır. Ostenit fazının karbon oranının yüksek tutulması amacıyla, kullanılan SAE1010 çeliğinin A₁ dönüşüm sıcaklığı olan 730 °C'de tavlama yapılmıştır. A₁ ve A₃ kritik sıcaklıkları ısıtılma işlemi görmüş numunelerin mikroskopik incelemeleri sonucu belirlenmiştir. Bu amaçla, 680 °C başlangıç sıcaklığından itibaren, sıcaklık 10 °C artırılarak, her sıcaklıkta 30 dk bekletilen numuneler buzlu suda hızla soğutulmuş mikroyapısı incelenmiştir. Bu şekilde, 730 °C'de martenzit tanelerinin yeterince oluştuğu belirlenmiş ve 730 °C A₁ sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Aynı işleme devam edilerek, A₃ sıcaklığı 840 °C olarak tespit edilmiştir. 840 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ostenitin düşük karbon içeriğinden dolayı, yeterli martenzit dönüşümü sağlanamamıştır. 730 °C'nin altında ise, perlitin dönüşümü yeterince sağlanamamıştır. 730 °C olarak belirlenen tavlama sıcaklığında 25, 50 ve 75 dk olmak üzere üç farklı ostenitleme süresi seçilerek, farklı oranlarda martenzit fazı içeren dual-faz çeliği elde edilmiştir. Elde edilen dual-faz numuneleri, ostenitleme süreleri esas alınarak sırasıyla IQ25, IQ50 ve IQ75 şeklinde kodlanmıştır.

Tüm ısıtılma işlemleri ± 1 °C hassasiyetinde sıcaklık kontrolü cihazına sahip olan, nötr tuz banyosu ile ortam kontrolü sağlanan tav fırınında yapılmıştır.

Standart metalografik parlatma ve %2'lik nital ile dağlama işlemlerinin ardından numuneler optik mikroskopta 100 büyütmede incelenerek, her numunenin kenarından merkezine doğru 5 farklı noktadan fotoğrafı çekilmiştir. Elde edilen bu fotoğraflar üzerinden, ASTM E112 standardında belirtilen lineal analysis yöntemi ile faz hacim oranları tayin edilmiştir (17).

2.2. Korozyon Deneyleri

Dual-faz yapısı kazandırılmış inşaat çeliğinin beton içerisindeki korozyon davranışını incelemek

üzere, elektrotların gömüleceği 100 x 100 x 200 mm boyutunda 20 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Beton blokların hazırlanmasında, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş'nin ürettiği CEM I 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Beton numunelerin hazırlanmasında karışım suyu olarak içme suyu kullanılmıştır. Korozif bir ortam oluşturmak amacıyla beton karışım suyunun deniz suyu baz alınarak %3 oranında NaCl ilave edilmiştir. Kullanılmış olduğumuz numunelerin pas payının yüksek olması klorür iyonlarının kapiller yolla çelik yüzeyine nüfuz etmesini geciktireceği için, beton numuneleri klorür çözeltisinde kür ederek korozif bir ortam oluşturmak yerine, karışım suyunun NaCl ilave edilmesi tercih edilmiştir. Literatürde, normal portland çimentosu ile yapılan betonlar için zararlı klorür limiti ortalama 4,5 kg Cl/m³ kabul edilmektedir. (18, 19, 20). Bu nedenle, çalışmada beton karışım suyunun ilave etmiş olduğumuz NaCl miktarı korozif bir ortam oluşturmak için yeterlidir. Bu miktar ve yöntem daha önceki çalışmalarda da kullanılmıştır (18, 21, 22).

Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	
Bileşenler	Miktar (%)
Silisyum Dioksit (SiO ₂)	22,05
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	5,40
Demir Oksit (Fe ₂ O ₃)	3,18
Kalsiyum Oksit (CaO)	63,07
Mağnezyum Oksit (MgO)	2,21
Kükürt Trioksit (SO ₃)	2,20
Klorür (Cl)	0,009
Kızdırma Kaybı	1,29
Tayin Edilemeyen	1,80

Beton karışımında kullanılan çimentonun birim ağırlığı 3,1 gr/cm³, ince ve iri agreganın birim ağırlıkları ise 2,5 gr/cm³ tür. Elde edilen karışımın su/çimento (W/C) oranı 0,55'tir. TS 802'ye (23) uygun olarak hazırlanan beton karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir.

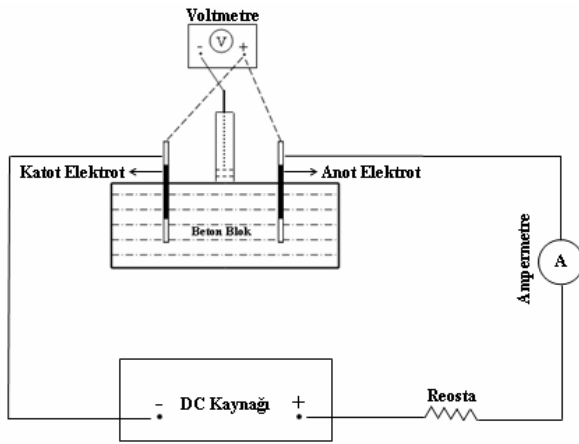
Tablo 3. Beton Karışım Oranları

Malzeme	Miktar (kg/m ³)
Çimento Miktarı	400
Su Miktarı	220
İri agregası (4-8 mm) Miktarı	560
İnce Agregası (0-4 mm) Miktarı	1043
Sodyum Klorür (NaCl) Miktarı	6,6

Korozyon deneyleri iki aşama halinde yapılmıştır. İlk aşamada, beton içerisindeki çeliğin zamana karşı korozyon potansiyeli değişimi, ASTM C-876 (24) standardına göre 30 gün boyunca her gün belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, galvanostatik polarizasyon tekniği kullanılarak elde edilen anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinden, katodik polarizasyon eğrisi yardımıyla beton içerisindeki çelik elektrotların korozyon akım yoğunlukları tespit edilmiştir.

Korozyon deneylerinde kullanılmak üzere, işlemsiz ve ısıtılma işlemi görmüş toplam 40 adet çelik numune, ısıtılma işlemi sırasında yüzeyde oluşabilecek

dekarbonizasyon tabakasının temizlenerek korozyon deneylerinin daha hassas yapılabilmesi amacıyla, tornalanarak çapı 11mm boyu ise 9 cm ye düşürülmüştür. Tornalanan numunelerin yüzeyleri 800 meş'lik zımpara ile parlatılmış ve etil alkolle temizlenmiştir. Bu şekilde hazırlanan elektrotların, betona gömülecek olan uçlarında 10 cm²'lik yüzey alanı açık bırakılmıştır. Deney esnasında ölçümlerin kolayca yapılabilmesi için çelik elektrotların diğer ucuna vida dişi açılarak bu vidalara kablolar bağlanmıştır. Elektrotların geriye kalan bölgeleri ise, önce epoksi ile sonrada polietilen sargı ile kapatılarak dış etkilere karşı korunmuştur. Galvanostatik polarizasyon yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneğine ait şematik görünüş Şekil 1'de, bu düzeneğe ait fotoğraf ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Galvanostatik Yöntemle Korozyon Hızının Belirlenmesi

Şekildeki beton içerisine gömülü olan elektrotlar üzerindeki siyah bölgeler koruma altına alınan kısımları ifade etmektedir.

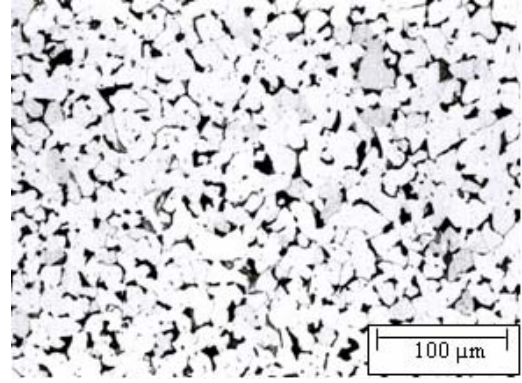


Şekil 2. Galvanostatik Yöntemle Polarizasyon Ölçümüne Ait Bir Fotoğraf

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

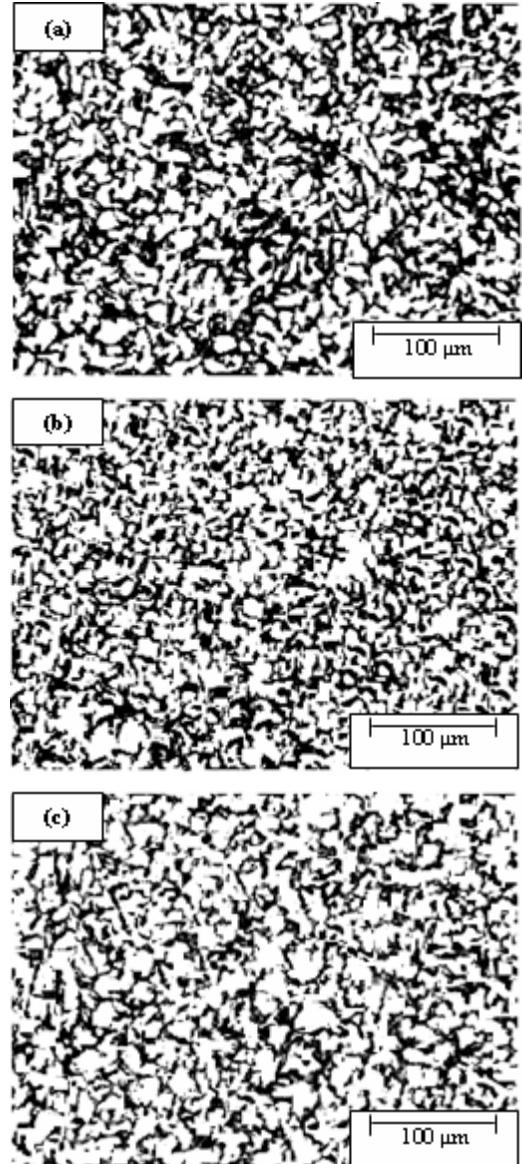
3.1. Mikroyapı

Yumuşak ferrit yapı içerisinde üniform olarak dağılmış perlit kolonilerinden oluşan yapıya sahip işlemsiz numunenin optik mikroskop görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. İşlemsiz Numunenin Mikroyapı Fotoğrafı

IQ numunelerinin mikroyapı fotoğrafı Şekil 4'de verilmiştir. Fotoğraflar üzerindeki açık alanlar ferrit fazını, koyu alanlar ise martenzit fazını ifade etmektedir.



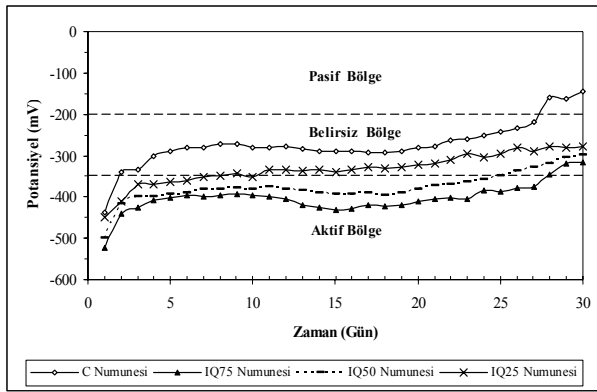
Şekil 4. IQ Numunelerinin Mikroyapı Fotoğrafları: (a) IQ75, (b) IQ50, (c) IQ25

Şekil 4'den görüleceği üzere, IQ numunelerinde yer alan martenzit fazları lamelli ve çok ince tanecikler şeklinde üniform olarak dağılmıştır. Elde edilen bu yapı literatüre uygunluk göstermektedir (2, 25). Bu şekilde ferrit ve martenzitten meydana gelen ince dağılmış faz karışımları fiberli yapı olarak adlandırılır. Ostenitleme süresindeki artışa bağlı olarak martenzit hacim oranında meydana gelen artış Şekil 4'de verilen mikroyapı fotoğraflarından görülmektedir.

İşlemsiz numunenin perlit/ferrit faz hacim oranları ile IQ numunelerinin martenzit/ferrit faz hacim oranları Tablo 4'de verilmiştir.

3.2. Korozyon Davranışı

Beton içerisine gömülü olan işlemsiz ve IQ numunelerinin açık devre yarı hücre potansiyelleri doygun bakır/bakır sülfat referans elektrotu kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin Korozyon Potansiyellerinin Zamana Göre Değişimi

Tablo 4. Numunelerin Mikroyapı ve Korozyon Özellikleri

Numune	Mikroyapı	Perlit/Martenzit Hacim Oranı	Korozyon Akımı ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
C	Ferrit - Perlit	0.14	0.15
IQ25	Fiberli Martenzit - Ferrit	0.37	0.28
IQ50	Fiberli Martenzit - Ferrit	0.41	0.34
IQ75	Fiberli Martenzit - Ferrit	0.49	0.41

ASTM C-876 standardında korozyon potansiyeli ölçümlerinin aşağıdaki şekilde yorumlanması önerilmektedir (20).

- Potansiyelin -200 mV'dan pozitif olduğu durumlarda çelik korozyona uğramamaktadır.
- Potansiyelin -200 mV ile -350 mV arasında olduğu bölge belirsiz bölge olarak tanımlanmaktadır.
- Potansiyelin -350 mV'dan negatif olması durumunda ise çelik korozyona uğramaktadır.

İşlemsiz numunenin 25. günden sonra tamamen pasif hale geldiği, ancak IQ numunelerinin 30. gün sonunda dahi pasif bölgeye geçemeyip korozyon bakımından belirsiz bölgede kaldıkları Şekil 5'den görülmektedir. Bu durum, IQ numunelerinin elde edildikleri ferrit-perlit çeliğinden daha düşük korozyon direncine sahip olduklarının bir göstergesidir.

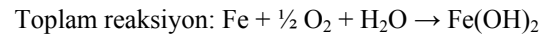
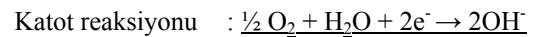
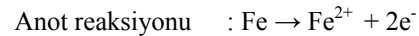
Korozyon potansiyeli değerleri, betona gömülü çeliklerin korozyon olasılıkları hakkında fikir vererek kalitatif sonuçlar sağlamıştır. Ancak bu çeliklerin korozyonu hakkında kantitatif ve güvenilir bilgiler, korozyon akım yoğunluğu ölçülerek elde edilebilir (26).

Galvanostatik polarizasyon tekniği kullanılarak elde edilen korozyon akım yoğunlukları Tablo 4'de verilmiştir.

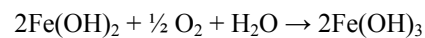
Tablo 4'den görüldüğü gibi, ara su verme ısı işlemleri ile elde edilen dual-faz çeliğinin korozyon hızını artırdığı belirlenmiştir. İşlemsiz numunenin korozyon hızından daha yüksektir. Bu durum, korozyon potansiyeli ölçümlerini desteklemektedir.

IQ numuneleri kendi aralarında mukayese edildiğinde, ostenitleme süresine bağlı olarak meydana gelen martenzit hacim oranındaki artışın korozyon hızını artırdığı belirlenmiştir. Bilindiği üzere, martenzit miktarındaki artış martenzit fazının karbon içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda, dual-faz çeliğinin korozyon davranışı üzerine hem ikinci faz miktarının hem de faz kompozisyonunun etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Ferrit-perlit ya da ferrit-martenzit yapısına sahip bir çelik beton içerisinde aşağıdaki reaksiyonlar ile korozyona uğrar ve çelik yüzeyinde pas oluşur (27).

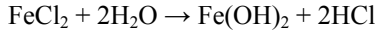
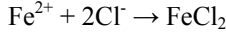


Korozyon sonucu oluşan Fe(OH)_2 ortamda yeterli oksijen bulunması halinde, aşağıdaki tepkime ile yeniden oksitlenerek 2Fe(OH)_3 (pas) haline dönüşür.



Oluşan 2Fe(OH)_3 uygun koşulların bulunması halinde γ Fe_2O_3 halinde demir yüzeyine yapışarak demirin pasifleşmesini sağlar. Eğer ortamda klorür iyonları gibi aktif özellikte iyonlar varsa, korozyon

sonucu oluşan demir iyonları klorür iyonları ile birleşerek suda kolayca çözünebilen demir klorür haline dönüşür ve demir yüzeyinden uzaklaşır. Ancak demir klorür alkali ortamda kolaylıkla hidroliz olarak demir hidroksite dönüşür.

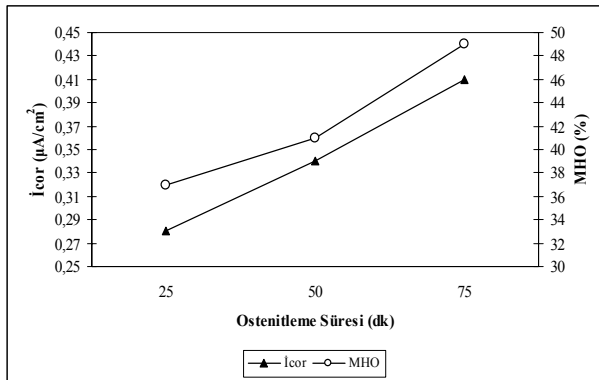


Böylece metal yüzeyinde pasifleştirici demir oksit tabakasının oluşması önlenir. Diğer taraftan oluşan klorlu hidrojen anot bölgesinde asidik bir ortam yaratarak korozyonun daha hızlı yürütmesine neden olur.

Karışım suyuna katmış olduğumuz %3 oranındaki NaCl korozyon tepkimelerini hızlandırarak, betona gömülü elektrotların korozyon davranışları hakkında kısa bir sürede sonuç almamızı sağlamıştır.

Fiberli yapıya sahip olan IQ numunelerindeki martenzit miktarının artışı, ferrit (katot) ve martenzit (anot) ara yüzey bölgesini artırdığından korozyon reaksiyonlarının artmasına neden olmuş ve işlemsiz numuneye göre korozyon hızını artmıştır.

Martenzit miktarındaki artış doğal olarak ferrit miktarını azaltmaktadır. Faz miktarındaki bu değişim katot ile anot arasındaki oranın değişimine neden olur. IQ numunelerinde martenzit miktarındaki artış ile anot ve katot arasındaki oranın bozulması numunelerin korozyon hızı değişimlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durum, IQ numunelerinde martenzit miktarındaki artışa bağlı olarak korozyon hızının arttığı sonucunu doğrulamaktadır. Şekil 6'da ostenitleme süresine bağlı olarak, martenzit hacim oranı (MHO) ve korozyon hızı değişimini bir arada gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 6. Ostenitleme Süresine Bağlı Olarak MHO – Korozyon Hızı Değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut çalışma, ara kritik su verme ısıl işlemi ile elde edilen dual-faz çeliğinin beton içerisindeki korozyon hızının, elde edildiği ferrit-perlit çeliğinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum, dual-faz çeliğinin ostenitleme süresindeki artışa bağlı olarak meydana gelen, martenzit hacim oranındaki artışa bağlanmıştır. %37 martenzit hacim oranında 0,28 µA/cm² olan korozyon akım yoğunluğunun, %41 martenzit hacim

oranında 0,34 µA/cm² ve %49 martenzit hacim oranında ise 0,41 µA/cm² olması bu durumu doğrulamaktadır.

Dual-faz ısıl işlemi sayesinde inşaat çeliğinin mekanik dayanımının artırılabilmesi önceki çalışmalar ile ortaya konmuştur (1, 5). Ancak, literatürde dual-faz ısıl işlemi ile mekanik dayanımı geliştirilmiş inşaat çeliğinin korozyon davranışı hakkında yeterince çalışma mevcut değildir. Yapılan bu çalışma ile dual-faz yapısı kazandırılmış inşaat çeliğinin beton içerisindeki korozyon davranışı incelenerek literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma neticesinde, dual-faz çeliği elde etmek amacıyla uygulanan ara kritik su verme ısıl işleminin inşaat çeliğinin korozyon hızını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Çalışmada kullanılan bu ısıl işlem yönteminin pratikte uygulanması prosesin maliyetini artıracak gibi daha fazla zaman kaybına da neden olacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Tüm bu olumsuzluklar göz önünde bulundurularak, bundan sonra yapılacak olan çalışmalar için, konuya giriş niteliğindeki bu çalışmanın kritik sıcaklıklar arasında tavlama dual-faz ısıl işlemi uygulanarak geliştirilebileceği hususunda bir öneri yapılabilir. Böylece, daha düşük maliyetle daha kısa sürede bir dual-faz çeliği elde edilebilir. Ayrıca, bu sayede mikroyapıda meydana gelecek olan değişimin korozyon davranışı üzerine olan etkisi de belirlenerek kullanım amacına en uygun dual-faz çeliği üretilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Trejo, D., Monteiro, P., Thomas, G. And Wang, X., "Mechanical Properties and Corrosion Susceptibility of Dual-Phase Steel in Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 7, p. 1245-1254, 1994.
2. Chen, D. L., Wang, Z. G., Jiang, X., Ai, S. H. And Shih C. H., "Near-Threshold Corrosion Fatigue Crack Growth in Dual-Phase Steels", Scripta Metallurgica, Vol. 21, No. 12, p. 1663-1667, 1987.
3. Erdoğan, M., "The Effect of New Ferrite Content on Tensile Fracture Behaviour of Dual Phase Steels", Journal of Materials Sci., 37, p. 3623-3630, 2002.
4. Park, K. S., Park, K. T., Lee, D. L., Lee, C. S., "Effect of Heat Treatment Path on the Cold Formability of Drawn Dual-Phase Steels", Materials Science and Engineering: A, Volumes 449-451, Pages 1135-1138, 2007.
5. Aksoy, M., Esin, A., "Improving the Mechanical Properties of Structural Carbon Steel by Dual-Phase Heat Treatment", Journal Mater. Eng., Vol. 10, pp. 281-287, 1988.
6. Bag, A., Ray, K. K. and Dwarakadasa, E. S., "Influence of Martensite Content and Morphology on Tensile and Impact Properties of High-Martensite Dual-Phase Steels", Metallurgical and Materials Transactions A, Volume: 30A, pp. 1193-1202, 1999.
7. Tavares, S. S. M., Pedroza, P. D., Teodosio, J. R., Gurova, T., "Mechanical Properties of a Quenched and Tempered Dual Phase Steel", Scripta Materialia, Vol. 40, No. 8, pp. 887-892, 1999.
8. El-Sesy, I. A., El-Baradie, Z. M., "Influence Carbon and/or Iron Carbide on the Structure and Properties of

- Dual-Phase Steels”, *Materials Letters*, Vol. 57, pp. 580–585, 2002.
9. Das, D., Chattopadhyay, P. P., Bandyopadhyay, N. R., “On the Modification of Martensite Morphology in High Martensite Dual Phase Steels for the Improvement of Mechanical Properties”, *Metalurgical and Materials Engineering*, Vol. 84, pp. 84–92, 2003.
 10. Anijdan, S. H. M., Vahdani, H., “Room-Temperature Mechanical Properties of Dual-Phase Steels Deformed at High Temperatures”, *Materials Letters*, Vol. 59, pp. 1828–1830, 2005.
 11. Ekrami, A., “High Temperature Mechanical Properties of Dual Phase Steels”, *Materials Letters*, Vol. 59, pp. 2070–2074, 2005.
 12. Modi, A. P., “Effects of Microstructure and Experimental Parameters on High Stress Abrasive Wear Behaviour of a 0.19wt %C Dual Phase Steel”, *Tribology International*, Vol. 40, pp. 490–497, 2007.
 13. Speich, G. R., “Dual Phase Steels”, *Heat Treating, ASM Handbook*, Fifth Printing, p. 424-429, 1997.
 14. Repas, P. E., “Dual-Phase and Cold-Forming Vanadium Steels in the Automobile Industry”, *Vanitec*, Berlin, 1978.
 15. Davies, R. G., Magee, C. L., “Structure and Properties of Dual-Phase Steels”, *A.I.M.E*, New York, 1979.
 16. Sarkar, P. P., Kumar, P., Mana, K. M., Chakraborti, P. C., “Microstructural Influence on the Electrochemical Corrosion Behaviour of Dual-Phase Steels in 3.5% NaCl Solution”, *Materials Letters*, Vol. 59, pp. 2488–2491, 2005.
 17. Vander Voort, G. F., “*Metallography Principles and Practice*”, McGraw-Hill Book Company, pp. 425–465, New York, 1984.
 18. Asan, A., Yalçın, H., “Uçucu Kül Katkısının Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 47-54, 2003.
 19. Page, C.L., Treadaway, K.W.J., “Aspect of the Electrochemistry of Steel in Concrete”, 297, 109-115, 1982.
 20. Yalçın, H., Koç, T., “Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi”, *CMS Kongre Yönetim Sistemleri Uluslar arası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri Limited Şirketi*, Ankara, 270 s., 2004.
 21. Hoşhan, P., “Beton İçindeki Çeliğin Korozyonunun Üç Elektrot Yöntemi İle İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
 22. Keleştemur, O., Yıldız, S., “Effect of Various NaCl Concentration on Corrosion of Steel in Concrete Produced by Addition of Styrofoam”, *G.U. Journal of Science*, 19(3), 1-12, 2006.
 23. TS 802, “Beton Karışımı Hesap Esasları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1985.
 24. ASTM, “Standard Test Method for Half-Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”, *ASTM, C-876*, 1991.
 25. Rigsbee, J. M. and Vanderarend, P. J., “Formable HSLA and Dual-Phase Steels”, Ed. By Davenport, A. T., p. 56-86, *AIME*, New York, 1979.
 26. Al-Amoudi, O.S.B., Maslehuddin, M., Lashari, A.N. and Almusallam, A.A., “Effectiveness of Corrosion Inhibitors in Contaminated Concrete”, *Cement Concrete Comp.*, Vol. 25, pp. 439–449, 2003.
 27. Keleştemur, O., “Betonarme Yapılarda Dual-Faz Çeliğinin Kullanılabilirliğinin ve Korozyon Direncinin Araştırılması”, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.