



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (1): 5-11 (2012)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Asfalt Betonuna İçerisine Konulan Düşük Karbon Çeliğinin %3.5 NaCl Ortamındaki Korozyonunun İncelenmesi

Hüsnü Gerengi¹, Ercan Özgan², Çağlar Akçay³, İlhan Arslan²

¹Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Korozyon Araştırma Laboratuvarı, 81900 Kaynaşlı, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 81620 Düzce

³Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620 Düzce

Geliş Tarihi (Received): 29.03.2012, Kabul Tarihi (Accepted): 04.06.2012

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): husnugerengi@duzce.edu.tr (H. Gerengi)

☎ 0 380 544 28 11 📠 0 380 544 28 12

ÖZET

Korozyon, metallerin bulunduğu ortamda kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda bozulması ve zamanla metalik özelliğini kaybetmesidir. Karayollarında kullanılan işaret levhaları, elektrik direkleri, köprü elemanları, bariyerler ve trafik ışıkları gibi metalik alaşımlardan yapılan malzemelerin de asfalt beton içerisinde olmalarına rağmen zamanla korozyona uğradıkları bilinmektedir. Diğer taraftan karayollarında karla mücadele kapsamında yapılan tuzlama çalışmaları da bu metaller için ayrıca korozif ortam oluşturmaktadır. Bu çalışmada, asfalt beton içerisine konulan düşük karbon çeliğinin açık devre potansiyeli sekiz hafta boyunca ölçülmüş ve potansiyelin zamana bağlı olarak -650 mV'tan -690 mV'a doğru azaldığı tespit edilmiştir. Birinci hafta sonunda %3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki metalin korozyon potansiyeli -734 mV'tan -774 mV'a kaymıştır. 8. hafta sonunda elde edilen korozyon akım yoğunluğu 1. hafta sonunda elde edilen değerden yaklaşık 1.76 kat daha fazladır. Buna bağlı olarak elde edilen korozyon direnci de azalmış olup korozyon direnci 2240 ohm.cm² den 859 ohm.cm² değerine kadar düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Asfalt beton, Düşük karbon çeliği

Investigation on the Corrosion of Low Carbon Steel Placed in Asphalt Concrete in 3.5% NaCl Environment

ABSTRACT

Corrosion is the degradation of the metals as a result of chemical and electrochemical reactions and the loss of their metallic properties in time. Metallic alloys used in highways, such as traffic signs, lamppost, parts of the bridge, barriers and traffic lights are also known to corrode over time, although they are in asphalt concrete. On the other hand, salting processes to prevent the icing on highways also create a corrosive environment for these metals. In this study, the corrosion potential of low carbon steel placed in asphalt concrete was measured during 8 weeks, and the open circuit potential has been found to decrease from -650 mV to -690 mV over time. At the end of the first week, corrosion potential of the metal in 3.5 % NaCl solution changed from -734 mV to -774 mV. Corrosion current density obtained at the end of the 8th week is approximately 1.76 times more than the value obtained at the end of the 1st week. Accordingly, corrosion resistance also reduced, and the corrosion resistance decreased from 2240 ohm.cm² to 859 ohm.cm².

Key Words: Corrosion, Asphalt concrete, Low carbon steel

1. GİRİŞ

Günümüz Türkiye'sinin ekonomik kalkınmasında ve refahının artmasında önemli bir yere sahip olan karayolu taşımacılığının ulaştırma sektörü içerisindeki payı giderek artmaktadır. Bu nedenle, en önemli alt yapı yatırımlarından biri olan karayollarımız artan bir trafik yükü altında kalmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'de karayolu taşımacılığının payı 1970 yılında yük taşımacılığında % 61, yolcu taşımacılığında % 91 iken 2003 yılında bu değerler sırasıyla %92 ve %95 olmuştur. Bu durum ülkemizde karayollarının diğer ulaşım sistemlerine göre yük taşımacılığı açısından çok daha fazla kullanıldığını göstermektedir (Kuloğlu ve ark., 2006).

En eski yol yapım malzemelerinden biri olan asfalt, geliştirilen teknik özellikleriyle beraber çevreye dost, uzun ömürlü ve yüksek performans sergileyen yolların yapımına imkân tanımaktadır. Karayollarında sıkça kullanılan esnek üst yapı elemanlarının kaplama tabakaları içerisindeki bitümlü karışımlar, yol inşaatında önemli bir yer tutmakta ve maliyeti büyük ölçüde etkilemektedir. Yol kaplamalarında kullanılan sıcak bitümlü karışımlar içerisinde asfalt betonu en fazla kullanılan materyaldir (Arslan, 2012, Kang ve ark., 2010).

Asfalt, güçlü bir bağlayıcı olmasının yanı sıra su geçirmez ve dayanıklı olmasından dolayı mühendislerin özel olarak ilgisini çekmektedir. Asfalt genellikle bir araya getirildiği mineral agrega karışımlarının kontrol edilebilir bir esneklik sağlayan plastik maddesidir. Asfalt, normal atmosferik koşullarda katı ya da yarı katı halde bulunmasına rağmen ısı etkisiyle veya değişken voltaliteye sahip petrol çözücüler içerisinde çözülebilir ya da sıvılaştırılabilmektedir.

Karayolu esnek üst yapıları sonsuz uzunlukta oldukları için farklı iklim ve çevre şartlarına maruz kalabilmektedirler, dolayısıyla karşılaştıkları sorunlar ve etki eden faktörlerde farklı olmaktadır. Karayollarına etki eden faktörler; iklimin etkisi, trafiğin etkisi ve kimyasalların etkileri olarak ifade edilebilir (Tunay, 2008).

Kimyasal etkiler, karayollarının servis ömürleri boyunca maruz kaldıkları en önemli faktörlerden biridir. Karayollarında kış aylarında don olaylarını önlemek amacıyla yollarda tuzlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu tuzlar yollara zarar verebilmektedir. Kar ve buzla mücadelede etkili bir çözüm bulabilmek, değişkenlerin fazla olmasından dolayı oldukça zordur. Bu değişkenler; farklı hava durumları, üst yapı sıcaklığı, üst yapı tipi, ortam sıcaklığı, trafik hacmi, rüzgâr yönü ve hızı, taşıt hızları, göl veya okyanus etkisi, güneş görmeyen kısımlar şeklinde ifade edilebilir. Bu faktörlerin çeşitli olmasından dolayı kar ve buzla mücadelede farklı kimyasalların kullanımı zorunlu olabilmektedir. En çok kullanılan kimyasallar $CaCl_2$, $MgCl_2$, CMA (Kalsiyum, Magnezyum, Asetat) ve $NaCl$ 'dir (Kuloğlu ve ark., 2005). Amerika Birleşik Devletlerinde buzlanmayı önlemek için yılda ortalama 15 milyon ton tuz kullanıldığı bilinmektedir (Wegner ve Yaggi, 2001).

Yol kaplamalarına zarar veren $NaCl$ tuzu, yol yüzeyinde soyulmalara neden olmaktadır. Hava katkısız betonlarla suda çözünen tuzlar, kuruyup kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç yapmaktadır. Bu basınç, betonda oyuklara ve yer yer çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Beton yollarda, klor iyonları çatlaklardan metale ulaşabilirlerse, metalin paslanmasına neden olan elektrokimyasal reaksiyon sürecini başlatabilir. Kullanılan tuz miktarı ve uygulanma sıklığının artması beton yüzeyindeki bozulmaları hızlandırabilmektedir. Ülkemizde, karla mücadele kapsamında karayollarında kullanılan tuz miktarının 100 bin ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Varış, 2007).



Şekil 1. Karayollarında tuzun etkisiyle hasara uğramış bir yol

Karayollarında özellikle kış aylarında kullanılan donmayı önleyici tuzlardan dolayı, karayollarında önemli bir yere sahip olan trafik işaret ve bilgi sistemlerinde önemli korozyon zararları olmaktadır. Karayollarında kullanılan trafik işaret ve bilgi levhalarının Türkiye ekonomisine maliyetinin 2010 yılında yaklaşık 137 milyon TL tutarında olduğu bilinmektedir. Karayollarında korozyon ve arker faktörlerden kaynaklanan trafik işaret ve levhaların yenilenme maliyeti ise yaklaşık 27 milyon TL'dir (Web 1, 2012).

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Asfalt Beton Numunenin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan asfalt beton numuneleri Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) fenni şartnamesi (KGM, 2000) tip II'ye göre aşınma tabakası gradasyon limitlerine uygun olarak laboratuvar ortamında üretilmiştir. Daha önceden hazırlanan agrega karışımı, mikserle boşaltılmış, karışımda kullanılacak olan bitümde ısıtılarak istenilen sıcaklığa getirildikten sonra mikser içinde bulunan agrega üzerine hesaplanan miktar kadar ilave edilmiştir. Mikser kabında karıştırılan bitüm ve agrega karışımı Marshall kalıplarına aktarılmış ve Marshall kalıplarında sıkıştırılarak Marshall numuneleri üretilmiştir. Yapılan ön denemelerle bir adet asfalt betonu numunesi için agrega ağırlığı 1245 gr olarak belirlenmiştir. Marshall numuneleri için elek boyutlarına göre agrega tipi, agrega yüzdeleri ve ağırlıkları Çizelge

1'de gösterilmiştir. Bu değerlere göre hazırlanmış olan tip 1 tipi asfalt çimentosu kullanılmıştır. asfalt numunelerinde bağlayıcı olarak 73 gr AC 60-70

Çizelge 1. Elek boyutlarına göre agrega tipi, agrega yüzdeleri ve ağırlıkları

Elek Çapı	Tip 1	% Geçen	Ağırlık (gr)
19 mm	100	-	-
12.5 mm	84-100	90	124,5
9.5 mm	75-91	80	124,4
4.75 mm	57-75	48	398,4
2.00 mm	42-59	31	211,65
0.425 mm	22-35	15	199,2
0.180 mm	12-22	5	62,25
0.075 mm	4-10	5	62,25
0.075 mm elek altı	-	5	62,25

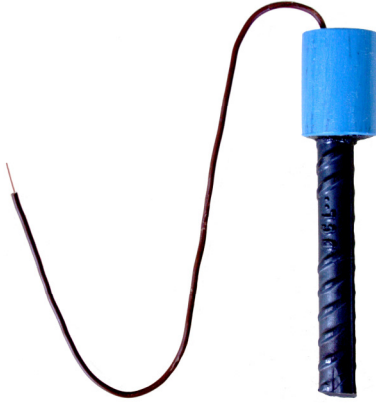
Asfalt çimentosunun mühendislik özellikleri Çizelge 2.'de sunulmuştur (Akbulut ve Gürer, 2006).

Çizelge 2. AC 60-70 Bitümüne ait fiziksel özellikler

Özellikler	Değerler	Kullanılan Standart
Kaynak	Aliağa/Türkiye	
Penetrasyon Derecesi	60/70	
Penetrasyon Derecesi (25°C)	63	ASTM D 5
Özgül Ağırlık (gf/cm ³)	1.060	ASTM D 70
Parlama Noktası (°C)	296	ASTM D 92
Yumuşama Noktası (°C)	49	ASTM D 36
Viskozite (135°C) Pa s	0.420	ASTM D 92

2.2. Çalışma Elektrodunun Hazırlanması

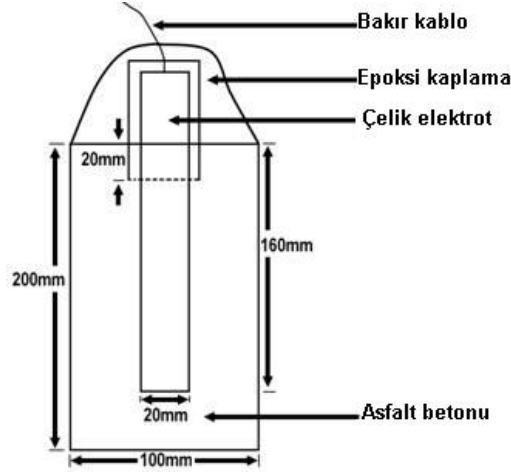
Deneyde kullanılan düşük karbon çeliği numunesinin bileşimi Çizelge 3'te verilmiştir. Kullanılan çelik elektrot 20 mm çapında 180 mm uzunluğunda kesilerek yüzeyi mekanik olarak temizlenmiştir. Daha sonra elektrot yüzeyi 800 ve 1200 nolu zımpara kâğıtları ile iyice zımparalanarak metal yüzeyinde istenmeyen maddelerin temizlendiğinden emin olunmuştur. Deney sırasında çeliğin potansiyelinin kolayca ölçülebilmesi için çelik elektrodun diğer ucuna vida yeri açılarak, bu vida yerine bakır kablo bağlanmıştır. Bakır telin ekli ucu, 4 cm uzunluğunda kesilen plastik borudan geçirilerek, epoksi reçine ile doldurulmuştur. Bu işlemden sonra polimer kaplı elektrot Şekil 3'de görüldüğü gibi asfalt betonu içersine yerleştirilmiştir (Huang ve ark., 1999). Yapılan epoksi kaplama ile oluşturulan yalıtkan ortam sayesinde bakırın korozyonu önlenmiş ve sadece istenilen ölçüde (20 mm x 140 mm) asfalt betonu içersine yerleştirilmiş düşük karbon çeliğinin korozyon mekanizması incelenmiştir. Asfalt betonu numuneleri laboratuvar ortamında 24 saat Marshall kalıbı içersinde bekletildikten sonra, kalıp sökülerek içi %3.5 NaCl bulunan deney hücresine (Şekil 5) yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Polimer kaplanmış elektrodun görünüşü

Çizelge 3. Deneyde kullanılan düşük karbon çeliği numunesinin bileşimi

Element	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)	Nikel (Ni)	Krom (Cr)	Molibden (Mo)	Kalay (Sn)	Demir (Fe)
Ağırlıkça (%)	0.36	0.23	0.20	0.61	0.025	0.11	0.12	0.01	0.02	98.315



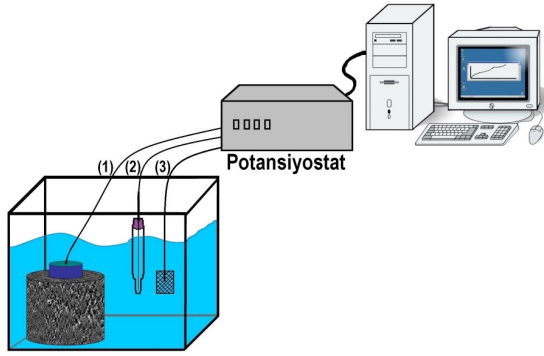
Şekil 3. Asfalt betonu içerisine yerleştirilmiş polimer kaplı elektrodun şematik olarak gösterimi

Asfalt betonu içerisine konulan düşük karbon çeliğinin korozyon potansiyeli Şekil 4'te görüldüğü gibi GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde yapılmış, veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı ile analiz edilmiştir. Polarizasyon eğrilerinin elde edilmesinde, çalışma elektrodunun referans elektroda karşı denge potansiyeli 30 dakika boyunca ölçüldükten sonra katodik ve anodik yöne doğru ± 300 mV aralığında 1 mV/s hızla tarama yapılmıştır. Korozyon potansiyeli ölçümlerinde referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrodu ve karşı elektrot olarak Pt tel kullanılmıştır (Pierre, 2006; Darowicki, 2006).

Anodik ve katodik Tafel bölgeleri bir arada elde edilemediği zaman bölgelerden birinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle de korozyon hızı bulunabilir.

$$E = a + b \log i \quad (1)$$

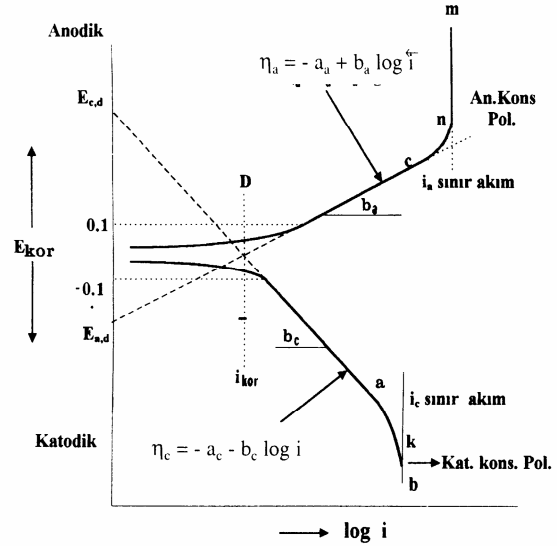
E; Numunenin potansiyelini, a ve b; Tafel sabitlerini ifade etmektedir. "a" ve "b" sabiti, Tafel eğimi yardımıyla bulunur ve mV/dec birimiyle gösterilmektedir. i; Akım yoğunluğunu ifade etmektedir.



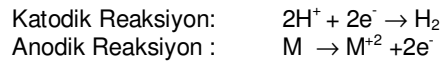
Şekil 4. Deney düzeneği [(1) Çalışma elektrodu, (2) Ag/AgCl elektrot, (3) Pt tel]

2.3. Tafel Ekstrapolarizasyon Yöntemi

Tafel ekstrapolarizasyon yönteminin kullanımı diğer yöntemlere göre daha kolay olduğu için sanayide kullanılan en yaygın yöntemdir. Korozyon potansiyelinden başlayarak potansiyostatik ve galvanostatik yöntemle, anodik ve katodik yönde çizilen yarı logaritmik akım yoğunluğu-potansiyel eğrilerinin çizgisel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle korozyon hızı, yani korozyon akımı belirlenir. Şekil 5'te bu değerlerin grafik üzerinde nasıl bulunduğu gösterilmektedir (Gerengi ve Sahin, 2012). Bu matematiksel çıkarım Stern-Geary (Stern ve Geary, 1957) denklemi (Eşitlik 4) olarak bilinmektedir.



Şekil 5. Tafel ekstra polarizasyon yöntemiyle korozyon akımı (i_{kor}) ve korozyon potansiyelinin (E_{kor}) bulunuşu



Gerekli matematiksel işlem yapıldığında Eşitlik 2 elde edilir (β_a ve β_c anodik ve katodik Tafel sabitleri);

$$i_{kor} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \frac{\Delta i}{\Delta E} \quad (2)$$

Tafel grafik eğiminden, polarizasyon direnci değeri bulunur.

$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = R_p \quad (3)$$

Gerekli matematiksel işlem yapıldığında, Eşitlik (4) elde edilmiş olur.

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c) R_p} \quad (4)$$

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çelik su içerisine konduğunda aşağıda gösterilen elektrokimyasal reaksiyonlar gerçekleşmektedir (Sarkar ve ark., 2005, Clearly, 1969, Gerengi, 2010).

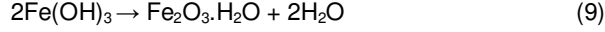
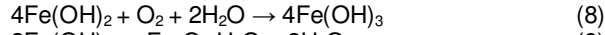
Katodik reaksiyon;



Anodik Reaksiyon;



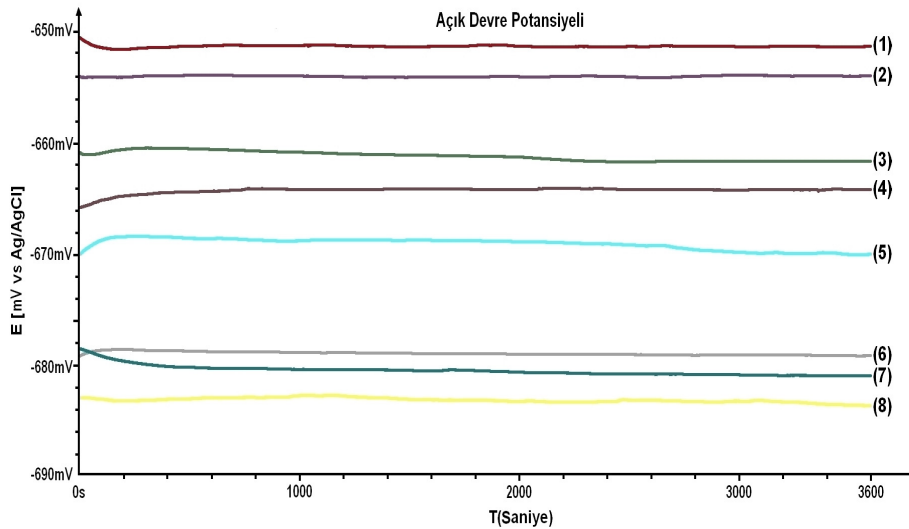
Gerçekleşen net reaksiyonlar;



Asfalt betonu içerisindeki çelik numunesinin %3.5 NaCl içerisinde zamana karşı ölçülen potansiyel değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Haftada bir yapılan bu ölçümler asfalt betonu içerisinde bulunan metalin elektrokimyasal reaksiyonlara maruz kaldığını göstermektedir.

Potansiyel değişimleri, eşitlik 5-9'da verilen bu korozyon reaksiyonlarını desteklemektedir. Birinci ve sekizinci hafta sonunda elde edilen Tafel ekstra polarizasyon yöntemi sonuçları Şekil 7 ve Çizelge 4'te gösterilmiştir. Asfalt beton içerisine konulan düşük karbon çeliğinin, %3.5 NaCl ortamında ölçülen açık devre potansiyelleri 8 hafta boyunca Şekil 6'da gösterildiği gibi negatife kaydığı görülmektedir. Polarizasyon eğrileri de bunu destekler niteliktedir. Birinci hafta sonunda %3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki düşük karbon çeliğinin korozyon potansiyeli -731 mV'tan -774 mV'a kaymıştır.

Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanan korozyon akım yoğunluk değeri düşük karbon çeliğinin 8. hafta sonunda daha çok korozyona uğradığını göstermektedir. 8. hafta sonunda elde edilen korozyon akım yoğunluğu 1. hafta sonunda elde edilen değerinden yaklaşık 1.76 kat daha fazladır. Buna bağlı olarak elde edilen korozyon direnci de azalmıştır. Korozyon direncinin azalması metal numunenin korozyona uğradığını göstermektedir (Deng ve Fu, 2010). Korozyon direnci 2240 ohm.cm² den 859 ohm.cm² değerine düşmüştür.



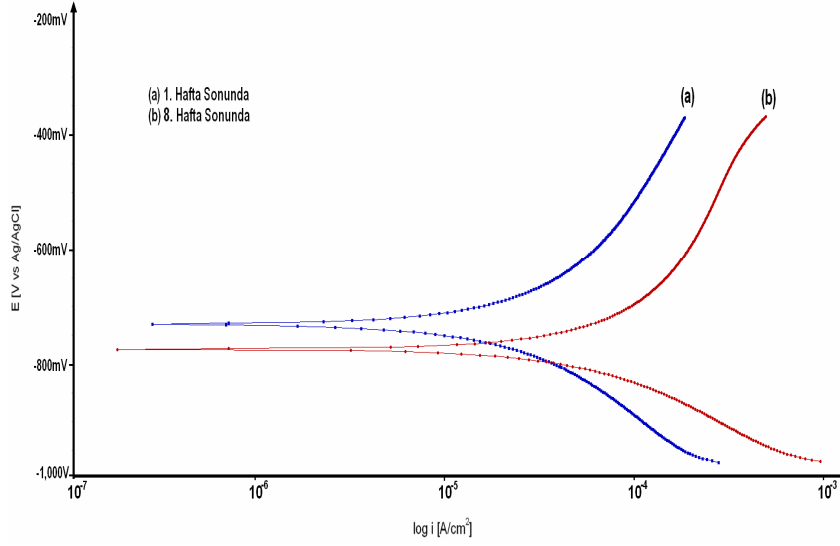
Şekil 6. Asfalt betonu içerisindeki düşük karbon çeliğinin, %3.5 NaCl çözeltisinde 8 hafta boyunca ölçülen açık devre potansiyel değerleri

Çizelge 4. Asfalt betonu içerisindeki düşük karbon çeliğinin %3.5 NaCl çözeltisinde 1. ve 8. hafta sonunda elde edilen Tafel ekstra polarizasyon yöntemi sonuçları

Ölçüm	β_a (mV/Dec)	β_c (mV/Dec)	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	R_p (Ohm cm ²)
İlk ölçüm (1. hafta sonunda)	177	162	-731	16.40	2240
Son ölçüm (8. hafta sonunda)	124	106	-774	28.90	859

Deney sonunda asfalt betonu kırıldıktan sonra düşük karbon çeliğine ait çekilen optik resim Şekil 8'de

gösterilmiştir. Metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri eşitlik 7-8'i doğrular niteliktedir.



Şekil 7. Asfalt betonu içerisindeki düşük karbon çeliğinin %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde 1. ve 8. hafta sonunda elde edilen polarizasyon eğrileri



Şekil 8. Asfalt betonu içerisindeki düşük karbon çeliğinin %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde 8. hafta sonunda çekilen optik resmi

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Karayollarında kullanılan trafik işaret ve bilgi levhalarının özellikle tuzlama sonucunda oluşan korozif ortamdan dolayı zamanla asfalt beton içerisinde korozyona uğradığı Tafel ekstra polarizasyon yöntemi ile ortaya konulmuştur. Birinci ve sekizinci hafta sonunda elde edilen polarizasyon dirençleri arasında %38 lik bir fark olduğu tespit edilmiştir. Özellikle beşinci haftadan sonra düşük karbon çeliğinin, %3.5 NaCl ortamında daha çok korozyona uğradığı ölçülen açık devre potansiyellerinden anlaşılmaktadır. Bunun sebebi düşük karbon çeliğinin yüzeyinde oluşan pasif filmin zamanla kırılmış olması olabilir. Sekizinci hafta sonunda asfalt betonu kırıldıktan sonra çekilen optik resim, Tafel ekstra polarizasyon yöntemini desteklemekte ve düşük karbon çeliğinin %3.5 NaCl ortamında korozyona uğradığını kanıtlamaktadır.

Demir ve alaşımlarının endüstride yaygın bir şekilde kullanılmasının başlıca sebepleri arasında ekonomik ve iyi mekanik özelliklere sahip oluşları gelmektedir. Korozyona hızlı uğrayan bu tür metalik malzemeler aşırı tuzlanma, asit yağmurları ve arker kimyasal etkiler nedeniyle trafik ve yol güvenliği açısından büyük problemlere neden olmakta ve ekstra bakım maliyetleri yüklemektedir. Bu sebeple karayollarına konulan tüm metalik malzemelerin galvanik seriye uygun metallerden seçilmesi ve yüzeylerine epoksi kaplama yapıldıktan sonra asfalt beton içerisine konulmasının korozyon hızının azaltılması hususunda önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Düzce Üniversitesi Araştırma Fonunca 2012.26.HD.037 No'lu proje ile desteklenmiştir. Numunelerin hazırlanmasında verdikleri destekten dolayı Öğr. Gör. Yusuf Parlak, Ayten Deniz ve Uzman Sedat Kaya bey'e teşekkür ediyoruz.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Gürer, C. (2006). Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, Yazı 261, 3943-3960.
- Arslan, İ. (2012). Farklı Çevre Şartlarına Maruz Kalan Asfalt Betonunun Bazı Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Düzce, 6s.
- Cleary, H.J. (1969). On the Mechanism of Corrosion of Steel Immersed in Saline Water. Bethlehem Steel Corp, Offshore Technology Conference, 18-21 May, Houston, Texas, 978-1-55563-817-7.
- Darowicki, K., Gerengi, H., Bereket, G., Slepiski, P., Zielinski, A. (2006). Corrosion behaviour of low carbon steel in artificial seawater using TP, LP, EIS, harmonic analysis (HA) and New method dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS). The Corrosion Association Journal, 14, 3-8.
- Deng, S., Li, S., Fu, H. (2010). Nitrotetrazolium blue chloride as a novel corrosion inhibitor of steelin sulfuric acid solution. Corrosion Science, 52, 3840-3846.
- Gerengi, H. (2010). Investigation of Effects of Corrosive Factors in Seawaters of Turkey, International Sustainable Buildings Symposium (ISBS), Proceedings, Page: 802-809, Gazi University, Ankara, Turkey.
- Gerengi, H., Sahin, H.I. (2012). Schinopsis lorentzii extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl solution. Industrial & Engineering Chemistry Research, 51(2), 780-787.
- Huang, R., Yeh, W.D., Chang, J.J., Yang, C.C. (1999). The use of ac and dc methods for corrosion

- monitoring of reinforced concrete members in marine environment. Journal of Marine Science and Technology, 2(1), 53-59.
- Kang, Y., Wang, F., Chen, Z. (2010). Reaction of asphalt and maleic anhydride: Kinetics and mechanism. Chemical Engineering Journal, 164, 230-237.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2000). Yollar Fenni Şartnamesi, Ankara.
- Kuloğlu, N., Kök B.V., Durmaz, B. (2006). Beton asfaltın farklı türden temeller üzerindeki serbest basınç mukavemet değerinin değişimi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18(1), 91-97.
- Kuloğlu, N., Kök, B.V., Durmaz, B. (2005). Karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1), 87-96.
- Pierre, R.R. (2006). Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill Company, p. 117.
- Sarkar, P.P., Kumar, P., Manna, M.K., Chakraborti, P.C. (2005). Microstructural influence on the electrochemical corrosion behaviour of dual-phase steels in 3.5% NaCl solution. Materials Letters, 59, 2488-2491.
- Stern, M., Geary, A.L. (1957). Discussion of electrochemical polarization, a theoretical analysis of the shape of polarization curves. J. Electrochem. Soc., 104, 56-63.
- Tunay, C. (2008). Dekoratif Kaplama Sistemlerinde Asfalt Kullanımı ve Alternatif Yöntemler İle Teknik-Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 10s.
- Varış, M. (2007). Karayolları Esnek Üst Yapılarında Buzlanma İle Mücadele Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Web:<http://www.erciyestv.com.tr/yerel-haber/tahrip-edilen-levhalar-sergilendi.htm> (Erişim Tarihi: 12.01.2012).
- Wegner, W., Yaggi, M. (2001). Environmental impacts of road salt and alternatives in the New York City watershed. Stormwater 2 (5).