

BOR KATYONU İÇEREN İYONİK SIVILARIN 0.1 M HCl ORTAMINDA KOROZYON İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILMASI

Hüsnü GERENĞİ¹, Halil İbrahim UĞRAŞ², Mesut YILDIZ^{1,*}

¹ Korozyon Araştırma Lab., Makine Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

² Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE
[*mesutyildiz@duzce.edu.tr](mailto:mesutyildiz@duzce.edu.tr)

Özet-Korozyon inhibitörü olarak 1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat (EMITFB) ve 1-bütül-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat (BMPTFB)'ın düşük karbon çeliğinin (St37) 0.1 M HCl ortamındaki korozyon mekanizmasına etkisi, Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Potansiyodinamik Polarizasyon (TP) yöntemleri kullanılarak araştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Elektrokimyasal ölçümlerden sonra metal yüzeyindeki morfolojik değişiklikler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Kırınımı X-Işını Spektroskopisi (EDS) yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, çalışılan her iki bor katyonlu iyonik sıvının inhibitör olarak kullanılabileceğini göstermektedir. St37 çeliğinin 0.1 M HCl ortamındaki BMPTFB ve EMITFB kullanılmasına bağlı olarak hesaplanan inhibitör etkinliği (%IE) değerleri sırasıyla %87 ve %73'tür. St37 çeliğinin 0.1 M HCl ortamında korozyonuna BMPTFB'nin EMITFB'ye kıyasla yaklaşık %15 daha iyi koruduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Korozyon; Düşük karbon çeliği; Bor katkılı iyonik sıvı; EMITFB; BMPTFB

USING OF IONIC LIQUIDS CONTAINING BORON CATION AS CORROSION INHIBITOR IN 0.1 M HCl ENVIRONMENT

Abstract-The corrosion inhibition effect of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMITFB) and 1-butyl-1-methylpiperidinium tetrafluoroborate (BMPTFB) as corrosion inhibitors was investigated on low carbon steel in 0.1 M HCl environment using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Tafel Polarization (TP) methods. The results from the two electrochemical techniques were compared. Morphological changes on the metal surface after electrochemical measurements were analyzed with the aid of Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Diffraction X-Ray Spectroscopy (EDS). The findings show that the studied boron cationic ionic liquids can be used as inhibitor. The optimum inhibition efficacy (% IE) of 87% and 73% was achieved for BMPTFB and EMITFB respectively. It has been found that BMPTFB inhibits the steel corrosion by approximately 15% better than EMITFB in the considered acid environment.

Key Words: Corrosion; Low carbon steel; Boron doped ionic liquid; EMITFB; BMPTFB

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mükemmel mekanik özellikleri ve düşük maliyetli olması bakımından yaygın kullanım alanına sahip olan çelik, demir ve karbondan oluşan bir alaşımdır. Farklı oranlarda alaşım elementleri katılarak kullanım amacına uygun özelliklere sahip çelikler elde edilmektedir. İçerdiği karbon oranına göre yapısında % 0.2'ye kadar karbon içeren çelikler düşük karbonlu çelikler olarak adlandırılmaktadır [1].

Metal kullanımının beraberinde getirdiği korozyon, metallerin bulunduğu ortamda meydana gelen kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonu sonucu malzeme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesi olayıdır [2]. Doğal bir süreç olan korozyon, endüstride büyük önem taşıyan problemler arasında yer almaktadır. Korozyona bağlı olarak, 1984 yılında Bhopal'de meydana gelen patlama, 1988 yılında Aloha havayolu şirketine ait uçak kazası ve 2000'de Carlsbad boru patlaması olaylarında pek çok sayıda insan hayatı tehlikeye girmiş ve çevre büyük zarar görmüştür [3].

Her geçen gün önemi artan korozyon probleminden korunmak için sınırlı sayıda yöntem bulunmaktadır. Özellikle kapalı devre sistemlerinde korozyonla mücadele için hala etkili yöntem korozyon inhibitörlerinin kullanılmasıdır [4]. Korozyon inhibitörleri, korozyon etkisini azaltmak veya önlemek için korozyon ortamına katılan maddelerdir. Ortama düşük konsantrasyonlarda eklenen inhibitörler, ortamla metalin reaksiyonunu etkili bir şekilde önlemekte, azaltmakta veya kontrol etmektedir. Hâlihazırda birçok sentetik ya da doğal kimyasal maddeler inhibitör olarak metal ve alaşımların korozyona karşı korunmasında kullanılmaktadır [5,6].

İnhibitörlerin endüstride rafineri üniteleri, boru hatları, kimyasal, petrol ve gaz üretim birimleri, kazanlar ve su işleme, boya, pigmentler, kağıt üretimi, madeni yağ gibi birçok ticari uygulamaları vardır [7,8]. Ancak kullanılan inhibitörlerin yüksek toksisite olmasının yanı sıra kromat, fosfat ve arsenik içeren bileşikler olması çevre ve sağlık problemlerine neden olmaktadır [9]. Bu kaygıları ortadan kaldırmak için yoğun bir şekilde alternatif çevre dostu inhibitörlerle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. "Yeşil Korozyon İnhibitörleri" adı verilen bu inhibitörler; çoğunlukla bitki ekstraktlarından veya toksisite değeri bilinen organik bileşiklerden oluşmaktadır [10]. Dünya çapında ekolojik bilinçliliğin artması ve çevre protokollerinin sıkılaştırılmasından dolayı tehlikeli korozyon inhibitörlerinin üretilmesine ve kullanılmasına izin verilmemektedir [11-15].

Çoğunlukla organik katyon ve inorganik anyonlardan oluşan iyonik sıvılar, erime noktaları 100 °C'nin altında olan benzersiz bir bileşik grubudur. İyonik sıvılar yüksek polariteye, düşük buhar basıncına sahip ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır [16]. Bu özelliklerinin yanı sıra iyi elektriksel iletkenlik, çözücü taşınımı onları hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon süreçlerine uygun kılmaktadır. İyonik sıvılar birçok reaksiyonda gerek çözücü gerekse katalizör olarak defalarca kullanılabilen ve ayrıca reaksiyon ortamından kolaylıkla atık bırakmadan uzaklaştırılabilmektedirler.

Bu özelliklerinden dolayı iyonik sıvılar diğer klasik çözücülere göre üstünlük sağlamak ve çevre açısından sorun teşkil etmediği için tercih edilmektedir. Aynı zamanda bu özellikler, iyonik sıvıların farklı agresif ortamlarda metaller üzerinde korozyon inhibitörü olarak değerlendirilmesine de imkân sağlamaktadır [17].

Türkiye'nin en önemli madenlerinden biri olan borun doğada 230 çeşit minerali olduğu bilinmektedir [18]. Günümüzde bor hemen hemen her alanda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır [19]. Borun katyonik formu bilinmesine rağmen üzerine çok fazla

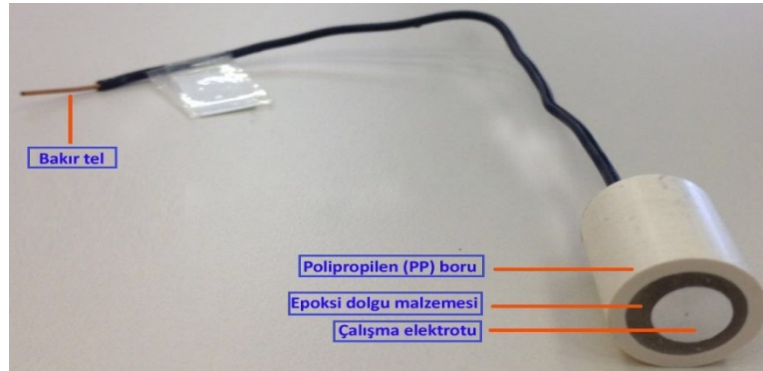
çalışma yapılmamıştır. Bor içeren iyonik bileşiklerin hemen hemen hepsi BF_4^- anyonuna sahip iyonik bileşiklerden oluşmaktadır. Literatüre baktığımızda katyonik kısmında bor içeren çalışmalar sınırlıdır [17, 20-22].

Bu çalışmanın amacı, sanayide en çok kullanılan 0.1 M HCl ortamında [23] bor katyonlu iyonik sıvıların (1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat ve 1-bütül-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat) inhibitör etkinliklerinin EIS ve TP yöntemleri kullanılarak hesaplanması ve sonuçların mukayese edilmesidir. Elektrokimyasal ölçümlerle, metal yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimler arasındaki korelasyon ortaya konulmuş ve bulgular tartışılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılan düşük karbon çeliği (St37), yalnızca silindirin taban alanlarından bir tanesi açıkta kalacak şekilde yalıtkan boru içerisine konularak üzerinde ve etrafında kalın bir polyester tabakanın oluşması sağlanmıştır (Şekil 1) [24]. Kullanılan St37 çeliği Erdemir Çelik Şirketi'nden temin edilmiştir. Korozyon potansiyeli ölçümlerinde referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot ve karşıt elektrot olarak Pt tel kullanılmıştır. Kullanılan St37 numunelerinin toplam kesit alanı 0.785 cm^2 'dir. Çalışma elektrotunun yüzeyi deney öncesinde 600-2000 mesh değerindeki zımpara kâğıtları ile iyice zımparalanarak yüzeyin pürüzsüz olması sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra, numunenin yüzeyi saf suyla yıkanarak, asetonla silinip iyice kurutulmuştur.

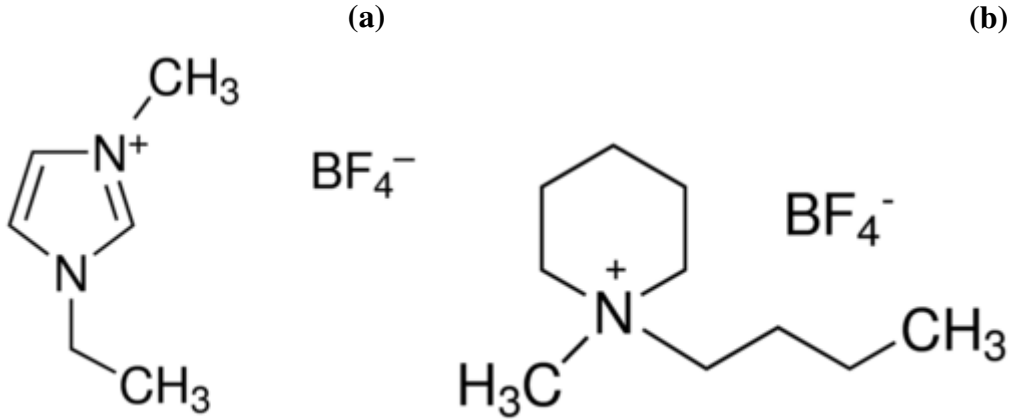


Şekil 1. Deneyde kullanılan elektrotların hazırlanış şekli (The shape of the electrodes used in the experiment)

Elektrokimyasal ölçümler öncesi çözelti 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmış daha sonra belirlenen miktarda inhibitör ilave edilmiş ve çözelti numune ile etkileşime bırakılmıştır. Deneylerde kullanılan St37 metaline ait kimyasal bileşim Tablo 1'de gösterilmiştir. İnhibitör olarak kullanılan iyonik sıvıların kimyasal yapıları Şekil 2'de gösterilmiştir. Kullanılan moleküller Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan metalin kimyasal bileşimi (Chemical composition of the metal used) (wt. %)

Numune	C	Si	Mn	S	Cr	Al	Fe
St37	0.21	0.001	0.42	0.022	0.064	0.017	99.22

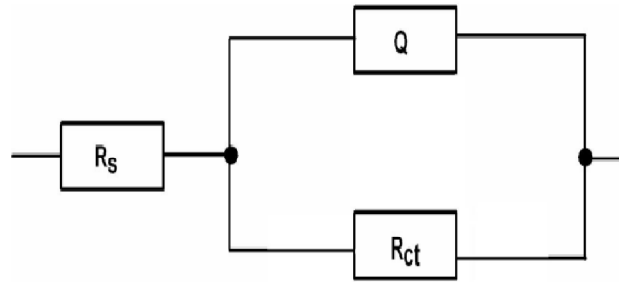


Şekil 2. Kullanılan moleküllerin kimyasal yapıları (a) 1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat (EMITFB), (b) 1-bütül-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat (BMPTFB)
(Chemical structures of the molecules used (a) 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMITFB), (b) 1-butyl-1-methylpiperidinium tetrafluoroborate (BMPTFB))

2.3. Metot (Method)

2.3.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (Electrochemical Impedance Spectroscopy) (EIS)

St37 metalinin korozyon potansiyeli GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde 0.01-100 kHz frekans aralığında yapılmıştır. Empedans analizleri için ZsimpWin 3.21 yazılımı kullanılmış ve elde edilen Nyquist diyagramları $R(QR)$ devre modeli kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 3). Elektrik devresinde R_s çalışma ve referans elektrotlar arasındaki çözelti direncini, Q sabit faz elemanını ve R_{ct} metal yüzeyindeki yük transfer direncini göstermektedir.



Şekil 3. $R(QR)$ devresi ($R(QR)$ circuit)

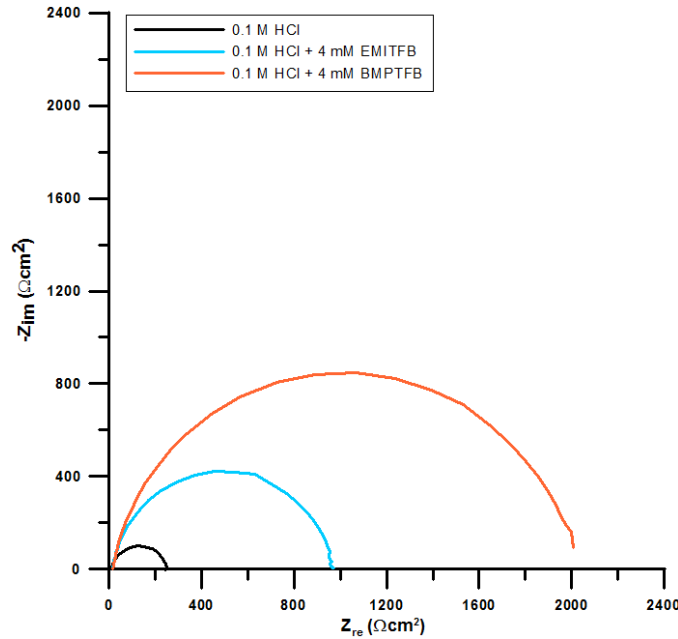
2.3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon (Potentiodynamic Polarization) (TP)

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yönteminden sonra Potansiyodinamik Polarizasyon yöntemi uygulanmıştır. 0.1 M HCl çözeltisi içerisine konulan St37 metali korozyon potansiyeli GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde yapılmıştır. Polarizasyon eğrilerinin elde edilmesinde, çalışma elektrotunun referans elektroda karşı denge potansiyeli 100 saniye boyunca ölçüldükten sonra katodik ve anodik yöne doğru ± 250 mV aralığında 1 mV/s tarama hızı ile yapılmıştır. Elde edilen veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı ile analiz edilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

3.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (Electrochemical Impedance Spectroscopy) (EIS)

Empedans ölçümleri, St37 metalinin inhibitörlü ve inhibitörsüz 0.1 M HCl ortamındaki korozyon mekanizması iki saat süren açık devre potansiyeli ölçümünden sonra yapılmıştır. Elde edilen diyagramlar ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılarak önerilen kare dağılım (x^2 dağılımı) 10^{-4} olacak şekilde [25] en uygun eşdeğer devre ile analiz edilmiştir. Şekil 4'te 0.1 M HCl ortamına ilave edilen EMITFB ve BMPTFB moleküllerine ait Nyquist diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4. 0.1 M HCl ortamında St37 korozyonuna EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin inhibitör etkisinin EIS yöntemiyle elde edilen grafiği (Inhibitor effect of EMITFB and BMPTFB molecules on St37 corrosion in 0.1 M HCl medium by EIS method)

Nyquist diyagramları incelendiğinde ortama ilave edilen BMPTFB molekülüne ait Z_{im} ve Z_{re} değerlerinin EMITFB molekülünün değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu değerlerdeki fark BMPTFB molekülünün 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalini korozyona karşı EMITFB molekülüne kıyasla daha iyi koruduğunu ifade etmektedir. Tablo 2'de elde edilen Nyquist diyagramlarının analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. 0.1 M HCl ortamında St37 korozyonuna EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin inhibitör etkisinin EIS yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları (Analysis results obtained by EIS method of inhibitor effect of EMITFB and BMPTFB molecules on St37 corrosion in 0.1 M HCl medium)

St37	$R_s (\Omega)$	$Q (CPE)$	$n (0 \leq n \leq 1)$	$R_{ct} (\Omega)$	% IE
0.1 M HCl	8.358	214.0	0.82	240.8	-
0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	15.18	96.7	0.90	962.9	74.9
0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	17.12	40.5	0.88	2006	88.1

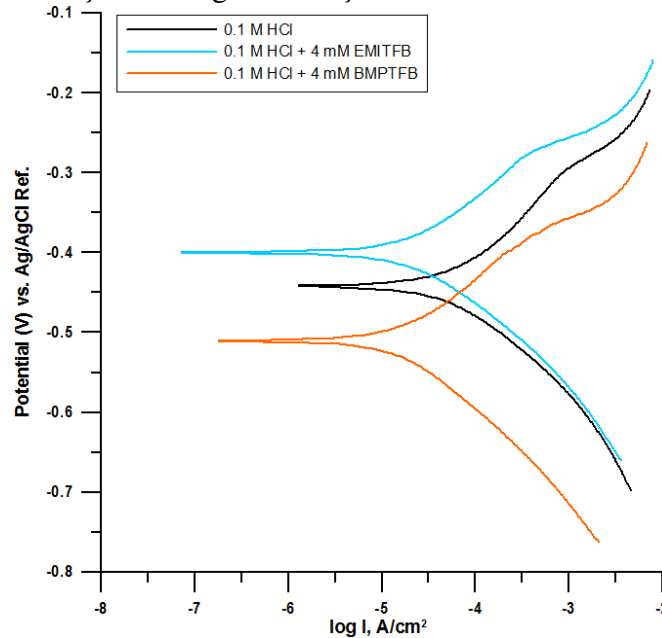
Tablo 2 incelendiğinde 0.1 M HCl ortamında St37 metalinin korozyon direncinin (R_{ct}) EMITFB ilavesiyle 240.8 Ω 'dan 962.9 Ω 'a, BMPTFB ilavesi ile 2006 Ω 'a yükseldiği görülmektedir. Eşitlik 1 yardımıyla EIS yöntemi için yüzde inhibitör etkinliği (% IE) hesaplanmıştır.

$$\%IE = \left(1 - \frac{R_{ct}^0}{R_{ct}}\right) \times 100 \quad [1]$$

Eşitlikte R_{ct} inhibitörsüz ortamda, $R_{ct(inh)}$ ise inhibitörlü ortamda elde edilen yük transfer dirençlerini ifade etmektedir. EIS yöntemi sonrası EMITFB molekülüne ait % IE değeri %74.9 iken, BMPTFB molekülüne ait değer % 88.1 olduğu görülmektedir. İnhibisyon yüzdesinin yüksek olması BMPTFB molekülünün korozyon direncinin daha iyi olduğunu göstermektedir.

3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon (Potentiodynamic Polarization) (TP)

İnhibitörsüz ve inhibitörlü 0.1 M HCl ortamında St37 metali için TP deneyleri sonunda elde edilen diyagramlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 0.1 M HCl ortamında St37 korozyonuna EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin inhibitör etkisinin TP yöntemiyle elde edilen grafiği (Inhibitor effect of EMITFB and BMPTFB molecules on St37 corrosion in 0.1 M HCl medium by TP method)

Şekil 5 incelendiğinde inhibitörsüz ortama kıyasla EMITFB ilavesi ile E_{corr} değerinin daha pozitif yöne BMPTFB ilavesi ile daha negatif yöne kaydığı görülmektedir. EMITFB ilavesi ile anodik ve katodik akımlarda farklılık gözlenmezken BMPTFB ilavesi ile her iki akımda da değişiklikler gözlenmiştir. BMPTFB molekülünün anodik akım üzerinde daha etkin rol aldığı şekilden anlaşılmaktadır. Tablo 3'te TP diyagramlarının analizleri verilmiştir.

Tablo 3. 0.1 M HCl ortamında St37 korozyonuna EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin inhibitör etkisinin TP yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları (Analysis results obtained by TP method of inhibitor effect of EMITFB and BMPTFB molecules on St37 corrosion in 0.1 M HCl medium)

St37	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	E_{corr} (mV/Ag/AgCl)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	IE %
0.1 M HCl	119.6	114.4	-442	63.8	-
0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	84.9	78.6	-400	17	73
0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	118	101	-510	5.7	86

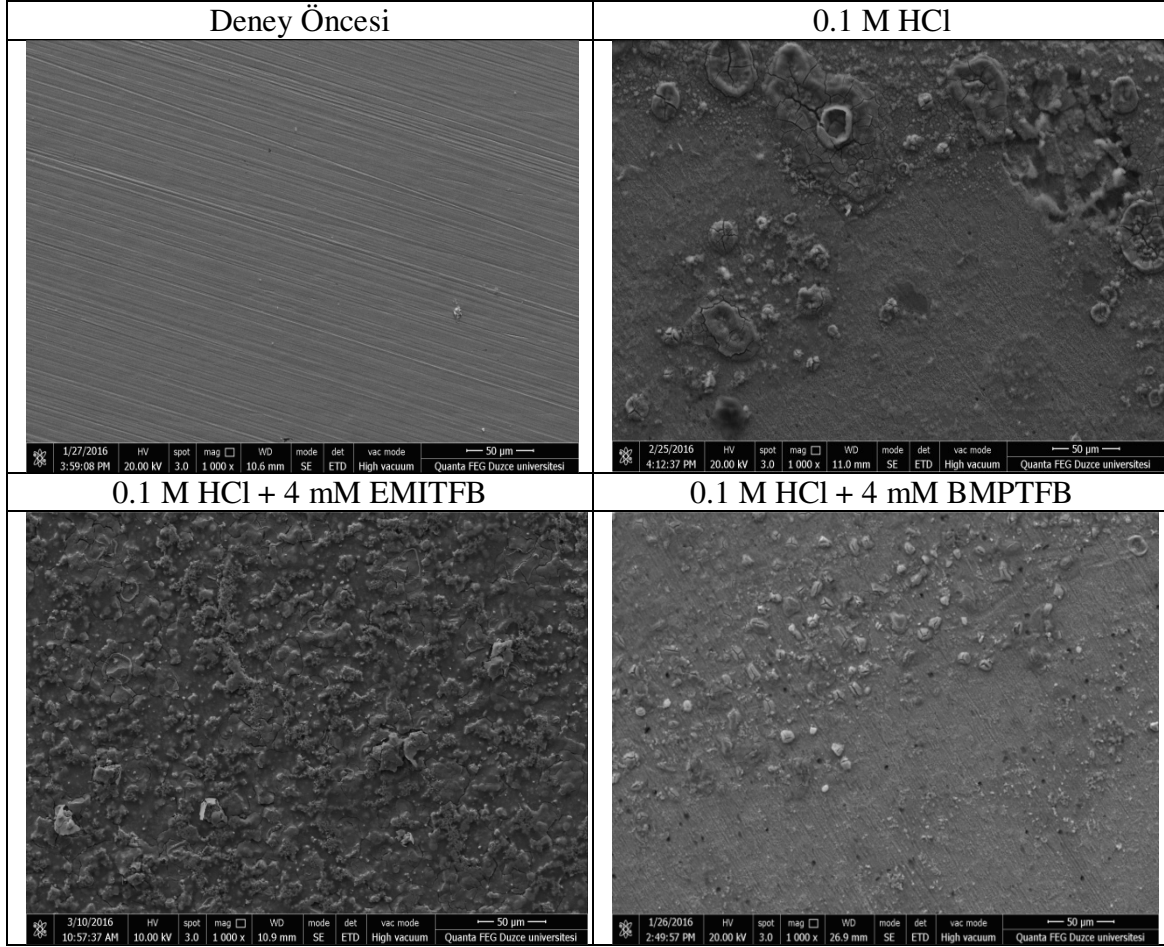
Sonuçlar incelendiğinde ortama 4 mM EMITFB ve BMPTFB molekülleri ilave edildiğinde I_{corr} değerlerinin azaldığı görülmektedir. BMPTFB molekülüne ait I_{corr} değerinin daha düşük olması bu molekülün metali korozyona karşı daha iyi koruduğunu ifade etmektedir. İnhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda ölçülen E_{corr} değerleri arasındaki farklar +85 mV ile -85 mV arasında olması her iki molekülün karma tip inhibitör özelliği taşıdığını ifade etmektedir. Eşitlik 2 yardımıyla TP yöntemi için yüzde inhibitör etkinliği (% IE) hesaplanmıştır.

$$\%IE = \left(\frac{I_{corr} - I_{corr(inh)}}{I_{corr}} \right) \times 100 \quad [2]$$

Eşitlikte: I_{corr} inhibitörsüz, $I_{corr(inh)}$ inhibitörlü ortamdaki korozyon akım yoğunluğunu ifade etmektedir. TP yöntemi sonrası EMITFB molekülüne ait % IE değeri %73, BMPTFB molekülüne ait değer ise % 86 olarak hesaplanmıştır. BMPTFB molekülüne ait inhibisyon yüzdesinin EMITFB'ye oranla daha yüksek olması BMPTFB molekülünün 0.1 M HCl ortamında St37 metalinin korozyonunu daha fazla engellediğini göstermektedir.

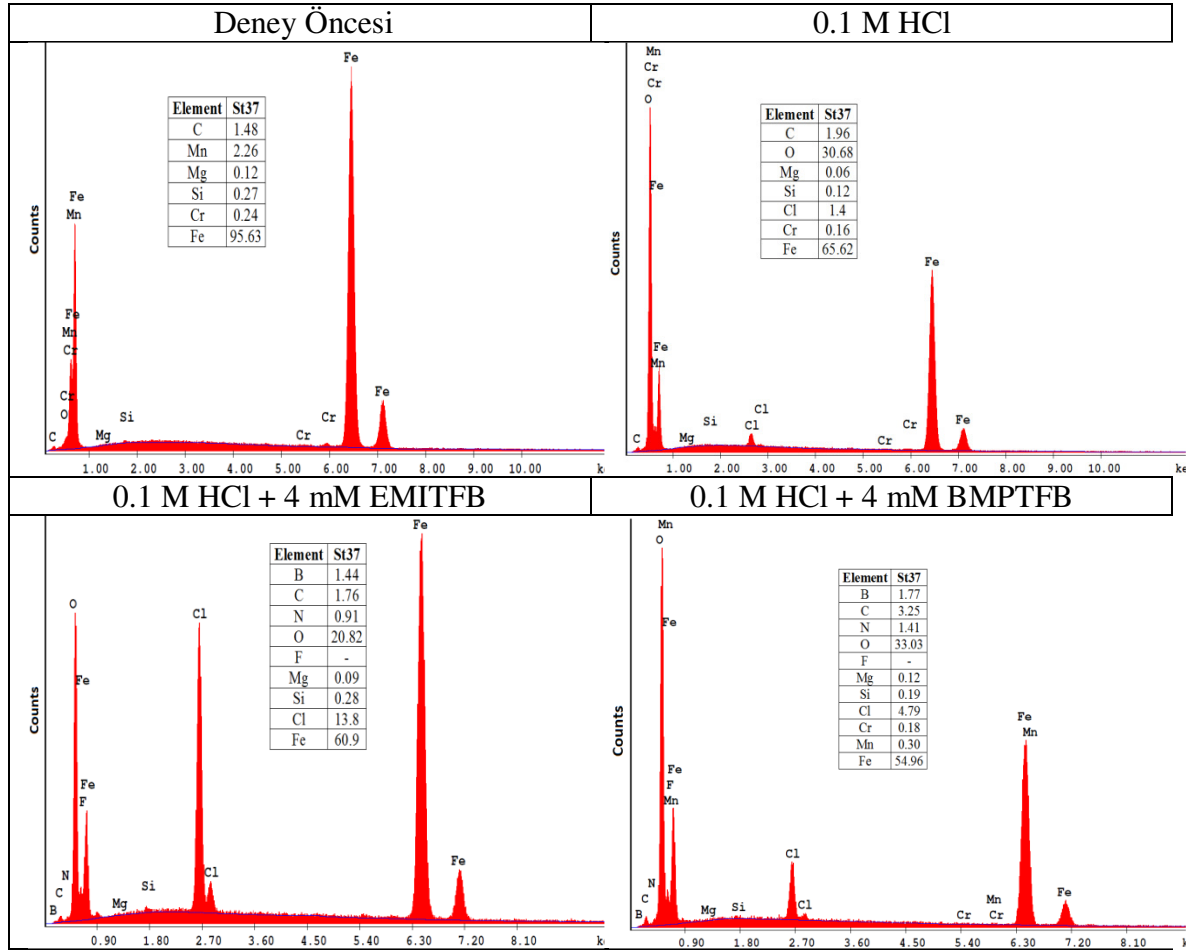
3.3. Yüzey Analizi (Surface Analysis)

TP yöntemi sonrası metal yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimler SEM görüntüleri ve EDS analizi ile incelenmiştir. Şekil 6'da deney öncesi, 0.1 M HCl ortamında, 0.1 M HCl asit ortamına 4 mM EMITFB ve BMPTFB ilavesi ile metal yüzeyinde oluşan değişimler gösterilmiştir.



Şekil 6. St37 metalinin deney öncesi; 0.1 M HCl ortamında; 4 mM EMITFB ve BMPTFB ilavesi ile hazırlanan ortamlardaki korozyon mekanizmasını gösteren SEM görüntüleri (SEM images showing corrosion mechanism of St37 metal before experiment; 0.1 M HCl; in media prepared by addition of 4 mM EMITFB and BMPTFB)

Şekil 6’da görüleceği üzere deney öncesi metal yüzeyinde sadece parlatma cihazından kaynaklı izler görülmektedir. St37 metali 0.1 M HCl ortamına maruz bırakıldığında metal yüzeyinin HCl etkisiyle bozulduğu görülmektedir. Çalışılan ortama inhibitörler ilave edildiğinde metal yüzeyinde film oluştuğu ve oluşan filmin metali korozyona karşı koruduğu gözlenmektedir. Şekil 7’de EDS analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 7. St37 metalinin deney öncesi; 0.1 M HCl ortamında; 4 mM EMITFB ve BMPTFB ilavesi ile hazırlanan ortamlardaki korozyon mekanizmasını gösteren EDS analizi sonuçları (EDS analysis results of corrosion mechanism of St37 metal before experiment; 0.1 M HCl; in media prepared by addition of 4 mM EMITFB and BMPTFB)

Şekil 7’de belirtilen EDS analizinde Fe miktarı %95.63 olarak belirlenmiştir. Korozif ortamdaki EDS analizine göre metaldeki Fe miktarının %95.63’ten %65.2’ye azaldığı, yüzeyde %30.68 oranında O olduğu yani metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluştuğu görülmüştür. EDS analizinde inhibitörlerin ilavesiyle Fe ve O oranlarında azalmalar, EMITFB ve BMPTFB molekülünün yapısında bulunan elementlere ait pikler görülmüştür. Elde edilen sonuçlar EMITFB ve BMPTFB’nin metal yüzeyine adsorbe olarak metali korozyona karşı koruyan bir tabakanın oluştuğunu kanıtlamaktadır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Potansiyodinamik Polarizasyon (TP) yöntemleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular ayrıntılı olarak ele alınmış ve aşağıda maddeler halinde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre;

- EIS ve TP yöntemleriyle elde edilen elektrokimyasal veriler birbirini destekler nitelikte olduğu ve çalışılan her iki bor katyonlu iyonik sıvının, St37 çeliğini 0.1 M HCl ortamında korozyon inhibitörü olarak kullanılabilceğini göstermiştir.
- EIS yöntemiyle hesaplanan elektriksel parametrelerin (R_{ct} , n , Q) birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. İnhibitör ilavesiyle R_{ct} ve n değeri artarken, Q değeri azalmıştır.
- TP yöntemi sonucunda EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin karma tip inhibitör olarak davrandığı tespit edilmiştir.
- Kullanılan her iki iyonik sıvı için elde edilen inhibisyon yüzdelerinin birbirine yakın olduğu ancak BMPTFB için elde edilen değerlerin EMITFB'ye oranla daha yüksek olduğu dolayısıyla BMPTFB ilavesiyle metalin daha az korozyona uğradığı gözlenmiştir.
- SEM ve EDS analizleri EMITFB ve BMPTFB moleküllerinin bileşiminde bulunan elementlerinin metal yüzeyine adsorblanarak metali korozyona karşı koruduğunu göstermiştir.
- Bu araştırma iyonik sıvıların 0.1 M HCl ortamında St37 metali için inhibitör olarak kullanılabilceğini göstermiştir. İnhibitör miktarı artırılarak daha yüksek $%IE$ değeri elde edilebilir. Ayrıca daha farklı metal ve ortamlar (özellikle asidik ortam) için de iyonik sıvıların korozyon inhibitör potansiyeli araştırılmalıdır.
- Bu çalışma ile suda kolay çözünen ve ülkemizde bol miktarda bulunan bor elementinin katma değeri yüksek alternatif bir alanda kullanılmasının önü açılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT): Bu çalışma; 1003 - Öncelikli Alanlar Ar-Ge projeleri destekleme programı çerçevesinde TÜBİTAK (Proje No: 114M933) 1003 projesi ve Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No: 2016.06.05.492) tarafından desteklenmiştir. Değerli katkılarından dolayı Dr. Moses Monday Solomon, Dr. Haydar Göksu, Mine Kurtay, Ertuğrul Kaya ve Gülden Sungur'a teşekkür ediyoruz.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gerengi, H., and Sahin, H. I., (2012). *Schinopsis lorentzii* Extract As a Green Corrosion Inhibitor for Low Carbon Steel in 1 M HCl Solution, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51, 780–787.

- [2] Kurtay, M., (2014). *İnşaat Sektöründe Kullanılan Alüminyum Alaşımlarında Asit Yağmurlarının Etkisiyle Oluşan Korozyonun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Kshama Shetty, S., and Nityananda Shetty, A., (2017). Eco-friendly Benzimidazolium Based Ionic Liquid as a Corrosion Inhibitor for Aluminum Alloy Composite in Acidic Media, *Journal of Molecular Liquids*, 225, 426–438.
- [4] Gerengi, H., and Bereket, G. (2011). Adsorption and Inhibition Effect of Benzotriazole on Brass-118 and Brass-MM55 in Seawater. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 48, 361-366.
- [5] Yanardağ T., (2004). Çinko Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Gerengi, H., Uygur, I., Solomon, M., Yildiz, M., and Goksu, H., (2016). Evaluation of The Inhibitive Effect of Diospyros Kaki (Persimmon) Leaves Extract on St37 Steel Corrosion in Acid Medium, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 4, 57–66.
- [7] Sanyal, B., (1981). Organic compounds as corrosion inhibitors in Different Environments -A review, *Progress in Organic Coatings*, 9, 165-236.
- [8] Gerengi, H., (2009). Investigation of The Effect of Benzotriazole on Corrosion Behaviour of Brass-118 and Brass-MM55 Alloys in Artificial Seawater by Harmonic Analysis, *Journal of Technical-Online*, 8,178-196.
- [9] Gerengi, H. (2012). Anticorrosive Properties of Date Palm (Phoenix dactylifera L.) Fruit Juice on 7075 Type Aluminum Alloy in 3.5% NaCl Solution. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51, 12835-12843.
- [10] Gerengi, H., Bilgic, H., and Sahin, H.I., (2011). Corrosion Effect of Ecologic Inhibitors Such As Nut Shell, Pomegranate and Savoy Cabbage on Zinc Plate in 5 % NaCl Environment, *Duzce University Journal of Forestry*, 6, 10-23.
- [11] Verma, C., Ebenso, E. E., and Quraishi, M. A., (2017). Ionic Liquids as Green and Sustainable Corrosion Inhibitors for Metals and Alloys: An Overview, *Journal of Molecular Liquids*, 233, 403–414.
- [12] Gerengi, H., Goksu, H., and Slepski, P., (2014). The Inhibition Effect of Mad Honey on Corrosion of 2007 Type Aluminum Alloy in 3.5% NaCl Solution, *Materials Research*, 17, 255-264.
- [13] El-Etre, A.Y., (1998). Natural Honey As Corrosion Inhibitor for Metals and Alloys. I. Copper in Neutral Aqueous Solution, *Corrosion Science*, 40, 1845–1850.
- [14] Rosliza, R., Wan Nik, W. B., Izman, S., and Prawoto, Y., (2010). Anti-Corrosive Properties of Natural Honey on Al–Mg–Si Alloy in Seawater, *Current Applied Physics*, 10, 923-929.
- [15] Radojcic, I., Berkovic, K., Kovac, S., and Vorkapic-Furac, J., (2008). Natural Honey and Black Radish Juice as Tin Corrosion Inhibitors, *Corrosion Science*, 50, 1498-1504.
- [16] Xie F., Sun, L., and Pan, J., (2012). Characteristics and Mechanisms of Accelerating Pack Boriding by Direct Current Field at Low and Moderate Temperatures, *Surface & Coatings Technology*, 206, 2839–2844.
- [17] Gerengi, H., Ugras, H. I., Solomon, M. M., Umoren, S. A., Kurtay, M., and Atar, N., (2016). Synergistic corrosion inhibition effect of 1-ethyl-1-methylpyrrolidinium tetrafluoroborate and iodide ions for low carbon steel in HCl solution, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30, 2383-2403.

- [18] Yavuz, H., and Denizli, A., (2007). Bor ve Bor Bileşikleri, *Kimya ve Sanayi Dergisi*, Ocak 2007, 32-35.
- [19] Yılmaz, A., (2002). Her Derde Deva Hazinemiz Bor. *Bilim ve Teknik (Tübitak)*, 35, 38-48.
- [20] Sungur, G., (2016). *Yeni Katyonik Bor İçeren İyonik Sivilarin Sentezi*, Yüksek lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Gerengi, H. and Uğraş, H. I., (2016). Patent Studies on Using Cationic Boron Doped Ionic Liquids as Corrosion Inhibitor, *14th International Corrosion Symposium*, Bayburt University, Bayburt, Oral presentation/ CD, 166-177.
- [22] Uğraş, H. I., Gerengi, H., Kaya, E., Göksu, H. and Sungur, G., (2016). Examining the Effect of Bis(1-Methyl-1h-Imidazole-3-Il) Dihydroboronium 2-Amino-3-Phenylpropanoate (BMIDAFP) on Corrosion Mechanism of Brass-MM55 Alloy in 3.5% NaCl Media, *14th International Corrosion Symposium*, Bayburt University, Bayburt, Oral presentation/ CD, 406-416.
- [23] Gerengi, H., Kocak, Y., Jażdżewska, A., Kurtay, M., and Durgun, H., (2013). Electrochemical Investigations on The Corrosion Behavior of Reinforcing Steels in Diatomite and Zeolite-Containing Concrete Exposed to Sulphuric Acid, *Construction & Building Materials*, 49, 471-477.
- [24] Gerengi, H., Darowicki, K., Bereket, G., and Slepski, P., (2009). Evaluation of Corrosion İnhibition of Brass-118 Alloy in artificial seawater by Benzotriazole Using Dynamic EIS, *Corrosion Science*, 51, 2573-2579.
- [25] Gerengi, H., Bereket, G., and Kurtay, M., (2016). A Morphological and Electrochemical Comparison of the corrosion process of Aluminum Alloys Under Simulated Acid Rain Conditions, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 509-516.