

1-Benzil-3-Metilimidazolyum Hekzaflorofosfat'ın Asidik Ortamda C1010 Çeliğin Korozyonuna Etkisi

Gökmen SİĞİRCİK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada, C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisindeki korozyonuna 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat'ın inhibisyon etkinliği çalışılmıştır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, anodik ve katodik akım yoğunluklarının inhibitör derişiminin artması ile azaldığını göstermiştir. EIS ölçümlerinden ise artan sıcaklıklarda dahi inhibisyon etkinliklerinin halen yüksek olduğu belirlenmiştir. İnhibitörün metal üzerindeki adsorpsiyon davranışı, Langmiur adsorpsiyon izotermine uymaktadır. Elde edilen tüm sonuçlar, kullanılan inhibitörün C1010 çeliğin asidik ortamdaki korozyonu üzerine %83,5 inhibisyon etkinliğine sahip olduğu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, C1010 çeliği, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat

The Influence of 1-Benzyl-3-Methylimidazolium Hexafluorophosphate on Corrosion of C1010 Steel in Acidic Medium

Abstract

In present study, inhibition efficiency of 1-benzyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate was examined in 1 M HCl solution on corrosion of C1010 steel. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization methods were realized. Potentiodynamic polarization results revealed that anodic and cathodic current densities were reduced with increase of inhibitor concentration. It was also determined from EIS measurements inhibition efficiencies were still high even increased temperatures. Adsorption behavior of inhibitor on steel obeyed Langmuir adsorption isotherm. The obtained all results demonstrated that used inhibitor had 83.5% inhibition efficiency on corrosion of C1010 steel in acidic medium.

Keywords: Corrosion, C1010 Steel, 1-Benzyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gökmen SİĞİRCİK, gsigircik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çelik alaşımları sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstri ve inşaat sektöründe büyük öneme sahiptirler. C1010 yapı ve makine parçalarında kullanılan önemli bir çelik alaşımıdır. Bu tür metalik malzemeler, endüstriyel uygulamalar öncesinde, yüzey temizleme işlemi sırasında asidik çözeltilere maruz kalmaktadırlar [1-3]. Bu durum, metalik yapıların korozyona uğramasına ve bunun sonucunda işlevselliğini yitirmesine neden olmaktadır. Yüzey temizleme işlemleri sırasında asit kullanımı kaçınılmaz olduğundan, korozyon inhibitörü kullanılması gereklidir. İnhibitörler, metal yüzeyine etkili bir biçimde adsorplanması sonucunda, metalin ortamda bulunan korozif türler ile etkileşimini azaltırlar. Korozyon inhibitörü olarak seçilen maddelerin molekül yapısı ve boyutu gösterecekleri inhibisyon etkinliği için büyük öneme sahiptir. Sergiledikleri güçlü adsorpsiyon davranışı nedeniyle yapısında kükürt, oksijen, azot gibi atomları, aromatik halka, ikili ve üçlü bağları içeren organik yapılar yüksek inhibisyon özelliği göstermektedirler [4-6]. İnhibitörlerin, metal yüzeyinde fiziksel ve/veya kimyasal adsorpsiyonu sonucunda koruyucu bir adsorpsiyon tabakası meydana gelir ve böylece korozif ortam ile etkileşimleri azalır.

Bu çalışmada, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat bileşiğinin, korozyon inhibitörü olarak 1 M HCl çözeltisindeki etkinliği araştırılmıştır. Yapısında, hem katyonik hem de anyonik gruplar içeren bu bileşik elektronca zengin N atomu, imidazolyum halkası, aromatik benzil grubu ve hidrofobik hekzaflorofosfat anyonu itibarıyla korozyona karşı potansiyel bir inhibitördür. Adsorpsiyonu sağlayacak fonksiyonel grupların yanı sıra, yüzeyde adsorplandıktan sonra hidrofobik bir üst yüzey davranışı sergilemesi de beklenmektedir. İnhibisyon etkinliği potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri yardımıyla çalışılmıştır. Elektrokimyasal ölçüm sonuçlarından, C1010 çeliğın asidik ortamdaki korozyonu için 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat yapısının, inhibitör etkisine sahip olduğu belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İmidazolyum ve türevi yapılar metallerin korozyon olayına karşı korunmasında yaygın olarak çalışılmaktadırlar [7-10]. Yapıda bulunan iki tane N atomu, molekülün metal yüzeyine adsorpsiyonu için büyük önem taşımaktadır. Guo ve arkadaşları [7], yumuşak çeliğın 1 M HCl içindeki korozyonuna hidrofobik anyona sahip 1-hidroksietil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) ve 1-hidroksietil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{NTF}_2$) yapılarının inhibisyon etkisini çalışmışlardır. Elektrokimyasal ölçüm ve taramalı elektron mikroskobu sonuçları ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) yapısının daha yüksek inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) ve ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{NTF}_2$) yapılarının inhibisyon etkinlikleri sırasıyla %75,13 ve %61,73 olarak belirlenmiştir. Termodinamik parametrelerden her iki inhibitörün de metal yüzeyine adsorpsiyonunun fiziksel olduğunu söylemişlerdir.

Murulona ve arkadaşları [8], 1-propil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, 1-bütül-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, 1-hekzil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, ve 1-propil-2,3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid olmak üzere dört farklı iyonik sıvının, 1 M HCl içinde yumuşak çeliğın korozyonuna inhibisyon etkisini çalışmışlardır. Elektrokimyasal olan ve elektrokimyasal olmayan teknikler kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, kullanılan inhibitörlerin tamamının karma tip inhibitör olduğunu göstermiştir. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi sonuçlarından, yukarıda verilen isim sırasına göre 500 ppm inhibitör varlığında inhibisyon etkinlikleri %69,9, %72,2, %78,0, %89,9 olarak belirlenmiştir. İnhibitörlerin adsorpsiyonunun metal yüzeyine, Langmuir adsorpsiyon izotermine göre olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, imidazolyum katyonundaki alkil zincirinin veya dallanmanın artmasıyla inhibisyon etkinliğinin arttığını söylemişlerdir.

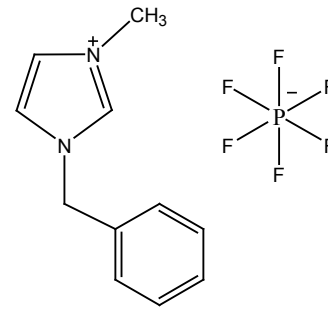
Ashassi-Sorkhabi ve arkadaşları [9] 1-bütül-3-metilimidazolyum bromid [BMIM]Br yapısının, yumuşak çeliğin 1 M HCl ortamındaki korozyonuna inhibisyon davranışını çalışmışlardır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden 10 mM [BMIM]Br varlığında inhibisyon etkinliği %80 olarak belirlenmiştir. Aynı derişimde potansiyodinamik polarizasyon sonuçlarından ise bu değer %82 olarak hesaplanmış ve inhibitörün karma tip inhibitör olduğu görülmüştür. Artan inhibitör derişimi ile birlikte inhibisyon etkinliği artmıştır. Yumuşak çelik üzerindeki inhibitörün adsorpsiyonu Langmuir izotermine uyduğu söylenmiştir.

Kowsari ve arkadaşları [10] 1-metil-3-(2-{2-(1-metil-1-H-imidazol-3-yum-3-il)etoksi}etoksi)-etil-1H-imidazol-3-yum diklorid (TSIL) yapısının çelik üzerine 1 M HCl çözeltisindeki inhibisyon etkinliğini çalışmışlardır. İnhibisyon etkinliğini, elektrokimyasal ve elektrokimyasal olmayan yöntemler kullanarak araştırmışlardır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden, TSIL içeren çözeltide en yüksek inhibisyon etkinliği %78,9 olarak hesaplanmıştır. İnhibitörün çelik yüzeyine adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, inhibitörün çeliğin korozyonuna karşı asidik ortamda iyi bir inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu söylemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

C1010 çeliği çalışma elektrotu olarak kullanılmıştır. Çeliğin kimyasal bileşimi (%); C (0,07-0,13), Mn (0,30-0,60), Si (0,40), S (0,045), P (0,045) ve geriye kalan kısmı Fe' dir. Çalışma elektrotlarının yüzeyi farklı kalınlıklardaki zımpara kağıtları (100-600 ve 1200 grid) ile parlatılmıştır. İnhibitör olarak 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat (BMIH) kullanılmıştır. Şekil 1'de inhibitörün açık yapısı verilmiştir. Değişik derişimlerde (0,5, 1, 5 ve 10 mM) olan inhibitör çözeltileri hazırlanmıştır. 1 M HCl çözeltisi, %37'lik HCl çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Elektrokimyasal ölçümler üç elektrot tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada, C1010 çalışma elektrotu, platin ve Ag/AgCl ise sırasıyla karşı ve referans elektrotlardır. C1010 çeliğin,

inhibitör içermeyen ve içeren ortamdaki korozyon davranışı, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri ile incelenmiştir. EIS tekniği açık devre potansiyelinde olmak üzere, frekans aralığı 10^5 Hz - 10^{-2} Hz ve uygulanan genlik 5 mV olacak şekilde yapılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon çalışmaları, ayrı ayrı yeni zımparalanmış elektrotta ve taze çözeltide açık devre potansiyelinden -1,0 V katodik tarafa ve açık devre potansiyelinden 0,0 V anodik yöne tarama hızı $1,0 \text{ mV s}^{-1}$ olacak biçimde yapılmıştır. Ayrıca, 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren ortamda 1 gün bekletilen C1010 örneklerin yüzeyleri, sıvı temas açısı ölçüm cihazı (KSV Attension ThetaLite TL 101) kullanılarak analiz edilmiştir.



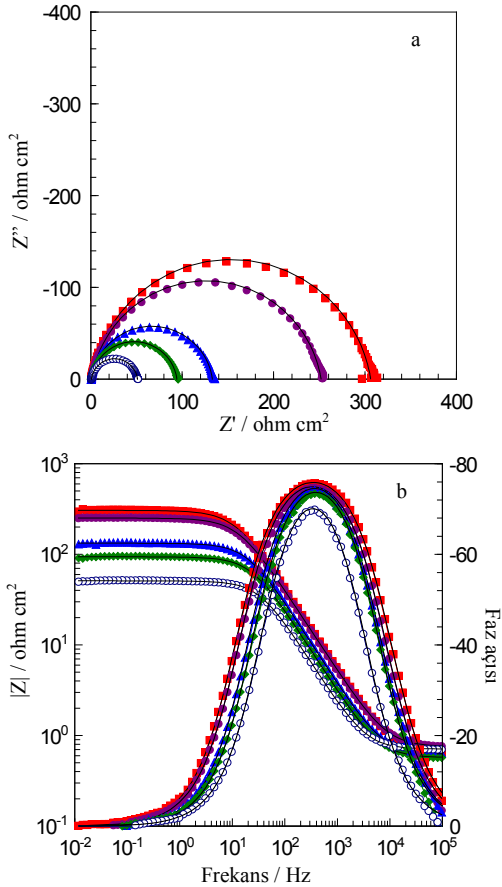
Şekil 1. 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi

Metalik malzemelerin korozif ortamda nasıl bir davranış sergileyeceğini belirlemek için yapılan EIS çalışmaları Şekil 2'de verilmiştir. Her iki farklı koşul için tek bir kapasitif bölge olduğu Nyquist eğrilerinden açıkça görülmektedir. Meydana gelen tek kapasitif bölge, C1010 çeliğin asidik ortamdaki korozyonunun yük transferi kontrolünde gerçekleşmesinin bir sonucudur [11]. EIS tekniği, polarizasyon direncinin (R_p) belirlenmesinde kullanılan güvenilir yöntemlerden biridir. Nyquist eğrisinden belirlenen polarizasyon direnci, hem metal/çözelti ara yüzeyindeki yük transferine hem de difüz tabakaya karşılık gelen dirençlerin toplamıdır. Şekil 2'de görülmekte olduğu gibi inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamda Nyquist eğrilerinin görünümü benzer olmakla

birlikte inhibitör içeren ortamda R_p değerleri önemli oranda artmıştır. Bu durum, inhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonu sonucunda, açık yüzeylerin korozif ortam ile etkileşiminin azalması ile ilişkilidir [12].



Şekil 2. C1010 elektrotun 1 M HCl çözeltisinde (○) ve farklı derişimlerde BMIH içeren ortamlarda 0,5 mM (◆), 1 mM (▲), 5 mM (●) ve 10 mM (■) elde edilen Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri, fit sonucu (—)

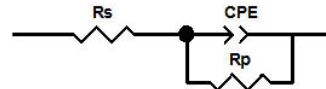
Bununla birlikte, artan inhibitör derişimi ile birlikte yüzeye adsorplanan inhibitör sayısının artmasına bağlı olarak korozyon hızı giderek azalmıştır. Bode eğrilerinden tek bir kapasitif bölge meydana geldiği de Şekil 2'den açıkça görülmektedir. Faz açısı değerleri, en yüksek derişimdeki inhibitör çözeltisinden inhibitörsüz ortama doğru sırasıyla 75,7°, 74,7°, 74,2°, 73,4° ve

69,9° olarak belirlenmiştir. Artan inhibitör derişimi ile birlikte faz açıları da artmıştır. Faz açılarında meydana gelen bu artış, inhibitörün elektrot yüzeyine adsorpsiyonu sonucu ara yüzeyin kapasitör davranışı üzerinde yol açtığı değişiklik ile ilişkilidir.

Şekil 3'de metal/çözelti ara yüzeyinin fit edilmesi ve modellenmesi için kullanılan elektriksel eşdeğer devre modelidir. Bu devre modelinde, sırasıyla R_s ve R_p çözelti ve polarizasyon dirençlerini ifade etmektedir. Burada verilen CPE de sabit faz elemanı olarak adlandırılmaktadır. Gerçek bir korozyon olayında, metal/çözelti ara yüzeyi tam olarak ideal bir kapasitör özelliği göstermediğinden, modelde kapasitans (C) yerine CPE kullanılmıştır. CPE impedansı aşağıda verilen eşitlik ile tanımlanmaktadır [13] (Eşitlik 1).

$$Z_{CPE}=[Y_o(jw)^n]^{-1} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, Y_o orantı katsayısı, w açısal frekans, $j^2=-1$ sanal sayı ve yüzey heterojenliğinin derecesi olan n ise faz kayması olarak tanımlanmaktadır. CPE ile birlikte metal/çözelti ara yüzeyine karşılık gelen kapasitans (C_{dl}) değerleri de hesaplanmış [14] ve Çizelge 1'de özetlenmiştir.



Şekil 3. Metal/çözelti ara yüzeyinin fit edilmesi ve modellenmesindeki elektriksel eşdeğer devre

Yüzde inhibisyon etkinlik (% İE) değerleri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada, sırasıyla R_p' ve R_p inhibitör içeren ve içermeyen çözeltilerde Nyquist eğrilerinden belirlenen polarizasyon dirençleridir (Eşitlik 2).

$$\%İE=\left(\frac{R_p-R_p'}{R_p}\right) \times 100 \quad (2)$$

Çizelge 1'den görüldüğü gibi inhibitörsüz ortamda polarizasyon direncinin $50,4 \Omega \text{ cm}^2$ olduğu görülmektedir. R_p değerleri, inhibitör derişimi ile artmaktadır. İnhibitör, metal yüzeyine adsorplanarak yüzeyde koruyucu bir adsorpsiyon

tabakası meydana getirmiştir. 10 mM BMIH içeren ortamda R_p ise $305,5 \Omega \text{ cm}^2$ olarak belirlenmiştir. İnhibitörün yüzeye adsorplanmasına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın değişmesi sonucunda, C_{dl} değerleri azalmıştır. İnhibitör derişiminin artması ile metal/çözeltili ara yüzeyinde adsorplanan inhibitör, korozif ortamla metalin doğrudan etkileşen yüzey alanını azaltmaktadır. Elektriksel

çift tabakada meydana gelen bu değişiklik ara yüzeyde heterojenliğe yol açtığından n değerleri de değişmektedir. Çizelge 1' de deneysel sonuç ile kullanılan eşdeğer devre arasındaki ilişkiye ait ki-kare değerleri verilmiştir. EIS tekniğiyle, 1 M HCl çözeltisinde inhibitörlü ortamda C1010 çeliğin korozyon hızının azaldığı sonucuna varılmıştır.

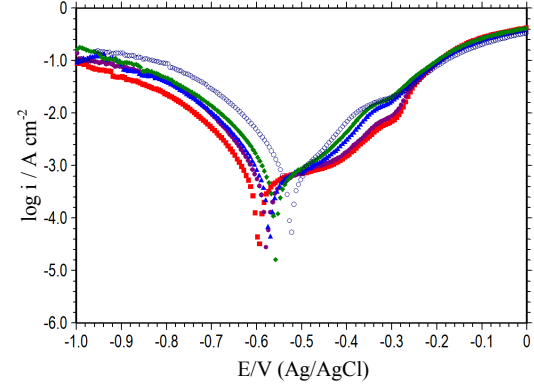
Çizelge 1. C1010 çeliğin inhibitör içermeyen ve içeren 1 M HCl çözeltisinde EIS ölçümlerinden bulunan parametreler

C_{inh} (mM)	R_p ($\Omega \text{ cm}^2$)	CPE Y_o ($\times 10^6 \text{ s}^n \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	n	ki-kare değeri	C_{dl} ($\times 10^6 \text{ s} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	% İE
0	50,4	139,2	0,93	$2,9 \times 10^{-3}$	95,0	-
0,5	93,6	108,9	0,92	$3,4 \times 10^{-3}$	72,5	46,2
1	132,4	91,1	0,91	$2,1 \times 10^{-3}$	58,7	61,9
5	251,1	73,6	0,90	$0,97 \times 10^{-3}$	46,9	79,9
10	305,5	69,6	0,90	$0,98 \times 10^{-3}$	45,2	83,5

4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Tekniği

C1010 çeliğin inhibitör içermeyen ve içeren asidik çözeltide alınan potansiyodinamik polarizasyon sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. C1010 çeliğin inhibitörsüz durumda akım değerlerinin, inhibitörlü ortama kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. Anodik tarama sırasında, yüksek BMIH derişimlerinde belli bir potansiyel aralığında akım değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. İnhibitör derişiminin artması ile birlikte katodik ve anodik akım yoğunluklarının düştüğü de Şekil 4'ten görülmektedir. Tafel bölgeleri doğrusal olmadığından, katodik bölgede $-0,650 \text{ V}$ potansiyeli seçilmiş olup, akım yoğunlukları karşılaştırılmıştır. İnhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren çözeltide sırasıyla $13,5 \text{ mA cm}^{-2}$ ve $1,67 \text{ mA cm}^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Anodik bölgede seçilen $-0,380 \text{ V}$ potansiyelde ise inhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren çözeltide akım yoğunlukları sırasıyla $9,88 \text{ mA cm}^{-2}$ ve $2,12 \text{ mA cm}^{-2}$ 'dir. Bu verilerden, inhibitör adsorpsiyon tabakasının hem katodik hem de anodik reaksiyonları yavaşlattığı görülmüştür [15]. Diğer yandan, anodik tarama sırasında yaklaşık $-0,36 \text{ V}$ değerinden itibaren metal yüzeyinde artan desorpsiyon ve daha yüksek derişimli klorür iyonlarının yarışmalı

adsorpsiyonda avantajlı duruma geçmesine bağlı olarak akım değerleri artmıştır.



Şekil 4. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde (○) ve farklı derişimlerde BMIH içeren ortamlarda 0,5 mM (◇), 1 mM (▲), 5 mM (●) ve 10 mM (■) elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

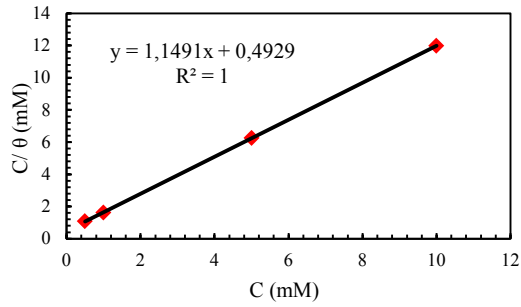
4.3. Adsorpsiyon İzotermi ve Termodinamik Parametreler

Metal yüzeyi ile inhibitör arasında meydana gelen etkileşimin ve adsorpsiyon türünün belirlenmesinde adsorpsiyon izotermi oldukça önemlidir. C1010

çelik yüzeyine inhibitörün adsorpsiyonunun belirlenmesi için adsorpsiyon izotermi uygulanmış ve Langmuir adsorpsiyon izotermi daha uygun olduğu belirlenmiştir. Langmuir izotermi aşağıda verilen Eşitlik 3 ile tanımlanmaktadır [16].

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (3)$$

Bu eşitlikte, inhibitör derişimi C_{inh} , yüzey kaplanma kesri θ ve adsorpsiyon-desorpsiyon süreci için adsorpsiyon denge sabiti de K_{ads} ile ifade edilmektedir. Yüzey kaplanma kesirleri inhibisyon etkinliklerinden belirlenmiştir. Eşitlik 3 kullanılarak, Şekil 5' teki grafikten K_{ads} değeri $2,03 \times 10^3 M^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Genel olarak bu değerin büyüklüğü, metal yüzeyine inhibitörün ne derece güçlü adsorplandığının bir göstergesidir.



Şekil 5. C1010 çeliğin farklı derişimlerde BMIH içeren 1 M HCl çözeltisindeki Langmuir adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon standart serbest enerjisi (ΔG_{ads}^0) de Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

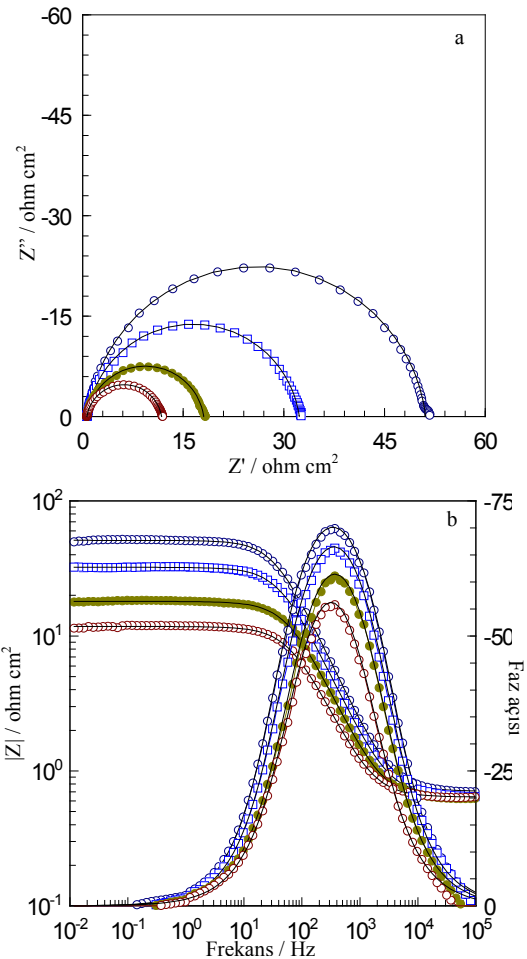
$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(55,5 K_{ads}) \quad (4)$$

ΔG_{ads}^0 değeri $-28,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu değerin büyüklüğü, metal yüzeyi ile inhibitör arasında meydana gelen etkileşimin daha çok fiziksel adsorpsiyonun bir sonucu olduğunu göstermektedir [17].

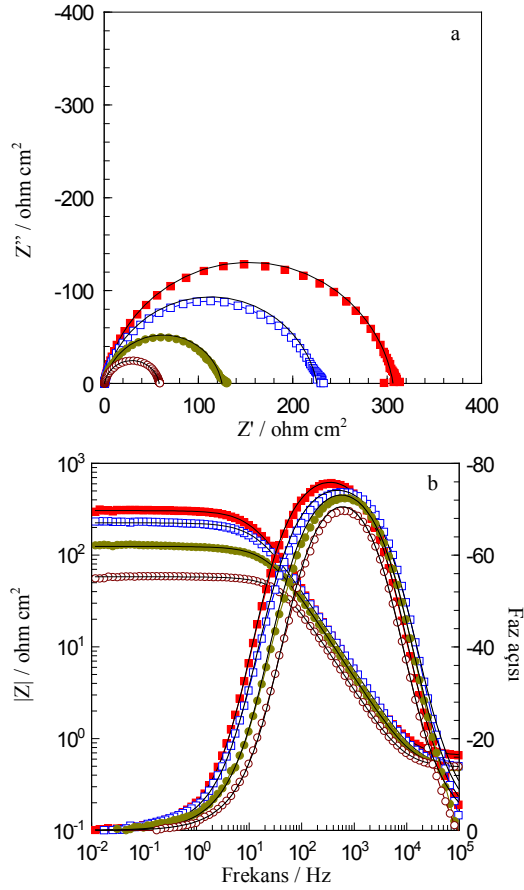
4.4. Sıcaklık Etkisi

C1010 çeliğin inhibisyonuna sıcaklığın etkisini araştırmak için farklı sıcaklıklarda (25-55 °C)

elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri yapılmıştır. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve 10 mM BMIH içinde belirlenen Nyquist ve Bode diyagramları sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmektedir. Farklı sıcaklıklarda alınan Nyquist ve Bode eğrilerinden, inhibitörsüz ve inhibitörlü durumlarda tek bir kapasitif bölge olduğu açıkça görülmektedir. Nyquist eğrileri incelendiğinde, artan sıcaklıkla birlikte inhibitörün metal yüzeyinden ayrılmasına bağlı olarak polarizasyon direnci değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. C1010 çeliğin farklı sıcaklıklarda 1M HCl çözeltisinde elde edilen Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri; 25 (○), 35 (□), 45 (●) ve 55 °C (◊), fit sonucu (-)



Şekil 7. C1010 çeliğin farklı sıcaklıklarda 1M HCl çözeltisinde 10 mM BMIH içeren koşuldaki Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri; 25 (■), 35 (□), 45 (●) ve 55 °C (○), fit sonucu (—)

Çizelge 2. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde ve 10 mM BMIH içeren ortamda farklı sıcaklıklarda EIS sonuçlarından belirlenen parametreler

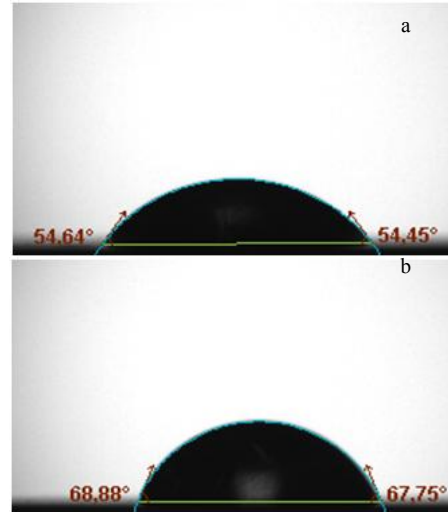
T (°C)	R _p (Ω cm ²)		% İE
	inhibitörsüz	BMIH	
25	50,4	305,5	83,5
35	31,6	225,1	86,0
45	17,4	124,4	86,0
55	11,1	57,9	80,8

Çizelge 2’de, Nyquist eğrileri kullanılarak belirlenen polarizasyon dirençleri ve yüzde

inhibisyon etkinlikleri görülmektedir. İnhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda 45 °C sıcaklıkta polarizasyon direnci değerleri sırasıyla 17,4 Ω cm² ve 124,4 Ω cm² olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta yüzde inhibisyon etkinliği ise %86,0 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sıcaklık olan 55 °C’de dahi inhibisyon etkinliğinin %80 dolaylarında olduğu görülmüştür.

4.5. Temas Açısı Ölçümü

Metal yüzeyine adsorplanan inhibitörün oluşturduğu tabakanın hidrofob/hidrofil karakterini belirlemek için sıvı temas açısı ölçümü yapılmıştır. 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda bekletilen metal yüzeylerinde elde edilen temas açısı görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir. İnhibitörsüz koşullarda temas açısı 54° iken inhibitörlü yüzey için bu değer 68° dolaylarında ölçülmüştür. İnhibitör içermeyen ortamda temas açısının daha düşük olması yüzeyde bulunan ve koruyucu özelliği olmayan hidrofilik korozyon ürünleri ile ilişkilidir [18]. Temas açısının inhibitör varlığında daha yüksek olması, BMIH yapısında bulunan hidrofobik hekzaflorofosfat anyonu kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. C1010 elektrotun 1 M HCl çözeltisinde (a) ve 10 mM BMIH içeren (b) ortamda 1 gün bekletildikten sonra elde edilen temas açısı görüntüleri

5. SONUÇLAR

Elde edilen tüm bulgular doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. EIS sonuçlarından, artan inhibitör derişimi ile beraber polarizasyon direnci değerlerinin arttığı ve bunun sonucunda korozyon hızının düştüğü görülmüştür. Asidik ortama inhibitör ilavesiyle birlikte katodik ve anodik reaksiyon hızlarının önemli ölçüde azaldığı potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden görülmüştür. İnhibitörün çalışılan yüksek sıcaklıklarda halen iyi bir inhibisyon etkinliğine sahip olduğu EIS ölçümlerinden görülmüştür. İnhibitörün C1010 yüzeyine adsorpsiyonunun Langmiur adsorpsiyon izoterminde uyduğu belirlenmiştir. Termodinamik parametrelerden, inhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlardan, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat'ın 1 M HCl çözeltisindeki C1010 çeliğin korozyonu için etkili bir inhibisyon etkinliği sergilediği açıkça görülmüştür.

6. TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Ahamad, I., Prasad, R., Quraishi, M.A., 2010. Thermodynamic, Electrochemical and Quantum Chemical Investigation of Some Schiff Bases as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solutions, *Corrosion Science* 52, 933-942.
2. Zhang, G.A., Hou, X.M., Hou, B.S., Liu, H.F., 2019. Benzimidazole Derivatives as Novel Inhibitors for the Corrosion of Mild Steel in Acidic Solution: Experimental and theoretical studies, *Journal of Molecular Liquids* 278, 413-427.
3. Vengatesh, G., Sundaravadivelu, M., 2019. Non-toxic Bisacodyl as an Effective Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl: Thermodynamic, Electrochemical, SEM, EDX, AFM, FT-IR, DFT and Molecular Dynamics Simulation Studies, *Journal of Molecular Liquids* 287, 110906.
4. Ma, X., Jiang, X., Xia, S., Shan, M., Li, X., Yu, L., Tang, Q., 2016. New Corrosion Inhibitor Acrylamide Methyl Ether for Mild Steel in 1 M HCl, *Applied Surface Science* 371, 248-257.
5. Ramya, K., Mohan, R., Anupama, K.K., Joseph, A., 2015. Electrochemical and Theoretical Studies on the Synergistic Interaction and Corrosion Inhibition of Alkyl Benzimidazoles and Thiosemicarbazide Pair on Mild Steel in Hydrochloric Acid, *Materials Chemistry and Physics* 149-150, 632-647.
6. Li, X., Xie, X., Deng, S., Du, G., 2014. Two Phenylpyrimidine Derivatives as New Corrosion Inhibitors for Cold Rolled Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Corrosion Science* 87, 27-39.
7. Guo, Y., Chen, Z., Zuo, Y., Chen, Y., Yang, W., Xu, B., 2018. Ionic Liquids With Two Typical Hydrophobic Anions as Acidic Corrosion Inhibitors, *Journal of Molecular Liquids* 269, 886-895.
8. Murulana, L.C., Singh, A.K., Shukla, S.K., Kabanda, M.M., Ebenso, E.E., 2012. Experimental and Quantum Chemical Studies of Some Bis(trifluoromethyl-sulfonyl) Imide Imidazolium-Based Ionic Liquids as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Ind. Eng. Chem. Res.* 51, 13282-13299.
9. Ashassi-Sorkhabi, H., Es'haghi, M., 2009. Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Media by [BMIm] Br Ionic liquid, *Materials Chemistry and Physics* 114, 267-271.
10. Kowsari, E., Payami, M., Amini, R., Ramezanzadeh, B., Javanbakht, M., 2014. Task-specific Ionic Liquid as a New Green Inhibitor of Mild Steel Corrosion, *Applied Surface Science* 289, 478-486.
11. Singh, D.K., Ebenso, E.E., Singh, M.K., Behera, D., Udayabhanu, G., John, R.P., 2018. Non-toxic Schiff Bases as Efficient Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1 M HCl: Electrochemical, AFM, FE-SEM and Theoretical Studies, *Journal of Molecular Liquids* 250, 88-99.
12. He, X., Mao, J., Ma, Q., Tang, Y., 2018. Corrosion Inhibition of Perimidine Derivatives

- for Mild Steel in Acidic Media: Electrochemical and Computational Studies, *Journal of Molecular Liquids* 269, 260-268.
13. Chen, W., Luo, H.Q., Li, N.B., 2011. Inhibition Effects of 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole on the Corrosion of Mild Steel in Sulphuric Acid Solution, *Corrosion Science* 53, 3356-3365.
 14. Hsu, C.H., Mansfeld, F., 2001. Technical Note: Concerning the Conversion of the Constant Phase Element Parameter Y_0 Into a Capacitance, *Corrosion Science* 57, 747-748.
 15. Fernandes, C.M., Alvarez, L.X., Escarpini dos Santos, N., Barrios, A.C.M., Ponzio, E.A., 2019. Green Synthesis of 1-benzyl-4-phenyl-1H-1,2,3-triazole, its Application as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Medium and New Approach of Classical Electrochemical Analyses, *Corrosion Science* 149, 185-194.
 16. Bockris, J.O'M., Reddy, A.K.N., Gamboa-Aldeco, M., 2000. *Modern Electrochemistry (Second Edition)*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
 17. Qiang, Y., Zhang, S., Tan, B., Chen, S., 2018. Evaluation of Ginkgo Leaf Extract as an Eco-friendly Corrosion Inhibitor of X70 Steel in HCl Solution, *Corrosion Science* 133, 6-16.
 18. Murmu, M., Saha, S.Kr., Murmu, N.C., Banerjee, P., 2019. Effect of Stereochemical Conformation into the Corrosion Inhibitive Behaviour of Double Azomethine Based Schiff Bases on Mild Steel Surface in 1 mol L⁻¹ HCl Medium: An Experimental, Density Functional Theory and Molecular Dynamics Simulation Study, *Corrosion Science* 146, 134-151.

