

بررسی اثر دماهای مختلف بازدارنده فولاد میکروآلیاژی X 70 محیط ترش در محلول یک مولار اسید سولفوریک

محمد یزدی زاده^۱، مهدی بروجردنیا^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۲ استادیار، گروه مهندسی مواد، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: boroujerdnia@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

چکیده

خوردگی یکی از پرهزینه ترین مسائل و مشکلات برای صنعت می باشد که سبب اتلاف هزینه های بسیار زیاد و صرف وقت و کار نیروی انسانی در این زمینه می شود. این هزینه ها می تواند به طور مستقیم در استفاده از رنگ ها و مواد بازدارنده در فرآیند خوردگی، تعمیر قطعات فلزی و یا استفاده از فولاد صرف گردد و یا به طور غیرمستقیم در هزینه های ناشی از خرابی، خطرات زیست محیطی، تعطیلی و یا از کارافتادگی یک کارخانه تأثیرگذار باشد. این تحقیق با هدف اثر دما بر رفتار خوردگی فولاد میکروآلیاژی X70 محیط ترش در محلول یک مولار اسید سولفوریک در حضور بنزومیدازول و متی بنزومیدازول انجام شد. با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد در مورد بازدارنده بنزومیدازول لایه محافظ تشکیل شده بر روی سطح شکسته شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد کمتر تشکیل می شود در نتیجه این پدیده جذب بهتری بر روی لایه پسیو شکل می گیرد و انتقال الکترون به تاخیر می افتد، در ادامه بازدارنده بنزومیدازول با افزایش دما تا ۶۵ درجه دچار تغییر و دستخوش شده و بطوری که لایه محافظ مجدداً افزایش می یابد و جریان خوردگی کاهش نمی یابد. از این کاهش و افزایش جریان خوردگی بر می آید که در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد یک لایه محافظ ایجاد می شود که دارای چسبندگی و استحکام نسبی بوده و با افزایش دما تا ۶۵ درجه سانتی گراد لایه محافظ در پتانسیل کمتری شروع به تشکیل می کند با این حال لایه محافظ در مورد این بازدارنده اصلاً توصیه نمی شود این امر به خصوص در فولاد میکروآلیاژی X70 به وضوح قابل مشاهده است. بهترین دمای کاری بنزومیدازولو متیل بنزومیدازول در دمای اتاق هر دو بازدارنده با افزایش میزان آن ها در محلول خوردگی باعث بهبود مقاومت به خوردگی می شوند.

کلید واژه: محیط ترش، رفتار خوردگی، دما، فولاد میکروآلیاژی X70

Investigation of the Effect of Different Inhibitory Temperatures of X70 Microalloy Steel in Acidic Environment in one Molar Sulfuric Acid Solution

M. Yazdizadeh¹, M. Boroujerdnia^{2*}

¹Ms.C Student, Department of Materials Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

²Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author: m.boroujerdnia@gmail.com

Submission: 2022, 04, 04 Acceptance: 2022, 07, 11

Abstract

Corrosion is one of the most costly problems for the industry, which causes a lot of waste of time and manpower in this field. These costs can be directly related to the use of paints and inhibitors in the corrosion process, repair of metal parts or the use of steel, or indirectly affect the costs of damage, environmental hazards, closure or failure of a plant. . The aim of this study was to investigate the effect of temperature on the corrosion behavior of X70 micro-alloy steel in a sour environment in a solution of one molar of sulfuric acid in the presence of benzimidazole and methicbenzimidazole. With increasing temperature from 25 to 45 and 65° C, in the case of benzimidazole inhibitor, the protective layer formed on the surface is broken and less is formed at 25° C, as a result of this phenomenon, better adsorption is formed on the passive layer. The electron transfer is delayed, then the benzimidazole inhibitor is changed and subjected to an increase in temperature to 65° C, so that the protective layer increases again and the corrosion current does not decrease. From this decrease and increase of corrosion flow, a protective layer is formed at 45° C, which has relative adhesion and strength, and with increasing temperature up to 65° C, a protective layer begins to form at a lower potential. However, the protective layer is not recommended at all for this inhibitor. This is especially evident in X70 micro-alloy steel. Best Operating Temperatures Benzimidazole and methyl benzimidazole at room temperature are both inhibitors that improve corrosion resistance by increasing their amount in corrosion solution.

Keywords: Acid environment, corrosion behavior, temperature, X70 microalloy steel

۱- مقدمه

فولاد نرم که به عنوان فولاد کم کربن نیز شناخته می شود، یک ماده کم هزینه و قابل توجه در فناوری صنعتی است، زیرا به طور گسترده در صنایع شیمیایی و صنایع وابسته برای جابجایی محلول های اسید، قلیایی و نمک استفاده می شود. با این حال، تمایل آن به خوردگی آن را برای قرار گرفتن در معرض اسیدها نامناسب می کند. استفاده از بازدارنده ها یکی از کاربردی ترین روش ها برای محافظت در برابر خوردگی در محیط های اسیدی است، بازدارنده های خوردگی ترکیبات شیمیایی هستند که در مقادیر کم می توانند تخریب فلزات را در محیط های متخاصم به تاخیر بیندازند. بازدارنده های آلی به دلیل توانایی این ترکیبات در جلوگیری از خوردگی در محیط های مختلف خورنده به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته اند. این ترکیبات می توانند بر روی سطح فولاد نرم جذب شوند و مکان های فعال را مسدود کنند و در نتیجه نرخ خوردگی را کاهش دهند. راندمان بازدارندگی این ترکیبات عمدتاً به ساختار و ماهیت لایه جذب شده روی سطح فلز بستگی دارد [۱]. افزودن بازدارنده خوردگی راحت ترین و پر بازده ترین راه برای کاهش از خوردگی فلزات است. اکثر بازدارنده های خوردگی ترکیبات آلی هستند، خواص ضعیف، حلالیت، فراریت و سمیت آنها، استفاده از مواد آلی را به عنوان افزایش آگاهی محیطی محدود می کند. بنابراین، توسعه بازدارنده خوردگی با عملکرد بالا، سازگار با محیط زیست و بسیار قابل حل است. در سال های اخیر، مایع یونی به دلیل ویژگی های عالی آن مانند پنجره بزرگ الکتروشیمیایی، سمیت کم، بازیافت آسان و قابلیت انحلال آسان، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. گزارش شده است که مایعات یونی به پوشش ها یا به عنوان بازدارنده های خوردگی برای جلوگیری از خوردگی فلز اضافه می شوند [۲-۵]. بازدارنده های خوردگی از اهمیت کاربردی بالایی

برخوردار هستند، زیرا به طور گسترده ای جهت به حداقل رساندن تخریب فلزات مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه کاربردهای صنعتی بازدارنده های خوردگی روز به روز در حال افزایش بوده و ارزش تجاری صنعت بازدارنده به چندین میلیارد دلار در سال می رسد. بازدارنده ها در تولید نفت، چاه های نفت و گاز و خطوط لوله، آب آشامیدنی، برج های خنک کننده آب، سیستم های اسیدی، سیستم های ضد یخ اتومبیل، رنگ ها، آب های دیگ بخار، مخازن سوخت، تبرید آب های شور، فولاد تقویت کننده در بتن و حفاظت از آثار مکشوفه به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند [۶]. متأسفانه، امکان بروز مشکلات خوردگی در سیستم ها و حوزه های گوناگون صنعت نفت و گاز وجود دارد. از این رو، در تمام مراحل تولید از استخراج اولیه تا تصفیه و ذخیره سازی پیش از مصرف، به کارگیری صحیح بازدارنده های خوردگی یک نیاز اساسی به شمار می آید. خوردگی در سطوح فلزی، با توجه به انزوال مواد به ویژه در فعالیت های تکنولوژیکی نگرانی های زیادی را ایجاد نموده است. در برخی مناطق، محیط های شور از عوامل اصلی در بروز خوردگی هستند. گزارش شده است که بخشی از خوردندگی به آب همراه با فرایند تولید نفت مربوط است که به عنوان یک محصول جانبی همراه با نفت خام خارج می شود و حاوی ترکیبات آلی و غیر آلی حل شده گوناگونی است. این آب عمدتاً به علت وجود مقدار زیادی از دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن خورنده علاوه بر دیگر نمک های تهاجمی مانند کلرید و سولفات به عنوان خورنده ترین محیط در عملیات های میدانی نفتی در نظر گرفته می شود [۷]. حفاظت از خوردگی توسط بازدارنده های آلی عمدتاً مبتنی بر اصلاح سطوح فلز و از طریق جذب مولکول های بازدارنده و سپس تشکیل یک لایه محافظ مسدود کننده می باشد. در حالی که تفاوت مهمی در میان نظریه های توسعه یافته برای تشریح اثرات

برخی از بازدارنده‌ها وجود دارد، توافق مشترکی در مورد شیوه‌ای که در آن انواع مختلف بازدارنده‌ها رفتار می‌کنند وجود دارد. راندمان یک ترکیب آلی به عنوان بازدارنده خوردگی نه تنها به ویژگی‌های محیطی که در آن عمل می‌کند، ماهیت سطح فلز و پتانسیل الکتروشیمیایی در فصل مشترک بستگی دارد، بلکه همچنین به ساختار خود بازدارنده که شامل تعداد مراکز فعال جذب در مولکول، چگالی بار آن‌ها، اندازه مولکول، حالت جذب، تشکیل کمپلکس‌های فلزی و مساحت پوشش داده شده توسط بازدارنده بر روی سطح فلزی می‌باشد، وابسته است [۸] و [۹].

بازدارنده خوردگی به طور کلی در غلظت‌های کم استفاده می‌شود. اصول و کاربردهای بازدارنده‌های خوردگی مدت زیادی است که در پژوهش‌های جدید مورد بحث قرار می‌گیرد. در راستای تعیین و دستیابی به ترکیباتی با راندمان بازدارندگی بالا و سازگار با شرایط موردنظر به منظور کاهش میزان و سرعت خوردگی در صنایع، مطالعات بسیار فراوانی بر روی مواد مختلف از جمله ترکیبات آلی و معدنی، سرفکتانت‌های یونی و غیر یونی، داروها، عصاره گیاهان طبیعی و برخی مواد غذایی، مایعات یونی و غیره به انجام رسیده است. بازدارنده‌های آلی تشکیل دهنده فیلم سطحی استفاده شده در صنعت نفت و گاز به طور معمول از نوع کاتیونی/آنیونی بوده و شامل ایمیدازولین‌ها، آمین‌های اولیه، دی‌آمین‌ها، آمینوها، آمین‌های اکسی‌آلکیل‌ت شده، اسیدهای چرب، نفتانیک اسید، استرهای فسفات و دودسیل سولفونیک اسیدها می‌باشد. تمام بازدارنده‌ها جهت ارائه بهترین راندمان عمل خود به یک حداقل غلظت لازم احتیاج دارند که با انجام آزمایش‌های الکتروشیمیایی تسریع شده، قبل از انجام آزمون بر روی نمونه اصلی و استفاده در سیستم، می‌توان آن را تخمین زد. علاوه بر این، تکنیک‌های الکتروشیمیایی

اطلاعات مفیدی را در مورد مکانیسم کار بازدارنده‌ها ارائه می‌کنند [۱۰ و ۱۱]. ورما و همکاران نشان می‌دهند که مایع یونی واکنش آند و کاتد فولاد نرم را با جذب در محلول ۱ مولار HCl کاهش می‌دهد [۱۲]. ژانگ و همکاران. دو مایع یونی مبتنی بر ایمیدازولیوم را سنتز کرد و آنها را در ضد خوردگی فولاد نرم در ۰/۵ مولار هیدروکلراید به کاربرد، که نشان می‌دهد که خوردگی اسیدی فولاد ملایم توسط لایه جذب شده مولکول‌های بازدارنده مهار می‌شود که هر دو می‌توانند محل‌های واکنش فعال را پوشش دهند. خوردگی گالوانیکی روی سطح فلز و جداسازی الکترولیت برای جلوگیری از انتقال مواد خورنده [۱۳].

یانگ و همکاران نشان می‌دهد که راندمان مهار خوردگی مایعات یونی مبتنی بر ایمیدازولیوم با افزایش غلظت و زنجیره آلکیل طولانی‌تر متصل به حلقه ایمیدازولیوم برای مس در اسید سولفوریک افزایش می‌یابد [۱۴]. با این حال، مکانیسم خاص آنیون‌ها و کاتیون‌ها برای مایعات یونی هنوز نامشخص است.

این تحقیق با هدف اثر دما بر رفتار خوردگی فولاد میکروآلیاژی X70 محیط ترش در محلول یک مولار اسید سولفوریک در حضور بنزومیدازول و متی بنزومیدازول انجام شد.

۲- مواد و روش آزمایش

در تحقیق حاضر از فولاد میکروآلیاژی X70 محیط ترش به عنوان نمونه استفاده شد. نمونه‌ها با ابعاد $100 \times 50 \times 10$ میلیمتر تهیه گردید. ترکیب شیمیایی فولاد میکروآلیاژی X70 محیط ترش که توسط کوانتومتری بدست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. برای آماده‌سازی نمونه‌های فولاد میکروآلیاژی X70 ابتدا برای حذف لایه‌های اکسیدی توسط سمباده‌های ۶۰، ۱۰۰، ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ مورد پرداخت قرار گرفت و نمونه‌ها در الکل به مدت ۱ دقیقه در محلول غوطه‌ور گردید و پس از آن با آب مقطر مورد شستشو

$$IE(\%) = \frac{W_0 - W}{W_0} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۱ ΔW میزان وزن از دست رفته به میلی گرم، D دانسیته نمونه، A مساحت سطح نمونه به اینچ مربع و t زمان به ساعت است و همچنین در رابطه ۲ W_0 کاهش وزن نمونه غوطه‌ور در محلول شاهد و W کاهش وزن مربوط به نمونه‌ی غوطه‌ور در محلول حاوی غلظت‌های مختلف از بازدارنده‌ها است. پس از بدست آوردن غلظت‌های بهینه‌ی هر کدام از بازدارنده‌ها، آزمون غوطه‌وری برای محلولی که دارای مخلوطی از غلظت‌های بهینه برای هر کدام از بازدارنده‌ها است، تکرار و مقدار تغییر وزن، مقدار خوردگی و راندمان بازدارندگی بدست آمده است. در نهایت نتایج این آزمون‌ها با نتایج حاصل از آزمون‌های الکتروشیمیایی مقایسه و بررسی شدند.

برای بررسی اثر دمای محلول روی راندمان بازدارندگی ترکیبات، مخلوط غلظت بهینه هر دو ترکیب، در دماهای 25°C ، 45°C و 65°C پس از یک ساعت غوطه‌وری طیف پلاریزاسیون و امپدانس الکتروشیمیایی گرفته شد. افزایش دما به کمک هیتز برقی انجام شد. با بررسی این طیف‌ها اثر دما روی راندمان بازدارندگی ترکیبات بدست آمده است.

قرار گرفت. سپس به وسیله شیلد نمونه عایق گردید و در پایان به سطح 1×1 از نمونه از عایق خارج شد تا در معرض خوردگی قرار بگیرد (شکل ۱).

منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش‌ها توسط دستگاه Auto Lab PG ST 302 N بدست آمد. نرخ روبش 1 mv.s^{-1} در محدوده $\pm 500 \text{ mv}$ بود. قبل از شروع اندازه‌گیری Eoc، هر یک از نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه مانیتور گردید تا واکنش سطح نمونه‌ها با محلول به حالت پایدار برسد. نتایج به دست آمده با نرم‌افزار Nova ۱/۱۱ مورد آنالیز قرار گرفت. برای محاسبه‌ی خوردگی به کمک آزمون‌های غوطه‌وری و اندازه‌گیری میزان کاهش وزن و محاسبه‌ی Mpy، از استاندارد MNL20 ویراست دوم رابرت بابویان استفاده شد. با گذشت ۱۰ روز از قرار گیری نمونه‌ها در محلول خورنده میزان کاهش وزن اندازه‌گیری شد. همچنین از روی مقدار کاهش وزن نمونه در محلول شاهد و محلول حاوی غلظت‌های مختلف بازدارنده و به کمک رابطه‌ی زیر، راندمان بازدارندگی برای هر کدام از بازدارنده‌ها در غلظت‌های مختلف بدست آمده است [۱۵]:

$$\text{Mpy} = \frac{(534)(\Delta W)}{(D)(A)(t)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد API X70 همراه با مقادیر بیشینه مورد نظر مطابق با استاندارد API 5L

عنصر آلیاژی	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Mo	Ti	Ni	Cr	V	Cu
درصد وزنی	۰/۰۵	۱/۵	۰/۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۱۸	۰/۱۸۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱
مقدار بیشینه	۰/۲۴	۱/۴	-	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	-	-	-	۰/۰۶	-	-	-	-



شکل ۱- تصاویر نمونه‌های فولاد میکروآلیاژی X70

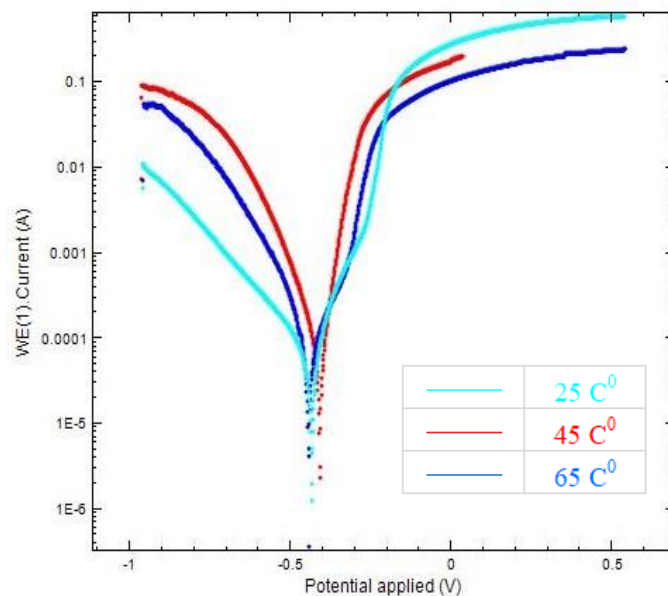
۳- نتایج و بحث

با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۵ و ۶۵ درجه سانتیگراد در مورد بازدارنده بنزومیدازول لایه محافظ تشکیل شده بر روی سطح شکسته شده و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد کمتر تشکیل می شود در نتیجه این پدیده جذب بهتری بر روی لایه پسیو شکل می گیرد و انتقال الکترون به تاخیر می افتد، در ادامه بازدارنده بنزومیدازول با افزایش دما تا ۶۵ درجه دچار تغییر و دستخوش شده و به طوری که لایه محافظ مجدداً افزایش می یابد و جریان خوردگی کاهش نمی یابد این موضوع در شکل ۲ به وضوح قابل رویت است. از این کاهش و افزایش جریان خوردگی بر می آید که در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد یک لایه محافظ ایجاد می شود که دارای چسبندگی و استحکام نسبی بوده و با افزایش دما تا ۶۵ درجه سانتیگراد لایه محافظ در پتانسیل کمتری شروع به تشکیل میکند با این حال لایه محافظ در مورد این بازدارنده اصلاً توصیه نمی شود این امر به خصوص در فولاد میکرو آلیاژی X70 به وضوح قابل مشاهده است. در مورد متیل بنزومیدازول نیز مشاهده می شود که با افزایش دما این بازدارنده نیز لایه محافظ خود را در پتانسیل کمتری ایجاد می کند اما همان گونه که در مورد بازدارنده بنزومیدازول گفته شد لایه محافظ این ترکیبات بسیار نامطلوب می باشند و نمی توان از آنها انتظار محافظ نمونه را داشت به خصوص که فولاد میکروآلیاژی X70 در خطوط لوله انتقال نفت و گاز کاربرد دارد که خوردگی همراه با سایش وجود داشت

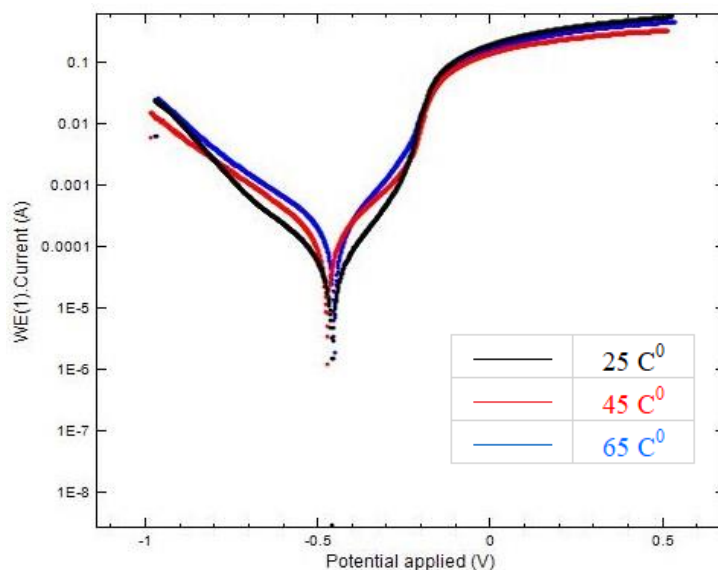
با توجه به تغییرات در پتانسیل خوردگی هر دو بازدارنده می توان اینگونه نتیجه گیری نمود که تغییرات پتانسیل خوردگی با اضافه شدن بازدارنده ها به محلول بیشتر از ۸۵ میلی آمپر نبوده است و این نشان دهنده آن است که ترکیب استفاده شده از نوع بازدارنده های آندی و کاتدی است که این تغییر کمتر از ۸۵ میلی آمپر می باشد و از نوع بازدارنده های مختلط است. در مورد اثر غلظت نیز با دقت در نتایج هر نوع

بازدارنده مشاهده می شود که تغییرات پتانسیل خوردگی کمتر از ۸۵ میلی آمپر دارند و این نشان می دهد که هر دو بازدارنده از نوع مختلط هستند.

نمودار نایکوئیست مربوط به فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور و عدم حضور غلظت های مختلف بازدارنده بنزومیدازول و متیل بنزومیدازول در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. مدار معادل به دست آمده از شبیه سازی این مدار روی منحنی نایکوئیست به کمک نرم افزار Nova ۱/۱۱، بدست آمده است. همان - طور که مشاهده می شود این منحنی دارای یک ثابت زمانی می باشد که به صورت خازن غیرایده ال (Q)، دارای عنصر فاز ثابت می باشد. Q و R_f به ترتیب عنصر فاز ثابت مربوط به رفتار خازنی و مقاومت فیلم تشکیل شده (رسوبات موجود) بر روی سطح هستند. در ادامه از نمونه فولاد میکروآلیاژی X70 و در حضور بازدارنده بنزومیدازول و متیل بنزومیدازول در دمای محیط به وسیله آزمون امپدانس الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل ۴ و ۵ نمودارهای امپدانس الکتروشیمیایی مربوط به اثر غلظت این بازدارنده ها بر روی نمودار امپدانس آورده شده است. آنچه از این نمودارها بدست خواهد آمد شرایط کاری و نحوه ای کار بازدارنده در محلول خورنده را نشان خواهد داد. همچنین در جدول ۲ و ۳ نتایج آزمون های امپدانس الکتروشیمیایی برای بازدارنده آورده شده است. همان گونه که در اشکال ۴ و ۵ مشاهده می گردد منحنی های امپدانس ابتدا با افزودن بازدارنده ها نمودار امپدانس به سمت راست مدار اولیه بدون بازدارنده شیف پیدا می کند و با افزایش مقاومت روبرو می شود. از نتایج جدول ۲ و ۳ مشاهده می شود که همانگونه که در نتایج آزمون پلاریزاسیون بهترین حالت را برای بازدارنده بنزومیدازول در غلظت ۶۰۰ ppm گزارش گردید نتایج امپدانس نیز این موضوع را تصدیق می کند و در مورد متیل بنزومیدازول ۴۰۰ ppm معرفی کرد.



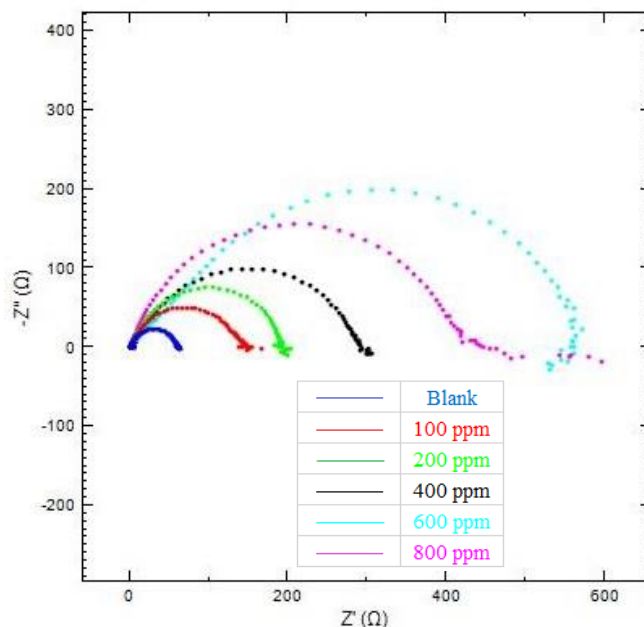
شکل ۲- منحنی پلاریزاسیون فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده بنزومیدازول در دمای متفاوت



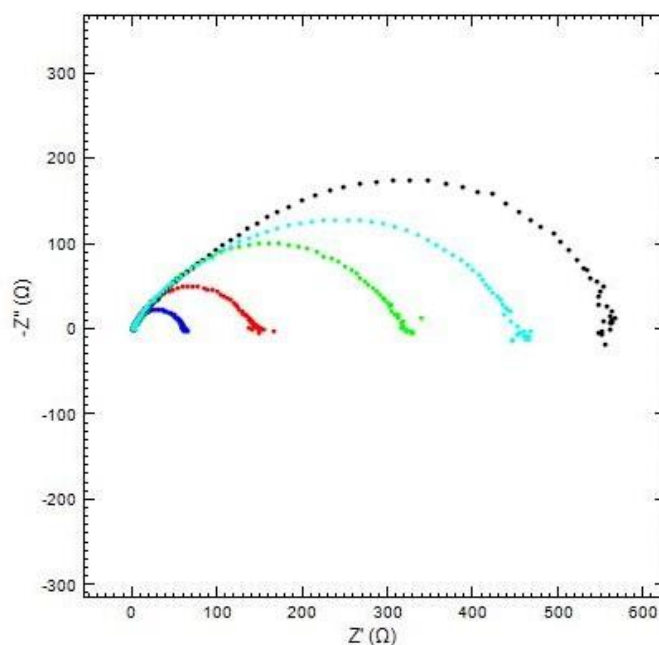
شکل ۳- منحنی پلاریزاسیون فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده متیل بنزومیدازول در دمای متفاوت

جدول ۲- نتایج منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور و عدم حضور بازدارنده بنزومیدازول در دمای ۲۵°C

C (ppm)	E_{corr} (mV)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)	Q1 (MhO)	Q2 (MhO)	N
۰	-۴۱۹/۱	۸۴۹ m	۵۹	۱۲۱	۱/۷۹ m	۱۳/۹ m	۰/۷۸
۱۰۰	-۴/۴۲۸	۵۲۴ m	-۷۰/۶	۳۳۵	۵۶۷ μ	۱/۶۷ m	۰/۷۹
۲۰۰	-۴۳۸/۳	۹۶۳ m	-۱۰۹	۳۰۶	۴۴۰ μ	۹۱/۲ n	۰/۷۹
۴۰۰	-۴۲۵/۶	۸/۲۸	-۴/۹۵	۲۹۱	۴۱/۵ n	۲۰۸ μ	۰/۷۶
۶۰۰	-۴۳۶/۹	۶۴۱ m	-۵۸۱	۱/۱۸ k	۲۹۱ μ	۹۷۰ p	۰/۶۴
۸۰۰	-۴۲۲/۲	۱/۳۸	۴/۹۷	۴۴۴	۵۵/۶ μ	۲۰۸ μ	۰/۷۱



شکل ۴- منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور و عدم حضور بازدارنده بنزومیدازول در دمای 25°C .



شکل ۵- منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور و عدم حضور بازدارنده متیل بنزومیدازول در دمای 25°C .

جدول ۳- نتایج منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور و عدم حضور بازدارنده متیل بنزومیدازول در دمای 25°C .

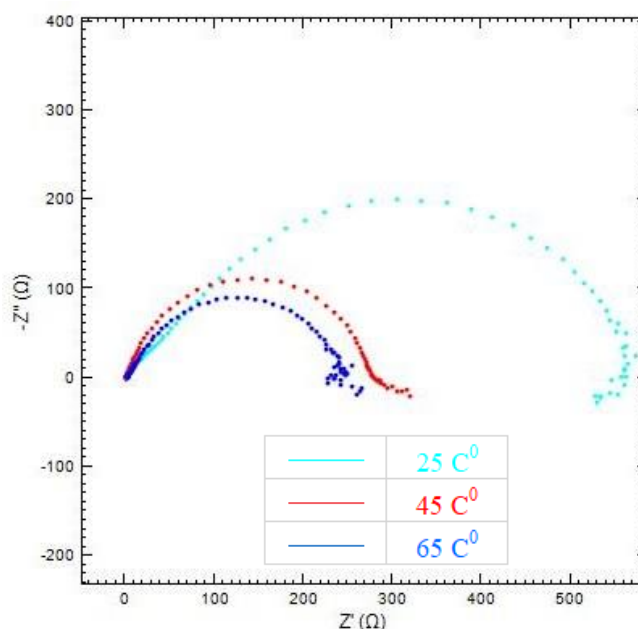
C (ppm)	E_{corr} (mV)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)	Q_1 (MhO)	Q_2 (MhO)	N
۰	-۴۱۹/۱	۸۴۹ m	-۵۹	۱۲۱	۱/۷۹ m	۱۳/۹ m	۰/۷۸
۱۰۰	-۴۲۷/۴	۵۲۴	-۷۰/۶	۳۳۵	۵۶۷ μ	۱/۶۷ m	۰/۷۹
۲۰۰	۴۴۰/۶	۴۱۸	-۵۸/۶	۳۹۱	μ ۵۲۲	μ ۲/۶۸	۰/۶۷۹
۴۰۰	-۴۶۰/۸	۱/۵۷	-۱/۱۵	۶۰۲	μ ۱/۸۲	μ ۴۱۱	۰/۶۱
۶۰۰	-۴۶۳/۲	۱/۵۱	۲/۶۸	۴۶۶	μ ۴/۵۵	μ ۳۶۷	۰/۶۲

مدار معرفی شده از سمت چپ اولین مقاومت R_1 مربوط می‌شود به مقاومت محلول در ادامه مقاومت R_2 و Q_1 مربوط است به مقاومت و خازن لایه دوگانه روی سطح فلز که میان لایه رسوبی و سطح نمونه است و در R_3 و Q_2 مقاومت و خازن بازدارنده را که به سبب لایه رسوبی ایجاد می‌شود را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که جمع مقاومت R_1 و R_2 سبب ایجاد R_S در منحنی امپدانس شده است. مدار معرفی شده برای بازدارنده نیز معادل مدار پایین می‌باشد که از حضور یک لایه رسوبی بر روی فلز تحت آزمایش خبر می‌دهد.

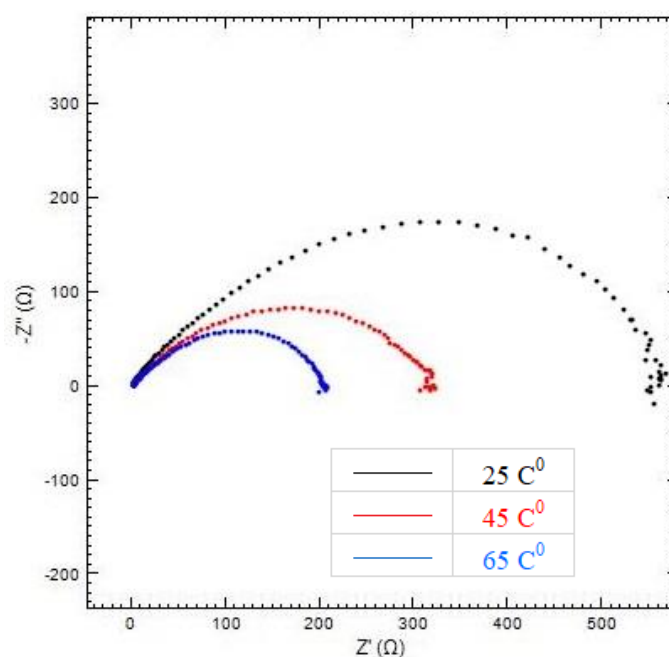
باید توجه داشت که تغییر دما بر نحوه‌ای عملکرد بازدارنده اثر خواهد گذاشت و همچنین باعث تغییر در میزان غلظت بهینه می‌شود که در نمودارهای پلاریزاسیون شاهد آن بودیم (شکل ۶ و ۷). مشاهده می‌شود که با افزایش دما برای هر دو بازدارنده میزان غلظت بهینه افت پیدا می‌کند و همچنین راندمان بازدارنده به شدت کم می‌شود (جدول ۴ و ۵). نتایج به دست آمده از نمودارهای امپدانس الکتروشیمیایی نتایج آزمون پلاریزاسیون امپدانس را تصدیق می‌کند. مدار معادل در نظر گرفته شده برای نتایج امپدانس الکتروشیمیایی در شکل ۹ آورده شده است. در شکل برای

جدول ۴- نتایج منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده بنزومیدازول در دمای متفاوت

$T\ C^0$ $^{600}\text{ (ppm)}$	E_{corr} (mV)	$R_1\ (\Omega)$	$R_2\ (\Omega)$	$R_3\ (\Omega)$	$Q_1\text{ (MhO)}$	$Q_2\text{ (MhO)}$	N
$25C^0$	-۴۳۶/۹	۶۴۱ m	-۵۸۱	۱/۱۸ k	$\mu 291$	۹۷۰ p	۰/۶۴
$45C^0$	-۴۰۷/۸	۱/۵۵	۱۱/۱	۲۷۴	$\mu 186$	۹۴۰ n	۰/۸۳
$65C^0$	-۴۴۵/۲	۶/۷۷	-۴/۸۵	۲۵۱	۹۰۰ a	$\mu 373$	۰/۷۳



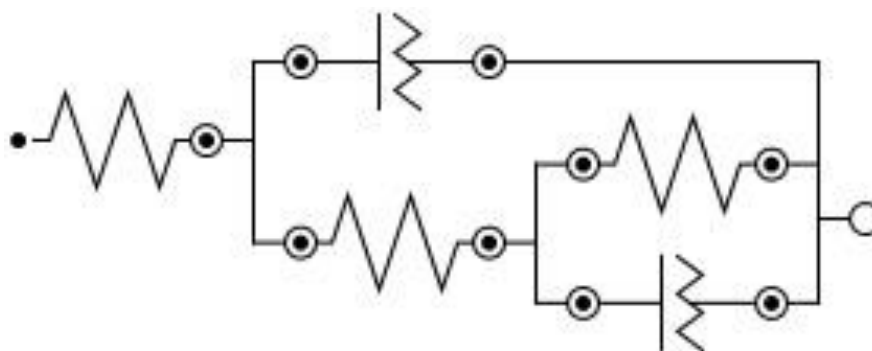
شکل ۶- منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده بنزومیدازول در دمای متفاوت



شکل ۷- منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده متیل بنزومیدازول در دمای متفاوت

جدول ۵- نتایج منحنی امپدانس فولاد میکروآلیاژی X70 در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار در زمان حضور بازدارنده متیل بنزومیدازول در دمای متفاوت

$T \text{ } ^\circ\text{C}$ $\pm 0.0 \text{ (ppm)}$	$E_{\text{corr}} \text{ (mV)}$	$R_1 \text{ (}\Omega\text{)}$	$R_2 \text{ (}\Omega\text{)}$	$R_3 \text{ (}\Omega\text{)}$	$Q1 \text{ (MhO)}$	$Q2 \text{ (MhO)}$	N
25°C	-۴۶۰/۸	۱/۵۷	-۱/۱۵	۶۰۲	$\mu 1/82$	$\mu 411$	۰/۶۱
45°C	-۴۷۴/۵	۷۷۹ m	-۲۳۵	۵۶۳	$\mu 456$	۱۴۲ n	۰/۵۹
65°C	-۴۵۴/۵	۸۷۷ m	-۱۶۲	۳۷۵	$\mu 708$	۴۱۹ n	۰/۶۱



شکل ۹ - مدار معادل

نتیجه گیری

همانطور که مشاهده شد هر کدام از بازدارنده‌ها دارای غلظت‌های بحرانی هستند که با افزایش غلظت بالاتر از مقدار بحرانی راندمان بازدارندگی کاهش می‌یابد. مشاهده شد با افزایش غلظت بازدارنده بنزومیدازول تا 600ppm راندمان بازدارندگی افزایش پیدا می‌کند ولی با افزایش غلظت به بالای این مقدار میزان راندمان بازدارندگی به دلیل واجذب این ترکیبات نزولی می‌شود. این مسئله در مورد بازدارنده متیل بنزومیدازول نیز صادق است یعنی با افزایش مقدار تا 400ppm بهترین راندمان بازدارندگی را شاهد هستیم و با افزایش غلظت راندمان بازدارندگی کاهش پیدا کرد. لایه محافظ این ترکیبات بسیار نا مطلوب می‌باشند و نمی‌توان از آن‌ها انتظار محافظ نمونه را داشت به خصوص که فولاد میکروآلیاژی X70 در خطوط لوله انتقال نفت و گاز کاربرد دارد که خوردگی همراه با سایش وجود داشت. منحنی‌های پلاریزاسیون نشان داد که هر دو بازدارنده یک لایه محافظ روی سطح ایجاد می‌کند و از آنجا که با افزایش بازدارندگی یک سیر یکنواخت را طی می‌کند دارای پایداری مناسبی است. به طور کلی مقاومت به خوردگی یا به طور دقیق‌تر کاهش میزان انتقال فعال الکترون در فولاد X70 با افزایش هر دو بازدارنده در میزان غلظت آن‌ها بهبود می‌یابد. بهترین دمای کاری بنزومیدازول و متیل بنزومیدازول در دمای اتاق است. هر دو بازدارنده با افزایش میزان آن‌ها در محلول خوردگی باعث بهبود مقاومت به خوردگی می‌شوند. بنابراین بهترین دمای کاری بنزومیدازول و متیل بنزومیدازول در دمای اتاق هر دو بازدارنده با افزایش میزان آن‌ها در محلول خوردگی باعث بهبود مقاومت به خوردگی می‌شوند.

مراجع

- [1] H.O. Ahmed, A.A. Al-Amiery, Y.K. Al-Majedy, A.A.H. Kadhum, A.B. Mohamad, T.S. Gaaz, Synthesis and characterization of a novel organic corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid, *Results in Physics*, No. 8, 2017, Pp. 728-733.
- [2] P. Kannan, T.S. Rao, N. Rajendran, Improvement in the corrosion resistance of carbon steel in acidic condition using naphthalen-2-yl-naphthalene-2-carboxamide inhibitor, *Journal of Colloid and Interface Science*, No. 512, 2018, Pp. 618-628.
- [3] L.B. Coelho, D. Cossement, M.G. Olivier, Benzotriazole and cerium chloride as corrosion inhibitors for AA2024-T3: an EIS investigation supported by SVET and ToF-SIMS analysis, *Corrosion Science*, No. 130, 2018, Pp. 177-189.
- [4] S. Varvara, R. Bostan, O. Bobis, L. Gaina, F. Popa, V. Mena, R.M. Souto, Propolis as a green corrosion inhibitor for bronze in weakly acidic solution, *Applied Surface Science*, No. 426, 2017, Pp. 1100-1112.
- [5] M. Taghavikish, N.K. Dutta, N.R. Choudhury, Emerging corrosion inhibitors for interfacial coating, *Coatings*, Vol. 7, No. 12, 2017, p. 217.
- [6] K. Khaled, N. Hackerman, Investigation of the inhibitive effect of ortho-substituted anilines on corrosion of iron in 1 M HCl solutions, *Electrochimica Acta*, Vol. 48, No. 19, 2003, Pp. 2715-2723.
- [7] C. Reip, S. Shanmugam, R. Misra, High strength microalloyed CMn (V-Nb-Ti (and CMn (V-Nb) pipeline steels processed through CSP thin-slab technology: Microstructure, precipitation and mechanical properties, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 424, No. 1-2, 2006, Pp. 307-317.
- [8] M.A. Amin, M.A. Ahmed, H.A. Arida, F. Kandemirli, M. Saracoglu, T. Arslan, M.A. Basaran, Monitoring corrosion and corrosion control of iron in HCl by non-ionic surfactants of the TRITON-X series-Part III. Immersion time effects and theoretical studies, *Corrosion Science*, Vol. 53, No. 5, 2011, Pp. 1895-1909.
- [9] A. Popova, Temperature effect on mild steel corrosion in acid media in presence of azoles. *Corrosion Science*, Vol. 49, No.5, 2007, Pp. 2144-2158.
- [10] Y. Zuo, L. Yang, Y. Tan, Y. Wang, J. Zhao, The effects of thioureido imidazoline and NaNO₂ on passivation and pitting corrosion of X70 steel in acidic NaCl solution. *Corrosion Science*, No. 120, 2017, Pp. 99-106.
- [11] E. Heitz, Corrosion of metals in organic solvents, in *Advances in Corrosion Science and Technology*, Springer, Pp. 149-243. 1974.
- [12] C. Verma, I.B. Obot, I. Bahadur, E.-S.M. Sherif, E.E. Ebenso, Choline based ionic liquids as sustainable corrosion inhibitors on mild steel surface in acidic medium: gravimetric, electrochemical, surface morphology, DFT and Monte Carlo simulation studies, *Applied Surface Science*, No. 457, 2018, Pp. 134-149.
- [13] K. Zhang, W. Yang, Y. Chen, B. Xu, X. Yin, Y. Liu, H. Zuo, Enhanced inhibitive performance of fluoro-substituted imidazolium-based ionic liquid for mild steel corrosion in hydrochloric acid at elevated temperature, *Journal of Material Science*, No. 53, 2018, Pp. 14666-14680.

- [14] Y.J. Qiang, S.T. Zhang, L. Guo, X.W. Zheng, B. Xiang, S.J. Chen, Experimental and theoretical studies of four allyl imidazolium-based ionic liquids as green inhibitors for copper corrosion in sulfuric acid, Corrosion Science, No. 119, 2017, Pp. 68-78.
- [15] R. Tourir, M. Cenoui, M. El Bakri, M.E. Touhami, Sodium gluconate as corrosion and scale inhibitor of ordinary steel in simulated cooling water. Corrosion Science, Vol. 50, No. 6, 2008, Pp. 1530-1537.