

بررسی رفتار خوردگی آب ترش اسیدی بر روی فولاد API 5L Gr.B در محیط اسیدی در حضور بیس N-(۳- نیتروبنزیل) بنزامید

بهناز همراهی^{۱*}، آرش فتاح الحسینی^۲، علی پورقاسمی هنزا^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، گروه مواد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

^۲ استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مواد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

* نویسنده مسئول: behnazhamrahi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱

چکیده

در اکثر صنایع نفت و گاز، نرخ خوردگی فلزات در حضور یون‌های حاوی گوگرد از جمله گاز H_2S زیاد می‌شود. در این پژوهش، خوردگی آب ترش اسیدی بر روی فولاد API 5L Gr.B در محلول عاری از اکسیژن $Na_2SO_4 + Na_2S$ و در حضور غلظت‌های مختلف از بیس N-(۳- نیتروبنزیل) بنزامید به عنوان بازدارنده خوردگی در دمای $25^\circ C$ به وسیله آزمون‌های امپدانس الکتروشیمیایی و پلاریزاسیون مورد بررسی قرار گرفت. منحنی‌های پلاریزاسیون نشان دادند که در حضور بازدارنده با تعویق احیای هیدروژن، نرخ خوردگی فولاد را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که راندمان بازدارنده با افزایش غلظت بازدارنده افزایش پیدا می‌کند. راندمان بازدارندگی محاسبه شده از نتایج آزمون امپدانس و آزمون پلاریزاسیون هم‌خوانی مناسبی را از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: خوردگی آب ترش اسیدی، فولاد API 5L Gr.B، بازدارنده خوردگی، آزمون پلاریزاسیون، امپدانس؛

Investigation of acidic sour water corrosion behaviour of API 5L Gr.B steel in acidic media in the presence of bis N-(3-nitrobenzyl)benzamide

B. Hamrahi^{1*}, A. Fattaholhoseini², A. Pourghasemi Hanza³

¹ MSc of Materials, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan.

² Assistant Professor, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan.

³ MSc of Corrosion & Protection of Materials, Faculty of Mining and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran.

* Corresponding Author: behnazhamrahi@yahoo.com

Submission: 2016, 01, 06 Acceptance: 2016, 04, 19

Abstract

In most oil and gas industry, the corrosion rate of metals is accelerated by the presence of sulfur containing ions such as H_2S species. In this study, acidic sour water corrosion of API 5L Gr.B carbon steel in oxygen-free $Na_2SO_4+Na_2S$ solution in the presence different concentrations of bisN-(3-nitrobenzyl) benzamide as corrosion inhibitor at temperature of $25^\circ C$ were investigated by electro impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization technique. Potentiodynamic polarization curves showed that the inhibitor decreased the corrosion rate of API 5L carbon steel by postponing hydrogen evolution. The results showed that the inhibition efficiencies of carbon steel increased significantly with the increase of concentration of inhibitor. The inhibition efficiencies, calculated from impedance results, show the same trend as those obtained from polarization measurements.

Keywords: Acidic sour water corrosion, API 5L Gr.B steel, Corrosion inhibitor, Polarization technique, EIS;

۱- مقدمه

یکی از مهم ترین چالش ها در صنایع نفت و گاز، ایمنی سیستم های خط لوله و تجهیزات و افزایش طول عمر آنهاست. این عمل با روش های موثر حفاظت از خوردگی انجام می شود. در بیشتر محیط های نفتی با محیط های خورنده ای نظیر گازهای خورنده طبیعی و نفتی، نفت، مایعات هیدروکربنی همراه با رطوبت و گازهای CO_2 و H_2S روبرو هستیم [۱]. خوردگی در میدان نفتی در تمام مراحل از ته چاه تا سطح تجهیزات و تأسیسات فرآوری رخ می دهد. در بیشتر فرآیندهای تصفیه نفت و گاز، نرخ خوردگی فلزات با حضور یون هایی شامل گوگرد مثل $S_2O_3^{2-}$ ، SO_3^{2-} ، $S_2O_4^{2-}$ و همچنین H_2S تسریع می شود. در میان این ترکیبات، هیدروژن سولفید (H_2S)، ترکیبی سمی بوده و با افزایش نرخ خوردگی، تخریب فولاد را سرعت می بخشد [۲]. حضور H_2S خطرناک بوده زیرا سبب خوردگی و تسریع هیدروژناسیون (hydrogenation) شده و در نتیجه سبب از دست رفتن خواص پلاستیسیته و در نتیجه شکست زود هنگام قطعات خواهد شد [۳]. حفاظت از خوردگی هیدروژن سولفید (H_2S) تجهیزات فولادی و خطوط لوله اهمیت بالاتری داشته زیرا میعان این گاز در حوزه های نفتی و گازی در مقادیر بالا (حدود ۲۵ درصد حجمی) صورت می گیرد. در سال های اخیر خوردگی ناشی از گاز هیدروژن سولفید مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات گسترده در این زمینه ناشی از این حقیقت است که شکست بسیاری از فولادها ناشی از آن می باشد. تاکنون خوردگی H_2S توجه زیادی را به خود جلب کرده و ترک خوردگی تنشی سولفید و اثر فاکتورهای محیطی (مثل دما، فشار و pH) مورد بررسی بوده است [۴-۶]. اما به دلیل سمی بودن این ترکیب نتایج آزمایشگاهی در این زمینه محدود است و خوردگی H_2S در برخی فولادهای کربنی در مقیاس آزمایشگاهی و با امکانات بالا گزارش شده است [۷].

استفاده از بازدارنده های خوردگی یکی از بهترین روش های جلوگیری از تخریب سطوح فلزی در محیط های خورنده است [۸]. بازدارنده های مورد استفاده در صنعت نفت و گاز پیچیده بوده و انتخاب آنان به محیط استفاده مثل پالایش و تصفیه، چاه ها، واحدهای بازیابی، خطوط لوله و غیره وابسته است. گازهای خورنده مثل CO_2 و H_2S و اسیدهای آلی امکان استفاده از بازدارنده های خوردگی در چاه ها را پیچیده می کنند. در صنایع نفت و گاز به جهت توان حفاظتی بالا و عملکرد مطلوب عموماً از ترکیبات آلی

نیتروژن دار جهت ممانعت از خوردگی لوله ها و تجهیزات استفاده می شود عموماً در صنایع نفت و گاز استفاده از بازدارنده های آلی که در ترکیب آنها عناصر گروه ۵ و ۶ جدول تناوبی شرکت دارند بخصوص ترکیبات آلی نیتروژن دار با رشته های طویل هیدروکربنی مثل آمین ها (Amines)، پلی آمین ها (Polyamines)، دی آمین ها (Diamines)، آمیدها (Amides)، ایمیدازولین (Imidazoline)، بنزیمیدازول (Benzimidazole) و همچنین مشتقات اسید چرب آلیفاتیک (Aliphatic Fatty Acid Derivatives) و مشتقات رزین (Rosin) متداول می باشد [۹]. قدرت بازدارندگی در مواد آلی وابسته به اتم های الکترون ده مانند گوگرد؛ نیتروژن و اکسیژن است که مراکز قوی جذب سطحی هستند [۱۰]. در این میان، مونومرهای این آمیداروماتیک نوع دوم دارای اتم های نیتروژن و اکسیژن است تا عمل جذب، بازدارندگی و پایداری را به خوبی انجام دهد.

همانطور که اشاره شد در زمینه خوردگی H_2S به دلیل سمی بودن این گاز اطلاعات محدودی وجود دارد و در این پژوهش سعی شده تا ابتدا به شبیه سازی مناسب محیط اسیدی حاوی گاز H_2S پرداخته و پس از آن عملکرد یک نوع آمید آروماتیک نوع دوم پایه الکلی را به عنوان بازدارنده خوردگی مورد بررسی قرار گیرد. از روش های الکتروشیمیایی نظیر آزمون پلاریزاسیون و امپدانس الکتروشیمیایی جهت بررسی مکانیزم بازدارندگی و نحوه جذب بازدارنده بر روی سطح استفاده گردید.

۲- روش تحقیق

ترکیب شیمیایی فولاد API 5L Gr.B، که به عنوان الکترود کار در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، به روش کوانتومتری در آزمایشگاه رازی تعیین شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. برای تهیه الکترود کار قطعات با مساحت یک سانتی متر مربع از فولاد مورد پژوهش تهیه شد. برای انجام آزمون های الکتروشیمیایی، پس از اتصال سیم مسی روکش دار به نمونه ها و انجام مانت سرد با زمینه رزین پلی استر، عملیات سنباده زنی تر به ترتیب با سنباده های ۳۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ انجام شد. سپس نمونه ها با آب دوبار تقطیر شسته و پس از خشک کردن با دمش هوا، به سرعت تحت آزمون ها قرار گرفتند.

جهت ساخت محلول حاوی گاز H_2S [۱۱] ابتدا، Na_2S ، Na_2SO_4

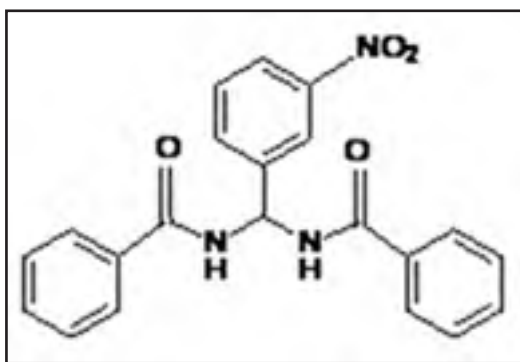
جدول ۱- ترکیب شیمیایی الکترود کار از جنس فولاد API 5L Gr.B

عناصر	C	Mn	P	S	Ti	Fe
درصد وزنی	۰/۲۸	۱/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۰۴	بالانس

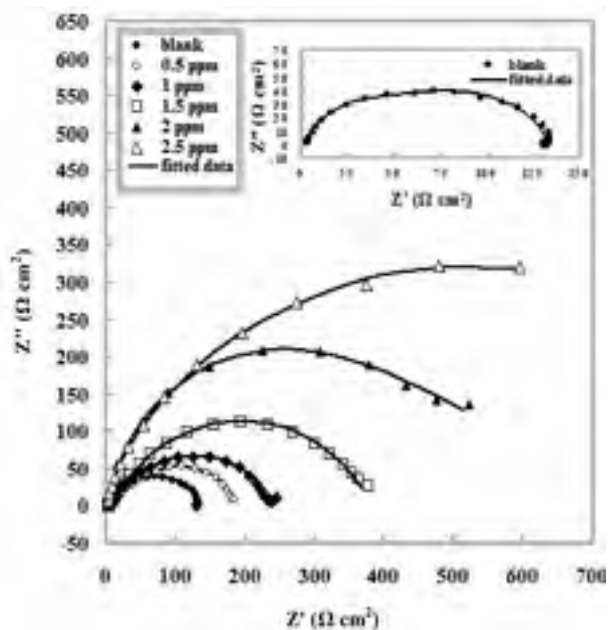
تمام آزمون‌ها پس از ۱۵ دقیقه غوطه‌وری در درون محلول‌های مورد نظر انجام گرفت. برای اطمینان از تکرار پذیری آزمون‌ها برای همه غلظت‌ها، سه نمونه آماده شد.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ دیاگرام نایکوئیست بدست آمده در محلول اسیدی حاوی گاز H_2S و در غلظت‌های مختلف بازدارنده در دمای $25^\circ C$ و در پتانسیل مدار باز را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، طیف بدست آمده، وجود دو نیم دایره با مقادیر امپدانس حقیقی و موهومی را نشان می‌دهد. حلقه خازنی اول مربوط به لایه دوگانه الکتریکی در فرکانس‌های بالا و حلقه خازنی دوم مربوط به جذب محصولات خوردگی در فرکانس‌های پایین است [۱۴].



شکل ۱ - ساختار شیمیایی آمید آروماتیک پایه الکلی مورد پژوهش.



شکل ۲ - نمودارهای نایکوئیست برای نمونه‌های فولادی مورد پژوهش در محلول‌های حاوی بازدارنده و بدون بازدارنده.

و H_2SO_4 و آب مقطر تهیه شد. برای تحقیق درباره خوردگی H_2S دمش گاز خنثی در محلول به منظور حذف اکسیژن معمول است [۱۱-۱۳]. در نتیجه قبل از هر آزمایشی، محلول ۱ مولار Na_2SO_4 به مدت ۱۵ دقیقه توسط گاز آرگون تصفیه می‌شود در غیر این صورت امکان انجام چند واکنش کاتدی (احیا اکسیژن) در محلول را خواهیم داشت. سپس pH محلول یک مولار Na_2SO_4 را توسط H_2SO_4 به مقدار برابر ۳ رسانده و در نهایت به مقدار مورد نیاز Na_2S برای رساندن مقدار H_2S به مقدار ۱۵ppm می‌افزاییم. طبق رابطه (۱) Na_2S حل شده و تولید گاز H_2S خواهد کرد [۱۱].



از آنجایی مقدار کمی گاز H_2S در مجاورت سطح وجود دارد، در نتیجه دمش گاز آرگون و اکسیژن زدایی باید در طی انجام همه آزمایشات نیز، اعمال شود. قبل از افزودن Na_2S ، دمش گاز آرگون با فشار ۴/۵ bar انجام شد. بعد از افزودن Na_2S (و تولید H_2S)، گاز آرگون در بالای محلول (و نه در داخل آن) در فاصله ایمنی از سطح محلول با کمترین فشار ممکن برای جلوگیری از ورود اکسیژن، در حین انجام آزمایش دمیده می‌شود. این امر از کاهش غلظت H_2S در حین تست جلوگیری خواهد کرد. سپس محلول‌های حاوی ۰/۵ ppm، ۱ ppm، ۱/۵ ppm، ۲ ppm و ۲/۵ ppm بازدارنده پایه الکلی (بیس N-(۳-نیتروبنزیل) بنزامید) مورد پژوهش در محیط ذکر شده تهیه گردید. ساختار شیمیایی این آمید آروماتیک پایه الکلی در شکل ۱ نشان داده شده است.

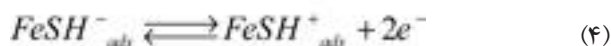
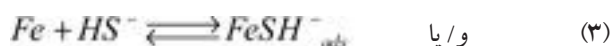
بر روی تمام نمونه‌ها، آزمون پلاریزاسیون به کمک دستگاه Autolab PGstat 302 N انجام گرفت. آزمون پلاریزاسیون در پیل الکتروشیمیایی سه الکترودی شامل الکترود مرجع Ag/AgCl، الکترود کمکی پلاتینی و نمونه‌های فولادی آماده سازی شده به عنوان الکترود کاری انجام گرفت. منحنی‌های پلاریزاسیون در ناحیه روبش ۷۰۰- میلی‌ولت تا ۲۰۰۰ میلی‌ولت نسبت به پتانسیل خوردگی با نرخ روبش ۲ میلی‌ولت بر ثانیه حاصل شدند. داده‌های مورد نیاز از این نمودارها توسط تقاطع خطوط عمودی عبوری از پتانسیل خوردگی و شیب خط کاتدی در محدوده پتانسیل فراتر از ۴۰ میلی‌ولت توسط نرم‌افزار NOVA1.8 بدست آمد. برای انجام آزمون‌های طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی محدوده فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۰/۰۱ هرتز و دامنه اغتشاش ۱۰ میلی‌ولت نسبت به پتانسیل مدار باز استفاده شد. داده‌های بدست آمده از این آزمون‌ها توسط نرم‌افزار NOVA1.8 مورد برازش قرار گرفتند.

در محلول اسیدی حاوی گاز H_2S ، مقاومت کلی مدار (R_{total}) که مجموع R_a و R_{ct} است با افزایش غلظت بازدارنده، زیاد خواهد شد. مقاومت کل مدار برای محاسبه کارایی بازدارنده طبق رابطه (۲) به کار می‌رود [۱۶].

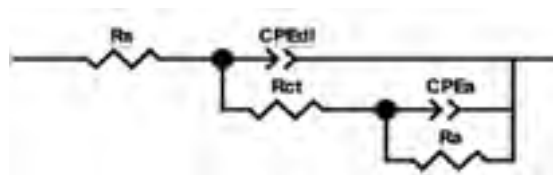
$$\eta = \frac{R_{cor}^0 - R_{cor}}{R_{cor}^0} \quad (2)$$

که R_{cor}^0 و R_{cor} به ترتیب مقاومت کل در حضور و عدم حضور بازدارنده هستند. همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود کارایی این ترکیب آلی تابعی از غلظت بازدارنده است و با افزایش غلظت بازدارنده به ۲/۵ ppm مقدار مقاومت کل از $130 \Omega \text{ cm}^2$ برای نمونه بلنک به $1100 \Omega \text{ cm}^2$ رسیده است.

همانگونه که در معادل شکل ۳ مشاهده می‌گردد در محلول‌های حاوی گاز H_2S ، یک حلقه خازنی مربوط به جذب محتویات محلول حاوی گاز H_2S نیز علاوه بر حلقه خازنی مربوط به لایه دوگانه الکتریکی مشاهده می‌گردد. وجود این حلقه‌ی خازنی را می‌توان تشکیل فیلم سولفیدی تشکیل شده بر روی سطح به دلیل خوردگی سطح فولاد در محیط حاوی گاز H_2S دانست [۱۵]. جونون تانگ (Junwen Tang) و همکارانش مکانیزم تشکیل محصولات خوردگی بر روی سطح فولاد در محیط حاوی گاز H_2S را به صورت رابطه ۳ و ۴ بیان نمودند. نتایج بدست آمده براساس نتایج آزمون امپدانس و محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح فولاد می‌باشد.



تحلیل داده‌های امپدانس به کمک نرم افزار Nova1.8 و با برازش نقاط توسط مدار معادل الکتریکی که در شکل ۳ نشان داده شده است انجام گرفت [۱۴]. در محیط‌های شامل گاز H_2S ، معمولاً از مدار معادل نشان داده شده در شکل ۳ برای فیت کردن استفاده می‌شود [۱۴، ۱۵]. لازم به ذکر است که در محلول اسیدی حاوی گاز H_2S و بدون بازدارنده، کل طیف پوشش داده نشده و رفتار را در فرکانس‌های پایین در نظر گرفته نشده زیرا فیت کردن در تمام فرکانس کلی با استفاده از القاگرها بدست می‌آید که اهمیت فیزیکی کافی ندارد [۱۴].



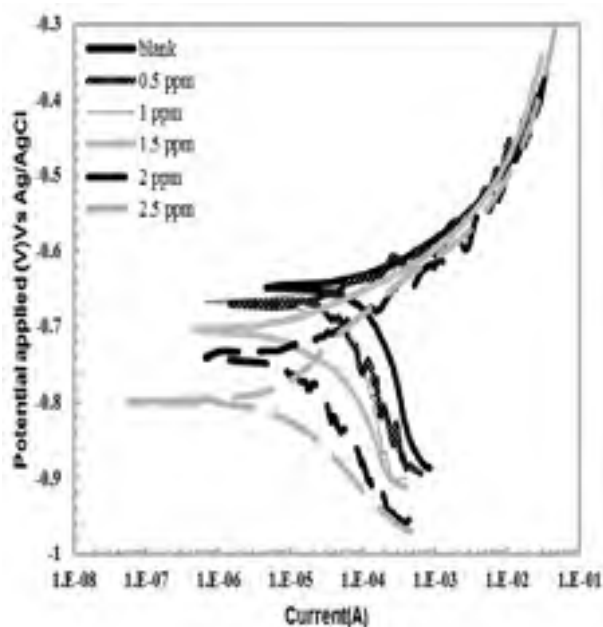
شکل ۳ - مدار معادل الکتریکی استفاده شده برای نمونه غوطه‌ور در محلول‌های حاوی بازدارنده و بدون بازدارنده.

در مدار معادل ذکر شده برای فیت کردن داده‌های امپدانس بدست آمده در محلول اسیدی حاوی H_2S ، R_s مقاومت محلول، R_{ct} مقاومت انتقال بار و CPE_{dl} المان ثابت فازی لایه دوگانه که خود دارای دو پارامتر n و Y_0 می‌باشد. پارامتر Y_0 میزان ادمیتانس سیستم را نشان می‌دهد و n نیز پارامتر ناهمگنی لایه دوگانه است. مقدار n بین صفر تا یک است و هرچه به یک نزدیک تر می‌شود؛ رفتار المان فازی ثابت بیشتر به رفتار خازن خالص نزدیک تر می‌شود. علاوه بر این، CPE_a عنصر فاز ثابت است که نشان‌دهنده خازن جذب محصولات خوردگی است و R_a مقاومت جذب محصولات خوردگی است [۱۴]. در جدول ۲ المان‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی با مدار معادل شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که برای فولاد مورد پژوهش

جدول ۲ - نتایج تحلیل داده‌های امپدانس نمونه‌های غوطه‌ور در محلول‌های اسیدی حاوی و فاقد بازدارنده

غلظت (ppm)	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_a ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_{total} ($\Omega \text{ cm}^2$)	η
۰	۳/۰۳	۶۸/۳۹	۶۱/۱۶	۱۲۹/۵۵	
+۰۵	۳/۳۸	۱۹/۶۰	۱۶۸/۱۹	۱۸۷/۷۹	۳۱/۰۳
۱	۴/۴۹	۵۵/۱۲	۱۸۱/۴۲	۲۳۶/۵۴	۴۵/۲۳
۱/۵	۴/۶۱	۱۳/۶۵	۳۶۴/۴۵	۳۷۸/۱۰	۶۵/۷۳
۲	۳/۵۷	۴۵۲/۶۵	۲۰۷/۱۶	۶۵۹/۸۱	۸۰/۳۶
۲/۵	۳/۴۱	۲۵۱/۸۹	۸۴۸/۰۴	۱۰۹۹/۹۳	۸۸/۲۲

و در حضور بازدارنده در غلظت‌های مختلف می‌باشد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود دانسیته جریان خوردگی در حضور بازدارنده کاهش می‌یابد که این امر نشانگر تاثیر گذار بودن این آمید آروماتیک بر روی کاهش نرخ خوردگی نمونه‌های فولادی در محلول اسیدی حاوی گاز H_2S است. هم‌چنین داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که راندمان بازدارندگی با افزایش غلظت بازدارنده، افزایش پیدا کرده که دلیلی بر جذب بیشتر بازدارنده در غلظت‌های بالاتر بر روی فصل مشترک فلز-محلول می‌باشد [۱۷].



شکل ۴ - نمودار پلاریزاسیون نمونه‌های فولاد غوطه‌ور در محلول بدون بازدارنده و دارای بازدارنده.

جدول ۳ - داده‌های بدست آمده برای منحنی‌های پلاریزاسیون نمونه‌های فولاد غوطه‌ور در محلول مورد پژوهش بدون بازدارنده و دارای بازدارنده

غلظت (ppm)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	E_{corr} (mV _{Ag/AgCl})	η
۰	۴۴/۹۲	-۶۴۷	
۰/۵	۳۳/۳۰	-۶۶۶	۲۶
۱	۲۶/۹۰	-۶۶۹	۴۰
۱/۵	۱۸/۳۳	-۷۰۳	۵۹
۲	۱۳/۱۱	-۷۳۹	۷۱
۲/۵	۸/۰۳	-۷۹۸	۸۲

ads به معنای جذب بر سطح فولاد است. به طور کلی محصولات خوردگی در سطح فولاد لایه‌های سولفید آهن غیر استوکیومتری شامل مکیناویت (mackinawite) و پیرروتیت (pyrrhotite) در محیط شامل H_2S است. مکیناویت که فرمول شیمیایی آن FeS_{1-X} (که $X=0.054-0.061$) می‌باشد، نوع رایج سولفید آهن و پیش ماده تبدیل به سولفیدهای دیگر آهن است. محصولات رسوب کریستالی یون‌های آهن با H_2S یا نمک‌های آنان در زیر $100^\circ C$ در نبود اکسیداسیون فقط از مکیناویت تشکیل می‌شود. گونه‌ی $FeSH^+_{ads}$ جذب شده بر سطح فولاد به طور مستقیم از طریق رابطه ۵ به مکیناویت تبدیل می‌شود [۱۵].



جهت تایید نتایج آزمون امیدانس الکتروشیمیایی آزمون پلاریزاسیون نیز بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. شکل ۴، منحنی پلاریزاسیون فولاد مورد پژوهش را در محیط اسیدی حاوی گاز H_2S در دمای $25^\circ C$ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که بطور کلی افزودن بازدارنده بیس N-(۳-نیتروبنزیل) بنزامید بر کنترل خوردگی فولاد مورد پژوهش موثر بوده است و با افزایش غلظت بازدارنده منحنی‌های پلاریزاسیون به سمت دانسیته جریان‌های کمتر شیف‌ت پیدا می‌کنند. تعیین پارامترهای، پتانسیل خوردگی و جریان خوردگی اطلاعات بیشتری درباره فرآیند کلی خوردگی ارائه می‌کند.

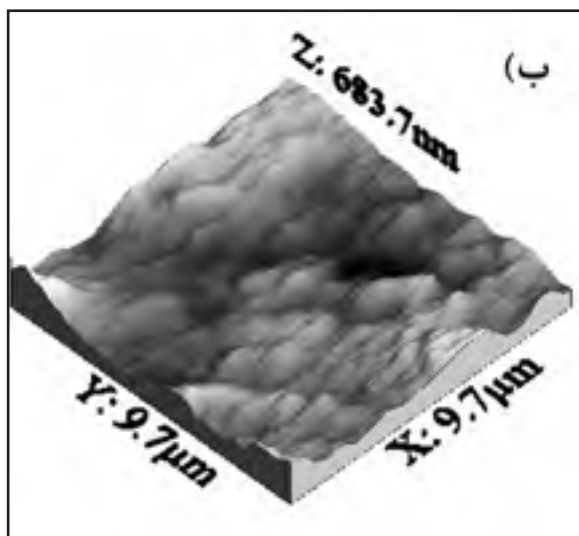
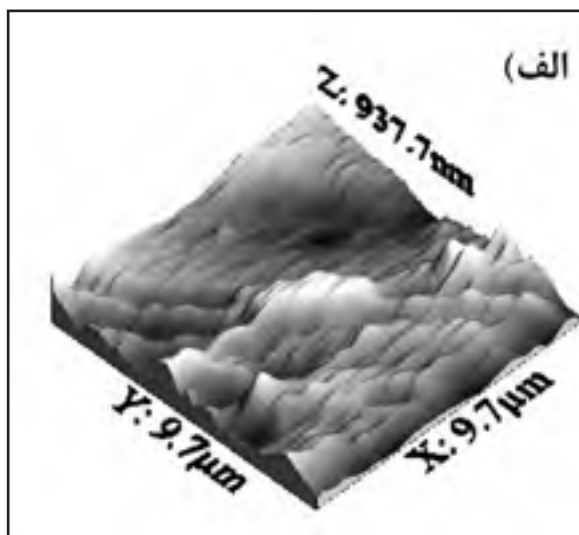
جدول ۳، پتانسیل خوردگی (E_{corr})، جریان خوردگی (i_{corr}) بدست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون در محلول اسیدی حاوی گاز H_2S و غلظت‌های مختلف بازدارنده مورد آزمایش در دمای $25^\circ C$ را نشان می‌دهد. به دلیل عدم تقاطع شیب‌های آندی و کاتدی در پتانسیل مدار باز از تقاطع شیب کاتدی با امتداد پتانسیل خوردگی برای محاسبه دانسیته جریان خوردگی نمودار پلاریزاسیون استفاده گردید. بازده بازدارندگی گزارش شده در جدول ۳ طبق رابطه (۵) محاسبه شد [۱۷]:

$$\eta = \frac{I^0_{corr} - I_{corr}}{I^0_{corr}} \quad (5)$$

که در آن که در آن I^0_{corr} و I_{corr} دانسیته جریان خوردگی در غیاب

خوانی مناسبی را نشان می‌دهد.

بخش‌های الف) و ب) شکل ۵ مورفولوژی سطح نمونه‌های فولاد API 5L Gr.B غوطه‌ور شده در محلول مورد پژوهش بدون بازدارنده و حاوی ۲/۵ ppm بازدارنده بیس N-(۳-نیتروبنزیل) بنزامید را به ترتیب نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود برای نمونه‌های غوطه‌ور درون محلول حاوی بازدارنده زبری سطح کاهش یافته و از مقدار ۱۲۱ nm به ۷۴ nm رسیده است. کاهش زبری سطح مؤید تأثیر بازدارنده درون محلول حاوی گاز H₂S و کاهش نرخ خوردگی می‌باشد. نتایج بدست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی صحت آزمون‌های الکتروشیمیایی انجام شده درون محلول مورد پژوهش را نشان می‌دهد [۱۸].



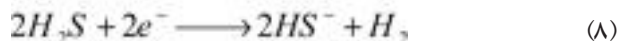
شکل ۵ - تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی الف) نمونه بدون بازدارنده ب) نمونه حاوی ۲/۵ppm بازدارنده.

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد بطور کلی افزودن این آمید آروماتیک بر کنترل خوردگی فولاد مورد پژوهش در محیط اسیدی حاوی گاز H₂S موثر بوده است. با افزایش غلظت بازدارنده نمودارهای پلاریزاسیون به سمت دانسیته جریان‌های کمتر شیف‌ت پیدا می‌کنند. همچنین با توجه به شکل ۴ با تغییر غلظت بازدارنده شیب شاخه آندی تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بازدارنده مورد نظر، کاتدی است. از طرفی با توجه به مراجع اگر افزایش بازدارنده، پتانسیل خوردگی را به میزان ۸۵ میلی‌ولت جابجا کند در صورت کم شدن پتانسیل، بازدارنده کاتدی و در صورت افزایش پتانسیل، بازدارنده آندی نامیده می‌شود [۱۷] با توجه به جدول ۳ میزان پتانسیل خوردگی با افزایش غلظت بازدارنده منفی‌تر شده و از ۶۴۷- میلی‌ولت به ۷۹۸- رسیده است و تقریباً ۱۰۰- میلی‌ولت کاهش یافته است. این مشاهدات نشان می‌دهد که حضور بازدارنده، تعویق واکنش‌های کاتدی را به دنبال دارد و تمایل به کاهش نرخ احیای هیدروژن بر روی سطح فولاد را از خود نشان می‌دهد [۱۷]. رابطه‌های (۶) تا (۸) به ترتیب واکنشهای آندی و کاتدی بر روی فولاد کربنی را درون اسیدی حاوی گاز H₂S را نشان می‌دهد [۱۵]:

واکنش آندی:



واکنش کاتدی:



چگالی جریان خوردگی با افزایش غلظت بازدارنده از ۴۴/۹۲ $\mu A/cm^2$ به ۸/۰۳ $\mu A/cm^2$ کاهش می‌یابد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که فرآیند کاتدی، توسط غلظت بازدارنده کنترل می‌شود و مقاومت به خوردگی فولاد کربنی با افزایش غلظت بازدارنده، زیاد می‌شود. این نتایج نشان‌دهنده این است که واکنش تکامل هیدروژن در سطح فلز با افزایش غلظت بازدارنده، محدود شده و سبب تغییر پتانسیل به سمت منفی‌تر می‌شود. نتایج به دست آمده از آزمون پلاریزاسیون با نتایج آزمون امپدانس هم

نتیجه گیری

۱. ترکیب آلی مورد استفاده یک بازدارنده موثر برای خوردگی گاز H_2S بر روی فولاد API 5L Gr.B در محلول عاری از اکسیژن Na_2SO_4 ، Na_2S می باشد و راندمان بازدارندگی، با افزایش غلظت بازدارنده به دلیل افزایش پوشاندگی سطحی افزایش یافته است.
۲. نتایج آزمون پلاریزاسیون نشان داد که بازدارنده تمایل بیشتری به کاهش واکنش های کاتدی بر روی سطح دارد.
۳. نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی تشکیل محصولات حاوی گوگرد را برای سطح نشان داد.

مراجع

- [1] C. Rena, D. Liub, Z. Baic, T. Lia, Corrosion behavior of oil tube steel in simulant solution with hydrogen sulfide and carbon dioxide, Mater. Chem. Phys. 93, 2005, Pp. 305–309.
- [2] I.L. Rozenfeld, L.V. Frolova, V.M. Brusnikina, Investigation of the corrosion and hydrogen absorption of steel in media containing hydrogen sulfide, in: Soviet Scientific Reviews, Section B. Chemistry reviews, OPA Ltd., Amsterdam, 1987, Pp. 115–162.
- [3] T.Y. Jin, Z.Y. Liu, Y.F. Cheng, Int. J. Hydrog. Energy 35, 2010, Pp. 8014-8021.
- [4] B. Beidokhti, A. Dolati, A.H. Koukabi, Mater. Sci. Eng. A 507, 2009, Pp. 167-173.
- [5] W. Sun, S. Nesic, Kinetics of iron sulfide and mixed iron sulfide/carbonate scale precipitation in CO_2/H_2S corrosion, NACE proceedings, 2006, Pp.6644.
- [6] B. Brown, S. Nesic, CO_2/H_2S corrosion under scale forming condition, NACE proceedings, 2005, Pp.5625.
- [7] S.A. Umeren, poly vinylpyrrolidone and polyacrylamide as corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium, pigment resin technology, 15, 2008, Pp. 227-286.
- [8] F. Xu and B. Hou, "Triazole derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution," Acta Metall. Sin. English Lett., Vol. 22, No. 4, , 2009, Pp. 247–254.
- [9] C. C. Nathan, "Corrosion Inhibitors", Betz Laboratories Inc, NACE, 1973, Pp. 61-88.
- [10] McCafferty, Edward. Introduction to corrosion science. Springer Science & Business Media, 2010.
- [11] A. Davoodi, M. Pakshir, M. Babaiee, G.R. Ebrahimi, ZA comparative H_2S corrosion study of 304L and 316L stainless steels in acidic media, Corrosion Science 53, 2011, Pp. 399–408.
- [12] H. Ma, X. Cheng, G. Li, S. Chen, Z. Quan, S. Zhao, L. Niu, The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions, Corros. Sci. 42, 2000, Pp.1669–1683.
- [13] X. Cheng, H. Ma, S. Chen, X. Chen, Z. Yao, Corrosion of nickel in acid solutions with hydrogen sulfide,

- Corros. Sci. 42, 2000, Pp.299-31.
- [14] M.A. Veloz, I. Gonza 'lez, Electrochemical study of carbon steel corrosion in buffered acetic acid solutions with chlorides and H₂S, *Electrochimica Acta* 48, 2002, Pp.135-144.
- [15] Tang J, Shao Y, Guo J, Zhang T, Meng G, Wang F. The effect of H₂S concentration on the corrosion behavior of carbon steel at 90 C. *Corrosion Science*. 2010 Jun 30;52(6):2050-8.
- [16] F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenée, Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in mild steel/2,5-bis(n-thienyl)- 1,3,4-thiadiazoles/hydrochloric acid system, *Corros. Sci.* 47, 2005, Pp.2915-2931.
- [17] J. Aljourani, K. Raeissi, M.A. Golozar, Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl solution, *Corros. Sci.* 51, 2009, Pp. 1836-788.

