

# بازدارندگی خوردگی پلی اتیلن گلايکل روی خوردگی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک و هم نیروزایی آن با شیف باز

سینا جهادی<sup>۱</sup>، مجتبی نصر اصفهانی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- دانشیار، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

\*عهده دار مکاتبات: mnstd@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

**چکیده:** در این تحقیق تاثیر بازدارندگی کمپلکس های شیف باز- پلی اتیلن گلايکل و میزان هم نیروزایی آن ها بر خوردگی فولاد ساده کربنی در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفته است. شیف باز N<sup>۲</sup> و N<sup>۳</sup> بیس (سالیسیل آلدهید)- ۱ و ۳ دی آمینو پروپان (سالپن) از واکنش سالیسیل آلدهید و ۱ و ۳ پروپان دی آمین سنتز شد. کمپلکس های پلی اتیلن گلايکل - شیف باز با نسبت های وزنی ۴:۱، ۴:۲ و ۴:۳ شیف باز و پلی اتیلن گلايکل تحت شرایط رفلاکس در حلال دی کلرومتان سنتز شد. آزمون های کاهش وزن، پلاریزاسیون و طیف سنجی آمپدانس الکتروشیمیایی نشان داد که کمپلکس های پلی اتیلن گلايکل-شیف باز در مقایسه با پلی اتیلن گلايکل و شیف باز بصورت جداگانه و یا مخلوط تاثیر بازدارندگی مطلوب تری در خوردگی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار دارد. میزان بازدارندگی کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلايکل برای نسبت وزنی ۴:۱ شیف باز و پلی اتیلن گلايکل دارای بهترین راندمان بود. همچنین افزایش درجه حرارت محلول موجب افزایش راندمان بازدارندگی کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلايکل تا دمای ۴۵ درجه سانتی گراد و کاهش آن در دماهای بالاتر شده است. سطوح خوردگی نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نیز بررسی شد که این نتایج با نتایج قبلی در توافق بود. داده های ترمودینامیکی جذب (K<sub>ads</sub> و  $\Delta G_{ads}$ ) با استفاده از داده های کاهش وزن محاسبه شد.

## واژه های کلیدی:

شیف باز، پلی اتیلن گلايکل، بازدارندگی خوردگی، فولاد ساده کربنی، اسید سولفوریک.

## ۱- مقدمه

مورد استقبال قرار گرفته اند. بازدارنده ها موادی هستند که با افزوده شدن به محیط و با ایجاد تغییر و تحول بر روی سطح فلزات، محیط و یا هر دو، ایجاد تغییرات در واکنش های آندی، کاتدی و یا هر دو واکنش، موجب کاهش میزان خوردگی می شوند و تاکنون تحقیقات مختلفی در مورد آن ها صورت گرفته است [۱-۳]. به طور کلی می توان بازدارنده ها را به ۲ دسته ی

روش های مختلفی برای مقابله با خوردگی وجود دارد که به عنوان مثال می توان اعمال پوشش، حفاظت کاتدی، حفاظت آندی، بازدارنده ها و ... را نام برد که هر کدام از این روش ها دارای شرایط و ویژگی های خاص خود هستند. در صنایع از بین این روش ها، بازدارنده های خوردگی به دلیل هزینه پایین، روش اعمال آسان و خواص ضد خوردگی عالی بیشتر از سایر روش ها

مطالعه ای در مورد اثر هم نیروزایی شیف باز و پلی اتیلن گلايكل در محیط اسیدی صورت نگرفته است. به همین منظور در این تحقیق سنتز کمپلکس های شیف باز ( $R_2C=NR'$  ( $R' \neq H$ )) با پلی اتیلن گلايكل و میزان اثر هم نیروزایی پلی اتیلن گلايكل و شیف باز در نسبت های مختلف بر روی خوردگی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار مورد بررسی قرار گرفته و مکانیسم مناسب جذب و بازدارندگی به وسیله هم نیروزایی با استفاده از آزمون های کاهش وزن، پلاریزاسیون و آمپدانس در دماهای مختلف و استفاده از SEM به منظور بررسی مورفولوژی سطح نمونه های فولادی تحت آزمون پیشنهاد شده است.

## ۲- مواد و روش انجام تحقیق

الف) مواد مورد نیاز: مواد شیمیایی مورد استفاده در جدول (۱) ذکر شده است.

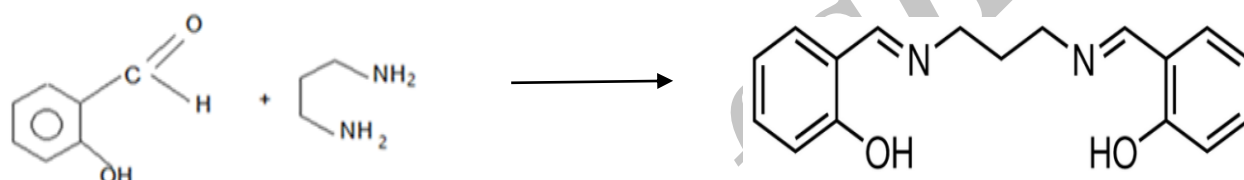
جدول (۱): فهرست مواد شیمیایی مورد استفاده

نام	علامت تجاری	فرمول شیمیایی
اسید سولفوریک	مرک	$H_2SO_4$
دی کلرومتان	مرک	$CH_2Cl_2$
پلی اتیلن گلايكل با جرم مولکولی ۱۰۰۰	مرک	$(CHOHCHOH)_n$
سالیسیل آلدهید	مرک	$C_7H_6O_2$
۳،۱ پروپان دی آمین	مرک	$C_3H_{10}N_2$

ب) آماده سازی نمونه ها: در این تحقیق از نمونه های استوانه ای فولاد ساده کربنی کربنی (st37) با قطر ۲۰ میلی متر و ضخامت ۶/۵ میلی متر برای آزمون کاهش وزن و از نمونه با ضخامت ۶/۵ میلی متر و سطح مقطع ۱ سانتی متر مربع برای آزمون های الکتروشیمیایی استفاده شد. آماده سازی نمونه ها شامل سایش نمونه ها با سمباده (۶۰-۱۴۰۰) و شست و شوی کامل با آب

بازدارنده های آلی و معدنی تقسیم بندی کرد. یکی از موثرترین بازدارنده های مورد استفاده در محیط های اسیدی بازدارنده آلی است [۴]. یکی از مواد پر کاربرد به عنوان بازدارنده، پلیمرها هستند. پلیمرها می توانند هم از مواد آلی و هم از مواد معدنی تشکیل شوند که موجب ایجاد شکل های مختلفی از آنها می شود [۵]. پلی اتیلن گلايكل یکی از این پلیمرها می باشد که به عنوان یک بازدارنده پرمصرف شناخته شده است. پلی اتیلن گلايكل ها از خانواده پلیمرهای خطی است و از واکنش افزایشی گاز اتیلن اکساید یا مونو اتیلن گلايكل یا دی اتیلن گلايكل سنتز می شود. تاکنون تحقیقات زیادی به منظور بررسی اثر بازدارندگی آن ها صورت گرفته است. به عنوان مثال در تحقیقات مختلفی تاثیر بازدارندگی پلی اتیلن گلايكل در محیط های اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک مورد بررسی قرار گرفته است [۶-۱۰] و در این محیط ها پلی اتیلن گلايكل تاثیر بازدارندگی خوبی از خود نشان داده است. همچنین اثر هم نیروزایی آن با یون های هالیدی [۱۱] و ایمیدازول [۵] بر خوردگی فولاد در محیط اسید سولفوریک نیز مورد بررسی قرار گرفته است و مشخص شده هم افزایی آن موجب افزایش میزان بازدارندگی آن شده است. شیف باز ها نیز امروزه به عنوان بازدارنده استفاده می شوند زیرا خواص الکترونی و حلالیت مناسب آن ها در حلال های رایج، دسترسی ساده برای تهیه آن ها و تنوع ساختاری گسترده این ترکیبات موجب شده است تا این لیگاندها بیشتر از سایر لیگاندها مورد توجه قرار بگیرند. به منظور بررسی اثر بازدارندگی آن ها تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. به عنوان مثال اثر بازدارندگی آن ها بر خوردگی فولاد کم کربن در اسیدهای کلریک - هیدروکلریک - سولفوریک مورد بررسی قرار گرفته [۱۲-۱۶] و اثر بازدارندگی خوبی از خود نشان داده اند. شیف باز ها به عنوان بازدارنده های موثر در محیط اسیدی و پلی اتیلن گلايكل به عنوان بازدارنده کمتر سمی بسیار مورد توجه هستند. با وجود تحقیقات بسیاری که بر روی بازدارنده ها از جمله شیف باز و گلايكل و اثر بازدارندگی آن ها صورت گرفته است با این وجود تاکنون

شکل (۱) ساختار شیف باز حاصل را نشان می دهد. برای تهیه بازدارنده های مورد نظر نیز مخلوطی از پلی اتیلن گلايكل و شیف باز با نسبت های وزنی ۴:۱، ۴:۲، ۴:۳ و ۴:۴ مطابق با جدول (۲) در ۱۰ میلی لیتر دی کلرو متان به مدت ۲ ساعت رفلاکس شد. سپس کمپلکس حاصل از رفلاکس در ظرفی با درپوش متخلخل به مدت ۴۸ ساعت و در دمای محیط قرار گرفت تا حلال آن تبخیر شود و بازدارنده ها که به نام کمپلکس های PEG-Salpn، A، B و C نامگذاری می شود تهیه شود.



شکل (۱): ساختار شیف باز سنتز شده

جدول (۲): نسبت های وزنی پلی اتیلن گلايكل و شیف باز مورد استفاده در تهیه کمپلکس بازدارنده شیف باز پلی اتیلن گلايكل

نمونه	گلايكل (g)	شیف باز (g)	درصد گلايكل	درصد شیف باز	نسبت وزنی گلايكل به شیف باز
A	۱/۰	۰/۲۵	۸۰	۲۰	۴:۱
B	۱/۰	۰/۵	۶۶/۷	۳۳/۳	۴:۲
C	۱/۰	۰/۷۵	۵۷	۴۳	۴:۳

آزمون ها: در این تحقیق از آزمون خوردگی کاهش وزن به مدت ۴ ساعت در ۱۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بدون و در حضور غلظت ۱۰۰۰ ppm از پلی اتیلن گلايكل، شیف باز، کمپلکس های A، B و C و مخلوط ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلايكل استفاده شد. بعد از غوطه وری نمونه ها با استون و آب مقطر آب کشی شدند. وزن نمونه ها قبل و بعد از غوطه وری با دقت ۰/۱ ± میلی گرم اندازه گیری شد. به منظور افزایش دقت در پردازش، داده ها از سه بار تکرار حاصل شده اند. در هر آزمایش از محلول تازه استفاده شد و دما با استفاده از ترموستات کنترل شد. برای هر بار آزمون راندمان بازدارندگی (IE%) و پوشانندگی سطح (θ) و نرخ خوردگی بر حسب میلی متر بر سال محاسبه گردید. همچنین از اندازه گیری های

مقطر و چربی زدایی با استون و خشک کردن در دمای اتاق می باشد که برای تمام آزمون ها مشابه است.

ب) سنتز: برای تهیه شیف باز مورد استفاده در این تحقیق ۰/۰۲۴۴ گرم سالیسیل آلدهید را در ۱۰ سی سی اتانول خالص (۹۹،۹٪) و ۰/۰۰۷۴ گرم از او۳- پروپان دی آمین در ۱۰ سی سی اتانول خالص (۹۹،۹٪) حل می شود و سپس محلول حاوی آلدهید به محلول حاوی آمین اضافه شد و ترکیب حاصل را در ظرفی با درپوش متخلخل و در دمای محیط قرار گرفت. پس از گذشت زمان یک هفته شیف باز مورد نظر حاصل می گردد.

ج) الکترولیت: الکترولیت مورد استفاده محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار می باشد که با رقیق کردن اسید سولفوریک با خلوص ۹۸٪ وزنی توسط آب مقطر حاصل شد. تمام آزمایش ها تحت شرایط غیر متلاطم و شرایط تهویه طبیعی در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد با استفاده از بن ماری انجام شد و دما با استفاده از دماسنج که در تمام طول آزمون در محلول قرار داشت کنترل شد و خطای دما ۱ ± درجه سانتی گراد بوده است. به منظور مقایسه راندمان بازدارندگی پلی اتیلن گلايكل، شیف باز، مخلوط پلی اتیلن گلايكل و شیف باز و کمپلکس های A، B و C در خوردگی فولاد ساده کربنی کلیه آزمایش ها در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بازدارنده در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار انجام شده است.

صحت نتایج حاصل تصاویر سطوح نمونه ها نیز پس از آماده سازی و غوطه وری در محیط اسیدی به مدت ۴ ساعت با و بدون حضور بازدارنده در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد به وسیله میکروسکوپ الکترونی (SEM) با دستگاه (Leo) بررسی و سپس تصاویر SEM تهیه شد.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج آزمون کاهش وزن شامل نرخ خوردگی و راندمان بازدارندگی فولاد ساده کربنی در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ppm از پلی اتیلن گلیکل، شیف باز و کمپلکس A، B و C و مخلوط ابه ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلیکل در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد در جدول (۳) ذکر شده است. آزمون تفاوت نسبی بین نتایج حاصل از تکرار آزمایش ها کمتر از ۸٪ است.

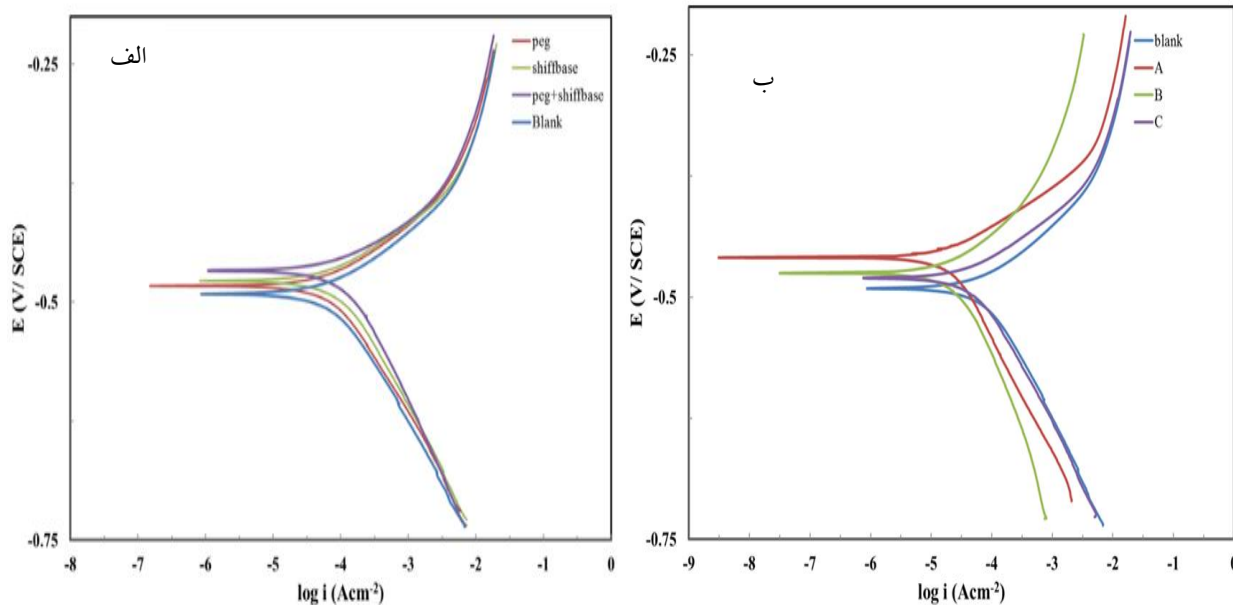
الکتروشیمیایی پلاریزاسیون و آمپدانس توسط دستگاه (Princeton Applied reseach) نوع (parsts 2273) با استفاده از فلت سل (روش سه الکترودی) که در آن الکتروود کاری نمونه فولادی بوده که یا یک و اشتر لاستیکی آب بندی شده و الکتروود شمارنده گرافیتی و الکتروود رفرنس کالومل بوده که به طور مستقیم در محلول قرار گرفته، استفاده شده است. مدت زمان غوطه وری الکتروود کاری قبل از شروع آزمون ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. مطالعات پلاریزاسیون با نرخ روبشی ۱ میلی ولت بر ثانیه و دامنه پتانسیل از  $-250\text{ mV}$  تا  $+250\text{ mV}$  نسبت به پتانسیل مدار باز و آزمون های آمپدانس الکتروشیمیایی در دامنه فرکانس  $1\text{ mHz}$  تا  $100\text{ KHz}$  و ولتاژ AC برابر با  $5\text{ mV}$  و DC برابر ۰ نسبت به پتانسیل مدار باز انجام شد. نتایج آمپدانس با استفاده از نرم افزار zview بررسی شد. این آزمون ها برای دما های ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد انجام شد. به منظور بررسی

در جدول (۳): داده های حاصل از آزمون کاهش وزن در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد

دما (°C)	سیستم	کاهش وزن (mg)	پوشاندگی سطح	درصد بازدارندگی	سرعت خوردگی (mmy)
۲۵	شاهد	$191/0 \pm 7/1$	-	-	۵۱
	شیف باز	$123/0 \pm 6/1$	۰/۳۵۵	۳۶	۴۱
	گلیکل	$151/0 \pm 3/1$	۰/۲۱۱	۲۱	۳۳
	شیف باز+ گلیکل	$0 \pm 1/06/1$	۰/۴۴۷	۴۵	۲۸
	A	$49/0 \pm 5/1$	۰/۷۴۲	۷۴	۱۳
	B	$59/0 \pm 2/1$	۰/۶۹۱	۶۹	۱۶
	C	$108/0 \pm 9/1$	۰/۴۳۲	۴۳	۲۹
۴۵	شاهد	$625/0 \pm 1/1$	-	-	۱۶۷
	A	$96/0 \pm 9/1$	۰/۸۴۵	۸۵	۲۶
	B	$243/0 \pm 2/1$	۰/۶۱۱	۶۱	۶۵
	C	$312/0 \pm 5/1$	۰/۵۰	۵۰	۸۴
۶۵	شاهد	$2518/0 \pm 3/1$	-	-	۶۷۴
	A	$0 \pm 2432/1$	۰/۰۳۲۲	۳	۶۵۲
	B	$2348/0 \pm 5/1$	۰/۰۶۷	۷	۶۲۹
	C	$0 \pm 2432/1$	۰/۰۳۴	۳	۶۵۱

رابطه معکوس وجود دارد. همچنین با توجه به این جدول می توان دریافت که با افزایش دما تا ۴۵ درجه سانتی گراد میزان بازدارندگی بازدارنده ها افزایش یافته است و در صورت افزایش دما بیش از ۴۵ درجه سانتی گراد میزان بازدارندگی به شدت کاهش پیدا کرده است. در شکل (۲-الف) منحنی های پلاریزاسیون آنودی و کاتدی حاصل از آزمون پلاریزاسیون فولاد ساده کربنی در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ ppm پلی اتیلن گلايكل، شیف بازو مخلوط ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلايكل و در تصویر (۲-ب) نمودار پلاریزاسیون نمونه بدون بازدارنده و کمپلکس های A، B و C در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به منظور بررسی تاثیر تشکیل کمپلکس بر روی رفتار پلاریزاسیون فولاد ساده کربنی و رفتار خوردگی آن ها در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار نمایش داده شده است.

با توجه به داده های حاصل از آزمون، میزان بازدارندگی برای گلايكل و شیف باز هر کدام به تنهایی حدود ۲۰-۳۰٪ است و در صورت مخلوط کردن شیف باز و گلايكل میزان بازدارندگی تا حدود ۴۴٪ افزایش پیدا کرده و برای کمپلکس آن ها میزان بازدارندگی به بالای ۷۰٪ می رسد که با توجه به این امر می توان دریافت که مخلوط کردن شیف باز و گلايكل تاثیر بازدارندگی بیشتری نسبت به هر یک از آن ها به صورت منفرد داراست و این اثر با تشکیل کمپلکس به صورت قابل توجهی افزایش می یابد. در بین بازدارنده ها نیز بیشترین میزان بازدارندگی مربوط به بازدارنده A است که حاوی نسبت ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلايكل می باشد. در کمپلکس A که میزان شیف باز ۰/۲۵ گرم است که کمتر از میزان شیف باز در دو کمپلکس دیگر می باشد، بیشترین راندمان بازدارندگی بدست آمده است. مشخص شده است که با افزایش میزان شیف باز در کمپلکس ها میزان بازدارندگی کاهش می یابد و بین میزان شیف باز و بازدارندگی



شکل (۲): منحنی های پلاریزاسیون برای فولاد ساده کربنی در اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد: (الف): بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ ppm پلی اتیلن گلايكل، شیف بازو مخلوط ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلايكل و (ب): در حضور ۱۰۰۰ ppm از کمپلکس های A، B و C شیب کاتدی ( $\beta_c$ ) نمودار تافل و راندمان بازدارندگی (%IE) نیز در جدول (۴) آمده است.

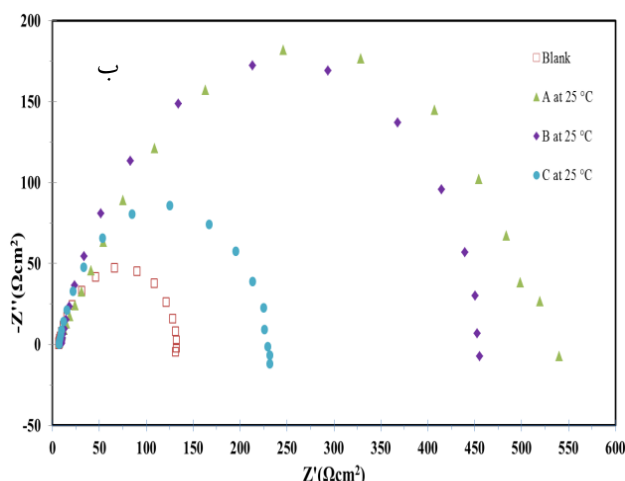
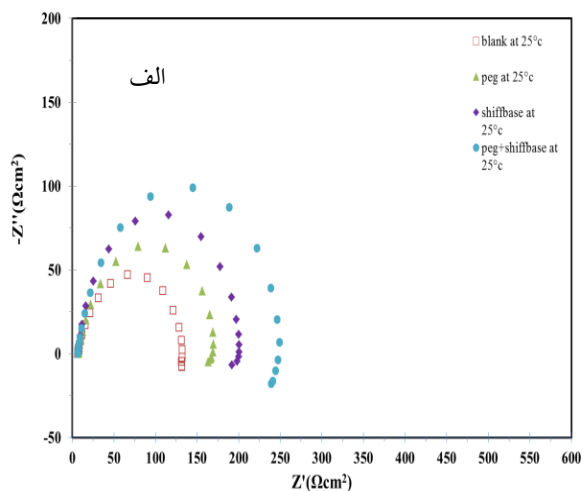
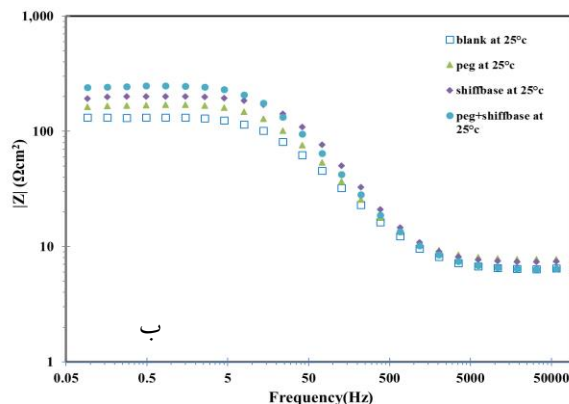
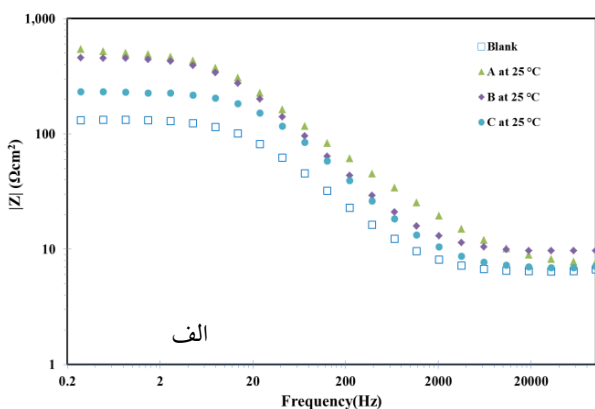
پارامترهای الکتروشیمیایی به دست آمده شامل جریان خوردگی ( $I_{cor}$ )، پتانسیل خوردگی ( $E_{cor}$ )، شیب آنودی ( $\beta_a$ ) و

جدول (۴): پارامترهای الکتروشیمیایی خوردگی فولاد ساده بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ ppm از پلی اتیلن گلايكل، شيف باز، کمپلکس های A، B و C و مخلوط ۱ به ۴ شيف باز و پلی اتیلن گلايكل در محیط اسيد سولفوریک ۰/۵ مولار در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد

درصد بازدارندگی	پوشاندگی سطح	شیب شاخه کاتدی mV/dec	شیب شاخه آندی mV/dec	جریان خوردگی $\mu A/cm^2$	پتانسیل خوردگی mV/s	سیستم	دما
-	-	۵۹	-۱۳۶/۱۸	۱±۱۰۶	۱±۴۶۷	شاهد	۲۵
۳۲	۰/۰۵۶	۵۶	-۱۱۴/۲۳	۱±۷۲	۱±۴۹۱	شيف باز	
۱۵	۰/۰۴۵	۵۵	-۱۲۳/۴۷	۱±۹۰	۱±۴۷۸	گلايكل	
۳۳	۰/۰۴۲	۵۴	-۱۱۳/۶۶	۱±۷۱	۱±۴۸۴	شيف باز+ گلايكل	
۷۹	۰/۰۷۷۲	۴۳	-۱۲۶/۷	۱±۲۴	۱±۴۵۹	A	
۷۶	۰/۰۷۰۴	۶۳	-۱۴۰/۵	۱±۲۶	۱±۴۷۶	B	
۵۶	۰/۰۴۰۹	۴۸	-۱۰۹/۶۵	۱±۴۷	۱±۴۸۰	C	
-	-	۶۲	-۱۶۸/۹۷	۱±۶۱۲	۱±۴۸۹	شاهد	۴۵
۸۷	۰/۰۵۸	۴۰	-۱۲۱/۲۹	۱±۷۸	۱±۴۸۵	A	
۶۳	۰/۰۶۳۷	۴۹	-۱۲۹/۶۶	۱±۲۲۵	۱±۴۹۱	B	
۵۶	۰/۰۴۹۲	۴۴	-۱۳۲/۷۲	۱±۲۷۱	۱±۴۸۸	C	

نایکوئیست و بد در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ ppm از پلی اتیلن گلايكل، شيف باز و مخلوط ۱ به ۴ شيف باز و پلی اتیلن گلايكل و در تصویر (۳-ب) منحنی های بد و نایکوئیست در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برای ۱۰۰۰ پی پی ام از بازدارنده های A، B و C نمایش داده شده است.

با توجه به جدول و نمودارها کمترین میزان دانسیته ی آندی و کاتدی به ترتیب برای کمپلکس ها و سپس مخلوط شيف باز- گلايكل و در نهایت برای شيف باز و گلايكل است. این کاهش دانسیته جریان نشان دهنده ی حضور بازدارنده و مسدود کردن هر دو واکنش آندی و کاتدی است و بیشترین میزان آن مربوط به کمپلکس ها می شود. در بین کمپلکس ها نیز کمترین میزان دانسیته جریان مربوط به کمپلکس A است. همچنین راندمان بازدارنده ها با افزایش دما تا ۴۵ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کرده است. داده های حاصل از آزمون پلاریزاسیون با داده های حاصل از آزمون کاهش وزن تطابق دارد که نشان دهنده این امر است، که با کاهش غلظت شيف باز نسبت به گلايكل مقدار بازدارندگی افزایش پیدا می کند. به منظور بررسی دقیق تر میزان بازدارندگی پلی اتیلن گلايكل و شيف باز، مخلوط و کمپلکس پلی اتیلن گلايكل و شيف باز بر روی فولاد ساده کربنی و محیط اسيد سولفوریک ۰/۵ مولار در دماهای ۲۵ و ۴۵ سانتی گراد آزمون آمپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل خوردگی انجام شده است. در شکل (۳-الف) منحنی های



شکل (۳): منحنی های نایکوئیست و بد در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد: (الف): بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ppm از پلی اتیلن گلايکل، شیف باز و مخلوط ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلايکل و (ب): با حضور ۱۰۰۰ پی پی ام از بازدارنده های A، B و C

مدار از  $R_s$  که مقاومت محلول و  $R_{ct}$  که مقاومت انتقال بار و از یک فاز ثابت CPE به جای خازن در مدار رندلز برای بدست آوردن بهترین تطابق تشکیل شده است. مقدار مقاومت انتقال بار نشان دهنده ی جا به جایی الکترون ها در فصل مشترک است. استفاده از CPE که توسط مقادیر  $Y_0$  (ثابت) و  $n$  بیانگر  $z = (-1)^{1/2}$  می باشد که یک عدد موهومی است و  $\omega$  زاویه فرکانس (بر حسب rad/s است) تعریف می شود به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد [۱۸] و مدلی را برای مقایسه سطح الکتروود ناهمگن به صورت رسم نمودار له شده در نیم دایره نایکوئیست ارائه می دهد. استفاده از CPE به منظور تحلیل

همچنین برای تحلیل داده های آمپدانس از مدار معادل رندلز استفاده شده است که در تصویر (۴) نمایش داده شده است. این مدل قبلا برای مدل کردن فصل مشترک فولاد - اسید به کار برده شده است [۱۷].



شکل (۴): مدار معادل رندلز

مخلوط شیف باز و PEG با نسبت ابه ۴ ( $237/5 \Omega cm^2$ ) >  
 شیف باز ( $190/4 \Omega cm^2$ ) > PEG ( $160/9 \Omega cm^2$ )  
 مقدار راندمان بازدارندگی (IE%) با مقایسه مقدار مقاومت انتقال  
 بار (Rct) با و بدون حضور بازدارنده در محلول در جدول (۵)  
 محاسبه شده است.

داده های الکتروود جامد به کار می رود. مقادیر پارامترها  
 الکتروشیمیایی تصویر (۳) در جدول (۵) آمده است. مقاومت  
 انتقال بار محلول (Rct) در حضور بازدارنده بیشتر از زمان عدم  
 حضور آن می باشد که برای ۱۰۰۰ ppm بازدارنده به ترتیب زیر  
 است.

جدول (۵): پارامترهای آمپدانس الکتروشیمیایی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بدون حضور بازدارنده و در حضور ۱۰۰۰ ppm از پلی اتیلن گلیکول، شیف باز، مخلوط ۱ به ۴ شیف باز و پلی اتیلن گلیکول و کمپلکس های A، B و C

IE %	Cdl $\mu fcm^2$	Rct $\Omega cm^2$	n	Y. $\mu\omega s^n/cm^2$	Rs $\Omega cm^2$	سیستم	دما
-	۵۴/۶	۱۲۹/۲	۰/۸۰	۱۴۸/۸	۶/۴	شاهد	۲۵
۳۲	۲۸/۴	۱۹۰/۴	۰/۹۰	۴۶/۹	۷/۴	شیف باز	
۲۰	۴۵/۶	۱۶۰/۹	۰/۸۴	۱۰۱/۶	۷/۷	گلیکول	
۴۶	۳۸/۹	۲۳۷/۵	۰/۸۵	۷۵/۹	۶/۴	شیف باز+گلیکول	
۷۸	۲۷/۳	۵۷۴/۹	۰/۶۸	۱۱۳/۶	۷/۱	A	
۷۱	۲۹/۴	۴۵۶/۹	۰/۸۲	۶۵/۵	۹/۵	B	
۴۶	۲۷/۹	۲۳۷/۶	۰/۸۲	۶۸/۷	۶/۸	C	
-	۲۴/۳	۲۳/۸۴	۰/۹۰	۵۰/۱	۵/۴	شاهد	۴۵
۹۱	۱۸/۴	۲۷۸/۶	۰/۸۲	۴۵/۵	۵/۴	A	
۷۰	۲۲/۱	۸۰/۷	۰/۷۵	۱۰۲/۱	۶/۵	B	
۵۴	۲۷/۷	۵۱/۸	۰/۹۲	۴۷/۳	۵/۲	C	

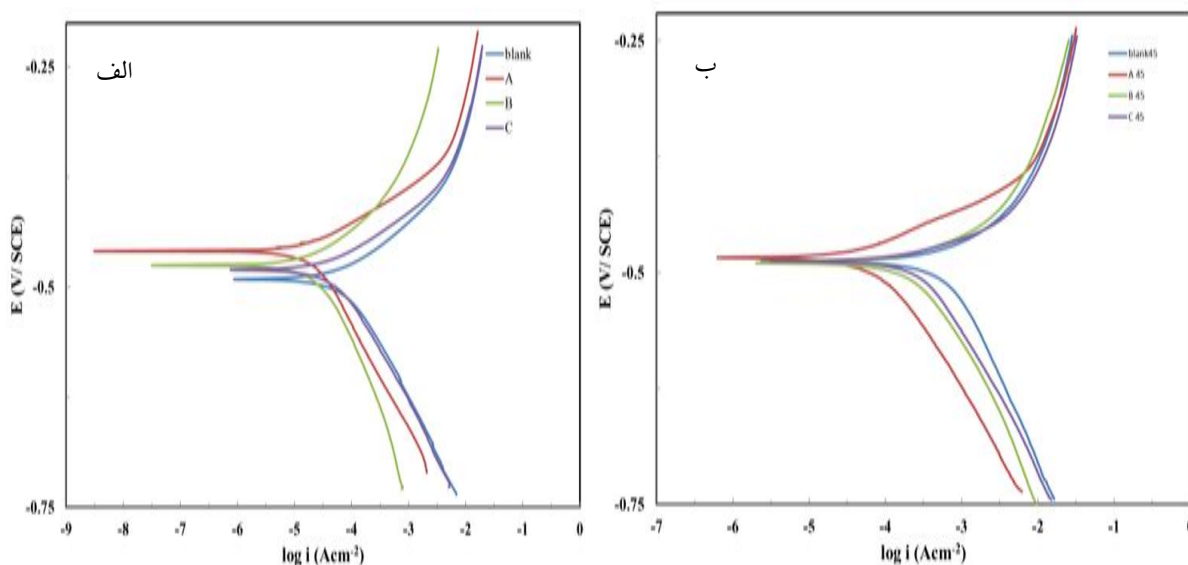
در نتیجه افزایش میزان بازدارندگی است که با نتایج راندمان  
 بازدارندگی به دست آمده و محاسبه شده در جدول (۵) مطابق  
 است. میزان شیف باز در کمپلکس های شیف باز و گلیکول با  
 کاهش درصد خوردگی فولاد به علت اثر جذب بازدارنده در  
 فصل مشترک فلز- محلول در ارتباط است و فلز را در برابر  
 خوردگی حفاظت می کند. پارامتر n واحدی برای اندازه گیری  
 ناهموازی های سطح است و افزایش آن در بازدارندگی محلول  
 توسط کمپلکس شیف باز و گلیکول در مقایسه با محیط اسیدی  
 بدون بازدارنده با کاهش جذب یکنواخت بازدارنده، در ارتباط  
 است. همچنین باید توجه شود که مقاومت پلاریزاسیون و

با توجه به راندمان های بدست آمده از، پلی اتیلن گلیکول،  
 شیف باز و مخلوط شیف باز و پلی اتیلن گلیکول می توان  
 دریافت که جذب مولکول های پلی اتیلن گلیکول و شیف باز بر  
 روی سطح و تاثیر گذاری آن ها بر روی جلوگیری از خوردگی  
 به صورت جداگانه است که نشان دهنده ماهیت هم نیرو زایی  
 است. در نمودار های نایکوئیست قطر نیم دایره نمودار و در  
 منحنی های بد طول مدول متناسب با مقاومت انتقال بار است. با  
 توجه به منحنی های نایکوئیست و بد شکل (۳) با کاهش میزان  
 شیف باز، قطر نیم دایره نمودار نایکوئیست و طول مدول نمودار  
 بد افزایش می یابد که نشان دهنده افزایش مقاومت انتقال بار و

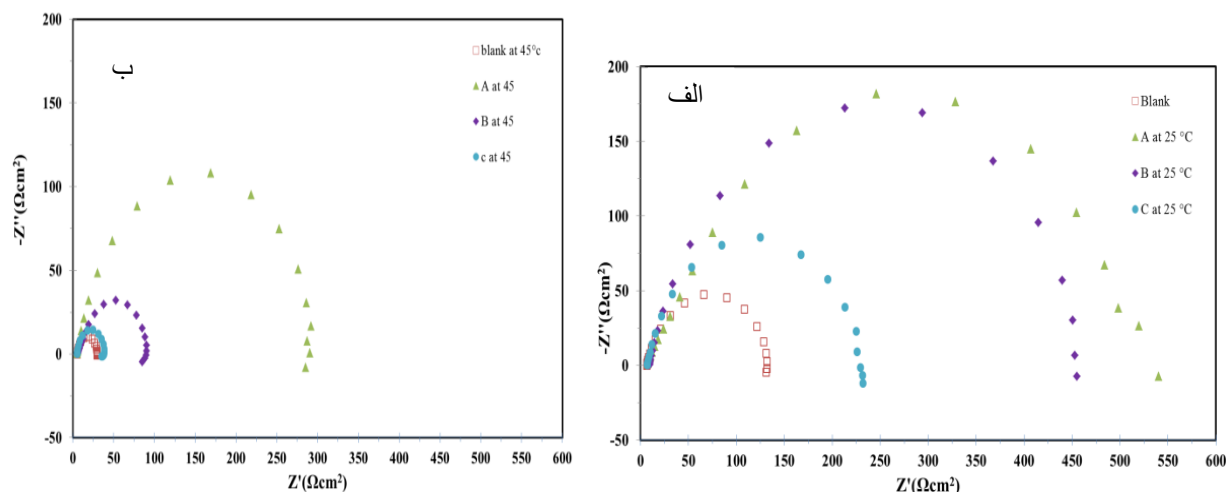


دماهای ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد انجام شده است. غلظت مورد استفاده برای بازدارنده های A و B و C در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد ۱۰۰۰ ppm بوده است. در شکل (۵) منحنی های پلاریزاسیون در حضور و بدون حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده های A، B و C و در شکل (۶) منحنی های آمپدانس در حضور و بدون حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده های A، B و C در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد نمایش داده شده است.

راندمان بازدارندگی بدست آمده از کمپلکس A بیشتر از مقاومت پلاریزاسیون و راندمان بازدارندگی حاصل از حضور مخلوط گلايکل و شیف باز با نسبت ۱ به ۴ است. همچنین داده های حاصل نیز تماما با داده های حاصل از آزمون کاهش وزن هماهنگ است. همچنین به منظور بررسی تاثیر دما بر بازدارندگی کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلايکل بر روی فولاد ساده کربنی در اسید سولفوریک ۰/۵ مولار آزمون های پلاریزاسیون و آمپدانس در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد و کاهش وزن در



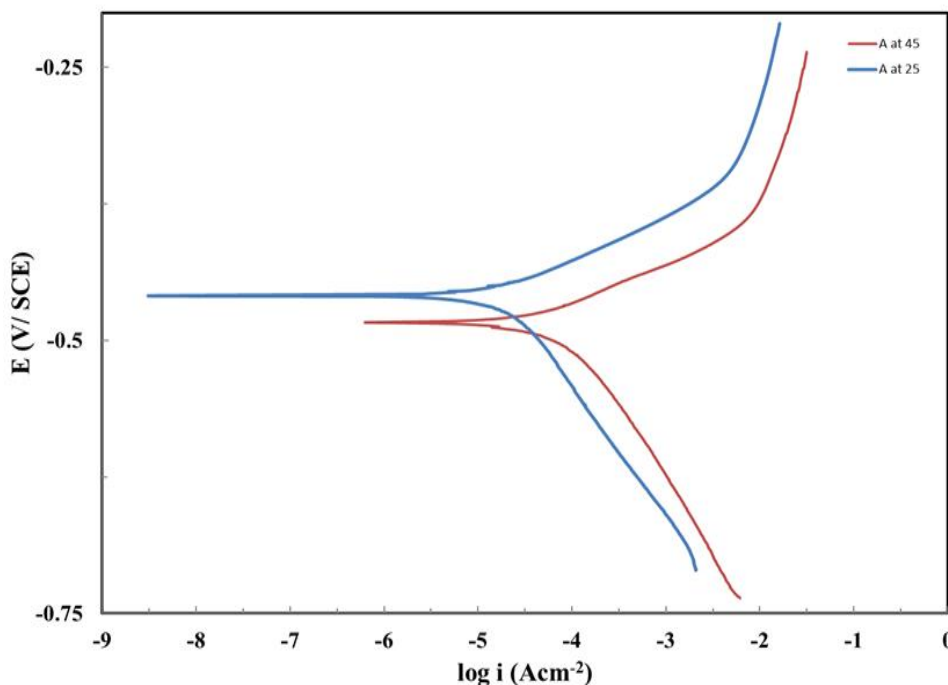
شکل (۵): منحنی های پلاریزاسیون بدون حضور و در حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده های A، B، C در دماهای: (الف): ۲۵ و (ب): ۴۵ درجه سانتی گراد



شکل (۶): نمودار های آمپدانس در حضور و بدون حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده های A، B و C در دماهای: (الف): ۲۵ و (ب): ۴۵ درجه سانتی گراد

بیشترین میزان بازدارندگی است در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد نشان داده شده است.

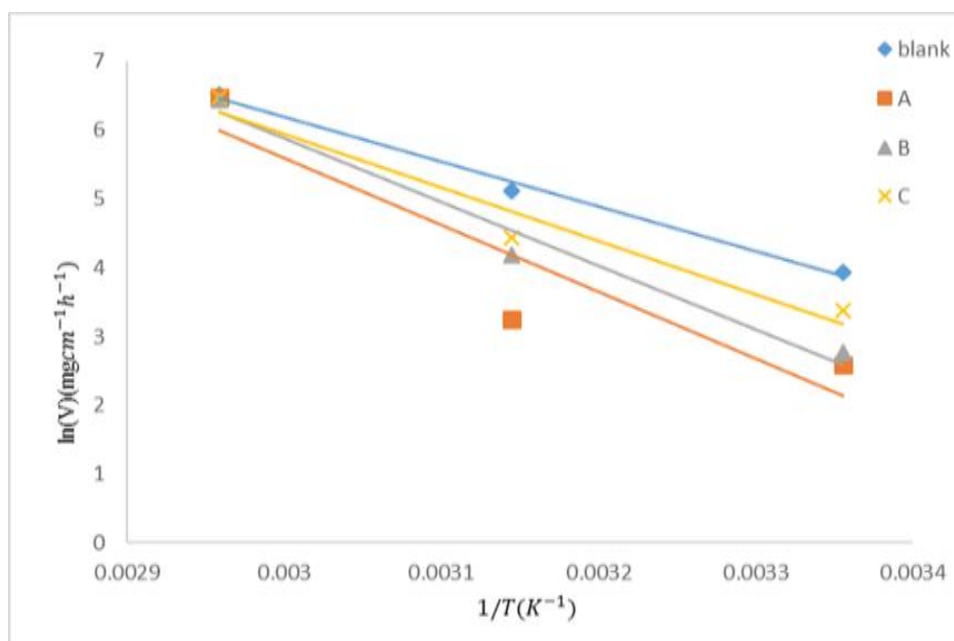
همچنین به منظور واضح تر بودن در شکل (۷) نیز نمودارهای پلاریزاسیون در حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده A که دارای



شکل (۷): نمودارهای پلاریزاسیون برای ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده A در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد

شیمیایی بودن جذب پلی اتیلن گلایکل و شیف باز بر روی فولاد ساده کربنی است. رفتار خوردگی را می توان از نوع آرنیوسی در نظر گرفت. نمودار آرنیوسی ( $\ln V$ ) (نرخ خوردگی) بر حسب ( $1/T$ ) بر اساس اطلاعات بدست آمده از کاهش وزن در شکل (۸) بدست آمده است. در جدول (۶) مقادیر بدست آمده از  $E_a$  برای محلول شاهد و محلول حاوی بازدارنده نشان داده شده است.

همان طور که از نمودار مشخص است با افزایش دما، پتانسیل به سمت مقادیر منفی تر حرکت می کند و دانسیته جریان خوردگی نیز کاهش می یابد. همچنین نرخ خوردگی نمونه شاهد در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد بیشتر شده و راندمان بازدارندگی کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلایکل با افزایش دما افزایش یافته است. همچنین جدول حاصل از انجام آزمون های کاهش وزن (۳) نیز تصدیق کننده افزایش بازدارندگی با افزایش دما تا ۴۵ درجه سانتی گراد است. با توجه به داده های حاصل از آزمون آمپدانس و آزمون پلاریزاسیون می توان نتیجه گرفت که جذب کمپلکس روی سطح فلز به علت افزایش بازدارندگی در دمای بالا از نوع شیمیایی است و بازدارندگی برای پلی اتیلن گلایکل به صورت کاهش واکنش کاتدی و برای شیف باز به صورت کاهش واکنش آندی است و



شکل (۸): نمودار آرینوسی  $\ln(V)$  بر حسب  $1/T$  آزمون کاهش وزن فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار و کمپلکس های A، B و C در دماهای ۲۵ و ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد

فرآیند جذب بازدارنده است. در جدول (۶) نیز مقادیر پارامترهای ترمودینامیکی برای فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در حضور و بدون حضور ۱۰۰۰ ppm از کمپلکس های A، B و C نشان داده شده است.

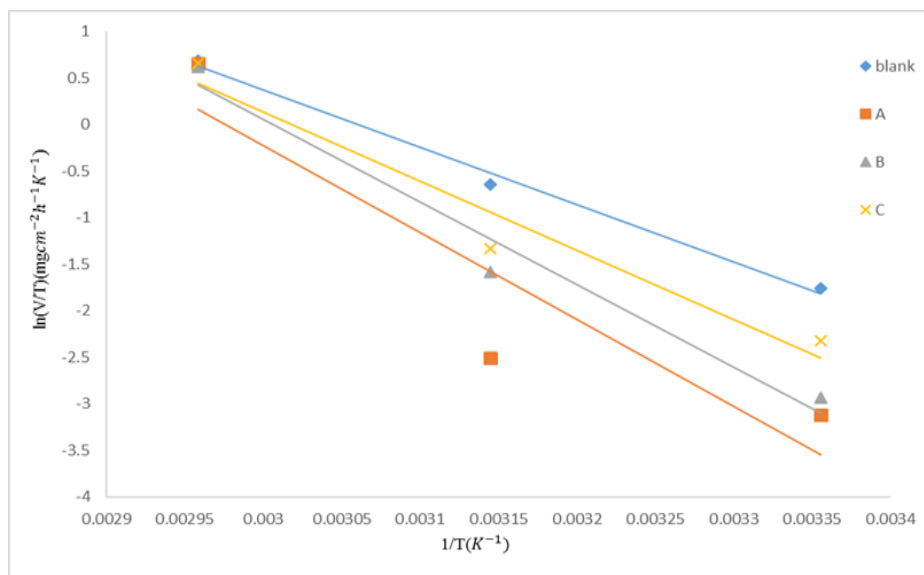
در حضور کمپلکس های A، B و C انرژی فعالسازی به ترتیب ۸۰، ۷۷ و ۶۵ KJ/mol افزایش می یابد. افزایش مقدار Ea در حضور کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلايكل در مقایسه با زمان عدم حضور کمپلکس ها نشان دهنده ی فیزیکی بودن

جدول (۶): مقادیر پارامترهای ترمودینامیکی برای فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در حضور و بدون حضور ۱۰۰۰ ppm از کمپلکس های A، B و C

سیستم	انرژی اکتیواسیون (KJ/mol)	-تغییرات انتالپی (KJ/mol)	تغییرات انتروپی (KJ/mol)
شاهد	۵۴	۵۱	۰/۱۶
A	۸۰	۷۷	۰/۲۳
B	۷۷	۷۴	۰/۲۲
C	۶۵	۶۱	۰/۱۹

راست  $-\Delta H/R$  و از عرض از مبدا  $\Delta S^*/R$  به دست می آید که مقادیر آن در جدول (۶) محاسبه شده است.

مقدار آنتالپی فعالسازی ( $\Delta H^*$ ) و آنتروپی فعالسازی ( $\Delta S^*$ ) برای خوردگی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در حضور کمپلکس شیف باز و پلی اتیلن گلايكل مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس آن در شکل (۹) نمودارهای  $\ln(V/T)$  بر حسب  $1/T$  نشان داده شده است که شیب خطوط



شکل (۹): نمودار آربینوسی  $\ln(V/T)$  بر حسب  $1/T$  برای کمپلکس های A، B، C در دماهای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد بر روی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار

زمانی که  $C/\theta$  بر حسب C رسم شود شکل (۱۰)، یک رابطه خطی با شیبی پیوسته بین آن ها مشاهده می شود. بنابراین  $\theta$  از نظر عددی مقداری همسان با راندمان بازدارندگی که از فرمول  $\theta = \%IE/100$  بدست می آید. طبق بررسی های انجام شده از اطلاعات آزمون کاهش وزن به منظور بدست آوردن مقادیر پوشاندگی سطحی استفاده شد.  $K_{ads}$  ثابت تعادل واکنش جذب و واجذب ( $K_{ads}$ ) به انرژی آزاد جذب بستگی دارد که از فرمول (۳) بدست می آید.

$$K_{ads} = \left(\frac{1}{55.5}\right) \exp\left(-\frac{\Delta G_{ads}}{RT}\right) \quad (3)$$

به طوری که R ثابت گازها و T دمای مطلق است. مقادیر انرژی آزاد جذب  $\Delta G_{ads}$  منفی است که خود بخودی بودن فرآیند جذب و پایداری لایه جذب را روی سطح نشان می دهد. به طور کلی برای مقادیر  $\Delta G_{ads}$  بیشتر از  $-20 \text{ kJ mol}^{-1}$  فعل و انفعالات الکترواستاتیک بین بار مولکول ها و بار فلز (جذب فیزیکی) ثابت هستند در حالی که مقادیر منفی تر از  $-40 \text{ kJ mol}^{-1}$  شامل به اشتراک گذاری بار یا انتقال الکترون از مولکول های بازدارنده به سطح فلز، به شکل یک اتصال پیوسته

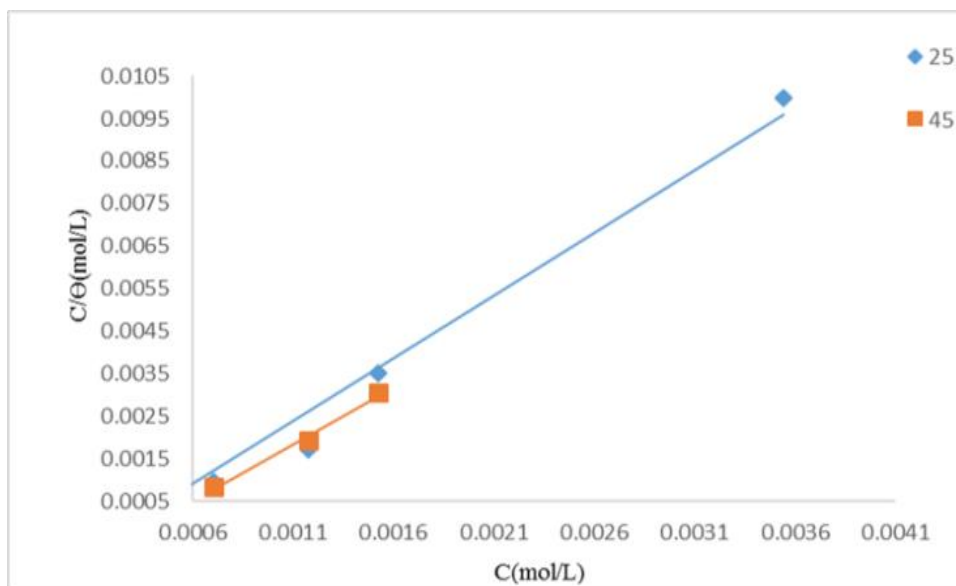
همان طور که از جدول (۶) هم قابل مشاهده است تمام مقادیر  $E_a$  بزرگ تر از مقادیر نظیر آن در  $\Delta H^*$  است که نشان دهنده واکنش آزاد شدن هیدروژن یا انجام فرایند خوردگی است. همچنین ایزوترم جذب این کمپلکس ها به عنوان بازدارنده مورد بررسی قرار گرفته است. اگر جذب مولکول ها در فصل مشترک فلز-محلول دلیل جذب بازدارندگی خوردگی باشد باید ایزوترم جذب برای ارتباط بین برهم کنش بین بازدارنده و سطح فلز بررسی شود. ایزوترم لانگمویر که بر اساس معادل بودن کل موقعیت های جذب و غیر مستقل بودن جذب ذرات است مناسب ترین ایزوترم است. با این فرضیه تناسب بین پوشاندگی سطح  $\theta$  و غلظت محلول از معادله (۱) پیروی می کند که در آن  $\theta$  بدون واحد و  $K_{ads}$  ثابت تعادل جذب و واحد آن عکس غلظت ( $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$ ) است و با معادله (۲) حاصل میشود.

$$K_{ads} C = \frac{\theta}{1-\theta} \quad (1)$$

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + c \quad (2)$$

پارامترهای ترمودینامیکی جذب کمپلکس های A، B و C در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بر روی فولاد ساده کربنی در دماهای مختلف محاسبه شده است.

می شود (جذب شیمیایی) [۱۹]. انرژی آزاد جذب گیس برای کمپلکس های شیف باز و پلی اتیلن گلايكل در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد به ترتیب  $16 \text{ kJ mol}^{-1}$  و  $18 \text{ kJ mol}^{-1}$  است پس می توان نتیجه گرفت که جذب این مولکول ها روی فلز جذب فیزیکی است. در جدول (۷)



شکل (۱۰): نمودار تغییرات C بر حسب C/θ برای کمپلکس های A، B و C بر روی فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار در دماهای مختلف

جدول (۷): پارامترهای ترمودینامیکی جذب کمپلکس های A، B و C در محیط اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بر روی فولاد ساده کربنی در دماهای مختلف

ایزوترم لانگمیر				-
$R^2$	slope	$K_{ads}$	$-\Delta G_{ads}^0$ (KJ/mol)	دما
۰/۹۷	۲/۹۵۲/۶۹	۱۱۱۱	۱۶	۲۵
۰/۹۹		۹۰۹	۱۸	۴۵

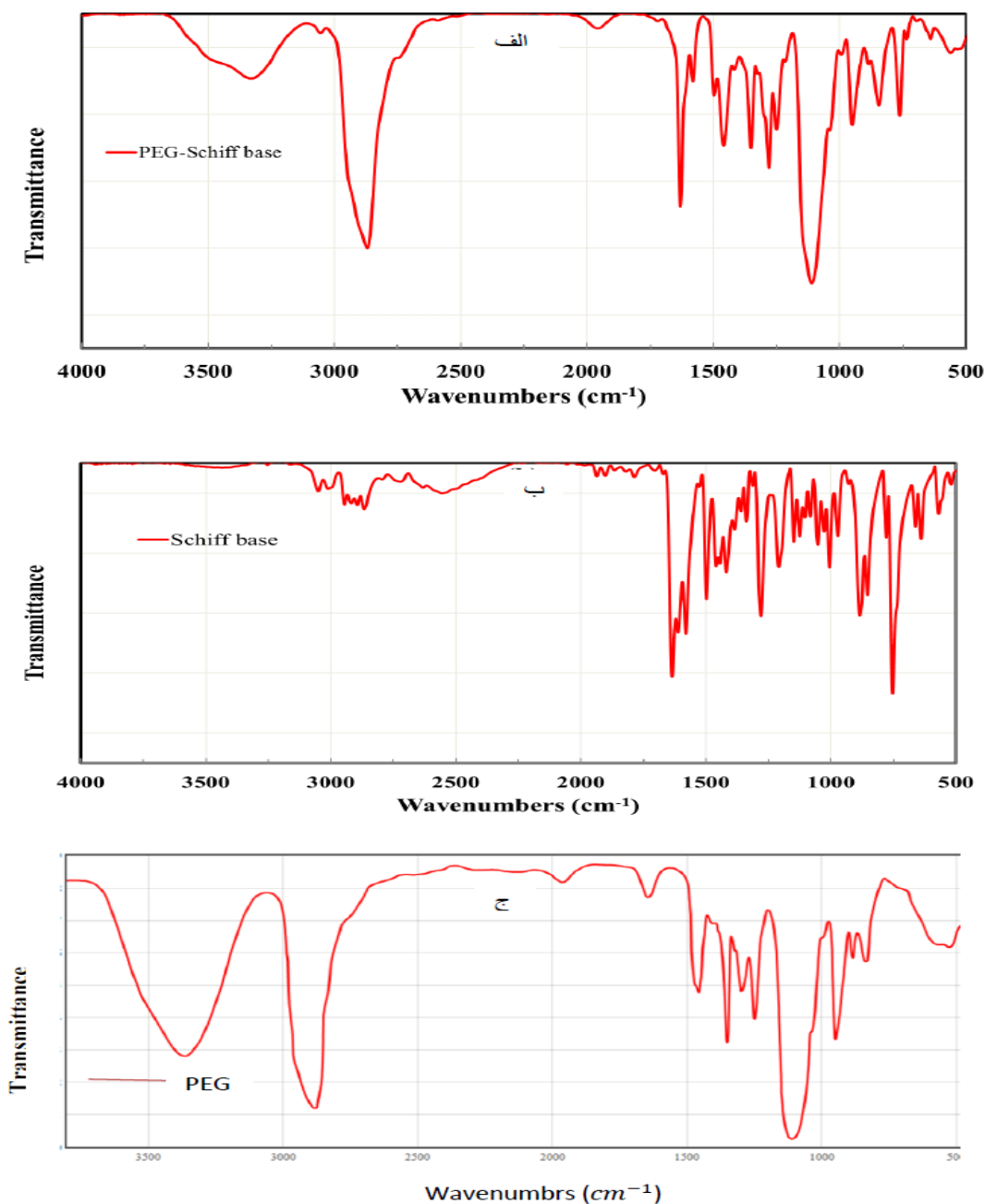
روی سطح به علت غیر همگن بودن بازدارنده، غیر یکنواخت باشد نتایج خوبی به دست نمی آید و بازدارنده خوردگی ضعیف عمل می کند. در این تحقیق یک غلظت بهینه از کمپلکس شیف باز و پلی اتیلن گلايكل به نام A با نسبت ۱ به ۴ از پلی اتیلن گلايكل و شیف باز مورد تحقیق قرار گرفته است. پلی اتیلن گلايكل دارای ساختار زنجیره ای و شیف باز دارای حلقه آروماتیک I می باشد. پس از مخلوط کردن شیف باز و پلی اتیلن گلايكل زمانی که واکنش پروتون زدایی بین آن ها

مکانیسم هم نیروزایی شیف باز و پلی اتیلن گلايكل و تاثیر آن بر میزان بازدارندگی نیز بررسی شده است. بازدارندگی خوردگی مواد آلی بر روی فولاد ساده کربنی به جذب آن ها روی فولاد، که آن نیز به غلظت و ساختار مولکولی آن ها وابسته است بستگی دارد. وقتی غلظت بازدارنده بسیار کم است، سطح فولاد توسط بازدارنده به خوبی پوشش داده نمی شود و در نتیجه بازدارنده خوردگی ضعیف عمل می کند. از طرف دیگر در غلظت های بسیار بالا هم اگر جذب بازدارنده

تعدادی از آن‌ها به ناحیه با فرکانس بالا منتقل شده است که نشان دهنده این است که واکنش پروتون دار شدن و پروتون زایی رخ داده و کمپلکس پلی اتیلن گلیکول - شیف باز تشکیل شده است.

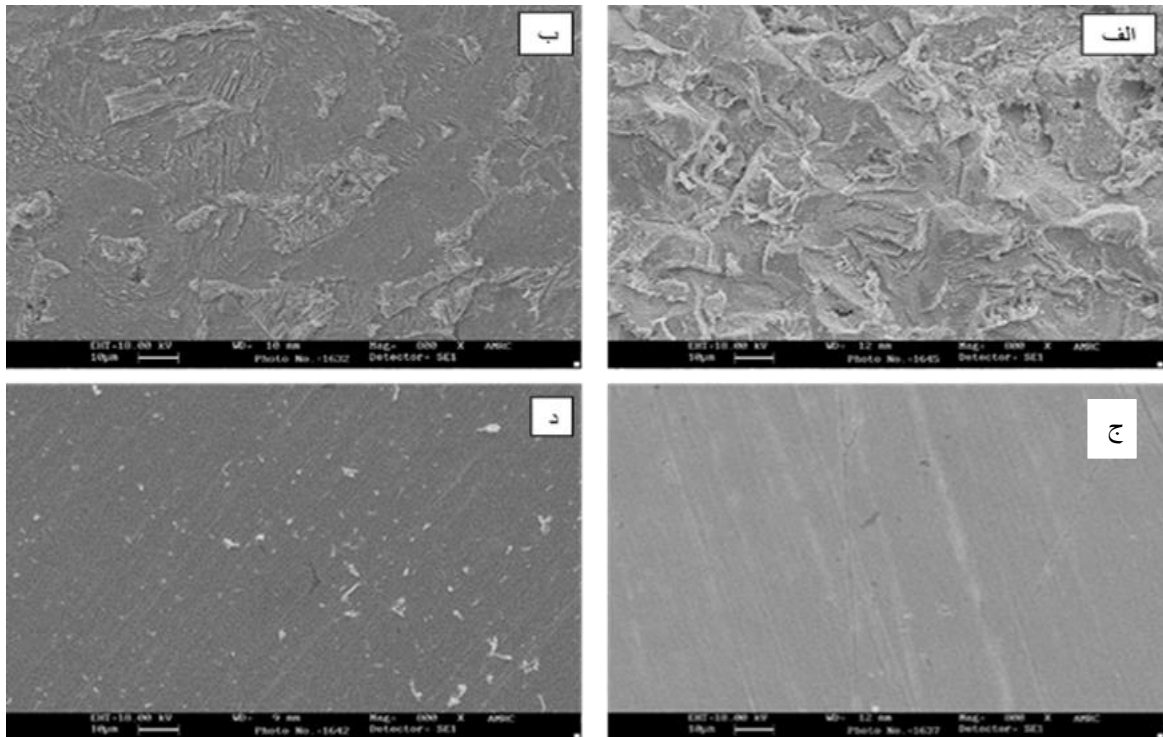
به اتمام می‌رسد، آنیون‌های  $\text{PEG}^-$  و شیف باز پروتونه شده تشکیل می‌شود که توسط طیف سنجی FTIR تایید شد. نتایج حاصل از آزمون FTIR در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. از مقایسه طیف FTIR شیف باز، گلیکول و کمپلکس A مشخص می‌شود که پیک‌های خاصی به طور کامل محو و

شکل (۱۱): طیف عبوی FTIR (الف): کمپلکس A، (ب): شیف باز و (ج): پلی اتیلن گلیکول



تصاویر SEM از سطح فولاد ساده کربنی پس از قرار گرفتن در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک با حضور ۱۰۰۰ ppm از بازدارنده A در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد است. از تصاویر حاصل از میکروگراف های الکترونی که در آن در غیاب بازدارنده سطح به شدت خورده شده است ولی حضور بازدارنده موجب کاهش آسیب به سطح شده است می توان نتیجه گرفت کمپلکس دارای اثر بازدارندگی بسیار خوبی برای فولاد در این محیط است. این نتایج در توافق با نتایج کاهش وزن و آزمون های الکتروشیمیایی می باشد.

نتایج به دست آمده از اثر هم نیروزایی نشان می دهد که افزایش فعل و انفعالات یونی بین آنیون PEG و کاتیون شیف باز باعث افزایش پوشاندگی سطح می شود. وجود نیتروژن در شیف باز و اکسیژن در پلی اتیلن گلايكل می تواند عامل دیگری برای ایجاد این هم نیروزایی باشد. گونه های آنیونی از طریق واکنش بین آهن و اکسیژن آنیون الکو اکسید به عنوان مرکز اتصال جذب می شوند. شیف باز ها می توانند به دو روش بر روی سطح جذب شوند: ۱- به صورت مولکول خنثی از طریق شیمیایی شامل به اشتراک گذاری الکترون با فلز ۲- به صورت کاتیونی با بار مثبت ( $N^+$ ) قسمتی از مولکول که به سمت قسمت منفی سطح فلز است رخ می دهد. همان طور که آنیون هایی مانند  $PEG^-$  روی سطح فلز جذب می شوند شکل کاتیونی شیف باز  $schiff\ base^+$  نیز می تواند روی سطح فلز جذب شوند. به علت اثرات فضایی شیف باز جذب شده، برخی از موقعیت ها بدون جذب باقی می ماند. به علت ساختار حلقوی کمپلکس شیف باز و پلی اتیلن گلايكل، شیف باز می تواند روی موقعیت های باز جذب شود. این رفتار بازدارنده در دمای بالا توسط دو فرایند تسریع می شود: ۱- اختلاف زمانی بین دو فرایند جذب و واجذب در دماهای بالا بیشتر می شود و در نتیجه فلز کمتر در معرض محلول اسیدی قرار می گیرد. ۲- کمپلکس شیف باز زدایی شده و باعث جذب پلی اتیلن گلايكل روی فولاد و در نتیجه باعث کاهش میزان خوردگی می شود [۲۰]. بیشترین راندمان بازدارندگی مربوط به کمپلکس A می باشد که دارای کمترین میزان شیف باز است. تاثیر بازدارندگی با افزایش میزان شیف باز کاهش می یابد. نتایج حاصل نشان می دهد که راندمان بازدارندگی کمپلکس شیف باز و گلايكل بهتر از مخلوط پلی اتیلن گلايكل و شیف باز است و تاثیر بازدارندگی بدست آمده به علت ترکیب عملکرد گلايكل و شیف باز است. در شکل (۱۲ الف و ب) تصاویر SEM از نمونه های فولاد ساده کربنی پس از قرار دادن در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک در دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد را نشان می دهد که خوردگی یکنواخت به طور شدید رخ داده است. شکل (۱۲ ج و د) نشان دهنده



شکل (۱۲): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح فولاد ساده کربنی پس از قرار دادن در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک. الف: در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، (ب): در دمای  $45^{\circ}\text{C}$ ، (ج): در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، در حضور  $1000\text{ ppm A}$  و (د): در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  در حضور  $1000\text{ ppm A}$  بازدارنده

#### ۴- نتیجه گیری

- ۱- کمپلکس پلی اتیلن گلیکول و شیف باز بازدارندگی  $70\%$  در دمای  $25$  درجه سانتی گراد و  $85\%$  در دمای  $45$  درجه سانتی گراد از خود نشان داده است که بازدارندگی بسیار خوبی برای فولاد ساده کربنی در محیط اسید سولفوریک  $0/5$  مولار است.
- ۲- راندمان بازدارندگی با افزایش دما و کاهش غلظت شیف باز در کمپلکس، افزایش می یابد.
- ۳- کمپلکس پلی اتیلن گلیکول و شیف باز عملکرد بهتری نسبت به مخلوط آن ها دارد.
- ۴- بازدارندگی کمپلکس پلی اتیلن گلیکول و شیف باز روی فولاد ساده کربنی در محیط اسیدی از ایزوترم لانگمویر پیروی می کند.
- ۵- بازدارندگی کمپلکس شیف باز و پلی اتیلن گلیکول به صورت مختلط (آندی و کاتدی) است.
- ۶- نتایج بدست آمده از ایزوترم های جذب حاکی از جذب فیزیکی کمپلکس روی سطح فلز است.

۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی تاییدی بر عملکرد بالای بازدارنده در محیط اسیدی است.

#### ۵- مراجع

- [۱] ا. دانایی، ع. حسین زاده و م. حسین مداحی، "بررسی اثرات بازدارندگی خوردگی دو مشتق تiazولی برآلیاژ فولاد در اسید کلریدریک"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، شماره ۴، ۱۰، زمستان ۱۳۹۵.
- [۲] م. ح. باقری، ح. کلهر و آ. قورچیان، "بررسی خاصیت بازدارندگی برخی از ایمیدازولها به روی فلز مس به روش نظری و مقایسه آن با نتایج تجربی"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، شماره ۲، ۹، تابستان ۱۳۹۴.
- [۳] آ. فتح الحسینی و ص. مومنی، "تاثیر بازدارنده ای بر پایه ایمیدازولین بر خوردگی فولاد API 5L Gr.B در آب دریای ساختگی"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، شماره ۱، ۹، بهار ۱۳۹۴.



- [13] A. Yurt, G. Bereket, A. Kivrak, A. Balaban, B. Erk, "Effect of Schiff bases containing pyridyl group as corrosion inhibitors for low carbon steel in 0.1 M HCl", *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 35, pp. 1025-1032, 2005.
- [14] M. Behpour, S. M. Ghoreishi, N. Mohammadi, N. Soltani & M. Salavati Niasari, "Investigation of some Schiff base compounds containing disulfide bond as HCl corrosion inhibitors for mild steel", *Corrosion Science*, Vol. 52, pp. 4046-4057, 2010.
- [15] H. Shokry, M. Yuasa, I. Sekine, R. M. Iss, H. Y. EL Baradie & G. K. Gommad, "Corrosion inhibition of mild steel by Schiff base compounds in various aqueous solutions -part-1", *Corrosion Science*, Vol. 40, No. 12, pp. 2173\_2186, 1998.
- [16] M. G. Hosseini, M. Ehteshamzadeh & T. Shahrabi, "Protection of mild steel corrosion with Schiff bases in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution", *Electrochimica Acta*, Vol. 52, pp. 3680-3685, 2007.
- [17] Larabi, Y. Harek, O. Benali & S. Ghalem, "Prog. Org. Coat", Vol. 54, pp. 256, 2005.
- [18] X. Li, S. Deng, H. Fu & X. Xie, "Synergistic inhibition effects of bamboo leaf extract/major", *Corrosion Science*, Vol. 78, pp. 29-42, 2004.
- [19] F. M. Donahue & K. Nobe, "Theory of organic corrosion inhibitors: adsorption and liner free energy relationships", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 112, pp. 886-891, 1965.
- [20] A. K. Dubey & G. Singh, "Corrosion inhibition of mild steel in sulphuric acid solution by using polyethylene glycol methyl ether (PEGME)", *Portugaliae Electrochimica Acta*, Vol. 25, pp. 221-235, 2007.
- [4] J. Hong, K. Zhen Peng & L. Yan, "Aminic nitrogen-bearing polydentate Schiff base compounds as corrosion inhibitors for iron in acidic media: a quantum chemical calculation", *Corrosion Science*, Vol. 50, pp. 565, 2008.
- [5] S. Salimi, M. Nasr Esfahani, S. A. Umoren & E. Saebnoori, "Complexes of Imidazole with Poly (ethylene glycol) as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Sulphuric Acid", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 24, pp. 4696-4709, 2015.
- [6] D. W. Arthur, A. Jonathan, P. O. Ameh & C. Anya, "A review on the assessment of polymeric materials used as corrosion inhibitor of metals and alloys", *International Journal of Industrial Chemistry*, Vol. 4, pp. 1-9, 2013.
- [7] S. A. Umoren & O. Ogbobe, "Polyethylene Glycol and Polyvinyl Alcohol as Corrosion Inhibitors for Aluminium in Acidic Medium", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 105, pp. 3363-3370, 2007.
- [8] A. K. Dubeya & G. Singhb, "Corrosion Inhibition of Mild steel in Sulphuric Acid Solution by Using Polyethylene Glycol Ether (PEGME)", *Portugaliae Electrochimica Acta*, Vol. 25, pp. 221-235, 2007.
- [9] H. Ashassi Sorkhabi, N. Ghalebsaz Jeddi, "Inhibition effect of polyethylene glycol on the corrosion of carbon steel in sulphuric acid", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 92, pp. 480-486-2005.
- [10] M. Abdallah, H. E. Megahed, M. A. Radwan & E. Abdfattah, "Polyethylene Glycol Compounds As Corrosion Inhibitors for Aluminium in 0.5M Hydrochloric Acid Solutions", *Journal of American Science*, Vol. 8, pp. 49-55, 2012.
- [11] S. A. Umoren, O. Ogbobe & E. E. Ebensoc, "The adsorption characteristics and synergistic inhibition between polyethylene glycol and halide ions for the corrosion of mild steel in acidic medium", *Bulletin of Electrochemistry*, Vol. 22, No. 4, pp. 155-167, 2006.
- [12] H. Ashassi Sorkhabi, B. Shaabini & D. Seifzadeh "Corrosion inhibition of mild steel by some schiff base compounds in hydrochloric acid", *surface Science*, Vol. 239, pp. 154-164, 2005.

## Corrosion Inhibition of Polyethylene Glycol on Carbon Steel in Sulfuric Acid Solutions and its Synergism with Schiff Base

Sina Jahadi<sup>1</sup>, Mojtaba Nasr Esfahani<sup>2\*</sup>

1- Msc, Advanced Materials Research Cennter, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Science, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

\*Corresponding author: mnstd@yahoo.com

---

### Abstract

The inhibiting action of Schiff base and polyethylene glycol (Salpn-PEG) complexes on low-carbon steel corrosion in 0.5 M sulfuric acid was examined using weight loss, potentiodynamic polarization and spectroscopy electrochemical impedance (EIS) techniques. Schiff base N, N'-bis(salicylaldehyde)-1,3-diaminopropane (Salpn) was synthesized by salicylaldehyde and 1,3- diaminopropane. PEG/Salpn complex with weight ratio 1:4, 2:4 and 3:4 of Salpn and PEG were prepared in methylene chloride solvent by a simple deprotonation procedure. Obtained Results show that PEG/IMZ complex is very effective corrosion inhibitor of carbon steel in the acid environment in compare with PEG, Salpn and noncomplex form of them. Maximum corrosion inhibition was obtained for PEG/Salpn complex with weight ratio 1:4 of Salpn and PEG. The inhibition efficiency increased with the increase in the temperature up to 45°C and decrease in higher temperatures. Results from all the corrosion tests were examined using SEM and are in reasonable good agreement. Adsorption thermodynamic data ( $K_{ads}$  and  $\Delta G_{ads}$ ) was calculated using the weight loss data.

### Keywords:

Schiff Base, Polyethylene Glycol, Corrosion Inhibition, Carbon Steel, Sulfuric Acid.

---

Journal homepage: [ma.iaumajlesi.ac.ir](http://ma.iaumajlesi.ac.ir)

### Please cite this article using:

Sina Jahadi, Mojtaba Nasr Esfahani, Corrosion Inhibition of Polyethylene Glycol on Carbon Steel in Sulfuric Acid Solutions and its Synergism with Schiff Base, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(2), 101-118.