

تخمین میزان جذب شیف باز جدید بر روی سطح فولاد در محیط سولفوریک اسید

حجت جعفری^۱، الهام عامری^{۲*}، مجید رضایی والا^۳

^۱ پژوهشگر، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی شهرضا، شهرضا، ایران
^۲ دانشیار/ استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی شهرضا، شهرضا، ایران
^۳ استادیار/ استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

چکیده

شیف باز جدید (HBDP) به عنوان بازدارنده خوردگی فولاد در محیط اسیدی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور آزمایش‌های پلاریزاسیون و اندازه‌گیری امپدانس AC، مورد استفاده قرار گرفت. منحنی‌های پلاریزاسیون نشان می‌دهد که ترکیبات از نوع بازدارنده مخلوط هستند و با افزایش غلظت ترکیبات، کارایی بازدارندگی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، (HBDP) بهترین میزان بازدارندگی را برای این سیستم با حداکثر IE تقریباً ۵۹٪ در غلظت ۰/۸ میلی گرم در لیتر از بازدارنده نشان می‌دهد. این ترکیب از ایزوترم لانگمویر تبعیت می‌کند. در پایان سطح قطعه توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: خوردگی اسیدی، فولاد، شیف باز، تافل، لانگمویر

* ameri@iaush.ac.ir

۱- مقدمه

فولاد آلیاژی از آهن است که بین ۰/۰۰۲ تا ۲/۱ درصد وزن آن کربن است. خواص فولاد به کمک تغییر در درصد کربن، عناصر آلیاژی و عملیات حرارتی قابل کنترل است. استفاده از فولاد به دلیل استحکام کشش نهایی زیاد و قیمت نسبتاً پایین آن در ساخت صنایع مختلفی از قبیل ساختمان سازی، سازه‌های زیرساختی، ابزارها، کشتی‌ها، قطارها، خودروها، ماشین‌آلات، تجهیزات و سلاح‌های نظامی کاربرد گسترده دارد. از آنجاکه تجهیزات آهنی مورد استفاده در صنعت علی‌رغم حساسیت بالا در برابر خوردگی، بدون حفاظ مورد استفاده قرار می‌گیرند، بررسی روش‌های پیشگیرانه خوردگی ترکیبات فولاد کربنی در محیط‌های اسیدی، از اهمیت بسزایی برخوردار است. سولفوریک اسید غالباً در اسیدشویی آهن و آلیاژهای آن برای زدودن محصولات خوردگی نامطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمیزکاری شیمیایی پس از زدودن محصولات خوردگی موجب خوردگی سطحی می‌شود. [۳ و ۱].

خوردگی یک پروسه طبیعی است که به دلیل برگشت فلز به وضعیت قبلی خود از طریق واکنش شیمیایی با عنوان اکسیداسیون رخ می‌دهد. خوردگی عامل اصلی نشت و شکست لوله‌ها است. خوردگی عبارت است از زوال و تخریب فلز در اثر واکنش با محیطی که آهن موجود در لوله را به اکسید آهن (زنگار) تغییر می‌دهد. به عنوان مثال، چنانچه یک نقطه زنگ‌زدگی در اتومبیل شما ایجاد شود، این خود نوعی خوردگی فلز است. همین روند می‌تواند در شکل‌های مختلف برای خطوط لوله رخ دهد [۲ و ۴]. خوردگی فولاد شامل اکسیداسیون یا قرار گرفتن در معرض اکسیژن در محیط و فرایندهای الکتروشیمیایی تلقی می‌شود. از رایج‌ترین انواع خوردگی فولاد نوع گالوانیکی است. دو فلز مختلف در تماس با هم در حضور الکترولیت قرار می‌گیرند. از عوامل مؤثر در خوردگی فلزات (درجه حرارت و شوری و رطوبت) است. خوردگی حفره‌ای تحت شرایط خاص باعث افزایش سرعت خوردگی می‌شود. به جای خوردگی یکنواخت فولاد این خوردگی رخ می‌دهد. عوامل تأثیرگذار در ایجاد این نوع خوردگی غلظت کم اکسیژن یا غلظت بالای کلرید است. خوردگی میکروبی در فولاد تحت فرایندهای میکروبیولوژیک انجام می‌شود. در این حالت فولاد حتی در صورت عدم وجود اکسیژن نیز خوردگی انجام می‌شود. خوردگی در دمای بالا در شرایط اتمسفر داغ و در حضور اکسیژن و گوگرد یا مواد اکسید کننده رخ می‌دهد. خوردگی شیاری در فولاد در فضاهای محدود رخ می‌دهد و مایعات از طریق شیارها و باریک‌ها به فولاد نفوذ می‌کند [۵].

تحقیقات در مورد بازدارندگی خوردگی سال‌هاست که در حال انجام است. افزودن یک بازدارنده آلی یعنی واکنش‌گری با قابلیت تبدیل یک فرآیند خوردگی فعال به غیرفعال از روش‌هایی است که به‌طور معمول به کار برده می‌شود. افزودن بازدارنده در صنایع بسیار رایج است چراکه بدون این که وقفه یا اختلالی در پروسه ایجاد شود انجام می‌گیرد. محققان هنوز در تلاش‌اند تا بازدارنده‌ای ایمن را بیابند که بیش‌ترین تأثیر را در توقف خوردگی داشته باشد [۵ و ۷].

کارایی این گونه برنامه‌های کاربرد بازدارنده با مقیاس بزرگ با توجه به دو ویژگی عمده صورت می‌گیرد: یک بازدارنده علاوه بر اینکه سرعت فرایند خوردگی را کاهش می‌دهد باید با استانداردهای امنیت صنعتی و حمایت از محیط‌زیست مطابقت داشته باشد. در حال حاضر ترکیبات آلی متعددی وجود دارد که کاربرد گسترده‌ای در صنعت به خاطر کاهش خوردگی و کنترل شرایط بازی و اسیدی زیست‌محیطی عملیات دارند [۸].

از ترکیبات ارگانیک در کنترل خوردگی فولاد کربنی در محلول‌های اسیدی استفاده می‌شود. به دلیل حضور گروه $C=N$ ، یک ابر الکترون روی حلقه آروماتیک، اتم‌های N ، O و S الکترونگاتیو در مولکول، بازهای شیف از بازدارنده‌های خوردگی مناسب محسوب می‌شوند [۱۱ و ۹]. باز شیف جدید به‌عنوان قسمتی از مطالعه سنتز شد. مطالعات بازدارندگی خوردگی این باز شیف روی فولاد در سولفوریک اسید هنوز گزارش نشده است. با توجه به عوامل فوق، مطالعه کارایی بازدارندگی باز شیف به نام ۲ و ۲'-((1Z,1'Z))-((1,2-phenylenebis(oxy))bis(2,1-phenylene)) bis (methanylylidene)) bis (azanylylidene))diethanol ((بیس (متانیلیلیدنی)) بیس (ازانیلیلیدنی) دیفنول (HBDP) جهت فولاد در سولفوریک اسید نیم مولار با کمک تکنیک‌های منحنی‌های پلاریزاسیون و میکروسکوپ بررسی شد.

۲- روش تحقیق

۲-۱ آماده کردن نمونه‌ها

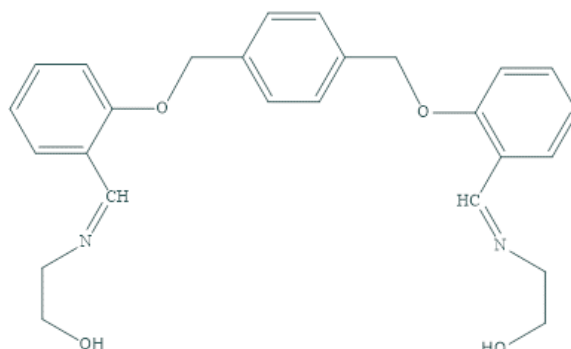
نمونه‌های فولادی مربعی به مساحت 1 cm^2 در رزین اپوکسی مانت سرد و سپس با کاغذ سمباده شماره ۲۲۰ تا ۲۰۰۰ پولیش و بعد از شستشو با آب مقطر و الکل با هوای گرم خشک و تا موقع استفاده به‌عنوان الکتروود کار در دسیکاتور نگهداری شدند. ترکیب شیمیایی فولاد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی نمونه‌های فولادی

Element	C	Si	P	S	Mo	Mn	Fe
Wt. %	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۷۸	Rest

محلول نیم مولار سولفوریک اسید از اسید و آب مقطر تهیه شد. مواد اولیه بازدارنده از شرکت مرک تهیه شد و بر اساس دستورالعمل شیمیایی ساخته شد. ساختار بازدارنده در شکل ۱ بیان شده است. لیگاند 2,2'-((1Z,1'Z))-((1,2-phenylenebis(oxy))bis(2,1-phenylene)) bis (methanylylidene)) bis (azanylylidene))diethanol بر اساس روش ارائه شده در مقاله‌ی [۱۲] تهیه شده است. ۲،۲'-((۱-۲-فنیلین بیس (اکسی) دی بنزالدهید (۳۱۸/۰ گرم و ۱ mmol) و اتانول آمین (۱۲۲/۰ گرم و ۲ mmol) باهم مخلوط شده و تحت رفلکس به مدت ۵ ساعت در ۳۰ میلی‌لیتر اتانول حرارت داده شد. محلول صاف شده و حجم محلول زیر صافی به ۱۰ سانتی‌متر مکعب کاهش یافته است. بازده ۸۲٪.

Yield: 82%. Anal. Calc. for $C_{24}H_{24}N_2O_4$: C, 71.27; H, 5.98; N, 6.93. Found: C, 71.74; H, 5.57; N, 7.29. IR (KBr, cm^{-1}): 1641 (ν C=N Schiff base), 1491 (ν C=C), 3426 (ν OH). ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): δ 3.75 (s, 4H), 3.88 (t, 4H), 5.14 (s, 4H), 6.98 (t, 2H), 7.36 (t, 2H) 7.45 (s, 4H), 7.95 (d, 2H), 8.83 (s, 2H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): δ 62.63, 63.43, 70.73, 112.61, 121.24, 124.83, 127.65, 132.10, 136.59, 157.92, (aromatic rings), 158.96 (Schiff base).



شکل ۱- ساختار مولکولی شیف باز

۲-۲- آزمایش پلاریزاسیون

برای انجام آزمون‌های پلاریزاسیون از دستگاه اتولب استفاده شد. آزمون‌ها در یک سل استاندارد صورت گرفت که شامل سیم پلاتینی به عنوان الکترود کمکی و کالومل به عنوان الکترود مرجع بود. آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام گرفت. در ابتدای هر آزمایش بازه‌ای در حدود ۳۰ دقیقه برای پایدار شدن پتانسیل قطعات در محلول اعمال شد. از محدوده پتانسیلی در حدود ۸۰۰- تا ۲۰۰- میلی ولت نسبت به پتانسیل مدار باز و نرخ اسکن ۱ mV/s انجام گردید.

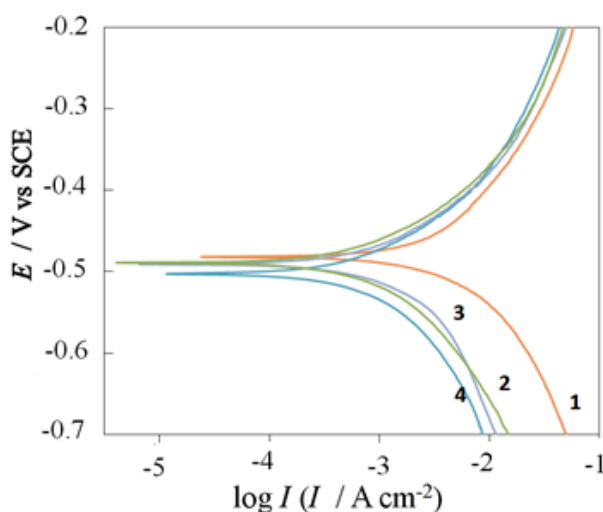
۲-۳- بررسی سطح

برای بررسی سطح از میکروسکوپ نوری (OM) با مدل Optika B-383PLi استفاده شد. ابتدا سطح با کاغذ سمباده شماره ۲۲۰ تا ۲۰۰۰ پولیش و بعد از شستشو با آب مقطر و الکل با هوای گرم خشک شد سپس برای ۲۴ ساعت در محلول اسید در حضور شیف باز و بدون شیف باز قرار دادیم. سپس با آب مقطر و الکل شستشو دادیم و با هوای گرم خشک کردیم و زیر میکروسکوپ قرار دادیم.

۳. نتایج و بحث

۳-۱- نمودار پلاریزاسیون

شکل ۲ نمودار پلاریزاسیون فولاد را در محیط نیم مولار سولفوریک اسید در شرایط بدون حضور بازدارنده و غلظت‌های متفاوت از بازدارنده نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار پلاریزاسیون فولاد در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده (۱) ۰، (۲) ۰/۱، (۳) ۰/۵ و (۴) ۰/۸ میلی گرم بر لیتر

پارامترهای الکتروشیمیایی شامل پتانسیل خوردگی (E_{corr})، شدت جریان خوردگی (I_{corr}) و شیب‌های تافل آندی و کاتدی (β_a , β_c) اندازه‌گیری شده و در جدول ۲ آمده است. درجه پوشش سطح (θ) و بازدهی بازدارنده ($IE\%$) به‌وسیله روابط زیر محاسبه می‌شود [۱۲-۱۳].

$$\theta = \frac{I^o - I}{I^o} \quad (۱)$$

$$IE\% = \frac{I^o - I}{I^o} \times 100 \quad (۲)$$

که I_{corr} و I^o به ترتیب شدت جریان‌های خوردگی در محلول بدون بازدارنده و در حضور بازدارنده است.

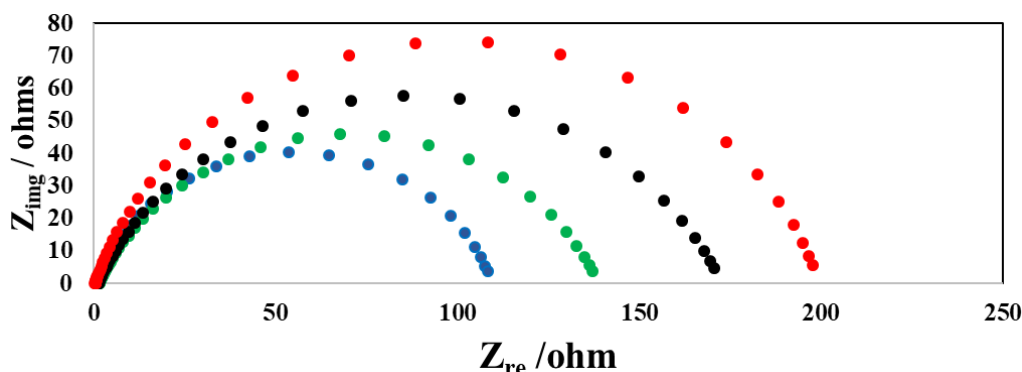
جدول ۲- پارامترهای مربوط به پلاریزاسیون برای خوردگی فولاد در محیط اسیدی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده

Concentration, mg/L	- E_{corr} (± 1), mV	I_{corr} (± 5), $\mu A\ cm^{-2}$	β_a (± 1), $mVdec^{-1}$	$-\beta_c$ (± 1), $mV\ dec^{-1}$	θ ($\pm 10^{-2}$)	IE %
blank	456	226	77	43	----	-----
0.1	447	145	68	51	0.36	36
0.5	441	105	78	57	0.53	53
0.8	437	92	92	60	0.59	59

همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص است، با افزایش غلظت بازدارنده شدت جریان خوردگی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت بازدارنده هر دو شیب تافل آندی و کاتدی روند مشخصی ندارند. این مؤید این امر است که بازدارنده با پوشانده نقاط فعال روی سطح فلز از خوردگی ممانعت به عمل می‌آورد [۱۴]. مقدار پتانسیل خوردگی در حضور بازدارنده نسبت به محلول بدون بازدارنده کاهش یافته و با افزایش غلظت بازدارنده پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد. شکل ۲ نتایج حاصل از آزمون ثبت پتانسیل را نشان می‌دهد که مؤید این مطلب است. با توجه به اینکه در غلظت‌های کم بازدارنده پتانسیل خوردگی نسبت به محلول بدون بازدارنده کاهش یافته و این که تأثیر این بازدارنده بر روی شیب‌های تافل آندی و کاتدی مثبت نیست، می‌توان نتیجه گرفت، عملکرد بازدارنده کاهش شدت جریان تبدالی واکنش‌های آندی و کاتدی است که اثر آن روی شاخه کاتدی بیش‌تر است؛ اما هرچه غلظت بازدارنده افزایش می‌یابد پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر منفی‌تر حرکت می‌کند (شکل ۲) که نشان دهنده این مطلب است که با افزایش غلظت بازدارنده تأثیر آن بر شاخه کاتدی بیش‌تر می‌شود. با توجه به جدول ۲، با افزایش غلظت بازدارنده، بازده بازدارندگی و درجه پوشاندگی سطحی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۲ بازدارنده از نوع مختلط هستند؛ یعنی روی هر دو واکنش آندی انحلال فلز و واکنش کاتدی احیای هیدروژن و اکسیژن اثر می‌گذارند. با این‌وجود تأثیر بر واکنش کاتدی بیشتر مشخص است. به عبارت دیگر مقدار افزایش انرژی انحلال آندی از مقدار افزایش انرژی احیای هیدروژن کمتر است. علاوه بر این، پتانسیل خوردگی با افزایش غلظت کمی تغییر می‌کند که حاکم بودن مکانیسم مختلط را نشان می‌دهد [۱۵ و ۱۸]. جدول ۲ تغییرات مقاومت خطی پلاریزاسیون را با تغییرات غلظت بازدارنده در محلول نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، افزایش غلظت بازدارنده باعث افزایش در مقدار مقاومت پلاریزاسیون و به تبع موجب کاهش شدت جریان خوردگی و بازدهی بیش‌تر بازدارنده می‌شود.

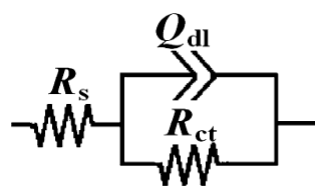
۳-۲-آزمون EIS

شکل ۳ نمودار نایکویست را در محلول سولفوریک اسید بدون بازدارنده و در غلظت‌های متفاوتی از بازدارنده نمایش می‌دهد.



شکل ۳- نمودار امپدانس فولاد در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر آبی (○)، سبز (●)، مشکی (●) و قرمز (●) (۵/۰ و ۸/۰)

همان‌طوری که در شکل پیدا است با افزایش غلظت شعاع نیم‌دایره افزایش می‌یابد این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش غلظت بازدارنده مقاومت انتقال بار الکتریکی (R_{ct}) افزایش می‌یابد و به تبع آن میزان خوردگی فولاد در محلول کاهش می‌یابد. مدار معادل مربوط به آزمایش در شکل ۴ نمایش داده شده است.

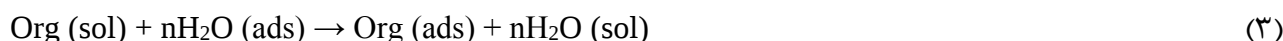


شکل ۴- مدار معادل خوردگی فولاد در محیط اسیدی در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده

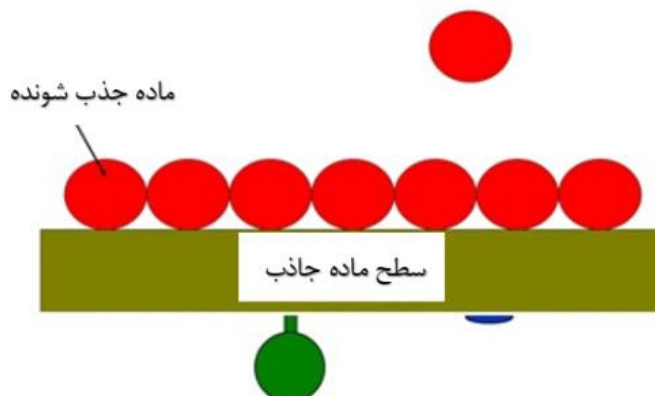
داده‌های مربوط به آزمایش امپدانس در جدول ۳ نمایش داده شده است. با افزایش غلظت شیف باز مقدار خازن لایه دوگانه (C_{dl}) کاهش می‌یابد این موضوع نشان می‌دهد که مولکول‌های بازدارنده جایگزین مولکول‌های آب بر روی سطح فلز می‌شوند. افزایش مقاومت انتقال بار و کاهش میزان ثابت خازنی نشان می‌دهد که انتقال بار فرایندی است که خوردگی فولاد را کنترل می‌کند [۱۹].

۳-۳- جذب هم‌دما

جذب هم‌دما اطلاعاتی را درباره برهم‌کنش مولکول جذب شونده و سطح فلز بیان می‌کند. جذب مولکول آلی در فصل مشترک فلز/ محلول را می‌توان به‌وسیله فرآیند جذب جایگزینی بین مولکول آلی حل شده در محلول و مولکول آب روی سطح فلز بیان کرد [۲۰].



که در آن Org (sol) و Org (ads) به ترتیب ماده آلی حل شده در آب و جذب شده بر روی سطح هستند و n نسبت اندازه و بیان‌گر تعداد مولکول‌های آب جایگزین شده با ماده آلی است. این تئوری بر اساس جذب فیزیکی و هم‌دمای تک لایه‌ای از مولکول‌های جاذب بر سطح جامد بیان شده که در شکل زیر، شماتیک این فرآیند ترسیم شده است.



شکل ۵- جذب تک لایه مولکول‌ها بر سطح

تئوری لانگمویر مبتنی بر فرضیات ساده زیر است:

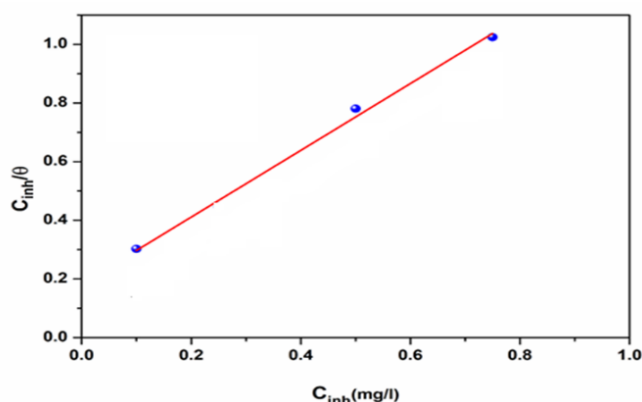
- ۱- سطح جامد کاملاً همگن بوده و تمام مکان‌های جذب مولکولی شبیه به هم‌اند و هیچ‌گونه اولویتی بین مکان‌های جذب وجود ندارد.
 - ۲- هر یک از مکان‌های جذب، فقط یک مولکول را جذب کرده و همواره تک لایه‌ای از مولکول‌ها بر سطح جذب می‌شوند.
 - ۳- مکانیسم جذب بر روی سطح برای همه مولکول‌ها یکسان است.
 - ۴- هیچ‌گونه برهمکنشی بین مولکول‌های گاز با هم و یا سطح وجود ندارد.
 - ۵- سرعت جذب و واجذب برابر است.
- برای اکثر بازدارنده‌ها می‌توان داده‌های حاصل از آزمون‌های الکتروشیمیایی را با قانون جذب هم‌دمای لانگمویر منطبق کرد. بر این اساس درجه پوشش سطح را می‌توان با غلظت بازدارنده به صورت زیر مربوط دانست [۲۱]:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (۴)$$

که در آن K_{ads} ثابت تعادل واکنش جذب بازدارنده است. شکل ۶ نمودار C/θ برحسب C را نشان می‌دهد.

جدول ۳- پارامترهای امپدانس الکتروشیمیایی برای خوردگی فولاد در محیط اسیدی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده

Concentration, Mg/L	$R_s (\pm 10^{-1}), \Omega \text{ cm}^2$	$R_{ct} (\pm 1), \Omega \text{ cm}^2$	$Q_{dl} (\pm 10^{-1}), \text{mF cm}^2$	$C_{dl} (\pm 10^{-1}), \text{mF cm}^2$	$n (\pm 10^{-2})$
blank	1.1	100	0.57	0.21	0.74
0.1	1.3	121	0.54	0.21	0.75
0.5	1.4	173	0.52	0.20	0.75
0.8	1.8	196	0.45	0.17	0.74



شکل ۶- نمودار جذب هم‌دمای بازدارنده در دما ۲۵ درجه سلسیوس

نسبت انطباق بالا ($R^2=0.998$) نشان می‌دهد که این بازدارنده از قانون هم‌دما تبعیت می‌کند. بر اساس این قانون می‌توان فرض کرد که این بازدارنده تنها یک محل را اشغال می‌کند و با دیگر اجزای جذب شده واکنشی ندارد [۲۱]. مقدار K_{ads} را می‌توان بر اساس معادله ۴ با استفاده از عرض از مبدأ نمودار محاسبه کرد. با استفاده از این ثابت تعادل می‌توان انرژی آزاد استاندارد جذب (ΔG_{ads}) را بر اساس رابطه زیر به‌دست آورد [۲۲].

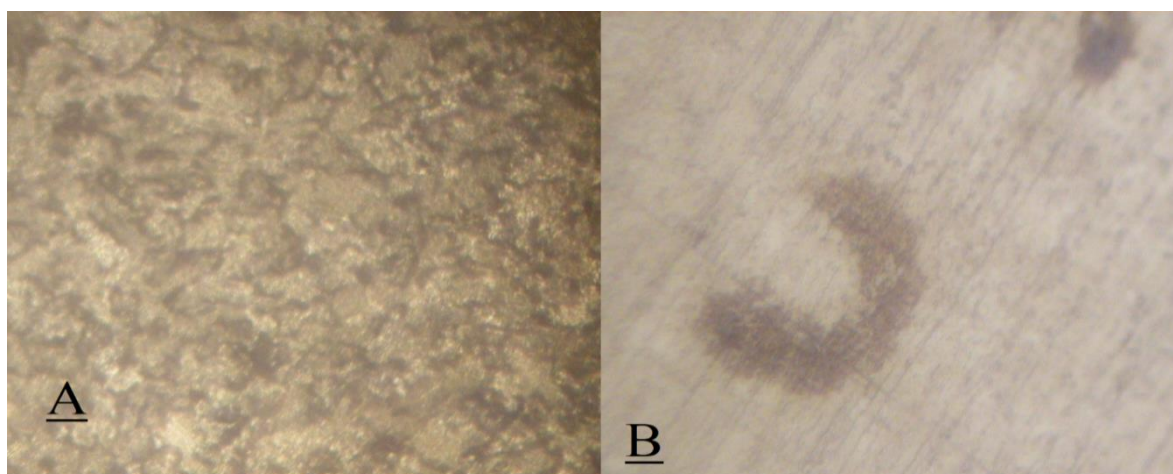
$$\Delta G_{ads} = -RT \ln (55.5K_{ads}) \quad (5)$$

که در آن R ثابت گازها و T دمای آزمایش است. نتایج حاصل از این فرمول به این صورت شد که ضریب جذب ۴۹۹۹ لیتر بر مول و اختلاف ضریب جذب ۳۲- کیلوژول بر مول در دمای ۲۵ درجه سلسیوس شد. علامت منفی انرژی جذب گیبس نشان دهنده جذب خود به خودی بازدارنده بر روی سطح است. معمولاً وقتی مقدار ΔG_{ads} برابر با -20 kJ mol^{-1} یا مقادیر منفی کم‌تر است. نشان دهنده برهم‌کنش الکترواستاتیک میان بازدارنده و بار بر روی سطح است (جذب فیزیکی). مقادیر -40 kJ mol^{-1} یا مقادیر منفی بیش‌تر بیانگر به اشتراک گذاشتن بار بین بازدارنده و سطح است (جذب شیمیایی) [۲۳ و ۲۵].

مقدار ΔG_{ads} به‌دست آمده نیز این مطلب را که جذب این بازدارنده ترکیبی از جذب به شکل فیزیکی و شیمیایی است. عملکرد این بازدارنده را می‌توان به حضور مراکز جذب سطحی چندگانه نیتروژن و اکسیژن نسبت داد. وجود اتم‌های نیتروژن و اکسیژن در ساختار مولکول بازدارنده، همچنان که در شکل ۱ نشان داده شده است، باعث می‌شود در اثر برهم‌کنش الکترواستاتیک بین سطح فلز و مولکول بازدارنده، جذب سطحی به وجود می‌آید [۲۶].

۳-۴- بررسی ریخت‌شناسی سطح

ریخت‌شناسی سطح نمونه‌های فولاد در محلول اسید نیم مولار در حضور ۰/۸ میلی گرم شیف باز و در دمای 25°C و پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری به‌وسیله میکروسکوپ نوری (OM) بررسی شد. نتایج به‌دست آمده در شکل ۷ نشان داده شده است. در نبود بازدارنده به دلیل خوردگی سریع به‌وسیله محلول اسید سطحی خشن مشاهده می‌شود. خوردگی در این حالت نسبتاً یکنواخت بوده و نشانه‌ای از خوردگی موضعی مشاهده نمی‌شود. در حضور بازدارنده زبری سطح فولاد کاهش یافته که این نشان‌دهنده تشکیل فیلم روی سطح فلز و اثر بازدارندگی آن است.



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ نوری (الف) در غیاب بازدارنده (ب) در حضور بازدارنده

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات بازدارندگی خوردگی و توانایی جذب شیف باز جدید (HBDP) بر سطح فولاد بررسی شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

۱. این ترکیب آلی دارای خاصیت بازدارندگی در محیط اسیدسولفوریک اسید است.
۲. این بازدارنده بر روی هر دو شاخه آندی و کاتدی تأثیرگذار است و با کاهش جریان تبدلی واکنش‌ها در اثر مسدود کردن مکان‌های موجود انجام واکنش نرخ خوردگی را کاهش می‌دهد.
۳. جذب بازدارنده ترکیبی از جذب به شکل فیزیکی و شیمیایی است که با ایزوترم لانگمیر تطابق دارد.

۵- منابع

- [1] Daoud, D., Douadi, T., Issaadi, S. and Chafaa, S., 2014. Adsorption and corrosion inhibition of new synthesized thiophene Schiff base on mild steel X52 in HCl and H₂SO₄ solutions. Corrosion science, 79, pp. 50-58.
- [2] Zakaria, K., Negm, N.A., Khamis, E.A. and Badr, E.A., 2016. Electrochemical and quantum chemical studies on carbon steel corrosion protection in 1 M H₂SO₄ using new eco-friendly Schiff base metal complexes. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 61, pp. 316-326.
- [3] Hosseini, M.G., Ehteshamzadeh, M. and Shahrabi, T., 2007. Protection of mild steel corrosion with Schiff bases in 0.5 M H₂SO₄ solution. Electrochimica acta, 52(11), pp. 3680-3685.
- [4] Jafari, H., Danaee, I., Eskandari, H. and RashvandAvei, M., 2014. Combined computational and experimental study on the adsorption and inhibition effects of N₂O₂ schiff base on the corrosion of



- API 5L grade B steel in 1 mol/L HCl. *Journal of Materials Science & Technology*, 30(3), pp. 239-252.
- [5] Aliofkhazraei, M. ed., 2018. *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. BoD–Books on Demand.
- [6] Jafari, H., Akbarzade, K. and Danaee, I., 2019. Corrosion inhibition of carbon steel immersed in a 1 M HCl solution using benzothiazole derivatives. *Arabian journal of chemistry*, 12(7), pp. 1387-1394.
- [7] Mohsenifar, F., Jafari, H. and Sayin, K., 2016. Investigation of thermodynamic parameters for steel corrosion in acidic solution in the presence of N, N'-Bis (phloroacetophenone)-1, 2 propanediamine. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 2(1), p. 1.
- [8] Paulson, B.M., 2020. Corrosion behaviour of mild steel in the presence of Schiff bases derived from 2-acetyl pyridine in 0.5 M H₂SO₄. *Veritas Journal of Sciences*, 1(1).
- [9] Salman, H.E., Balakit, A.A., Abdulridha, A.A. and Makki, S.Q., 2019, July. Synthesis of new aromatic azo-Schiff compound as carbon steel corrosion inhibitor in 1 M H₂SO₄; high efficiency at low concentration. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 571, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- [10] Abdelaal, M.M., Mohamed, S., Barakat, Y., Derbala, H.A., Hassan, H.H. and Al Zoubi, W., 2018. N-aminophthalimide as a synthon for heterocyclic Schiff bases: Efficient utilization as corrosion inhibitors of mild steel in 0.5 mol. L-1 H₂SO₄ solution. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(3), pp. 539-558.
- [11] Abdelaal, M.M., Mohamed, S., Barakat, Y., Derbala, H.A., Hassan, H.H. and Al Zoubi, W., 2018. N-aminophthalimide as a synthon for heterocyclic Schiff bases: Efficient utilization as corrosion inhibitors of mild steel in 0.5 mol. L-1 H₂SO₄ solution. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(3), pp. 539-558.
- [12]. I.M. Atkinson, K.A. Byriel, P.S.K. Chia, C.H.L. Kennard, A.J. Leong, L. F. Lindoy, M. P. Lowe, S. Mahendran, G. Smith and G. Wei, *Aust. J. Chem.*, 1998, 51, 985.
- [13]. Salman, H.E., Balakit, A.A. and Abdulridha, A.A., 2018. New Aromatic Azo-Schiff as Carbon Steel Corrosion Inhibitor in 1 M H₂SO₄. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), p. 2471.
- [14] Singh, A., Ansari, K.R., Chauhan, D.S., Quraishi, M.A., Lgaz, H. and Chung, I.M., 2020. Comprehensive investigation of steel corrosion inhibition at macro/micro level by ecofriendly green corrosion inhibitor in 15% HCl medium. *Journal of colloid and interface science*, 560, pp. 225-236.
- [15] Tan, B., Xiang, B., Zhang, S., Qiang, Y., Xu, L., Chen, S. and He, J., 2021. Papaya leaves extract as a novel eco-friendly corrosion inhibitor for Cu in H₂SO₄ medium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 582, pp. 918-931.
- [16] Jafari, H., Mohsenifar, F. and Sayin, K., 2018. Effect of alkyl chain length on adsorption behavior and corrosion inhibition of imidazoline inhibitors. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 37(5), pp. 85-103.
- [17] Solomon, M.M., Umoren, S.A., Quraishi, M.A. and Salman, M., 2019. Myristic acid based imidazoline derivative as effective corrosion inhibitor for steel in 15% HCl medium. *Journal of colloid and interface science*, 551, pp. 47-60.
- [18] Jafari, H. and Sayin, K., 2016. Corrosion inhibition studies of N, N'-bis (4-formylphenol)-1, 2-Diaminocyclohexane on steel in 1 HCl solution acid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 64, pp. 314-324.
- [19] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, New York: McGraw-Hill, (2000) 831-861.
- [20] Jafari, H. and Akbarzade, K., 2017. Effect of concentration and temperature on carbon steel corrosion inhibition. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 3(1), pp. 1-9.
- [21] Jafari, H. and Jafari, Z., 2018. Data Mining Model for Prediction Effect of Corrosion Inhibition. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 4(2), pp. 1-8.

- [22] Wang, Q., Tan, B., Bao, H., Xie, Y., Mou, Y., Li, P., Chen, D., Shi, Y., Li, X. and Yang, W., 2019. Evaluation of Ficus tikoua leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in HCl media. *Bioelectrochemistry*, 128, pp. 49-55.
- [23] Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B. and Ramezanzadeh, M., 2019. Potential of Borage flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: electrochemical and theoretical studies. *Journal of Molecular Liquids*, 277, pp. 895-911.
- [24] Liu, Q., Song, Z., Han, H., Donkor, S., Jiang, L., Wang, W. and Chu, H., 2020. A novel green reinforcement corrosion inhibitor extracted from waste Platanus acerifolia leaves. *Construction and Building Materials*, 260, p. 119695.
- [25] Tan, B., Xiang, B., Zhang, S., Qiang, Y., Xu, L., Chen, S. and He, J., 2021. Papaya leaves extract as a novel eco-friendly corrosion inhibitor for Cu in H₂SO₄ medium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 582, pp. 918-931.
- [26] Jafari, H. and Sayin, K., 2019. A Study of New benzo [d] thiazol Derivatives as Corrosion Inhibitors for Steel AISI 1035 in Acidic Medium. *Moroccan Journal of Chemistry*, 7(1), pp. 1-7.