

بررسی‌های آزمایشگاهی اثر بازدارنده خوردگی مشتقی از خانواده دی‌هیدروپیریدین‌ها در محیط‌های اسیدی

هما شفیعی خانی^{1*}، فاطمه رفیعی پور²¹ دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران² دانشگاه آزاد اسلامی واحد لامرد، لامرد، ایران

(تاریخ دریافت: 1400/4/2 تاریخ پذیرش: 1400/11/10)

متداول‌ترین روش تنظیم و کاهش میزان خوردگی، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است. به همین منظور، یک ترکیب آلی جدید از خانواده بی‌پیریدین‌ها با استخلاف آمینواسید (گروه‌عاملی گلیسین) انتخاب و سنتز گردید که ویژگی‌های این لیگاند با طیف‌سنجی‌های رزونانس مغناطیس هسته هیدروژن و زیرفرمز تایید شد. در این پژوهش، رفتار خوردگی لوله کربنی (A105) در محیط‌های اسیدی (سولفوریک اسید و هیدروکلریک اسید با غلظت‌های 0/1 و 0/5 مولار) در حضور بازدارنده DHPN باروش پلاریزه کردن پتانسیودینامیک (PDP) بررسی شد. تأثیر غلظت بازدارنده در دامنه غلظتی 0/86 تا 17/16 ppm ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بازده بازدارندگی با افزایش غلظت بازدارنده افزایش یافته و در غلظت 5/15 ppm بازده خوردگی به بیشترین مقدار و به 78 درصد می‌رسد. منحنی‌های پلاریزه کردن نشان می‌دهند که این نوع بازدارنده‌ها نوع مختلط آندی/کاتدی بوده اما بازدارندگی آندی آن بیشتر است. جذب سطحی مولکول‌های بازدارنده بر روی سطح فولاد کربنی از همدمای لانگمویر تبعیت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پلاریزه کردن الکتروشیمیایی، خوردگی، دی‌هیدروپیریدین، فولاد کربنی A105

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکل‌ها در کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته خوردگی فلزات می‌باشد. نواحی مختلف مانند دریاها، خشکی‌ها، ساختمان‌ها، پل‌ها، کارخانه‌ها و صنایع پتروشیمی به‌ویژه در مناطق مرطوب، بیشتر در معرض خوردگی می‌باشند [1]. یکی از راه‌های عملی برای جلوگیری از خوردگی فلزات، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی می‌باشد. بازدارنده خوردگی، یک ترکیب شیمیایی است که در غلظت‌های کم به محیط خوردنده اضافه می‌شود و می‌تواند به‌طور موثری واکنش فلز با محیط را تنظیم و سرعت خوردگی فلزات را کاهش دهد [2]. معمولاً بازدارنده‌ها بر روی سطح فلزات جذب و مکان‌های فعال را مسدود می‌کنند [3]. بازدارنده‌های خوردگی به انواع متفاوتی از نوع ترکیب‌های معدنی، ترکیب‌های آلی و مشتق‌های آنها تقسیم می‌شوند که ساختار مولکولی بازدارنده، عامل اصلی در تعیین ویژگی‌های آن است. بعضی از مؤثرترین بازدارنده‌های معدنی شامل کرومات، نیترات، سیلیکات و کربنات می‌باشند. امروزه استفاده از کرومات‌ها و نمک‌های روی به دلیل سمی بودن به‌طور چشمگیری کاهش یافته و بیشتر توسط بازدارنده‌های آلی جایگزین شده‌اند [4]. معمولاً ترکیب‌های آلی در مقایسه با ترکیب‌های معدنی از قدرت بازدارندگی بیشتری برخوردار هستند. ترکیب‌های آلی با هنترواتم‌هایی مانند اکسیژن، نیتروژن، فسفر و گوگرد و یا ترکیب‌هایی با پیوندهای چندگانه بعنوان مهم‌ترین بازدارنده‌های خوردگی فلزات گزارش شده‌اند [5-9]. اگر چه بیشتر ترکیب‌های بازدارنده بازده بازدارندگی بالایی از خود نشان می‌دهند، اما بیشتر آنها سمی و برای انسان‌ها و محیط زیست خطرناک می‌باشند. سمی بودن و خطرهای زیست محیطی بازدارنده‌ها، پژوهشگران را به استفاده از ترکیب‌های ضدخوردگی دوست‌دار محیط زیست و عاری از زیان تشویق می‌نماید. این ترکیب‌ها شامل عناصر خاک‌های نادر [10-12]، ترکیب‌های آلی [13-16] و آمینواسیدها می‌باشند. در سال 2020، ترکیب 2-[[5-متیل‌پیرازول

3-ایل)متیل]بنزایمیدازول برای بازدارندگی خوردگی در محلول 5 میلی‌مولار هیدروکلریک اسید بررسی شد که بازده عملکرد بازدارنده 97 درصد بود [17]. همچنین در سال 2020، یکی از مشتق‌های 8-هیدروکسی‌کینولین برای جلوگیری از خوردگی هیدروکلریک اسید استفاده شد که بازده 90 درصد در غلظت 3 میلی‌مولار اسید مشاهده شد [18]. هدف اصلی از این پژوهش، آزمایش بازدارندگی خوردگی یک ترکیب آلی سنتزی جدید، از مشتق‌های دی‌هیدروپیریدین به نام دی‌هیدروپیریمیدو-5-[[b,4[1,6] [نفتیریدین-8,6,4,2-(1H,3H,7H,9H)]-تتران با بخش کوچکی از آمینواسید و نام مخفف (DHPN) برای فولاد کربنی در محیط‌های اسیدی (هیدروکلریک اسید و سولفوریک اسید) با غلظت‌های 0/1 و 0/5 مولار می‌باشد. به‌طور ویژه، این مشتق دی‌هیدروپیریدین دارای گروه عاملی گلیسین (NH₂-CH₂-COOH) است که ویژگی ضدخوردگی آن با استفاده از روش پلاریزه کردن پتانسیومتری مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

بخش تجربی

مواد شیمیایی و دستگاه‌های مورد استفاده

در این پژوهش، برای ثبت طیف ¹H NMR از دستگاه طیف‌سنج بروکر مدل DRX-500 و برای طیف زیرفرمز از دستگاه طیف‌سنج جاسکو مدل 480 استفاده شد. اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی با یک دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات میکرواتولب III مجهز به (PGSTAT30) که با برنامه نرم‌افزار نوا نسخه 1.5 که با یک رایانه کنترل می‌شود، انجام شد. در این کار یک سل الکتروشیمیایی سه‌الکترودی شامل یک الکترود کالومل اشباع، میله پلاتینی و قطعه فلز فولاد کربنی A105 است که به ترتیب بعنوان الکترودهای مرجع، کمکی و کار استفاده می‌شوند. همه آزمایش‌ها در محلول ساکن انجام شدند. در ابتدای هر آزمایش، برای به‌دست آوردن شرایط پتانسیل مدار باز (OCP) یا پتانسیل خوردگی فلز (E_{Corr})، الکترود کار (نمونه فولاد کربنی A105) به مدت 30 دقیقه جهت رسیدن به حالت تعادل درون 25 میلی‌لیتر محلول مورد آزمایش غوطه‌ور

استون چربی‌زدایی و در پایان خشک شد. این الکتروده به‌عنوان الکتروده کار در تمام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی الکتروده کار شامل 0/35 درصد کربن، 0/35 درصد فسفر، 1/05-0/6 درصد منگنز، 0/04 درصد گوگرد، 0/3 درصد کروم، 0/11-0/35 درصد سیلیکون، 0/08 درصد وانادیوم، 0/4 درصد نیکل، 0/4 درصد مس، 0/009 درصد مولیبدن و بقیه آن آهن است.

محلول‌های مورد استفاده

برای تمام محلول سازی‌ها از آب دوبار تقطیر استفاده شد. محلول‌های سولفوریک اسید و هیدروکلریک اسید (0/1 و 0/5 مولار) از اسیدهای تجاری (شرکت مرک) به ترتیب با غلظت 98 و 37 درصد (وزنی/وزنی) تهیه شدند. برای تهیه محلول بازدارنده با غلظت 1000 ppm، از حل کردن مقدار 0/0043 گرم از لیگاند DHPN در حلال DMF در یک بالن حجمی 10 میلی‌لیتری تهیه شد. برای تهیه غلظت‌های مختلف از DHPN در سل الکتروشیمیایی، حجم‌های مناسبی از این محلول به سل اضافه شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی

برای بررسی اثر بازدارندگی لیگاند DHPN بر روی خوردگی فولاد کربنی، پلاریزه کردن پتانسیومتری انجام شد. (شکل‌های 2 تا 5). منحنی‌های پلاریزه کردن تافل برای فولاد کربنی در محلول هیدروکلریک‌اسید و سولفوریک‌اسید با غلظت‌های 0/1 و 0/5 مولار شامل غلظت‌های مختلف بازدارنده DHPN را نشان می‌دهد.

سنجه‌های الکتروشیمیایی از جمله پتانسیل خوردگی (E_{corr})، چگالی جریان خوردگی (I_{corr})، شیب کاتدی و آندی منحنی‌های تافل (β_a , β_c) و بازده خوردگی (IE, %) در جدول‌های 1 و 2 نشان داده شده است. درجه پوشش سطحی (یعنی نسبت سطح پوشیده شده توسط بازدارنده به کل سطح فلز در دسترس برای جذب) و درصد بازده خوردگی بر اساس معادله‌های 1 و 2 به دست آمد.

$$IE\% = \frac{i_{corr}^0 - i_{corr}}{i_{corr}^0} \times 100 \quad (1)$$

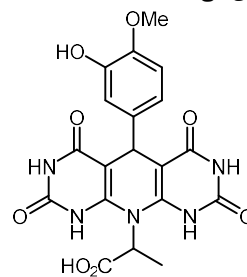
$$\theta = \frac{IE\%}{100} = 1 - \frac{i_{corr}}{i_{corr}^0} \quad (2)$$

در این I_{corr} و I_{corr}^0 به ترتیب چگالی جریان خوردگی در حضور و عدم حضور بازدارنده می‌باشد. همان‌طور که در شکل 2 دیده می‌شود، بعد از افزودن بازدارنده، هر دو جریان کاتدی و آندی به سمت چگالی جریان کمتر تغییر می‌کند و این نشان می‌دهد که حضور بازدارنده، حل شدن آندی کربن را کاهش و واکنش‌های کاتدی را به تعویق می‌اندازد [19 و 20]. همان‌طور که در مقاله‌ها گزارش شده است، اگر جابجایی پتانسیل خوردگی در محلول حاوی بازدارنده نسبت به محلول شاهد کمتر از ± 85 mV باشد، بازدارنده می‌تواند به صورت کاتدی یا آندی باشد [21-23]. در این پژوهش، بیشینه جابجایی در پتانسیل خوردگی در حضور بازدارنده حدود 18 میلی‌ولت است که می‌توان نتیجه گرفت که

منحنی‌های پلاریزه شدن پتانسیودینامیک با تغییر پتانسیل در محدوده تافل با دامنه ± 250 mV نسبت به پتانسیل مدار باز و با سرعت رویش پتانسیل یک میلی‌ولت بر ثانیه و بیشینه زمان تعیین پتانسیل مدار باز، 5 دقیقه (در شرایط دمایی یکسان) در دمای اتاق ثبت شدند. با استفاده از نرم‌افزار نوا، منحنی‌های پلاریزه کردن تجزیه و تحلیل شد. برای اطمینان از تکرارپذیری نتایج آزمایش‌ها، اندازه‌گیری‌ها حداقل سه بار تکرار شدند.

سنتز دی‌هیدروپیریمیدو-[1,6][5-b,4]نفتريدین-2،4،6،8-تتراان (DHPN) (1H,3H,7H,9H)

در یک بالن ته‌گرد 10 میلی‌لیتری مجهز به کندانسور یک میلی‌مول 3-هیدروکسی-4-متوکسی‌بنزالدئید، 2 میلی‌مول باربیتوریک‌اسید، 12-تنگستوفسفریک‌اسید (0/1%) بعنوان کاتالیست و 3 میلی‌لیتر اتانول بعنوان حلال با هم مخلوط شدند. این مخلوط در دمای 80°C به مدت 12 ساعت رفلکس شد. سپس یک میلی‌مول گلیسین به مخلوط واکنش اضافه و در طول شب رفلکس گردید. در پایان کار محصول رسوبی بدست آمده صاف و سه مرتبه با 2 میلی‌لیتر اتانول شستشو داده شد. شکل 1 ساختار ترکیب DHPN را نشان می‌دهد.



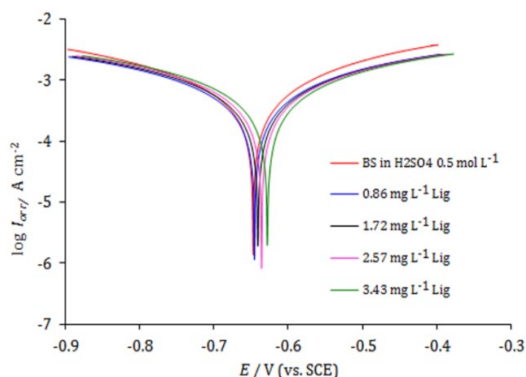
شکل 1. ساختار ترکیب دی‌هیدروپیریمیدو-[1,6][5-b,4]نفتريدین-2،4،6،8-تتراان (DHPN).

ساختار محصول به‌دست‌آمده (شکل 1) با طیف‌سنجی‌های زیرقرمز و رزونانس مغناطیس هسته هیدروژن و کربن 13 شناسایی گردید.

IR (KBr): 3258, 3247, 3089, 1728, 1671, 1410, 1356, 1323, 1275, cm^{-1} . $^1\text{H NMR}$ (DMSO- d_6): δ 2.2 (2H, s), 2.7 (3H, s), 3.14 (2H, d), 5.53 (1H, t), (6.1-6.5) (3H, m), 8.2 (1H, s), 9.7 (4H, s), 16.95 (1H, s) ppm. $^{13}\text{C NMR}$ (DMSO- d_6) δ (ppm) = 8.5, 29.5, 29.6, 45.6, 55.6, 91.1, 111.7, 114.4, 116.9, 117, 137.4, 144.6, 145.6, 150.6, 162.4, 163.7.

آماده سازی نمونه

قبل از انجام آزمایش‌های مختلف الکتروشیمیایی، آماده‌سازی نمونه فولاد کربنی (A105) انجام شد. آماده‌سازی نمونه فولادی به این صورت است که ابتدا قطعه فلز در ابعاد $1 \times 1 \times 0.5$ سانتی‌متر برش و به یک سیم مسی لحیم شد. سپس سطوح پشت و جانی نمونه و همچنین محل اتصال نمونه فولاد و سیم مسی با رزین اپوکسی کاملاً پوشانده شد به گونه‌ای که مساحت فلز در تماس با محلول، 1 cm^2 باشد. آنگاه سطح الکتروده کار (فولاد A105) با کاغذ سمباده ساییده شد و سپس در حمام فراصوت با



شکل 5. منحنی پلاریزمکردن تافل فولاد (A105) در محلول سولفوریک اسید 0/5 مولار در غلظت‌های مختلف بازدارنده DHPN در دمای 30 °C و سرعت جاروب 1 میلی‌ولت بر ثانیه.

مولکول‌های DHPN به‌عنوان بازدارنده مختلط عمل می‌کند اما بازدارندگی آندی آن بیشتر است. همچنین، وقتی که غلظت بازدارنده افزایش می‌یابد، چگالی جریان خوردگی فولاد کربنی از 0/166 تا 0/036 میلی‌آمپر بر مترمربع کاهش و بازده خوردگی تا 78 درصد افزایش می‌یابد. این رفتار، پوشش سطحی (θ) عالی سطح فلز را با مولکول‌های DHPN تایید کرده و نشان می‌دهد که مکان‌های فعال واکنش در سطح فلز مسدود شده‌اند.

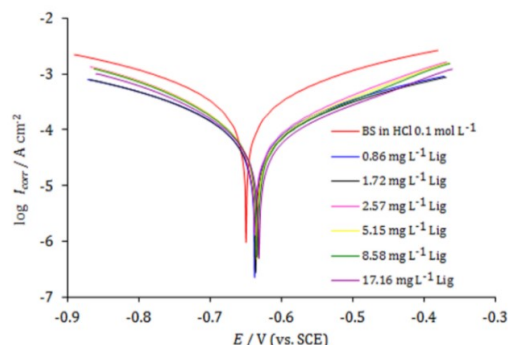
همدماهای جذب

تاثیر ترکیب‌های آلی به‌عنوان بازدارنده‌های خوردگی می‌تواند بر اساس جذب سطحی مولکول‌ها از طریق گروه‌های عاملی آنها بر روی سطح فلز توصیف شود. برای درک بهتر سازوکار جذب بازدارنده و فرایندهای الکتروشیمیایی بر روی سطح فلز، همدماهای جذب بررسی شدند. همدماهای جذب لانگمویر، تمکین و فروندلیچ برای توصیف خوردگی بازدارنده، مورد آزمایش قرار گرفت. گفتنی است که جذب DHPN بر روی سطح فلز در محلول هیدروکلریک اسید و سولفوریک اسید 0/1 مولار از همدمای جذب لانگمویر تبعیت می‌کند. الگوی جذب لانگمویر با معادله زیر نشان داده می‌شود [24]:

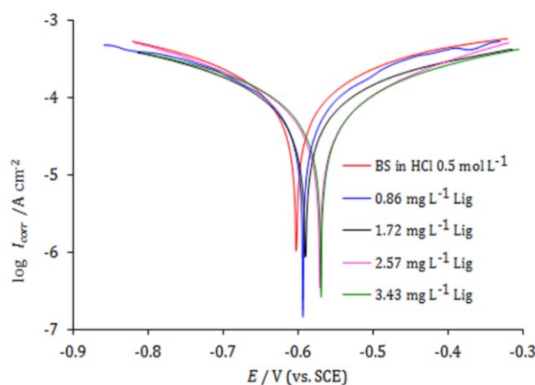
$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (3)$$

غلظت بازدارنده بر حسب mg l^{-1}
 θ = درجه پوشش سطحی بر روی سطح فلز
 K_{ads} = ثابت تعادل فرایند جذب-واجذب

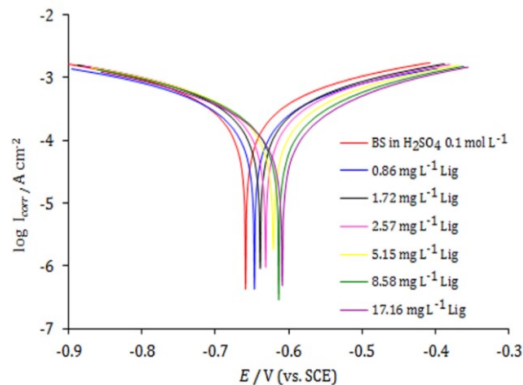
تغییرات خطی در مقابل $\frac{C_{inh}}{\theta}$ لیگاند DHPN در محلول هیدروکلریک اسید و سولفوریک اسید (0/1 مولار) در شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده‌است. ضریب همبستگی خوب و خطی بودن نمودار پیشنهاد می‌دهد که جذب بازدارنده از همدمای جذبی لانگمویر تبعیت می‌کند پس



شکل 2. منحنی پلاریزمکردن تافل فولاد (A105) در محلول هیدروکلریک اسید 0/1 مولار در غلظت‌های مختلف بازدارنده DHPN در دمای 30 °C و سرعت جاروب 1 میلی‌ولت بر ثانیه.



شکل 3. منحنی پلاریزمکردن تافل فولاد (A105) در محلول هیدروکلریک اسید 0/5 مولار در غلظت‌های مختلف بازدارنده DHPN در دمای 30 °C و سرعت جاروب 1 میلی‌ولت بر ثانیه.



شکل 4. منحنی پلاریزمکردن تافل فولاد (A105) در محلول سولفوریک اسید 0/1 مولار در غلظت‌های مختلف بازدارنده DHPN در دمای 30 °C و سرعت جاروب 1 میلی‌ولت بر ثانیه.

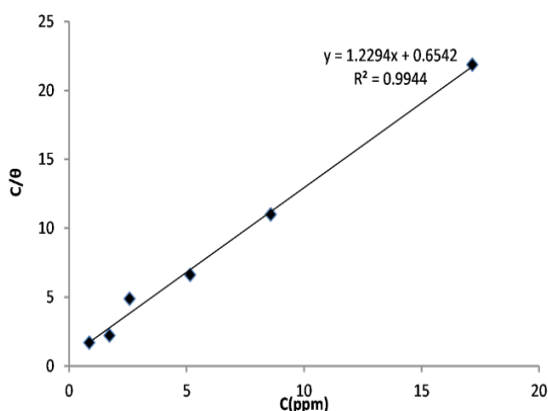
جدول 1. نتایج آزمون‌های پلاریزه کردن و نتایج محاسبات خوردگی فولاد A105 در محیط سولفوریک اسید 0/1 مولار

درجه پوشاندگی سطحی (θ)	بازده بازدارندگی (%)	سرعت خوردگی (mpy)	چگالی خوردگی (mA cm ⁻²)	شیب کاتدی (V dec ⁻¹)	شیب آندی (V dec ⁻¹)	پتانسیل خوردگی (V vs. SCE)	غلظت بازدارنده (ppm)
-	-	193/41	0/422	0/384	0/412	-0/658	0
0/476	47/59	101/36	0/221	0/247	0/276	-0/646	0/86
0/527	52/70	91/46	0/200	0/179	0/229	-0/639	1/72
0/587	58/66	79/96	0/174	0/178	0/195	-0/631	2/57
0/673	67/31	63/23	0/138	0/148	0/175	-0/621	5/15
0/761	76/10	46/28	0/101	0/129	0/143	-0/614	8/58
0/765	76/75	44/98	0/098	0/133	0/161	-0/609	17/16

جدول 2. نتایج آزمون‌های پلاریزه کردن و نتایج محاسبات خوردگی فولاد A105 در محیط هیدروکلریک اسید 0/1 مولار

درجه پوشاندگی سطحی (θ)	بازده بازدارندگی (%)	سرعت خوردگی (mpy)	چگالی خوردگی (mA cm ⁻²)	شیب کاتدی (V dec ⁻¹)	شیب آندی (V dec ⁻¹)	پتانسیل خوردگی (V vs. SCE)	غلظت بازدارنده (ppm)
-	-	76/15	0/166	0/339	0/347	-0/649	0
0/507	50/68	37/52	0/082	0/220	0/202	-0/637	0/86
0/779	77/90	16/82	0/037	0/099	0/126	-0/636	1/72
0/529	52/88	35/85	0/078	0/169	0/173	-0/636	2/57
0/78	78/01	16/73	0/046	0/109	0/132	-0/633	5/15
0/78	78/01	16/73	0/036	0/0903	0/119	-0/633	8/58
0/78	78/47	16/38	0/032	0/0848	0/122	-0/631	17/16

نشان می‌دهد که جذب ضعیفی بین مولکول‌های بازدارنده و سطح فلز انجام شده‌است که این فرایند جذب از نوع جذب فیزیکی می‌باشد [27].



شکل 6. همدمای جذب لانگمویر برای جذب بازدارنده بر روی سطح فولاد کربنی در محلول هیدروکلریک اسید 0/1 مولار.

یک تک لایه جذبی بر روی سطح فلز ایجاد می‌شود [25]. ثابت تعادل فرایند جذب سطحی (K_{ads}) عکس عرض از مبدا همدمای لانگمویر می‌باشد. همچنین، مقدار انرژی آزاد استاندارد جذب سطحی می‌تواند از رابطه زیر به دست آید [26]:

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(55.5 K_{ads}) \quad (4)$$

$$\Delta G_{ads}^0 = \text{مقدار انرژی آزاد استاندارد جذب سطحی}$$

$$R = \text{ثابت عمومی گازها و برابر با } 8/314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$T = \text{دمای مطلق بر حسب کلوین}$$

$$55/5 = \text{تعداد مول‌های آب بر حسب M در محلول نمونه}$$

با استفاده از رابطه بالا، مقدار انرژی آزاد استاندارد جذب سطحی برابر 10- کیلوژول بر مول به دست می‌آید که علامت منفی نشانه خودبخودی بودن جذب بازدارنده بر روی سطح فلز است. همچنین، کوچک بودن ثابت تعادل جذب و انرژی آزاد استاندارد جذب

نتیجه‌گیری

- 10) H.I. Taleb, A.Z. Mohamed, *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 (2011) 6442.
- 11) M. Bethencourt, F.J. Botana, J.J. Calvino, M. Marcosm, *Corros. Sci.* 40 (1998) 1803.
- 12) M.A. Arenas, A. Conde, J.J. De Damborenea, *Corros. Sci.* 44 (2002) 511.
- 13) S.M. El-Sawy, Y.M. Abu-Ayana, *et al. Anticorros. Methods Mater.* 48 (2001) 227.
- 14) P.B. Raja, M.G. Sethuraman, *Mater. Lett.* 62 (2008) 113.
- 15) H. Tian, W. Li, K. Cao, B. Hou, *Corros. Sci.* 73 (2013) 281.
- 16) G. Moretti, F. Guidi, G. Grion, *Corros. Sci.* 46 (2004) 387.
- 17) K. Chkirate, K. Azgaou, *et al. J. Mol. Liq.* 321 (2020) 12.
- 18) D. Douche, H. Elmsellem, *et al. J. Mol. Liq.* 308 (2020) 113042.
- 19) H.M. Abd El-Lateef, M.S.S. Adam *et al. J. Taiwan. Inst. Chem. Eng.* 88 (2018) 286.
- 20) M.S.S. Adam, H.M. Abd El-Lateef *et al. J. Mol. Liq.* 250 (2018) 307.
- 21) K. Raviprabha, S.B. Ramesh, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 55 (2019) 723.
- 22) N.B. Iroha, L.A. Nnanna, *Inter. J. Res.* 7 (2019) 19.
- 23) N.B. Iroha, N.J. Maduelosi, *Chem. Inter.* 6 (2020) 267.
- 24) S. Bashir, H. Lgaz, I.M. Chung, A. Kumar, *Chem. Pap.* 73 (2019) 2255.
- 25) S. Attabi, M. Mokhtari, Y. Taibi, *et al. J. Bio. Tribo. Corros.* 5 (2019) 1.
- 26) H. Elmsellem, N. Basbas, A. Chetouani, A. Aouniti, *Port. Electrochim. Acta* 2 (2014) 77.
- 27) R. Solmaz, G. Kardas, M. Çulha, B. Yazıcı, M. Erbil, *J. Electrochim. Acta* 53 (2008) 5941.

در این پژوهش، یک بازدارنده آلی (DHPN) با گروه عاملی گلیسین برای عملکرد بازدارنده خوردگی بر روی لوله‌های فولاد کربنی A105 در محلول سولفوریک اسید و هیدروکلریک اسید با غلظت‌های 0/1 و 0/5 مولار با استفاده از روش الکتروشیمیایی پلاریزه کردن پتانسیومتری مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که این بازدارنده بالاترین بازده خوردگی را در غظت 5/58 ppm از خود نشان می‌دهد که به دلیل جذب سطحی بر روی سطح نرم فولاد کربنی می‌باشد. جذب سطحی بازدارنده DHPN از همدمای لانگمویر تبعیت می‌کند. افزایش بازدارنده DHPN خوردگی را کنترل می‌کند اما بر روی سازوکار خوردگی تاثیر نمی‌گذارد. بر اساس اندازه‌گیری‌های پتانسیومتری، افزایش مقدار بازدارنده، چگالی جریان خوردگی را کاهش می‌دهد و سازوکار عملکرد آن به صورت بازدارنده مختلط آندی/کاتدی می‌باشد.

مراجع

- 1) B.V. Salas, M. Schorr, R. Zlatev, M. Carrillo, M. Stoytcheva, L. Alvarez, N. Rosas, *Environmental and Industrial Corrosion*, Croatia, 2012.
- 2) H. Elmsellem, T. Harit, A. Aouniti, *et al. Prot. Met. Phys. Chem.* 51 (2015) 873.
- 3) H. Elmsellem, Y. El Ouadi, M. Mokhtari, *et al. J. Chem. Technol. Metall.* 54 (2019) 742.
- 4) S.A. Umoren, M.M. Solomon, *J. Environ. Chem. Eng.* 5 (2017) 246.
- 5) D.Q. Huong, T. Duong, P.C. Nam, *J. Mol. Model.* 25 (2019) 204.
- 6) S.O. Ajeigbe, N. Basar, H. Maarof, A.M. Al-Fakih, M.A. Hassan, Aziz, *J. Mater. Environ. Sci.* 8 (2017) 2040.
- 7) S. Malinowski, J.J. Wolińska, T. Herbert, *J. Mol. Model.* 24 (2018) 1.
- 8) I.B. Obot, S. Kaya, C. Kaya, B. Tüzün, *Physica E Low Dimens. Syst. Nanostruct.* 80 (2016) 82.
- 9) I.B. Obot, S. Kaya, C. Kaya, B. Tüzün, *Res. Chem. Intermed.* 42 (2016) 4963.