

## مطالعه اثر بازدارنده اولئیک ایمیدازولین و یون بنزوات بر خوردگی آلیاژ فولاد کربنی مورد استفاده در خط لوله انتقال نفت

علیرضا رحیمی زیناب\*، مصیب چقازردی و علیرضا رضایی راد

گروه الکتروشیمی و مواد بازدارنده، پژوهشکده حفاظت صنعتی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

دریافت: آذر ۱۳۹۲، بازنگری: اسفند ۱۳۹۲، پذیرش: فروردین ۱۳۹۳

**چکیده:** بازدارنده خوردگی اولئیک ایمیدازولین (OI) از واکنش دی‌اتیلن تری‌آمین با اولئیک اسید تهیه و با روش‌های طیف‌سنجی <sup>1</sup>HNMR و FTIR شناسایی شد. قدرت بازدارندگی خوردگی OI بر روی آلیاژ فولاد کربنی مورد استفاده در خطوط انتقال نفت در محلول آب دریای اشباع شده با کربن دی‌اکسید به روش‌های قطبش پتانسیودینامیک و طیف‌سنجی پاگیرایی الکتروشیمیایی (EIS) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر هم‌جذبی سدیم بنزوات (SB) و اولئیک ایمیدازولین بر روی رفتار خوردگی فولاد کربنی بررسی شد. به منظور مطالعه‌ی ریخت‌شناسی سطح فولاد کربنی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. نتیجه‌ها بررسی‌ها نشان داد که OI در غلظت‌های پایین باعث محافظت از سطح فولاد کربنی در برابر خوردگی در محلول خورنده می‌شود. افزودن SB به محلول‌های حاوی OI موجب افزایش کارایی بازدارندگی OI شد. نتیجه‌های EIS نشان داد که با افزایش غلظت بازدارنده‌ها مقدارهای مقاومت انتقال بار ( $R_{ct}$ ) افزایش و ظرفیت الکتروشیمیایی لایه‌ی دوگانه ( $C_{dl}$ ) کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری‌های قطبش پتانسیودینامیک نشان داد که OI به تنهایی به عنوان بازدارنده آندی و در مخلوط با SB به عنوان بازدارنده نوع مخلوط عمل می‌کند. همچنین جذب بازدارنده‌ی OI بر روی سطح فولاد کربنی و در شرایط خورنده ذکر شده از هم‌دمای جذب لانگمیر پیروی می‌کند.

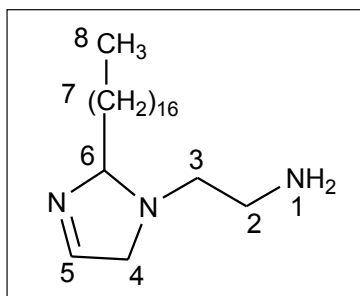
**واژه‌های کلیدی:** خوردگی لوله‌های نفتی، بازدارنده، اثر هم‌افزایی، جذب سطحی، آب دریا

### مقدمه

تزریق کربن دی‌اکسید به چاه‌های نفت برای افزایش در تولید است [۵ تا ۷]. انحلال کربن دی‌اکسید در آب، تولید کربنیک اسید می‌کند که در pHهای یکسان، خورنده‌تر از هیدروکلریک اسید است [۸]. مشکلات ناشی از خوردگی کربن دی‌اکسید موجب گسترش روش‌های مقابله با این نوع خوردگی شده است. از جمله این روش‌ها تزریق بازدارنده خوردگی است که روش عملی و اقتصادی برای کنترل خوردگی ناشی از کربن دی‌اکسید است [۹]. بیشتر بازدارنده‌های اسید شناخته شده،

آلیاژ فولاد کربنی به دلیل اقتصادی بودن به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشترین استفاده آن در صنعت نفت و گاز به منظور ساخت لوله است. فولاد کربنی هنگامی که در معرض محیط‌های خورنده، به‌ویژه محیط‌های حاوی گاز کربن دی‌اکسید قرار می‌گیرد، خورده می‌شود [۱ تا ۴]. خوردگی ناشی از کربن دی‌اکسید در فولادهای کربنی بسیار مورد توجه پژوهشگران است، دلیل این امر افزایش تمایل برای

قطره چکان و تله‌ی دین استارک افزوده شد. محلول تا دمای  $60^{\circ}\text{C}$  گرم شد و سپس ۱۱ ml از دی اتیلن تری آمین به آن افزوده شد. پس از آن مخلوط تا دمای  $160^{\circ}\text{C}$  گرم شد و به مدت ۴ ساعت در این دما باقی ماند تا آب به وجود آمده از واکنش دین استارک جمع شود. سپس دما به  $225^{\circ}\text{C}$  افزایش یافته و به مدت ۱ ساعت مخلوط در این دما قرار گرفت در طی این مدت جریان نیتروژن بر روی محلول قرار گرفت و سرعت چرخش همزن مغناطیسی هم بیشتر شد تا به راحتی آب تولید شده در ادامه‌ی واکنش، همراه گاز نیتروژن خارج شود. در مرحله بعد به مدت ۲ ساعت دیگر دمای محلول در  $225^{\circ}\text{C}$  ثابت نگه داشته شد و پس از آن تا دمای آزمایشگاه سرد شد و با استفاده از کلروفورم و آب به روش استخراج خالص سازی شد. ساختار شیمیایی فراورده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ ساختار شیمیایی OI

#### آلیاژ مورد آزمایش

آلیاژ فولاد کربنی با مساحت سطح  $1\text{ cm}^2$  و به شکل استوانه به عنوان الکتروکد کار مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی الکتروکد کار با استفاده از دستگاه کوانتومتر (مدل ARL 3460) تجزیه شد که نتیجه به دست آمده به صورت زیر بود:

۰٫۱۴٪ C ، ۰٫۸۱٪ Mn ، ۰٫۰۰۸٪ Al ، ۰٫۲۵٪ Si ، ۰٫۰۱۶٪ P  
S ٪ ۰٫۲۸ و باقی مانده آهن (Fe).

محلول خورنده شامل آب دریا بود که طبق استاندارد ASTM-D1141 از مواد آزمایشگاهی و آب یون زدایی شده ساخته شد. محلول خورنده نخست با گاز نیتروژن خالص اکسیژن زدایی شد سپس به آن گاز کربن دی اکسید با درصد خلوص بالا

ترکیب‌های شیمیایی دارای حلقه‌های آروماتیک و هتروسیکل با اتم‌های نیتروژن، گوگرد و اکسیژن در ساختار گروه‌های عامل خود هستند [۱۰ تا ۱۴]. این ترکیب‌ها می‌توانند جذب سطح فلز شده و با بلوکه کردن مکان‌های فعال، سرعت خوردگی را کاهش دهند [۱۵]. جذب بازدارنده بر روی سطوح فلزی به ساختار شیمیایی بازدارنده خوردگی، ترکیب شیمیایی الکترولیت، بار سطحی فلز و الگوی جذب بستگی دارد [۱۶]. ترکیب‌های شیمیایی حاوی حلقه‌های آروماتیک، اتم‌های نیتروژن، گوگرد و اکسیژن به‌طور معمول قابلیت جذب به سطح فلز را داشته و به عنوان بازدارنده خوردگی استفاده می‌شوند و به دلیل جذب شدن به سطح فلز خاصیت بازدارندگی خوردگی از خود نشان می‌دهند [۱۷].

مواد فعال سطحی نیتروژن دار مانند ایمیدازولین و مشتقات آن تا به امروز با موفقیت به عنوان بازدارنده خوردگی کربن دی اکسید مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۹ و ۱۸]. این ترکیب‌های آلی با جذب شدن در سطح مشترک فلز / محلول خورنده و تشکیل یک لایه حایل، مانع از رسیدن یون‌های مهاجم به سطح فلز می‌شود [۲۰]. تأثیر آنیون‌های بنزوات بر روی رفتار خوردگی فولاد کربنی در مطالعات متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱ و ۲۲].

تا به حال گزارشی در مورد تأثیر یون بنزوات روی قدرت بازدارندگی OI در مقابل خوردگی آلیاژ کربن استیل گزارش نشده است. در این پژوهش کارایی بازدارندگی خوردگی OI، جذب آن و اثر هم‌افزایی یون بنزوات با آن بر روی رفتار خوردگی فولاد کربنی در محیط آب دریای اشباع شده با کربن دی اکسید مورد بررسی قرار گرفته است.

#### بخش تجربی

##### SI سنتز

بازدارنده OI با استفاده از واکنش دی اتیلن تری آمین و اولئیک اسید آزمایشگاهی تهیه شد. ۱۶ ml اولئیک اسید در یک بالن ۱۰۰ ml سه دهانه مجهز به ترموکوپل، همزن مغناطیسی، قیف

منحنی‌های قطبش پتانسیودینامیک با شروع روبش پتانسیل از مقادیر منفی (از جهت کاتدی) و با سرعت ۱ mV/s ثبت شدند.

دمیده شد تا اسیدیته محلول در pH = ۴ ثابت شود.

#### اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی

#### نتیجه‌ها و بحث

##### سنتز بازدارنده

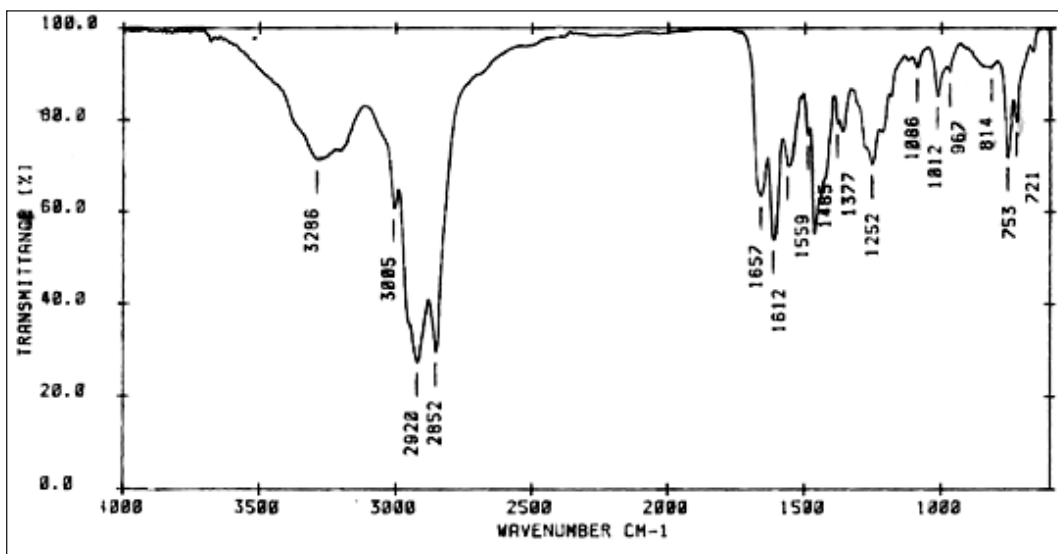
به منظور تأیید ساختار بازدارنده OI سنتز شده از طیف سنجی FTIR (مدل BRUKER, VERTEX70) و  $^1\text{H-NMR}$  (مدل BRUKER, 300MHz) استفاده شد. شکل ۲ طیف FTIR و شکل ۳ طیف  $^1\text{H-NMR}$  بازدارنده سنتز شده را نشان می‌دهد.

در شکل ۲، طیف IR، پیک ظاهر شده در  $1612\text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش خمشی پیوند N-H و پیک ظاهر شده در  $1657\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی C=N است. پیک‌های دوگانه ظاهر شده در  $2920\text{ cm}^{-1}$  و  $2852\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات کششی هیدروژن‌های آلیفاتیک در پیوند با کربن  $sp^3$  است و پیک ظاهر شده در  $3005\text{ cm}^{-1}$  به دلیل ارتعاشات کششی هیدروژن متصل به اتم کربن  $sp^2$  است. پیک پهن ظاهر شده در  $3286\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشی کششی پیوند N-H است [۲۳].

اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی با استفاده از دستگاه پتانسیواستات/ گالوانو استات مدل IM6-ex Zahner Elektrik انجام گرفت. سامانه الکتروشیمیایی سه الکترودی با الکتروکربن استیل، الکتروکالومل اشباع (SCE) و میله گرافیتی به ترتیب به عنوان الکتروکاتر، الکتروکد و الکتروکد کمکی مورد استفاده قرار گرفت.

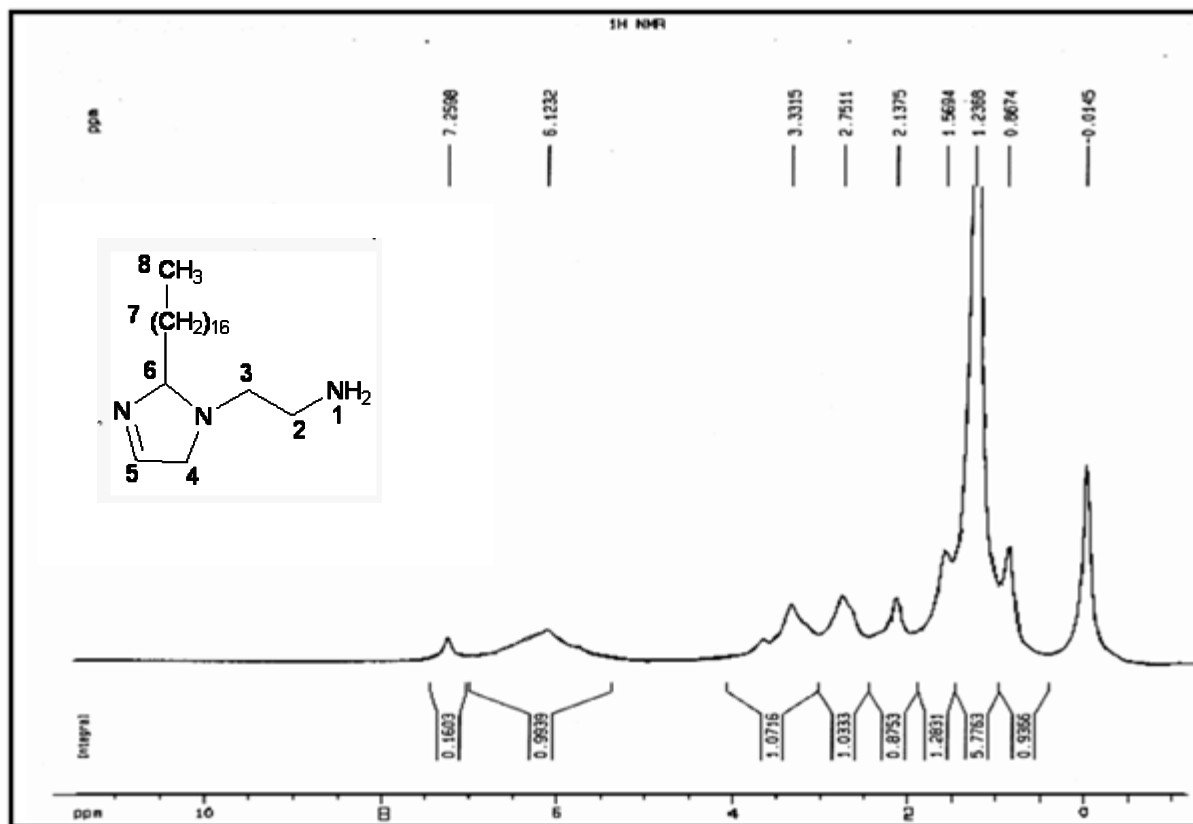
قبل از هر آزمایش الکتروکد کار با استفاده از کاغذ سنباده SiC خیس (شماره ۸۰۰-۳۲۰) تمیزکاری و صیقلی شد، سپس با استفاده از کاغذ سنباده شماره ۱۲۰۰، سطح الکتروکد تا حالت آینه‌ای شدن صاف‌کاری شد. سپس الکتروکد کار با استفاده از آب مقطر شسته شده و با استون چربی زدایی شد.

پیش از آغاز هر آزمایش ۵۰ دقیقه به الکتروکد فرصت داده شد تا پتانسیل آن ثابت شود. طیف سنجی پایداری الکتروشیمیایی (EIS) برای هر نمونه در پتانسیل مدار باز (OCP) در دامنه فرکانس ۰.۱ Hz تا ۱۰۰ KHz از پتانسیل با دامنه ۱۰ میلی‌ولت انجام گرفت.



شکل ۲ طیف IR نمونه سنتز شده

1. Impedance

شکل ۳ طیف  $^1\text{H NMR}$  نمونه سنتز شده

$^1\text{H NMR}$  طیف این ترکیب در حلال کلروفرم دوتره ثبت شد. پیک نشان داده شده در  $7.2$  ppm مربوط به حلال است. پیک مشاهده شده در  $6.1$  ppm مربوط به هیدروژن متصل به کربن  $sp^2$  (هیدروژن ۵ در شکل ۳) و پیک ظاهر شده در  $3.3$  ppm شامل یک پیک بزرگ و یک پیک کوچک است که پیک بزرگ مربوط به اتم‌های هیدروژن شماره ۳ در شکل ۳ و پیک کوچک مربوط به هیدروژن شماره ۶ است. پیک ظاهر شده در  $2.7$  ppm مربوط به هیدروژن‌های شماره ۲ و پیک ظاهر شده در  $2.1$  ppm مربوط به هیدروژن‌های شماره ۴ است. پیک ظاهر شده در  $1.2$  ppm مربوط به گروه هیدروژن‌های شماره ۷ است. پیک مشاهده شده در  $1.5$  ppm مربوط به هیدروژن‌های متصل به نیتروژن (هیدروژن‌های شماره ۱) و در نهایت پیک نشان داده شده در

$0.66$  ppm مربوط به هیدروژن‌های گروه  $\text{CH}_3$  (هیدروژن‌های شماره ۸) است.

#### آزمایش‌های الکتروشیمیایی

آزمایش‌های پایداری الکتروشیمیایی در پتانسیل‌های خوردگی انجام گرفت. منحنی‌های نایکوئیست<sup>۱</sup> به دست آمده از اندازه‌گیری‌های EIS برای فولاد کربنی در غیاب و در حضور بازدارنده‌های OI و SB در شکل ۴ نشان داده شده است. در غیاب بازدارنده منحنی‌های نایکوئیست نیم دایره‌های با شعاع کوچکتری را نشان می‌دهد، این نیم دایره را می‌توان به واکنش‌های انتقال بار نسبت داد که در سطح فولاد رخ می‌دهند. این پدیده به ظرفیت لایه دوگانه و مقاومت انتقال بار نسبت داده می‌شود و قطر حلقه را

1. Nyquist

جدول ۱ عامل‌های به‌دست آمده از روش پایداری الکتروشیمیایی برای فولاد کربنی در آب دریا اشباع با کربن دی‌اکسید

IE%	$C_{dl}$ ( $\mu F$ )	$R_t$ (ohm)	غلظت بازدارنده	
---	۵۲	۴۴۱	محلول	OI
۴۸	۹٫۱	۸۵۳	۲٫۵	
۶۵	۸٫۲	۱۲۵۷	۵٫۰	
۷۲	۶٫۳	۱۵۸۲	۷٫۵	
۷۲	۲٫۳	۱۵۹۶	۱۰٫۰	
۶۲	۸٫۷	۱۱۷۳	۱۰	SB
۶۵	۷٫۷	۱۲۸۲	۲۰	
۶۸	۵٫۲	۱۴۱۲	۳۰	
۶۹	۳٫۱	۱۴۳۱	۴۰	

داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهند که OI در مقایسه با SB، در غلظت‌های پایین‌تری باعث افزایش در مقاومت انتقال بار ( $R_t$ ) و در نتیجه افزایش مقدار محافظت آلیاژ در برابر خوردگی شده است. در شکل ۵ تأثیر افزایش غلظت بازدارنده OI بر منحنی‌های قطبش نشان داده شده است. عامل‌های الکتروشیمیایی مانند چگالی جریان خوردگی ( $I_{corr}$ )، پتانسیل خوردگی ( $E_{corr}$ ) شیب‌های تافلی آندی و کاتدی ( $\beta_c$  و  $\beta_a$ ) به‌دست آمده از برون‌یابی ناحیه آندی و کاتدی نمودارهای تافل، درصد پوشش سطح ( $\theta$ ) و کارایی بازدارندگی (IE%) در جدول ۲ آمده است.

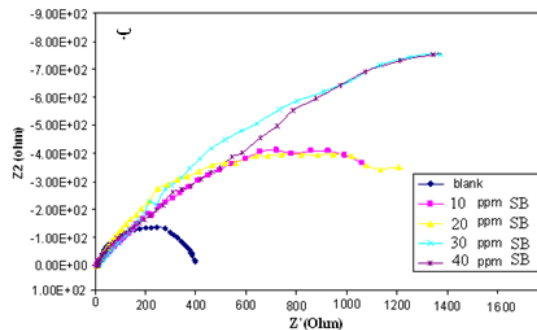
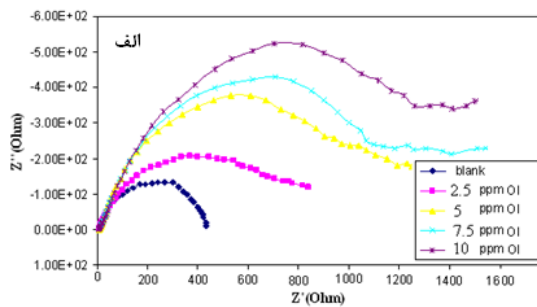
کارایی بازدارندگی (IE%) برای هر غلظتی از بازدارنده‌ها با استفاده از معادله ۲ به‌دست آمده است.

$$IE\% = \left[ \frac{I_{corr} - I_{inh}}{I_{inh}} \right] \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $I_{inh}$  و  $I_{corr}$  چگالی جریان خوردگی به ترتیب در غیاب و در حضور غلظت‌های متفاوت بازدارنده‌های خوردگی است. افزایش غلظت بازدارنده‌ها موجب کاهش چگالی جریان خوردگی می‌شود، اما تأثیر قابل توجهی بر پتانسیل خوردگی ندارد.

شکل ۵ نشان می‌دهد که در حضور OI شیب شاخه‌های آندی کاهش یافته اما شیب شاخه‌های کاتدی چندان تحت تأثیر حضور بازدارنده‌ها قرار نگرفته است. به بیان دیگر، بازدارنده مورد مطالعه نخست فرایندهای آندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۴]. بنابراین،

می‌توان به عنوان معیاری برای مقاومت انتقال بار در نظر گرفت، هر چه مقاومت انتقال بار کوچکتر باشد سرعت خوردگی بیشتر است. می‌توان مشاهده کرد که اندازه نیم دایره‌ها در حضور هر یک از بازدارنده‌ها بزرگتر از زمانی است که بازدارنده در محلول وجود ندارد. این حقیقت اشاره به قدرت بازدارندگی بازدارنده‌ها دارد [۲۰].



شکل ۴ منحنی‌های پایداری الکتروشیمیایی برای فولاد کربنی در آب دریای اشباع با کربن دی‌اکسید در حضور OI (الف) و SB (ب)

عامل‌های پایداری الکتروشیمیایی مانند مقاومت انتقال بار ( $R_t$ )، ظرفیت لایه دوگانه ( $C_{dl}$ ) و کارایی بازدارندگی در جدول ۱ آمده است. کارایی بازدارندگی را می‌توان با رابطه ۱ و با استفاده از مقاومت‌های انتقال بار ذکر شده در جدول ۱ به‌دست آورد.

$$IE\% = \left[ \frac{R'_t - R_t}{R'_t} \right] \times 100 \quad (1)$$

$R_t$  و  $R'_t$  مقاومت‌های انتقال بار به ترتیب در محلول‌های فاقد بازدارنده و دارای بازدارنده هستند. نتیجه‌ها نشان‌دهنده کاهش در مقدارهای ظرفیت لایه دوگانه ( $C_{dl}$ ) و افزایش در مقاومت انتقال بار ( $R_t$ ) و همچنین افزایش کارایی بازدارندگی با افزایش غلظت بازدارنده هستند.

به دست می آید. بنابراین، می توان گفت SB اثر هم افزایی روی قدرت بازدارندگی OI داشته است.

همدماهای جذب و اثر هم جیبی

همدماهای جذب می تواند اطلاعات بنیادی از بر همکنش های بین مولکول بازدارنده و سطح فلز را در اختیار بگذارد [۲۵ و ۲۶]. به نظر می رسد فرایند بازدارندگی به دلیل جذب مولکول بازدارنده به سطح فلز و در نتیجه پوشش دادن سطح باشد. بنابراین، مقدار پوشش دهی سطح را می توان به طور مستقیم به کارایی بازدارندگی ربط داد، (معادله ۴):

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \quad (4)$$

در این رابطه  $\theta$  پوشش دهی سطح و  $IE\%$  کارایی بازدارندگی است. از مقدارهای پوشش دهی سطح به دست آمده از اندازه گیری های قطبش برای به دست آوردن همدمای جذب مناسب استفاده شد. در مورد هر دو بازدارنده نمودارهای  $C/\theta$  در مقابل  $C$  خطوط مستقیمی بودند که نشان می دهد جذب هر دو بازدارنده بر سطح فلز از همدمای جذب لانگمیر پیروی می کند [۲۷].

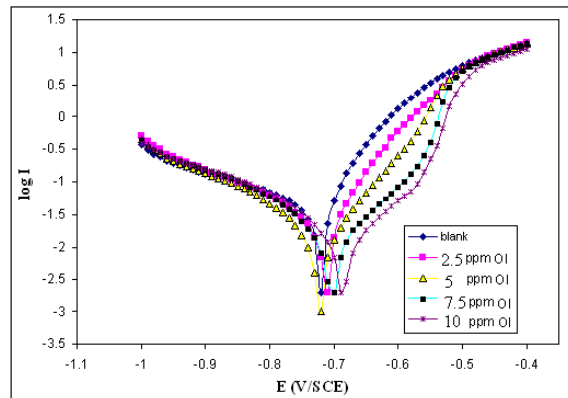
معادله لانگمیر به صورت زیر بیان می شود:

$$KC = \frac{1-\theta}{\theta} \quad (5)$$

در این رابطه  $C$  غلظت بازدارنده و  $K$  مقدار ثابت معادله جذب

می توان نتیجه گرفت که این بازدارنده به عنوان بازدارنده آندی در آب دریا اشباع شده با کربن دی اکسید برای ممانعت از خوردگی فولاد کربنی عمل می کند.

عامل های به دست آمده از نمودارهای قطبش پتانسیودینامیک در محلول بدون بازدارنده و همچنین محلول حاوی بازدارنده ها و مخلوط آن ها در جدول ۲ آورده شده اند.



شکل ۵ تأثیر افزایش غلظت OI بر منحنی های قطبش پتانسیودینامیک فولاد کربنی در آب دریا اشباع با کربن دی اکسید

همان طور که از داده های جدول ۲ مشاهده می شود، افزودن SB به محلول حاوی بازدارنده OI باعث کاهش چگالی جریان خوردگی و در نتیجه افزایش درصد محافظت آلیاژ در برابر خوردگی می شود و بهترین نتیجه در حضور ۴۰ ppm SB و ۱۰ ppm OI

جدول ۲ عامل های بدست آمده از منحنی های قطبش پتانسیودینامیک برای فولاد کربنی در آب دریا اشباع با کربن دی اکسید

IE%	$b_c$ (mV/dec)	$b_a$ (mV/dec)	$i_{corr}$ ( $\mu A/Cm^2$ )	$E_{corr}$ (mV)	غلظت بازدارنده (ppm)
---	۱۱۵	۲۲۰	۹۲	-۷۱۶	شاهد
۶۶	۱۱۳	۲۱۰	۳۱	-۷۱۲	۵ ppm OI
۶۶	۱۱۱	۲۰۵	۳۰	-۷۰۸	۷/۵ ppm OI
۶۹	۱۱۰	۱۹۵	۲۸	-۷۰۱	۱۰ ppm OI
۶۲	۱۱۲	۲۰۸	۳۵	-۷۲۳	۲۰ ppm SB
۷۰	۱۱۳	۲۰۲	۲۷	-۷۱۹	۳۰ ppm SB
۷۵	۱۰۹	۱۹۳	۲۳	-۷۱۸	۴۰ ppm SB
۹۱	۹۶	۱۸۳	۸	-۷۲۱	۳۰ ppm SB+۷/۵ ppm OI
۹۲	۹۵	۱۶۸	۷	-۷۱۸	۴۰ ppm SB+۷/۵ ppm OI
۹۴	۹۷	۱۷۱	۵	-۷۳۲	۳۰ ppm SB+۱۰ ppm OI
۹۸	۹۲	۱۷۰	۲	-۷۲۷	۴۰ ppm SB+۱۰ ppm OI

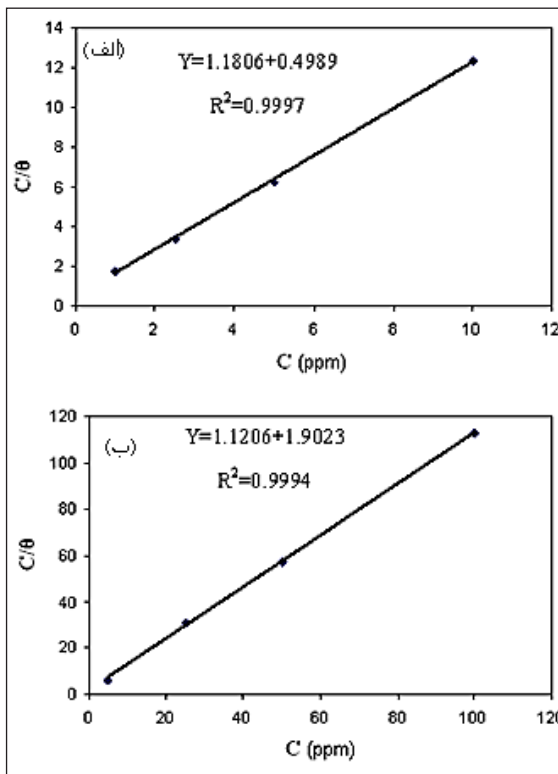
مقایسه‌ی منحنی‌های قطبش محلول‌های حاوی بازدارنده با محلول شاهد نشان می‌دهد که هم واکنش‌های آندی و هم واکنش‌های کاتدی در حضور بازدارنده‌های OI و SB متوقف شده‌اند و به سمت کاتدی جابه‌جا شده‌اند. بنابراین، اگرچه هر کدام از بازدارنده‌ها به تنهایی به عنوان بازدارنده آندی عمل می‌کنند، اما مخلوط آن‌ها به عنوان بازدارنده مخلوط (کاتدی - آندی) عمل می‌کند که بیشتر واکنش‌های کاتدی خوردگی فولاد کربنی را متوقف می‌کند. می‌توان از نتیجه‌های تمامی آزمایش‌ها مشاهده کرد که حضور SB در محلول می‌تواند کارایی بازدارندگی OI را افزایش دهد. این پدیده به اثر هم‌افزایی بین بازدارنده‌های OI و SB نسبت داده می‌شود. داده‌های حاصل از منحنی‌های قطبش پتانسیودینامیک برای مخلوط بازدارنده‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

تصویرهای میکروسکوپی SEM از آلیاژ فولاد کربنی بعد از قرار گرفتن در محلول خورنده (به مدت ۶ روز) در حضور و در غیاب بازدارنده‌های خوردگی در شکل ۸ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود سطح آلیاژ در محلول آب دریا اشباع شده با کربن دی‌اکسید به‌طور کامل خورده شده است (شکل ۸ الف). در حضور غلظت‌های مناسب از دو بازدارنده، سطح به‌تقریب صاف برای فولاد کربنی مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری

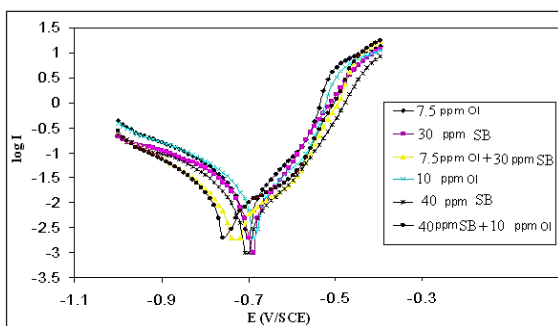
طیف‌های IR و <sup>1</sup>HNMR جهت شناسایی OI سنتز شده و اطمینان از خلوص فراورده به‌دست آمده مورد استفاده قرار گرفتند. نتیجه‌های EIS نشان داد که با افزایش غلظت بازدارنده‌ها کاهش در مقدارهای ظرفیت لایه‌ی دوگانه الکتروشیمیایی ( $C_{dl}$ ) و افزایش در مقاومت انتقال بار ( $R_p$ ) و افزایش در مقدارهای کارایی بازدارندگی (IE%) رخ می‌دهد. بازدارنده‌های OI و SB هر دو به عنوان بازدارنده آندی و مخلوط آن‌ها به عنوان بازدارنده آندی و کاتدی عمل می‌کند. حضور SB در محلول موجب بهبود کارایی OI برای محافظت از سطح فولاد کربنی در محیط آب دریای اشباع از کربن دی‌اکسید می‌شود. مقدارهای IE% به‌دست آمده از داده‌های قطبش با مقدارهای به‌دست آمده از داده‌های

است. شکل ۶ منحنی‌های C/θ بر حسب C را نشان می‌دهد. خط مستقیم به‌دست آمده دارای عرض از مبدا ۱/K است.



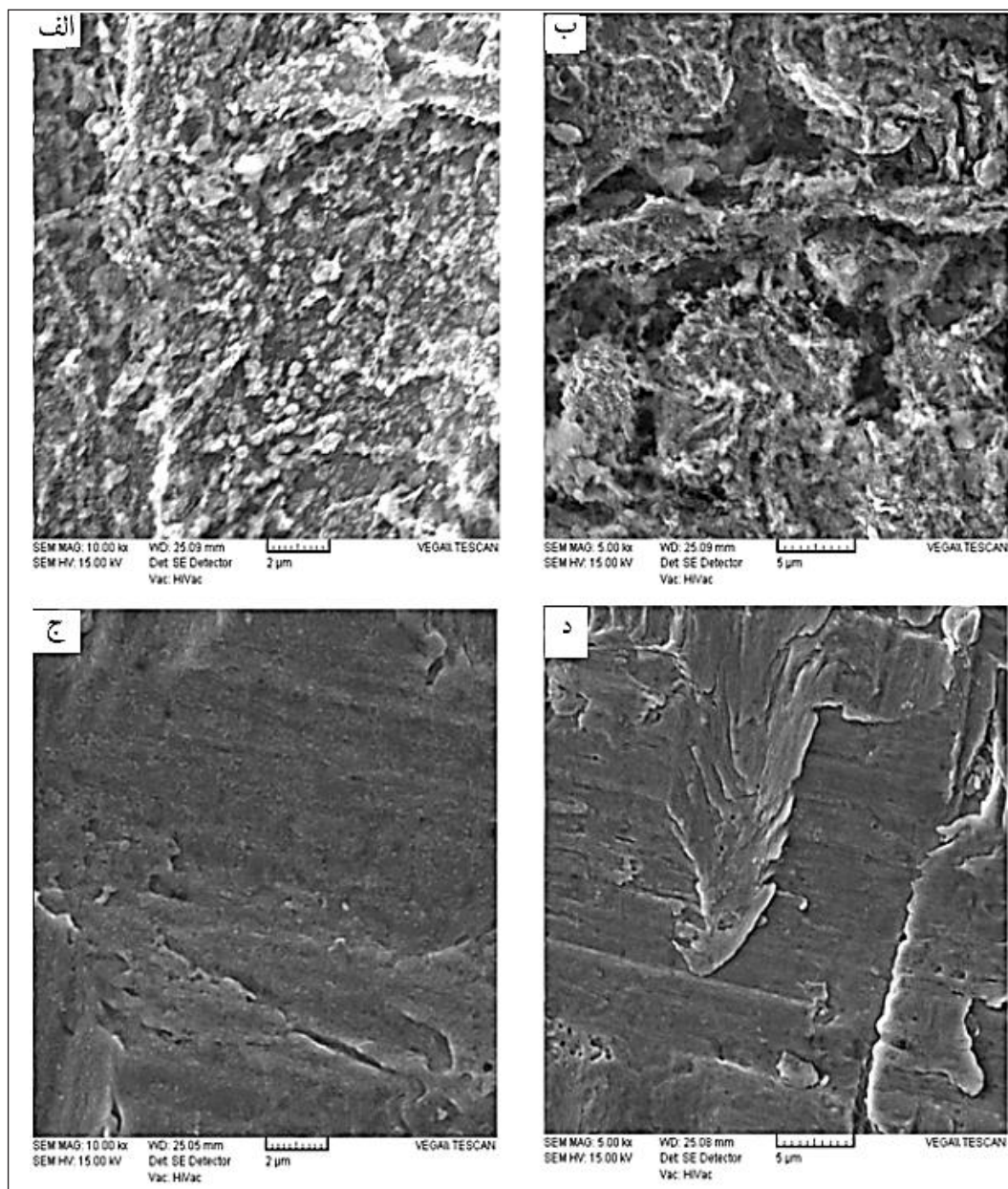
شکل ۶ منحنی‌های هم‌دمای لانگمیر برای OI (الف) و SB (ب)

به منظور بررسی اثر هم‌افزایی SB بر کارایی بازدارندگی OI در محیط خورنده اشباع شده از کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری‌های قطبش پتانسیودینامیک و پایداری الکتروشیمیایی (EIS) انجام شد. شکل ۷ منحنی‌های قطبش پتانسیودینامیک در حضور بازدارنده‌های OI، SB و هم‌چنین مخلوط آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۷ منحنی‌های قطبش در حضور بازدارنده‌ها و مخلوط آن‌ها





شکل ۸ تصویرهای SEM از سطح فولاد کربنی

(الف) محلول بدون بازدارنده، (ب) در حضور ۱۰ ppm OI، (ج) در حضور ۷٫۵ ppm OI + ۳۰ ppm SB و (د) در حضور ۱۰ ppm OI + ۴۰ ppm SB

دارای اهمیت است که با استفاده از مخلوط دو بازدارنده سازگار با هم، میزان بازدارنده کمتری در سامانه افزوده خواهد شد و این عمل از نظر مسایل زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود.

طیف‌سنجی پائیرایی الکتروشیمیایی (EIS) در توافق با یکدیگر هستند. می‌توان گفت افزودن یون سدیم بنزوات در غلظت‌های پایین به بازدارنده خوردگی OI باعث کاهش نرخ خوردگی آلیاژ فولاد کربنی در محیط شور می‌شود. این نکته از این نظر بیشتر



- [1] Abelev, E.; Sellberg, J.; Ramanarayanan T.A.; Bernasek, S. L.; J. Mater. Sci., 44, 6167-6181, 2009.
- [2] Azuma, S.; Kato, H.; Yamashita, Y.; Miyashiro, K.; Saito, S.; Energy Procedia, 37, 5793-5803, 2013.
- [3] Abd El-Lateef, H.M.; Abbasov, V.M.; Aliyeva, L.I.; Qasimov, E.E.; Ismayilov, I.T.; Mater. Chem. Phys., 142, 502-512, 2013.
- [4] Zhang, X.; Zevenbergen, J.; Spruijt, M.P.N.; Borys, M.; Energy Procedia, 37, 3147-3159, 2013.
- [5] Zhang, X.; Zevenbergen, J.; Benedictus, T.; Energy Procedia, 37, 5816-5822, 2013.
- [6] Aminul-Islam, M.; Farhat, Z.N.; Tribology International, In Press, Corrected Proof, Available online 24 November 2012.
- [7] Zhang, G.; Chen, C.; Lu, M.; Chai, C.; Wu, Y.; Mater. Chem. Phys., 105, 331-339, 2007.
- [8] Ramachandran, S.; Jovancicevic, V.; Corrosion, 55, 259-267, 1999.
- [9] Parameswari, K.; Chitra, S.; Selvaraj, A.; Brindha, S.; Menaga, M.; Portugaliae Electrochim. Acta., 30, 89-98, 2012.
- [10] Loto, R.T.; Loto, C.A.; Popoola, A.P.; J. Mater. Environ. Sci., 3, 885-894, 2012.
- [11] Singh, A.K.; Ji, G.; Prakash, R.; Ebenso, E.E.; Int. J. Electrochem. Sci., 8, 9442-9448, 2013.
- [12] Bouklah, M.; Kaddouri, M.; Toubi, Y.; Hammouti, B.; Radi, S.; Ebenso, E.E.; Int. J. Electrochem. Sci., 8, 7437-7454, 2013.
- [13] Chaudhari, H.G.; Mahida, M.M.; Der Pharma Chemica, 4, 2305-2312, 2012.
- [14] Zarrouk, A.; Zarrok, H.; Salghi, R.; Bouroumane, N.; Hammouti, B.; Al-Deyab, S.S.; Touzani, R.; Int. J. Electrochem. Sci., 7, 10215-10224, 2012.
- [15] Jitian, S.; Roman. Reports. Phys., 65, 204-212, 2013.
- [16] Hassan, H.H.; Amin, M.A.; Electrochem. Acta., 52, 6359-6366, 2007.
- [17] Zhang, X.; Wang, F.; Du, Y.; Appl. Surf. Sci., 43, 1417-1426, 2010.
- [18] Rodriguez, L.M.; Rodriguez, V.; Martinez, V.A.; Martinez, L.; Glossman, M.D.; Corros. Sci., 48, 4053-4064, 2006.
- [19] Liu, X.; Okafor, P.C.; Zheng, Y.G.; Corr. Sci., 51, 744-751, 2009.
- [20] Hosseini, M.G.; Arshadi, M.R.; Shahrabi, T.; Ghorbani, M.; IJE Transactions B: Applications, 16, 255-165, 2003.
- [21] Vishnudevan, M.; Ir. J. Mater. Sci. & Eng., 9, 17-27, 2012.
- [22] Liu, X.; Chen, S.; Ma, H.; Liu, G.; Shen, L.; Appl. Surf. Sci., 253, 814-820, 2006.
- [23] Olivares, O.; Likhanova, N.V.; Gomez, B.; Navarrete, J.; Lianos, S.M.E.; Arce, E.; Hallen, J. M.; Appl. Surf. Sci., 252, 2139-2152, 2006.
- [24] Abboud, Y.; Abourriche, A.; Saffaj, T.; Ber-rada, M.; Charrouf, M.; Bennamara, A.; Al-Himidi, N.; Hannache, H.; Mater. Chem. Phys., 105, 1-5, 2007.
- [25] Bouklah, M.; Hammouti, B.; Bentiss, F.; Corros. Sci., 48, 2831-2842, 2006.

## Study of pipeline carbon Steel Corrosion Inhibition in CO<sub>2</sub> saturated sea water by oleic imidazoline and benzoate

A. Rahimi-Zinab\*, M. Chaghazardi and A. Rezaierod

Electrochemistry and Inhibitors Group, Environmental Protection Department, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

Received: November 2013, Revised: February 2014, Accepted: March 2014

**Abstract:** Imidazoline based corrosion inhibitor, namely oleic imidazoline, was synthesized by diethylenetriamine and oleic acid. The synthesized corrosion inhibitor was characterized by FTIR and NMR spectroscopy methods. Corrosion inhibition of OI for mild steel in CO<sub>2</sub> saturated sea water was evaluated using potentiodynamic polarization and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Also co-adsorption effect of sodium benzoate and OI was investigated. Scanning electron microscope (SEM) was used to study the surface morphology of CS surface in the absence and presence of additives. The results of these investigations showed that OI at the low concentrations (15 ppm) presented a good performance against CS corrosion in test solution. Addition of SB to OI containing solution showed an enhancement in the corrosion inhibition efficiencies. The EIS results showed an increase in the charge transfer resistant values ( $R_{ct}$ ) and a decrease in the double layer electrochemical capacitance values ( $C_{dl}$ ) when concentration of compounds is increased. Potentiodynamic polarization measurements indicate that OI acts as anodic inhibitor singly and mixture of it with SB acts as a mixed-type inhibitor. The adsorption of OI corrosion inhibitor on the steel surfaces obeys Langmuir adsorption isotherm.

**Keywords:** Oil field Corrosion, Inhibitor, Synergistic effect, Adsorption, CO<sub>2</sub> Corrosion, Sea Water

\*Corresponding author Email: rahimiar@ripi.ir