

بررسی نرخ و مکانیزم خوردگی آلیاژ فولاد کربنی در سیستم الکترولیت ترش شبیه سازی شده با روش نوین الکتروشیمیایی

اکرم نوری دلاور*^۱، امیر پاشا^۱، محمد شایگانی اکمل^۱، جابر نشاطی^۲، فرشته صادقلو^۱

^۱ پژوهشگر، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده حفاظت صنعتی

^۲ استادیار، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده حفاظت صنعتی

* نویسنده مسئول: nouria@ripi.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۱۷

چکیده

در این پژوهش، نرخ و مکانیزم خوردگی آلیاژ فولاد کربنی ۱۰۱۵ در سیستم الکترولیت شبیه سازی شده ترش در طول ۲۱ روز آزمایش با روش های کاهش وزن و نوین الکتروشیمیایی بررسی گردید. تغییرات نرخ خوردگی در طول زمان آزمایش توسط آنالیز نوین الکتروشیمیایی اندازه گیری شد و نتایج آن با نرخ خوردگی میانگین محاسبه شده توسط روش کاهش وزن مقایسه شد. جهت تعیین نوع خوردگی آلیاژ مذکور، از روش تعیین نوع توزیع آماری داده های نوین جریان الکتروشیمیایی استفاده شد و نتایج حاصل به وسیله مشاهدات سطحی پس از اتمام آزمایش و نتایج حاصل از روش کاهش وزن مورد تایید قرار گرفت. بررسی اطلاعات حاصل از تعیین توزیع داده های جریان در طول آزمایش نشان دهنده وقوع خوردگی موضعی بر روی سطح آلیاژ فولاد کربنی بود. به نظر می رسد، می توان از روش نوین الکتروشیمیایی برای پایش خوردگی در محیط های حاوی الکترولیت ترش استفاده نمود.

کلمات کلیدی: سیستم ترش، نوین الکتروشیمیایی، نوع خوردگی، فولاد کربنی، کاهش وزن

Study of Corrosion Rate and Mechanism of Carbon Steel Alloy in Simulated Sour Electrolyte System by Electrochemical Noise

Akram Nouri Delavar^{*1}, Amir Pasha¹, Mohammad Shayegani Akmal¹, Jaber Neshati², Fereshteh Sadeghlou¹

¹ Researcher, Industrial & environmental Protection division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

² Assistant Professor, Industrial & environmental Protection division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

* Corresponding Author: akram.nouri@gmail.com

Submission: June 30, 2012 Acceptance: October 08, 2012

Abstract

In this study, corrosion rate and mechanism of 1015 carbon steel alloy in the simulated sour electrolyte system was investigated for 21 days by the electrochemical noise and weight loss methods. Changes of the corrosion rate were measured during test period and compared with the results of weight loss. The statistical Distribution type obtained from electrochemical current noise data was used to determine corrosion mechanisms. The obtained results were confirmed by surface observations and weight loss results. Distribution of current data showed that localized corrosion must be happened on carbon steel surface during experimental period. It seems that electrochemical noise can be used for corrosion monitoring in sour electrolyte systems.

Keywords: Sour electrolyte system, Electrochemical Noise, Corrosion, carbon steel, Weight loss.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات صنایع نفت و گاز، خوردگی ترش ناشی از وجود گاز H_2S در سیستم‌های استخراج، فراورش و پالایش است که هر ساله تحقیقات فراوانی در زمینه ثبت و کنترل وقایع مربوط به آن در حال انجام است. [۱۰-۱]. به دلیل سمی بودن این گاز و عواقب ناشی از نشت آن، پایش خوردگی به منظور اتخاذ استراتژی مناسب جهت کنترل خوردگی در سیستم‌های ترش که عموماً با توجه به صرفه اقتصادی، استفاده از فولادهای کربنی در آنها بسیار متداول است، ضروری می‌باشد.

به طور معمول، هنگام بکارگیری برنامه پایش خوردگی نباید فقط به یک روش اکتفا نمود. بهترین نتایج زمانی به دست می‌آید که ترکیبی از چند روش پایش مورد استفاده قرار گیرد [۱۱]. یکی از روش‌های پایش قابل اطمینان برای سیستم‌های ترش، روش کوپن‌گذاری بوده که توسط آن می‌توان نرخ و نوع خوردگی در حال وقوع در سیستم را در یک بازه زمانی مشخص به دست آورد. مشکل این روش آن است که توسط آن نمی‌توان به سرعت خوردگی لحظه‌ای در سیستم دسترسی داشت و تنها سرعت خوردگی متوسط در طول زمان، با این روش به دست می‌آید؛ این در حالی است که سرعت خوردگی با تغییر شرایط محیطی و فرایندی در طول زمان تغییر می‌کند و ثبت این تغییرات به خصوص در محیط‌های ترش ضروری است. بنابراین، در کنار این روش باید حداقل از یکی از روش‌های پایش خوردگی آنالین جهت بررسی وضعیت لحظه‌ای خوردگی استفاده شود.

لازم به ذکر است، محصول شاخص خوردگی در سیستم‌های ترش، سولفید آهن بوده که بر روی سطح آلیاژ تشکیل می‌شود و در برخی موارد تراکم و چسبندگی آن به حدی است که خود باعث کاهش نرخ خوردگی بر روی سطح آلیاژ فولاد کربنی می‌شود، اما این محصول خوردگی از نظر الکتریکی نیمه هادی بوده و به همین دلیل کاربرد برخی از روش‌های متداول پایش خوردگی در سیستم‌های ترش دچار اختلال می‌شود. به عنوان مثال، حضور این محصول خوردگی بر روی پروب‌های مقاومت الکتریکی و پلاریزاسیون خطی

باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری نرخ خوردگی می‌شود. علاوه بر این، این روش‌ها قادر به تعیین نوع خوردگی در حال وقوع در سیستم نمی‌باشند [۱۴-۱۲]. در میان روش‌های جدید پایش خوردگی، توانایی تکنیک نوین الکتروشیمیایی به عنوان روشی جهت تعیین مکانیزم و نرخ خوردگی در حال وقوع در سیستم به اثبات رسیده است و در صنایع نفت و گاز (به خصوص در ارزیابی بازرساندها) نیز از این روش استفاده شده است [۲۰-۱۵].

یکی از مزیت‌های اصلی روش نوین الکتروشیمیایی تعیین مکانیزم خوردگی با استفاده از این تکنیک است. متداول‌ترین روش تعیین نوع خوردگی با استفاده از این روش، تعیین اندیس خوردگی موضعی با استفاده از داده‌های نوین جریان الکتروشیمیایی می‌باشد. این اندیس نشان‌دهنده شدت تغییرات داده‌های نوین جریان به دست آمده، نسبت به میانگین مربعات داده‌ها می‌باشد. مقدار این اندیس توسط رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید [۲۱]:

$$LI = \frac{\sigma_i}{I_{rms}} \quad (1)$$

در این رابطه σ_i مقدار انحراف استاندارد جریان نوین و I_{rms} ریشه میانگین مربعات جریان نوین را نشان می‌دهد. برخی از تحقیقات نشان داده است، زمانی که مقدار اندیس حفره‌زایی کوچکتر از ۰/۱ باشد، خوردگی یکنواخت در سیستم غالب خواهد بود [۲۳-۲۱]. البته در استفاده از این اندیس باید این نکته را در نظر گرفت که، در شرایطی که مقدار جریان خوردگی میانگین به سمت صفر میل پیدا کند، کوچکترین انحرافی در جریان باعث تولید مقادیر بالایی از LI می‌گردد حتی اگر فرایند خوردگی دارای توزیع نرمال (که نشان‌دهنده وقوع خوردگی عمومی است) باشد [۲۱]. بنابراین، در این پژوهش سعی شده است، با استفاده از تعیین نحوه توزیع داده‌های نوین جریان الکتروشیمیایی، مکانیزم خوردگی مورد بررسی قرار گیرد.

در این پژوهش، وضعیت خوردگی فولاد کربنی ۱۰۱۸ در محلول شبیه‌سازی شده آب ترش حاوی یون کلرید به مدت ۲۱ روز با روش نوین الکتروشیمیایی بررسی شد. نتایج حاصل

همچنین برای ثابت نگه داشتن دما، از حمام مایع سیرکولاتور مدل RC6 استفاده شد.

جدول ۲: ترکیب محلول شبیه سازی شده مورد استفاده برای آزمایش‌ها

ترکیب	CaCl ₂ .2H ₂ O	MgCl ₂ .6H ₂ O	NaCl
غلظت (g/l)	۰/۳۹۷	۱/۸۸۷	۲۰/۲۴۱

برای انجام این آزمایش‌ها ابتدا محلول آزمایش به مدت نیم ساعت با دمش گاز نیتروژن، اکسیژن زدایی شد و سپس به درون سل الکتروشیمیایی منتقل گردید. مجدداً به مدت نیم ساعت گاز نیتروژن به درون محلول دمیده شد تا در صورت انحلال اکسیژن، حین انتقال محلول، این اکسیژن نیز حذف گردد. در ادامه به مدت نیم ساعت گاز H₂S در آن دمیده شد تا محلول، اشباع از این گاز شود. جهت حفظ فشار مثبت بر روی محلول درون سل، در طول آزمایش همواره این گاز با سرعت کم درون محلول دمیده می‌شد.

سطح الکترودهای کار مورد استفاده در آزمایش با کاغذهای سنباده سیلیکونی تا شماره‌ی ۶۰۰ (مطابق با استاندارد ASTM G5) سنباده زده شد و سپس با آب مقطر شستشو داده و با استون چربی‌زدایی شد. شرایط انجام آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به اینکه در هر ثانیه دو داده ثبت شده است، بنابراین پهنای باند فرکانسی بین ۱-۰/۰۰۱ هرتز می‌باشد [۲۲].

۳- نتایج و بحث

نرخ خوردگی ایجاد شده بر روی نمونه کاهش وزن در طول ۲۱ روز با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه گردید که اطلاعات مربوط به آن در جدول ۴ گزارش شده است.

$$CR = (WL \times 365 \times 1000) / (\rho \times T \times A) \quad (2)$$

$$Weight\ loss = W_i - W_f = WL$$

از نرخ خوردگی توسط تکنیک نوین الکتروشیمیایی با روش کاهش وزن مطابقت داده شد. جهت تعیین نوع خوردگی در حال وقوع در سیستم از روش تعیین نحوه توزیع داده‌ها استفاده گردید که نتایج حاصل از آن با بررسی‌های سطحی پس از اتمام آزمایش مورد مقایسه قرار گرفت.

۲- روش انجام آزمایش

در انجام آزمایش‌ها از آلیاژ فولاد کربنی برای بررسی قابلیت استفاده از تکنیک نوین الکتروشیمیایی در محیط آبی حاوی گاز H₂S استفاده شد. ترکیب شیمیایی آلیاژ فولاد کربنی با استفاده از روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) مورد بررسی قرار گرفت و ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین جهت بررسی صحت اطلاعات به دست آمده از تکنیک نوین الکتروشیمیایی، روش غوطه‌وری مطابق با استاندارد ASTM G31 نیز به منظور تعیین نرخ خوردگی متوسط مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی آلیاژ مورد استفاده در انجام آزمایش بر حسب درصد وزنی

Fe	Ni	Cr	S	P	Mn	Si	C
باقیمانده	-	-	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۵۱	۰/۳۱	۰/۱۳

برای شبیه‌سازی محیط ترش، از محلول آبی با مشخصات ذکر شده در جدول ۲ استفاده شد. ترکیب این محلول آبی با توجه به مشخصات آب ترش موجود در یکی از مراکز عملیاتی کشور انتخاب شده است. دمای انجام آزمایش‌ها با توجه به شرایط عملیاتی منطقه ۴۵ °C انتخاب شد. برای انجام آزمایش‌های نوین الکتروشیمیایی از دستگاه پتانسیواستات پرتابل ACM، یک سل شیشه‌ای دوجداره مخصوص انجام آزمایش‌های الکتروشیمیایی، یک جفت الکترود کاری هم‌جنس فولاد کربنی و الکترود مرجع کالومل استفاده شد.

جدول ۳: شرایط انجام آزمایش نوین الکتروشیمیایی

سطح (cm ²)	شرایط محلول	محدودی پتانسیل و جریان DC	سرعت اندازه گیری	الکترودهای کاری	تعداد کل نقاط اندازه گیری در هر آزمایش
۴/۷۳	ساکن	پتانسیل و جریان مدار باز	دو نقطه در هر ثانیه (2Hz)	فولاد کربنی ۱۰۱۸	۱۰۲۴

جدول ۴: محاسبه نرخ خوردگی کوپن کاهش وزن در محیط آزمایش

آلیاژ	W ₁ (g)	W ₂ (g)	W ₁ -W ₂ (g)	K constant	Density (g/cm ³)	Time (hr)	A (cm ²)	C.R. (mpy)
فولاد کربنی	0.5335	0.4135	0.12	3.45E+06	7.85	504	13.85	7.6

که در این رابطه:

C.R.: نرخ خوردگی بر حسب mpy

K₁: ثابت معادله برابر با ۰/۱۲۸۸ mpy g/μA cm

i_{corr}: بر حسب μA/cm² که مقدار آن با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود

ρ: دانسیته آلیاژ بر حسب g/cm³

EW: وزن اکی والان آلیاژ است که با توجه به استاندارد ASTM G102 مقدار آن برای آلیاژ فولاد کربنی معادل ۲۷/۲۹ گرم است.

نرخ های خوردگی به دست آمده برای این آلیاژ در زمان های مختلف، در جدول ۵ آورده شده است. همچنین روند کاهش یا افزایش نرخ خوردگی در طول آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. مشاهده می گردد که نرخ خوردگی آلیاژ فولاد کربنی با افزایش مدت زمان آزمایش، به مرور کاهش یافته، به طوری که در روزهای آخر، این مقدار به زیر ۱ mpy رسیده است. با توجه به اینکه در روش نوین الکتروشیمیایی نرخ خوردگی در طول ۲۱ روز به صورت لحظه ای اندازه گیری شده است، انتظار می رود میانگین نرخ خوردگی های لحظه ای در طول مدت زمان آزمایش با نتیجه نرخ خوردگی میانگین به دست آمده از تکنیک کاهش وزن همخوانی داشته باشد. میانگین نرخ خوردگی به دست آمده توسط این تکنیک در طول آزمایش در حدود ۱۱ mpy محاسبه گردید که قابل مقایسه با نرخ خوردگی به دست آمده توسط روش کاهش وزن می باشد.

که در این رابطه ρ دانسیته بر حسب گرم بر سانتی متر مربع، T زمان بر حسب ساعت، A سطح در معرض بر حسب سانتی متر مربع و CR نرخ خوردگی بر حسب هزارم اینچ (mpy) است. مقادیر نوین جریان و پتانسیل در طول ۲۱ روز آزمایش اندازه گیری شد که به دلیل تعداد زیاد نمودارها، تنها نمودارهای مربوط به جریان و پتانسیل در روزهای اول، دهم و بیست و یکم در شکل ۱ نشان داده شده است. مقاومت نوین اندازه گیری شده در هر روز توسط رابطه ۳ محاسبه شد.

$$R_n = \frac{\sigma_v}{\sigma_i} \quad (3)$$

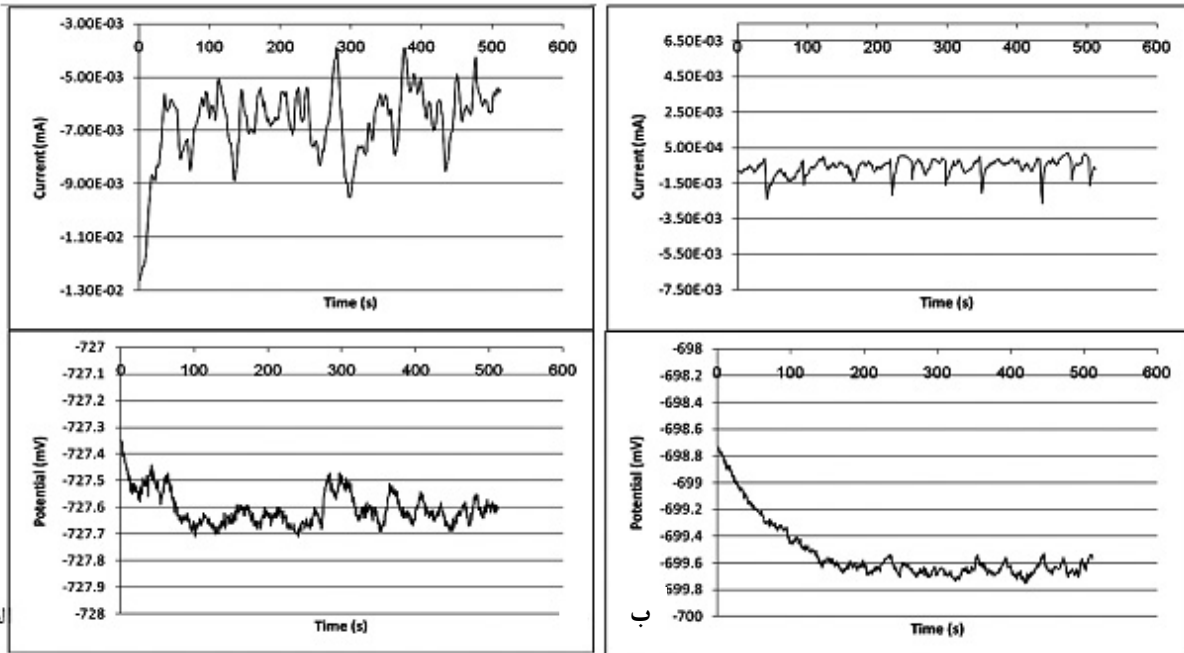
که در این رابطه σ_v مقدار انحراف استاندارد نوین پتانسیل اندازه گیری شده و σ_i میزان انحراف استاندارد نوین جریان اندازه گیری شده، می باشد. تحقیقات نشان داده است که می توان این مقاومت را معادل با مقاومت پلاریزاسیون در نظر گرفت و نرخ خوردگی را محاسبه نمود [۲۳ و ۲۴]. با استفاده از مقاومت نوین اندازه گیری شده، نرخ خوردگی آلیاژ فولاد کربنی توسط رابطه اشترون-گری (۴) محاسبه شد.

$$i_{corr} = B/R_n \quad (4)$$

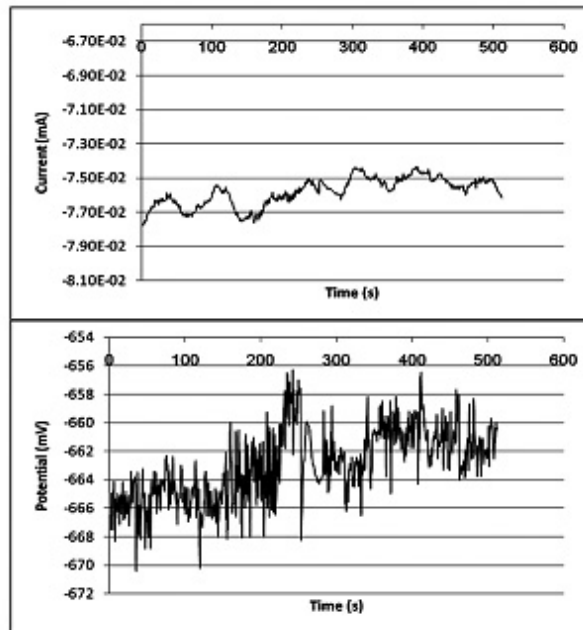
در این رابطه B ثابت اشترون-گری است و برای محاسبه آن از مقادیر b_a و b_c برابر با هم و معادل ۱۰۰ mv/decade استفاده گردید [۲۵]. همچنین R_n مقاومت نوین است. جهت محاسبه نرخ خوردگی رابطه ۵ مطابق استاندارد ASTM G102 استفاده شد.

$$C.R. = K_1 \frac{i_{corr}}{\rho} EW \quad (5)$$

الف



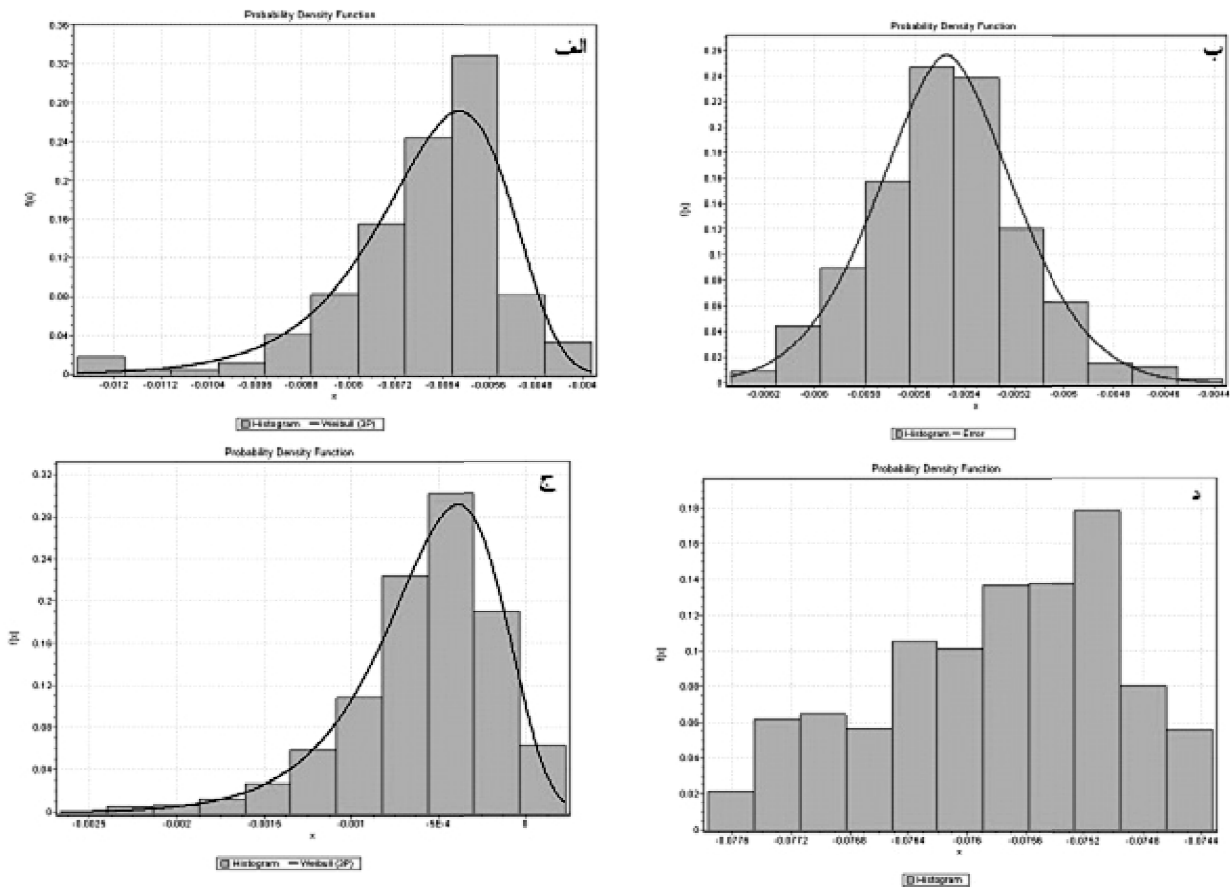
ج



شکل ۱: نوین جریان و پتانسیل الکتروشیمیایی اندازه گیری شده در روزهای الف) اول، ب) دهم و ج) بیست و یکم.

جدول ۵: مقدار نرخ خوردگی محاسبه شده توسط روش نوین الکتروشیمیایی در طول ۲۱ روز

روز	۱	۲	۳	۶	۷	۸	۱۰	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۲۱
نرخ خوردگی (mpy)	۴۸	۳۳	۳۱	۲۰	۱۶	۲۴	۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۵	۰/۱۶	۰/۹	۰/۷



شکل ۳: نمودار توزیع داده‌های نویز جریان الکتروشیمیایی در روزهای (الف) اول، (ب) سوم، (ج) دهم و (د) بیست و یکم.

پانزدهم آزمایش در مقیاس لگاریتمی و غیر لگاریتمی در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که قدرت طیف نویز جریان الکتروشیمیایی در این روزها تقریباً مشابه یکدیگر در حال تغییر است و حداکثر مقدار آن در فرکانس‌های پایین تا ۵ می‌باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد پدیده خاصی در فرکانس‌های پایین در این روزها رخ نداده است. این نتیجه نیز می‌تواند تایید کننده بروز خوردگی یکنواخت در این روزها باشد.

نمودارهای PSD مربوط به روزهای اول، سوم، دهم و بیست و یکم آزمایش (که نمودارهای توزیع داده‌های آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده)، برای مقایسه، در شکل ۵ آورده شده است. مشاهده می‌گردد قدرت طیف مربوط به روز اول آزمایش از سایر روزها بیشتر است. پس از آن، به ترتیب روز دهم، بیست و یکم و سوم دارای قدرت طیف نسبی بالاتری هستند. با توجه به این تفاوت در قدرت طیف در این روزها،

به منظور بررسی شدت وقوع خوردگی موضعی از نمودارهای دانسیته‌ی طیف توانی (PSD)^۱ کمک گرفته شد. این نمودارها، نشان دهنده قدرت طیف مربوط به داده‌های نویز جریان، در فرکانس‌های مختلف می‌باشند. تحقیقات نشان داده است، وقایع با فرکانس بالا مربوط به پدیده خوردگی یکنواخت و وقایع با فرکانس پایین مربوط به خوردگی موضعی می‌باشند [۲۶ و ۲۷]. به این ترتیب می‌توان از روی نمودار PSD با بررسی تراکم پیک‌ها، در محور فرکانس، مکانیزم خوردگی را تعیین کرد. همچنین از روی قدرت پیک‌ها در محدوده تراکم، می‌توان تخمینی از شدت خوردگی به دست آورد. هر چه خوردگی موضعی با شدت بیشتری رخ دهد، انتظار می‌رود قدرت طیف در فرکانس‌های پایین افزایش یابد. نمودارهای PSD برای داده‌های نویز الکتروشیمیایی در روزهای سوم، سیزدهم، چهاردهم و

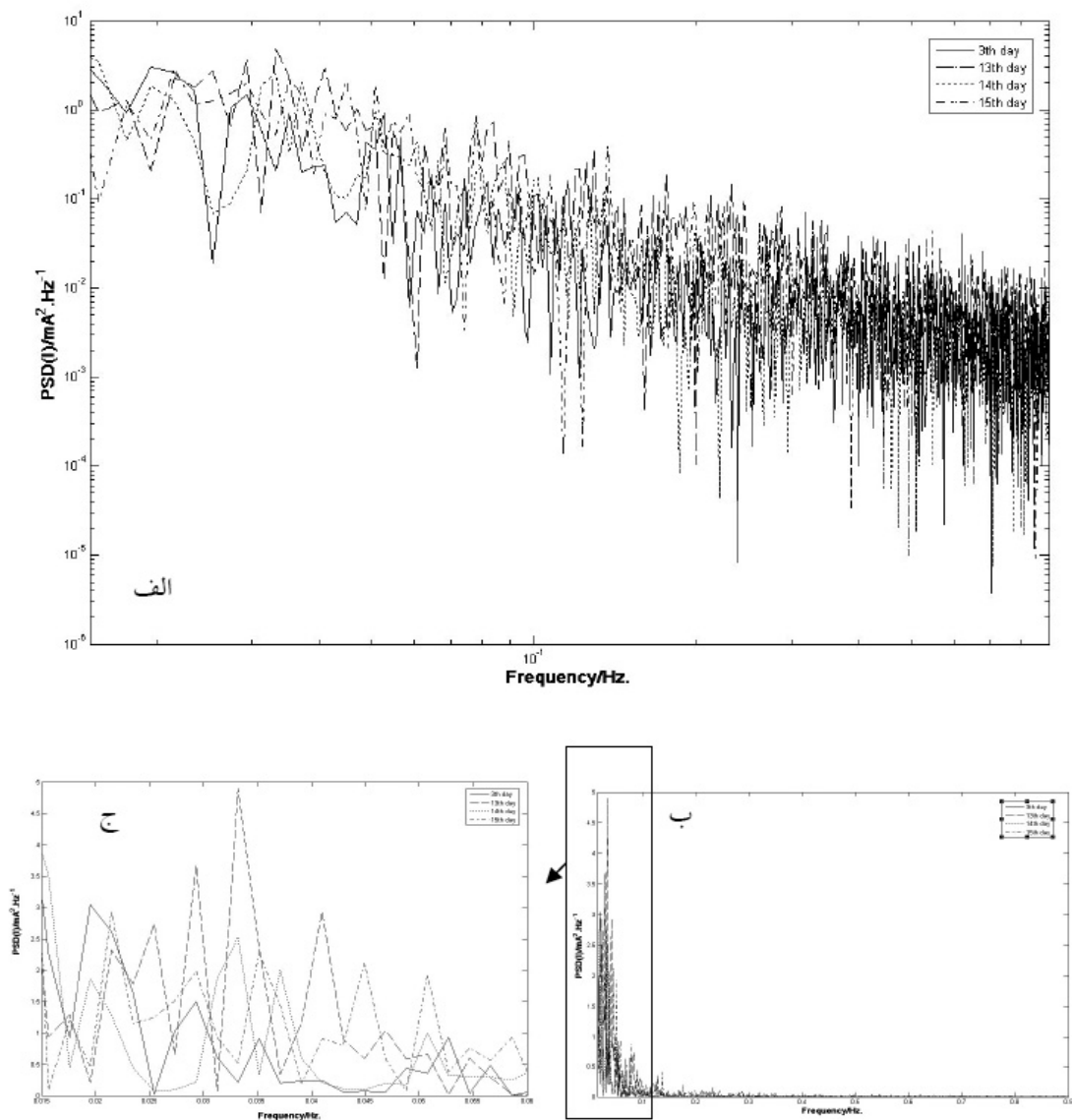
¹ - Power Spectral Density

گرفته است، بررسی شیب نمودارهای PSD و ارتباط آن به مکانیزم خوردگی مد نظر نبوده است و به همین دلیل در مقاله آورده نشده است.

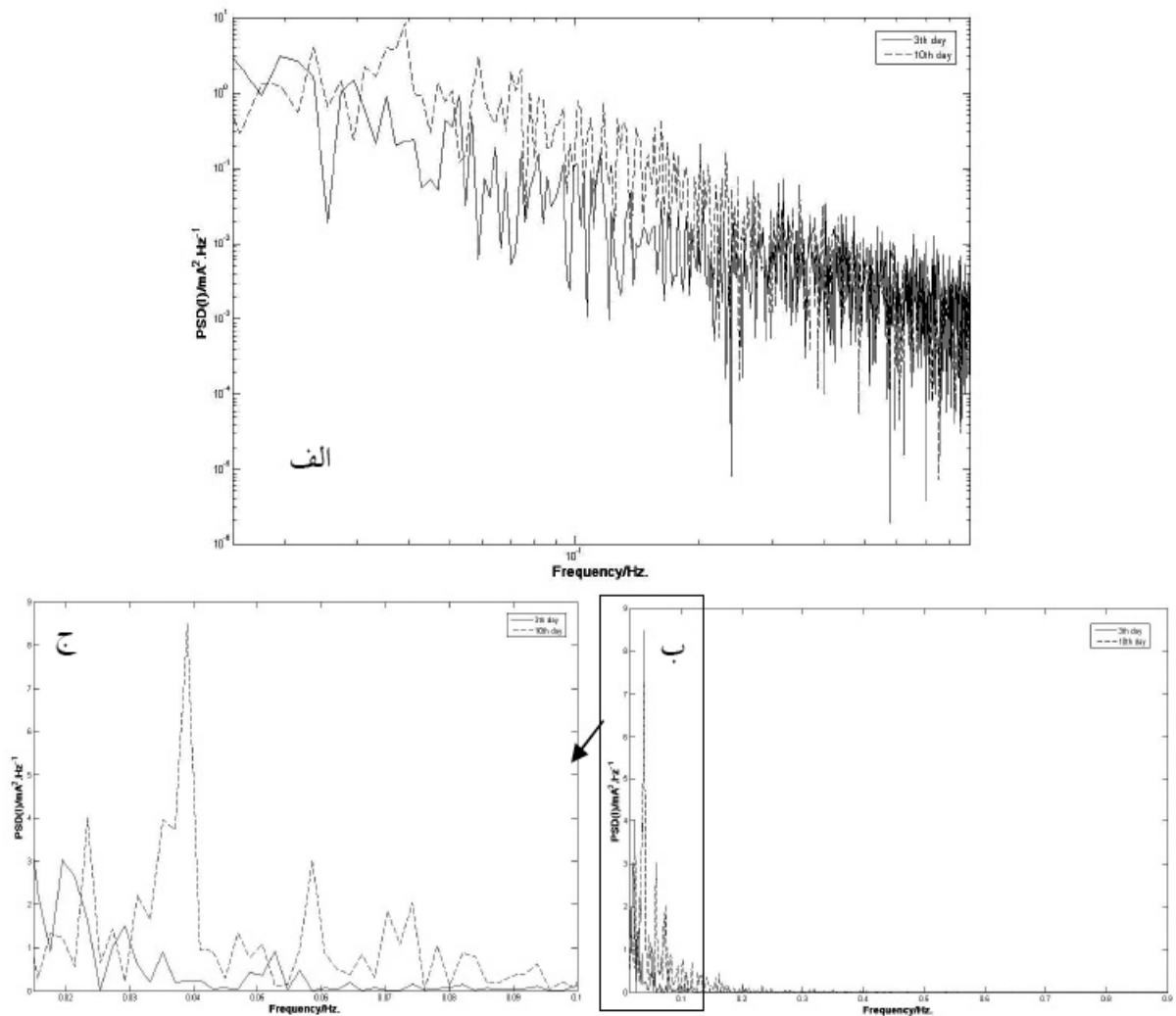
جهت بررسی وقوع خوردگی موضعی در سیستم، نمونه‌ها پس از اتمام مدت زمان آزمایش مورد بررسی‌های سطحی قرار گرفتند. رسوب سیاه رنگ سولفید آهن تمام سطح دو الکتروود را پوشانده بود.

و مطالب ذکر شده، می‌توان بیان نمود که شدت خوردگی موضعی به ترتیب روز اول، دهم، بیست و یکم و سوم، کاهش یافته است.

تا کنون اثبات شده که شیب منحنی‌های PSD با مکانیزم خوردگی موضعی ارتباط دارد و محققین زیادی آن را گزارش کرده‌اند. با توجه به اینکه در این مقاله مکانیزم خوردگی با تعیین توزیع داده‌ها مشخص شده است و تحلیل انجام شده بر روی مقادیر در حالت غیرلگاریتمی صورت



شکل ۴: نمودار قدرت نوبز جریان الکتروشیمیایی به دست آمده در روزهای سوم، سیزدهم، چهاردهم و پانزدهم، (الف) در مقیاس لگاریتمی و (ب و ج) در مقیاس غیر لگاریتمی.



شکل ۵: نمودار قدرت نویز جریان الکتروشیمیایی به دست آمده در دو روز مختلف آزمایش، (الف) در مقیاس لگاریتمی، (ب و ج) در مقیاس غیرلگاریتمی.

✓ با استفاده از روش نویز الکتروشیمیایی روند تغییرات نرخ خوردگی، در طول آزمایش بررسی شد و مشاهده گردید که نرخ خوردگی در روزهای ابتدایی آزمایش بالا بوده و سپس بعد از حدود ۱۰ روز به صورت قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. این کاهش در نرخ خوردگی می تواند به دلیل تشکیل لایه منسجمی از محصول خوردگی سولفید آهن بر روی سطح الکترودهای کاری باشد.

✓ نوع خوردگی در حال وقوع در طول آزمایش با استفاده از نحوه توزیع داده های نویز جریان الکتروشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت و شدت خوردگی موضعی نیز با

پس از زدودن محصولات خوردگی از روی سطح الکترودهای کاری، آثار خوردگی موضعی خفیفی بر روی سطح یکی از الکترودها مشاهده شده که به صورت سطحی بوده و عمق محسوسی نداشت. تصویر مربوط به آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

۴- نتیجه گیری

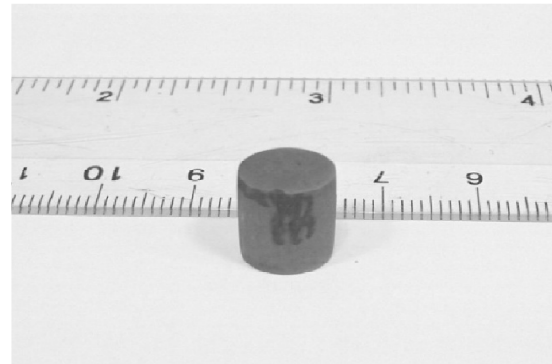
✓ آزمایش ها نشان داد که میانگین نرخ خوردگی به دست آمده از روش نویز الکتروشیمیایی با روش غوطه وری همخوانی دارد.

✓ با توجه به قدرت و فرکانس نویزهای مربوط به پدیده خوردگی موضعی و تفاوت کم آنها با مقادیر مربوط به خوردگی یکنواخت، به نظر می‌رسد خوردگی موضعی با شدت کم در سیستم در حال پیشروی بوده است. این نتایج با بررسی سطح نمونه پس از اتمام آزمایش مورد تایید قرار گرفتند.

✓ می‌توان بیان کرد که تعیین نحوه توزیع داده‌های نویز الکتروشیمیایی اندازه‌گیری شده روشی موثر در تعیین نوع خوردگی در حال وقوع در سیستم خوردگی می‌باشد.

✓ به نظر می‌رسد می‌توان از تکنیک نویز الکتروشیمیایی برای پایش خوردگی در محیط‌های الکترولیت ترش استفاده نمود.

استفاده از نمودارهای PSD مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخص شد که علاوه بر روز اول آزمایش، خوردگی موضعی در اکثر روزهای آزمایش در سیستم نیز وجود داشته است.



شکل ۶: تصویر یکی از الکترودها که دچار خوردگی موضعی شده است.

مراجع

1. J. Q. Tang, J. M. Gong, X. C. Zhang, S. T. Tu, "Comparison on the cracking susceptibility of different low alloy steel weldments exposed to the environment containing wet H₂S", Engineering Failure Analysis, Volume 13, Issue 7, October 2006, Pp. 1057-1064.
2. R.F. Azevedo, "Failure analysis of a crude oil pipeline", Engineering Failure Analysis, Volume 14, Issue 6, September 2007, Pp. 978-994
3. S. Stewart, V. Jovancicevic, C. Menendez, B. Hughes, J. Moloney, W. Wamburi, "Evaluation of a New Sour Gas Corrosion Inhibitor For Field Applications Via Localized Corrosion Monitoring Techniques", Corrosion 2010, March 14 - 18, 2010, San Antonio, TX.
4. A. Jenkins, "the Application of Corrosion Inhibitors to Prevent Localized Corrosion in a Sour Oilfield", Corrosion 2010, March 14 - 18, 2010, San Antonio, TX.
5. S. Stewart, C. Menendez, V. Jovancicevic, J. Moloney, "New Corrosion Inhibitor Evaluation Approach For Highly Sour Service Conditions", CORROSION 2009, March 22 - 26, 2009, Atlanta, GA.
6. R.L.Martin, BJ Chemical Services, "Control of Top-of-Line Corrosion in a Sour Gas Gathering Pipeline With Corrosion Inhibitors", Corrosion 2009, March 22 - 26, 2009, Atlanta, GA.
7. I. J. Rippon and K.A.D. Welsh, M.J. Thompson, "How to Design Corrosion Inhibition Systems for Sour Wet Gas Service", Corrosion 2008, March 16 - 20, 2008, New Orleans LA.
8. M. Girgis, "Challenges in Highly Sour Gas Environment Containing Elemental Sulfur", Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 3-6 November 2008, Abu Dhabi, UAE.
9. S. Kapusta, D. Raghu, J. Richard, "Managing Corrosion in Sour Gas Systems: Testing, Design, Implementation and Field Experience", Corrosion 2008, March 16 - 20, 2008, New Orleans LA.

10. Ho Jin Choi, H. A. Al-Ajwad, Saudi Aramco Company, "Flow-Dependency of Sweet and Sour Corrosion of Carbon Steel Down hole Production Tubing in Khuff-Gas Wells", Corrosion 2008, March 16 - 20, 2008, New Orleans LA.
11. NACE report on Techniques for Monitoring Corrosion and Related Parameters in Field Applications, 1999.
12. P. R. Roberge, "Corrosion Inspection and Monitoring", John Wiley & Sons, 2007.
13. P. R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering", McGraw-Hill; 1999.
14. L. Yang, "Techniques for corrosion monitoring", CRC Press, USA, 2008.
15. ASTM G199-09, "Standard Guide for Electrochemical Noise Measurement".
16. C.A.Loto, R.A.Cottise, "Electrochemical Noise Generation During Stress Corrosion Cracking of Alpha-Brass", Corrosion 1987, Pp. 499-506.
17. S. Oliphant, S. Barr, H. Zaki, "Use of Electrochemical Noise to Monitor Pipelines in Oilfield Applications", Corrosion 2006 Paper No.06424.
18. J C Ryder, N J Pickin, G P Wooding, "Electrochemical Noise Corrosion Monitoring in Hydrocarbon Pipelines- Field Experience", Corrosion 2001, Paper No.01293.
19. R. Revie, S Papavinasam, A. Demoz, K. Michaelian, "Comparison and Ranking of Techniques for Monitoring General and Pitting Corrosion Rates Inside Pipelines", Corrosion 2002, Paper No.02495.
20. E. Barr, A. Greenfield, L. Pierrard, "Application of Electrochemical Noise Monitoring to Inhibitor Evaluation and Optimization in the Field: Results from the Kaybob South Sour Gas Field", Corrosion 2001, Paper No.01288.
21. A.N.Rothwell, G. L. Edgemon, G. E. C. Bell, "Data Processing for Current and Potential Logging Field System", Corrosion 99, Paper No. 192.
22. F. Mansfeld *, Z. Sun, C.H. Hsu, Electrochemical noise analysis (ENA) for active and passive systems in chloride media, Electrochimica Acta 46 (2001), Pp. 3651-3664.
23. D.A.Eden, "Electrochemical noise - the First Two Octaves", Corrosion 98, Paper No. 386.
24. ASTM G199, "Standard Guide for Electrochemical Noise Measurement", 2009.
25. J.N. Defrancq, "Linear polarization in the presence of a changing corrosion potential" Corrosion Science, Vol. 16, Issue 9, 1976, Pp. 645-647.
26. K. Na, S. Pyun, " Comparison of susceptibility to pitting corrosion of AA2024-T4, AA7075-T651 and AA7475-T761 aluminium alloys in neutral chloride solutions using electrochemical noise analysis", Corrosion Science 50, 2008, pp: 248-258.
27. K. Na, S.I Pyun, Hong-Pyo Kim, Analysis of electrochemical noise obtained from pure aluminium in neutral chloride and alkaline solutions, Corrosion Science 49, 2007, pp: 220-230.