



بررسی و مقایسه مقاومت به خوردگی شیاری پوشش‌های روی و کرم در محلول حاوی یون کلر

فائزه ذوالقدر^۱، شاهین خامنه اصل^۲

^۱ دانشگاه تبریز، دانشکده مکانیک، گروه مهندسی مواد و متالورژی (فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

^۲ دانشگاه تبریز، دانشکده مکانیک (دانشیار گروه مهندسی مواد و متالورژی)

چکیده

در این پژوهش مقاومت به خوردگی شیاری پوشش‌های کرم و روی بر روی زیر لایه فولاد A216 در محیط حاوی یون کلر بررسی شد. آزمون پلاریزاسیون تافل و کرونوآمپرمتری جهت ارزیابی رفتار الکتروشیمیایی و آزمون پلاریزاسیون سیکلی جهت بررسی مقاومت به خوردگی شیاری نمونه‌های شیاردار در محلول ۳/۵٪ NaCl استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد پوشش کرم نسبت به پوشش روی تأثیر بیشتری در کاهش جریان و بهبود مقاومت به خوردگی فولاد A216 دارد. نتایج آزمون پلاریزاسیون سیکلی نشان داد که پوشش‌های کرم و روی در برابر خوردگی شیاری حساس هستند و علت آن جذب یون کلر بر روی سطح و شکست موضعی فیلم اکسید سطحی محافظ است هم‌چنین به علت مقاومت بالاتر در برابر انحلال، خوردگی شیاری در پوشش کرم دیرتر آغاز می‌شود. بررسی مورفولوژی سطوح نشان داد که خوردگی شیاری در پوشش کرم از طریق تشکیل حفرات موضعی در دهانه شیار رخ می‌دهد اما در فولاد و پوشش روی به دلیل پایداری اندک فیلم‌های اکسیدی و انحلال کلی آن‌ها خوردگی به صورت وسیعی در ناحیه درون شیار رخ داده و حفرات موضعی منفرد دیده نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: خوردگی شیاری؛ پوشش کرم؛ پوشش روی؛ پلاریزاسیون تافل؛ پلاریزاسیون سیکلی.

^۱. zolghadrft@ymail.com

مقدمه

شیرهای سماوری مورد استفاده در صنعت گاز از فولاد ASTM A216 ساخته شده و برای جلوگیری از خوردگی آن در خاک از غلاف پلی اتیلنی استفاده می شود. در صورت مناسب نبودن شرایط آب بندی، فضای مناسب جهت تجمع آب های سطحی در انتهای غلاف و در تماس با سطح شیر فراهم شده که این پدیده منجر به بروز خوردگی شیاری در نواحی فوقانی شیر می گردد. خوردگی شیاری یکی از انواع خوردگی موضعی است که در شیارها و نواحی مرده سطحی رخ داده و منجر به خسارات قابل توجهی می شود. در این نوع خوردگی بروز فعل و انفعالاتی در ناحیه درون و بیرون شیار منجر به افزایش موضعی غلظت یون کلر و کاهش pH در شیار شده و شرایط لازم برای شکست فیلم های غیرفعال سطحی فراهم می شود [۱]. عوامل محیطی مانند دما، pH و غلظت یون کلر بر رفتار خوردگی شیاری فلزات اثر می گذارند. دما بر ویژگی های الکتروشیمیایی فیلم های غیرفعال سطحی اثر گذاشته و منجر به تسریع شروع خوردگی و افزایش پیشروی آن می شود [۲] هم چنین به دلیل افزایش فعالیت آنیون های مهاجم با افزایش دما، نرخ انحلال افزایش می یابد [۳]. افزایش pH منجر به افزایش نرخ تشکیل فیلم اکسید سطحی در اثر افزایش غلظت آنیون های OH⁻ می شود [۳]. خوردگی موضعی فلزات معمولاً در حضور آنیون های مهاجم و به ویژه یون کلر رخ می دهد. میزان خوردگی آنیون ها به قابلیت آن ها برای جذب و نفوذ از طریق نقایص موجود در سطح بستگی دارد و هر چه شعاع آنیون کوچک تر باشد (مانند Cl⁻) نفوذ آن راحت تر رخ می دهد [۴]. با جذب این آنیون ها بر روی سطوح فیلم های غیرفعال، نفوذ آن ها در داخل فیلم و تضعیف خواص و پایداری آن منجر به کاهش سرعت تشکیل فیلم های غیرفعال و افزایش قابلیت انحلال سطحی می شود [۳] هم چنین برخی از محققین عقیده دارند که نقش اصلی یون های مهاجم در شروع خوردگی موضعی، ممانعت از رکود مجدد حفرات موضعی تشکیل شده در فیلم های اکسیدی است. مقدار غلظت بحرانی آنیون مورد نیاز جهت شروع خوردگی موضعی به ماهیت فلز یا آلیاژ، عملیات حرارتی و حالت سطحی آن بستگی دارد [۴].

استفاده از پوشش های فلزی فرایندی اقتصادی و مرسوم در حفاظت از خوردگی سطوح فولادی است. روی فلز بسیار فعالی است که در صورت تشکیل یک فیلم پیوسته غیرفعال بر روی سطح زیر لایه می تواند سرعت خوردگی فولاد را کاهش دهد. پوشش روی بر سطح می تواند هم از طریق تشکیل یک لایه سدی فیزیکی و هم از طریق مکانیسم آند فدا شونده در صورت آسیب دیدن به این لایه فولاد را محافظت کند. ترکیباتی مانند ZnO، Zn(OH)₂ و Zn₅(OH)₈Cl₂.H₂O اصلی ترین محصولات خوردگی روی هستند و تشکیل یک لایه محافظ متشکل از اکسید و هیدروکسید روی مقاومت در برابر خوردگی پوشش را بهبود می بخشد [۵-۶]. پوشش کرم نیز به دلیل سختی بالا و مقاومت زیاد به خوردگی و سایش کاربرد زیادی در صنایعی مانند پتروشیمی و خودرو دارد. در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده، عمدتاً نقش کرم به عنوان یک عنصر آلیاژی در بهبود مقاومت به خوردگی شیاری مورد بررسی قرار گرفته است به عنوان مثال در آلیاژهای Ni-Cr-Mo افزایش کرم منجر به تشکیل فیلم اکسیدی پایدار بر روی سطح و کاهش تعداد و اندازه حفرات شبه پایدار سطحی شده و

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

مقاومت به خوردگی شیاری را بهبود می‌بخشد [۷] اما مقاومت به خوردگی شیاری پوشش کرم بررسی نشده است. از سویی دیگر بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی خوردگی موضعی پوشش روی در زمینه خوردگی حفره‌ای پوشش مذکور بوده است بنابراین با توجه به اینکه تاکنون مطالعات جامعی بر روی مقاومت به خوردگی شیاری پوشش‌های کرم و روی صورت نگرفته است در این پژوهش سعی بر آن است تا با به کارگیری روش‌های الکتروشیمیایی اعم از پلاریزاسیون سیکلی، کرونوآمپرمتری و هم‌چنین آنالیز سطح SEM، تأثیر پوشش‌های کرم و روی بر رفتار خوردگی شیاری فولاد A216 روی مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

از صفحات فولادی A216 به ابعاد $2/5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ به‌عنوان زیر لایه جهت انجام فرایند پوشش دهی استفاده شد. پوشش دهی کرم با استفاده از محلول حاوی (اسید کرومیک و $2/5 \text{ g/Lit}$ اسید سولفوریک) و دانسیته جریان 40 A/dm^2 در دمای 50°C به مدت ۶۰ دقیقه انجام شد هم‌چنین رسوب دهی الکتریکی روی از محلول شامل (240 g/Lit سولفات روی، 40 g/Lit سولفات سدیم، 40 g/Lit اسید بوریک و 2 g/Lit CTAB) با استفاده از دانسیته جریان 2 A/dm^2 در دمای 25°C و به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. آزمون‌های الکتروشیمیایی توسط دستگاه SAMA500 همراه با سه الکتروود مرجع (کالومل اشباع)، الکتروود کمکی (پلاتین) و الکتروود کاری انجام شد. جهت ارزیابی رفتار الکتروشیمیایی پوشش‌ها در محلول $3/5 \text{ NaCl}$ از آزمون‌های پلاریزاسیون Tafel (در محدوده -250 تا $+500$ میلی ولت در اطراف پتانسیل مدارباز) و کرونوآمپرمتری (با اعمال پتانسیل $+0/3$ ولت به مدت یک ساعت) بر روی سطحی با ابعاد $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ استفاده شد. هم‌چنین جهت بررسی مقاومت در برابر خوردگی شیاری آزمون‌های پلاریزاسیون سیکلی مطابق استاندارد ASTM G61 [۸] بر روی نمونه‌هایی با ابعاد $2/5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ انجام شد. در وسط این نمونه‌ها سوراخی تعبیه شد تا امکان اتصال و اشرف پلاستیکی بر روی سطح و ایجاد شیار مصنوعی فراهم باشد. آماده‌سازی نمونه‌های شیاردار بر اساس استاندارد ASTM G48 انجام شد [۹]. شکل ۱ آماده‌سازی نمونه‌های شیاردار را نشان می‌دهد. در آزمون پلاریزاسیون سیکلی روبش پتانسیل در مسیر رفت از -150 میلی ولت نسبت به پتانسیل مدارباز آغاز و سرعت روبش پتانسیل در مسیر رفت و برگشت 1 mv/sec انتخاب شده و سطح نمونه‌ها پس از آزمون پلاریزاسیون سیکلی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد.

نتایج و بحث

شکل ۲ نتایج آزمون کرونوآمپرمتری پوشش‌های کرم و روی و نمونه فولادی را در محلول $3/5 \text{ NaCl}$ نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با اعمال پتانسیل $+0/3 \text{ V}$ به پوشش کرم، جریان در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته و در ادامه به‌طور یکنواخت و پیوسته تا انتهای آزمون افزایش می‌یابد. افزایش جریان در مرحله اولیه احتمالاً ناشی از انحلال لایه اکسیدی است که قبل از آزمون بر روی سطح تشکیل شده است.

کاهش جریان در مرحله دوم احتمالاً ناشی از تشکیل لایه اکسیدی بر روی سطح است هم‌چنین افزایش پیوسته جریان در مرحله نهایی را می‌توان به حضور یون‌های کلر و نقش آن‌ها در تشکیل حفرات نسبت داد. در نمونه فولادی و پوشش روی در اثر تشکیل لایه‌ای از محصولات خوردگی بر روی سطح جریان کاهش یافته و سپس ثابت باقی می‌ماند و نشانه‌ای از افزایش ناگهانی جریان و تشکیل حفرات موضعی دیده نمی‌شود.

شکل ۳ نمودار پلاریزاسیون نمونه‌ها را نشان می‌دهد هم‌چنین نتایج حاصل از آزمون پلاریزاسیون تافل در جدول ۱ ارائه شده است. خوردگی روی را می‌توان به صورت فرایندی تعریف کرد که در طی دو واکنش متوالی انتقال تک الکترون رخ می‌دهد و اولین لایه‌ای که بر روی سطح تولید می‌شود هیدروکسید روی است که به دلیل قابلیت انحلال اندک بر روی سطح رسوب کرده و سپس به اکسید روی تبدیل می‌شود بنابراین لایه تشکیل شده بر روی سطح ترکیبی کمپلکس از اکسید و هیدروکسید روی است [۱۰].

خوردگی پوشش‌های کرم ناشی از ترک‌های عمیقی است که در فصل مشترک زیر لایه/پوشش تشکیل می‌شوند. یکی از ویژگی‌های آبرکاری الکتریکی کرم وجود تنش‌های کششی پسماند در ساختار پوشش است که ناشی از واکنش هیدروژن و کرم و تشکیل هیدرید کرم در طی فرایند آبرکاری است. وجود تنش‌های داخلی منجر به ایجاد میکرو ترک‌های عمیق بر روی سطح پوشش می‌شود. رفتار پلاریزاسیون پوشش کرم ناشی از انحلال فلز کرم است و خوردگی همراه با نفوذ محلول خورنده به فصل مشترک زیر لایه/پوشش از طریق ترک‌هاست [۱۱]. مقایسه نتایج آزمون پلاریزاسیون نمونه‌ها نشان می‌دهد که پوشش‌های کرم و روی منجر به کاهش جریان خوردگی و بهبود مقاومت به خوردگی فولاد A216 شده‌اند و پوشش کرم با کاهش بیشتر جریان خوردگی نقش مؤثرتری در بهبود رفتار خوردگی فولاد داشته است.

جهت ارزیابی مقاومت در برابر خوردگی شیبی آزمون پلاریزاسیون سیکلی بر روی نمونه‌های شیاردار انجام شد (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که در نمونه فولادی در محدوده پتانسیل اعمالی انتقال از حالت فعال به غیرفعال دیده نمی‌شود. تشکیل حلقه هیستریزس مثبت نشان‌دهنده حساسیت نمونه فولادی به خوردگی شیبی است. حلقه هیستریزس در اثر وجود اختلاف دانسیته جریان در مسیر رفت و برگشت در یک پتانسیل یکسان ایجاد می‌شود و علت آن بروز اختلال در ساختار پایدار سطح با افزایش پتانسیل است [۱۲]. در واقع تشکیل چنین حلقه‌ای نشان‌دهنده آن است که پس از معکوس شدن اسکن، خوردگی موضعی همچنان ادامه می‌یابد و رکود مجدد حفرات به تأخیر می‌افتد. منحنی پلاریزاسیون سیکلی پوشش روی نشان‌دهنده افزایش سریع دانسیته جریان در اثر افزایش پتانسیل در مسیر رفت است که نشانه پایداری بسیار اندک لایه اکسید سطحی است هم‌چنین رویش پتانسیل در جهت عکس منجر به ایجاد حلقه هیستریزس مثبت شده است. علت بروز خوردگی شیبی در پوشش روی را می‌توان این‌گونه بیان کرد: در محلول‌های کلریدی یون‌های کلر با یون‌های OH^- جهت جذب بر روی سطح رقابت می‌کنند. در صورت وجود شیار بر روی سطح، به دلیل تشکیل پیل‌های اختلاف هوادهی در نواحی شیار غلظت یون‌های کلر نسبت به یون‌های OH^- افزایش یافته و یون‌های کلر بیشتری بر روی زمینه پوشش روی جذب می‌شوند. جذب یون‌های کلر منجر به تشکیل کمپلکس‌های

هیدروکسی قابل انحلال می‌شود. این ترکیبات پیوند ضعیفی با زمینه اکسیدی داشته و انرژی اکتیواسیون انتقال آن‌ها به الکترولیت کم است در نتیجه نرخ انحلال موضعی افزایش می‌یابد [۱۳ و ۱۰]. یکی دیگر از عوامل ناپایداری فیلم سطحی در پوشش روی آن است که در محلول NaCl، قبل از تشکیل ترکیبات ZnO، Zn(OH)₂ و Zn₅(OH)₈Cl₂.H₂O که پایداری بیشتری دارند، گونه‌های میانی متفاوتی مانند Zn(OH)⁻، Zn(OH)₂⁻ و Zn(OH)₃⁻ تشکیل می‌شوند [۱۴]. در منحنی پلاریزاسیون سیکلی پوشش کرم نیز افزایش دانسیته جریان ناشی از نفوذ یون کلر و شکست موضعی فیلم اکسیدی محافظ و تشکیل حلقه هیستریزس مثبت دیده می‌شود. در محلول کلریدی به دلیل قابلیت تحرک بالا، یون‌های کلر قادر هستند به راحتی در میکرو ترک‌های موجود در پوشش کرم نفوذ کنند. این میکرو ترک‌ها اغلب به عنوان مکان‌های ترجیحی شروع خوردگی عمل می‌کنند و نفوذ کلر منجر به از بین رفتن موضعی فیلم اکسید سطحی می‌شود [۱۱].

در پژوهش حاضر، پتانسیل شروع خوردگی شیاری به صورت پتانسیلی تعریف شده که در آن دانسیته جریان در اسکن رفت به مقدار $100 \mu A/cm^2$ می‌رسد [۱]. جدول ۲ نتایج آزمون پلاریزاسیون سیکلی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. اختلاف پتانسیل خوردگی شیاری (E_{crev}) و پتانسیل خوردگی در مسیر رفت (E_{corr}) معیاری از شروع خوردگی شیاری است. هرچه این اختلاف کمتر باشد خوردگی شیاری سریع‌تر می‌تواند رخ دهد [۱۵]. از سویی دیگر پهنای حلقه معیاری از شدت پیشروی خوردگی شیاری است و هر چه حلقه پهن‌تر باشد به معنای تشکیل حفرات عمیق‌تر در طی پیشروی خوردگی است [۱۶]. مقایسه مقدار $E_{corr} - E_{crev}$ نشان می‌دهد که خوردگی شیاری در پوشش کرم نسبت به پوشش روی و فولاد A216 دیرتر آغاز شده است. شروع دیرتر خوردگی شیاری در پوشش کرم را می‌توان به مقاومت بالاتر این پوشش در برابر انحلال نسبت داد. خوردگی شیاری ناشی از افت pH و بروز انحلال درون شیار است و هر چه ماده مقاومت بالاتری در برابر خوردگی داشته باشد pH اسیدی‌تری جهت وقوع انحلال لازم است بنابراین مدت زمان لازم برای وقوع تغییرات محیطی و بحرانی شدن شرایط درون شیار طولانی‌تر بوده و خوردگی دیرتر آغاز می‌شود. مقدار pH درون شیار در کرم و فولاد به ترتیب برابر با ۰/۰۹ و ۳-۴/۷ گزارش شده است [۱۷] که نشانه مقاومت بالاتر کرم در برابر آغاز خوردگی شیاری است. از سویی دیگر خوردگی شیاری تحت فرایندهای الکتروشیمیایی شامل انتقال الکترون و یون رخ می‌دهد و خواص الکتریکی فیلم‌های اکسیدی سطحی نقش مهمی در رفتار خوردگی ایفا می‌کند [۱۷] بنابراین شروع دیرتر خوردگی شیاری را می‌توان به تفاوت در خواص الکتریکی فیلم‌های اکسید سطحی نسبت داد. تحقیقات نشان می‌دهد فیلم‌های اکسید سطحی بر روی فولاد و پوشش روی نیمه‌رسانا هستند درحالی که فیلم اکسیدی تشکیل شده بر روی سطح کرم در محلول کلریدی یک لایه اکسید نازک غیر هادی است [۱۸].

شکل‌های ۵ تا ۷ مورفولوژی سطوح را نشان می‌دهد. آنالیز سطح بیانگر آن است که در پوشش کرم پس از آزمون پلاریزاسیون سیکلی تشکیل حفرات موضعی در دهانه شیار مشهود است (شکل ۷) اما در فولاد A216 و پوشش روی خوردگی در ناحیه درون شیار به صورت وسیعی رخ داده و حفرات در سرتاسر ناحیه درون شیار

توزیع شده‌اند و حفرات موضعی منفرد دیده نمی‌شود (شکل ۵ و ۶). علت این رفتار را می‌توان به پایداری اندک فیلم‌های اکسیدی در فولاد و پوشش روی و انحلال کلی آن‌ها در درون شیار نسبت داد.

نتیجه‌گیری

(۱) پوشش کرم نسبت به پوشش روی تأثیر بیشتری در کاهش جریان خوردگی و بهبود مقاومت به خوردگی فولاد A216 دارد.

(۲) اعمال پتانسیل $+0.3$ ولت به پوشش کرم منجر به افزایش پیوسته جریان در اثر نفوذ یون کلر می‌شود اما در فولاد و پوشش روی نشانه‌ای از افزایش جریان و تشکیل حفرات موضعی دیده نمی‌شود.

(۳) خوردگی شیاری در پوشش کرم نسبت به فولاد A216 و پوشش روی دیرتر آغاز می‌شود که علت آن مقاومت بالاتر پوشش کرم در برابر انحلال و طولانی‌تر بودن مدت‌زمان لازم برای وقوع تغییرات محیطی و بحرانی شدن شرایط درون شیار است.

(۴) خوردگی شیاری در پوشش کرم از طریق تشکیل حفرات در دهانه شیار رخ می‌دهد اما در فولاد و روی به دلیل پایداری اندک فیلم اکسید سطحی خوردگی در ناحیه درون شیار به صورت وسیعی رخ داده و حفرات موضعی منفرد دیده نمی‌شود.

مراجع

1. D. Han, Y.M. Jiang, C. Shi, B. Deng and J. Li, "Effect of Temperature, Chloride Ion and pH on the Crevice Corrosion Behavior of SAF 2205 Duplex Stainless Steel in Chloride Solutions", *Material Science*, 47, 2012, 1018-1025.
2. S.E. Lott and R.C. Alkire, "The Role of Inclusions on Initiation of Crevice of Stainless Steel: I. Experimental Studies", *Journal of Electrochemical Society*, 136, 1989, 973-979.
3. E.E. Abd El Aal, "Breakdown of Passive Film on Nickel in Borate Solutions Containing Halide Anions", *Corrosion Science*, 45, 2003, 759-775.
4. S. Ahn, H. Kwon and D.D. Macdonald, "Role of Chloride Ion on Passivity Breakdown on Iron and Nickel", *Journal of Electrochemical Society*, 152, 2005, 482-490.
5. M. Rahsepar and M.E. Bahrololoom, "Corrosion Study of Zn/Ni Compositionally Modulated Multilayer Coatings Using Electrochemical Impedance Spectroscopy", *Corrosion Science*, 51, 2009, 2537-2543.
6. A. Yaddav, A. Nishikata and T. Tsuru, "Electrochemical Impedance Study on Galvanized Steel Corrosion Under Cyclic Wet-Dry Conditions-Influence of Time of Wetness", *Corrosion Science*, 46, 2004, 169-181.
7. A.K. Mishara and D.W. Shoesmith, "Effect of Alloying Elements on Crevice Corrosion Initiation of Ni-Cr-Mo-W Alloys Under Aggressive Conditions: An Electrochemical Study", *Corrosion*, 70, 2014, 721-730.
8. Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys, *ASTM G61-86(2003)*.
9. Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution, *ASTM G48-11(2009)*.

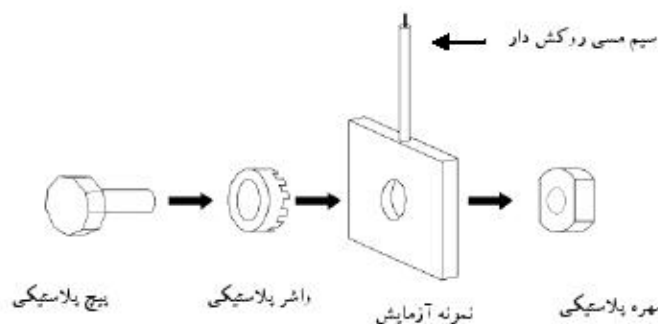
10. P.D. Lima-Neto, A.N. Correia, R.P. Colares and W.S. Araujo , “Corrosion Study of Electrodeposited Zn and Zn-Co Coatings in Chloride Medium” , *Journal of Brazilian Chemical Society*, 18, 2007, 1164-1175.
11. M.R. Saghi Beyagh, Sh. Khameneh Asl and S. Norouzi , “A Comparative Research on Corrosion Behavior of a Standard, Crack-Free and Duplex Hard Chromium Coatings” *Surface and Coatings Technology*, 205, 2010, 2605-2610.
12. A.H. Kandil, A.A. Fahmy Waheed, and M.H. Tawfik , “Water Chemistry Effect on Corrosion of Nuclear Fuel Cladding Material, Zircaloy-4 (Zr-4)” , *International Journal of Advanced Research*, 2, 2014, 149-162.
13. V. Barranco and S. Feliu , “EIS Study of the Corrosion Behavior of Zinc-Based Coatings on Steel in Quiescent 3% NaCl Solution. Part 1: Directly Exposed Coatings” , *Corrosion Science*, 46, 2004, 2203-2220.
14. C. Cachet, B. Saidani and R. Wiart, “The behavior of Zinc Electrode in Alkaline Electrolytes: II. a Kinetic Analysis of Anodic Dissolution” , *Journal of Electrochemical Society*, 139, 1992, 644-654.
15. Y. Li, P. Kumar, X. Shi, T.A. Nguyen, Zh. Xiao and J. Wu , “Electroless Synthesis of Ni-P and Ni-P-Zn Alloy Coatings for Protecting Steel Rebar From Chloride-Induced Corrosion” , *International Journal of Electrochemical Science*, 7, 2012, 8151-8169.
16. M.A. Amin, N. El-Bagoury and H. Shokry , “Corrosion and Electrochemical Behavior of Ni₅₁Fe_{22-x}Ga₂₇Ti_x Magnetic Shape Memory Alloys in 0.1 M NaCl Solution at Different Temperatures” , *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 2013, 2791–2805.
17. P.A. Schweitzer, Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, 2012, Taylor & Francis Group, LLC.
18. N. Imaz, M. Ostra, and M. Vidal , “Corrosion Behavior of Chromium Coating Obtained by Direct and Reverse Pulse Plating Electrodeposition in NaCl Aqueous Solution” , *Corrosion Science*, 78, 2014, 251-259.

جدول ۱: نتایج حاصل از آزمون پلاریزاسیون Tafel نمونه فولادی و پوشش های روی و کرم.

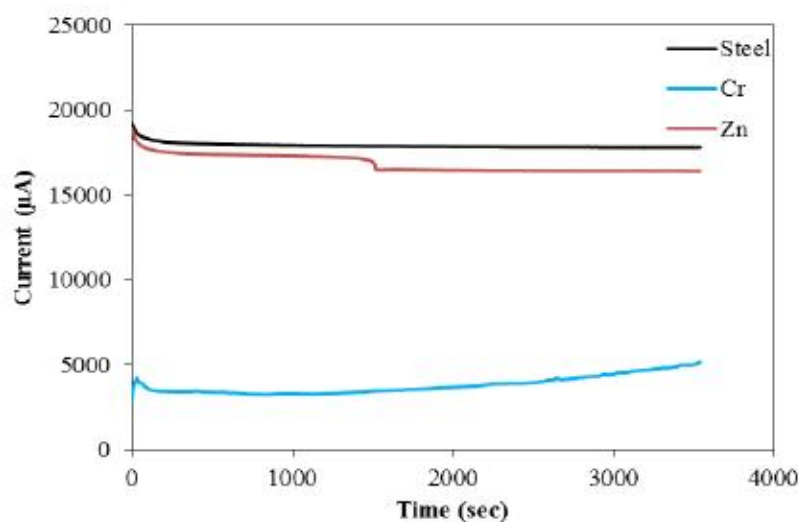
نمونه	E_{cor} (V vs.SCE)	I_{cor} ($\mu A/cm^2$)
فولاد A216	۰/۵۱۶	۲۸/۰۲
پوشش روی	۱/۲۱۶	۱۴
پوشش کرم	۰/۵۶	۰/۵۰۹

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون پلاریزاسیون سیکلی نمونه فولادی و پوشش های روی و کرم.

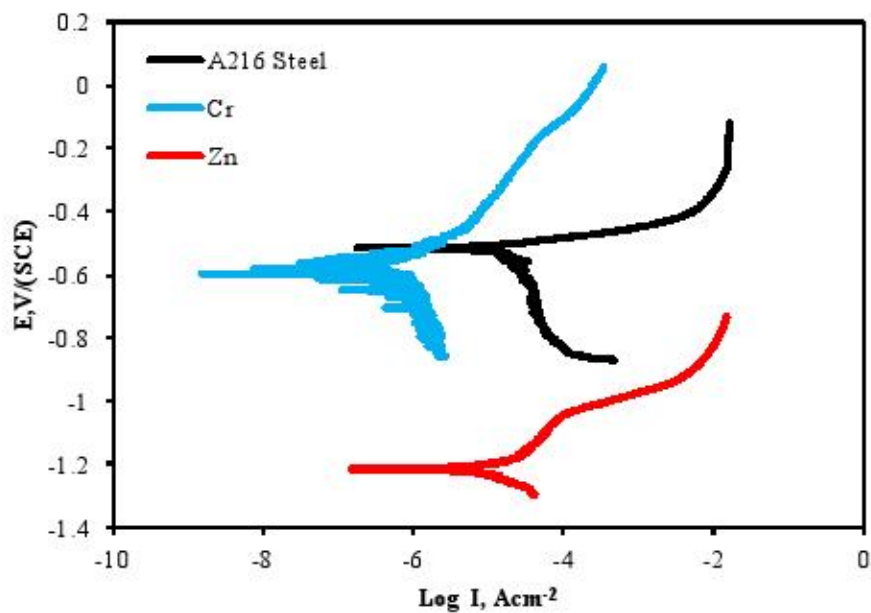
نمونه	E_{cor} (V vs.SCE)	$E_{\alpha w}$ (V vs.SCE)	$E_{cor} - E_{\alpha w}$ (V vs.SCE)
فولاد A216	۰/۷۲۸	۰/۶۶۳	۰/۰۶۵
پوشش روی	۱/۰۳	۰/۹۶۹	۰/۰۶۱
پوشش کرم	۰/۶۸۶	۰/۲۱۳	۰/۴۷۳



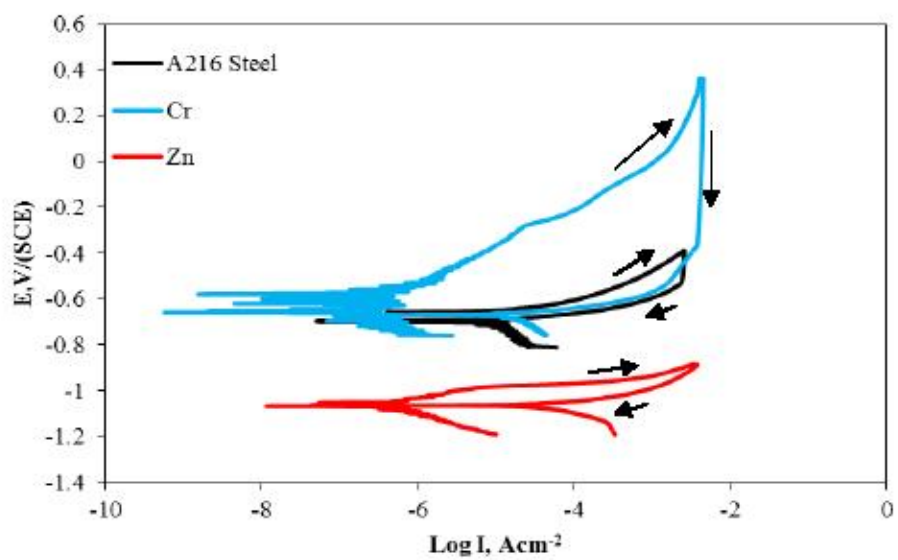
شکل ۱: نمایی از نمونه های شیاردار مورد استفاده در آزمون های خوردگی شیاری



شکل ۲: منحنی کرومیاومتری نمونه فولادی و پوشش های کرم و روی در محلول ۳/۵ NaCl

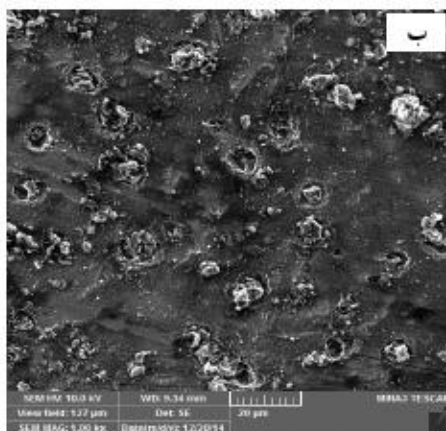


شکل ۳: منحنی پلاریزاسیون تافل نمونه فولادی و پوشش‌های کرم و روی در محلول ۳/۵٪ NaCl

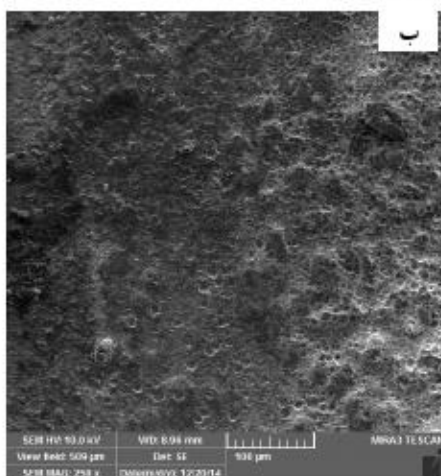


شکل ۴: منحنی پلاریزاسیون سیکلی نمونه فولادی و پوشش‌های کرم و روی در محلول ۳/۵٪ NaCl

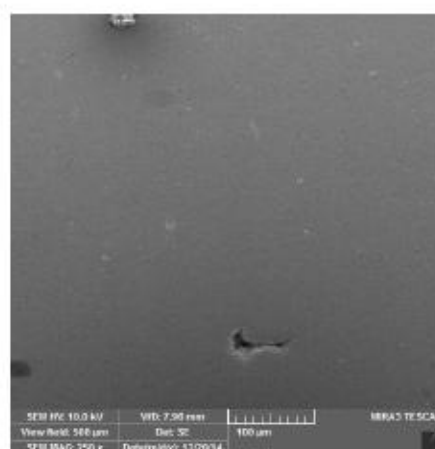
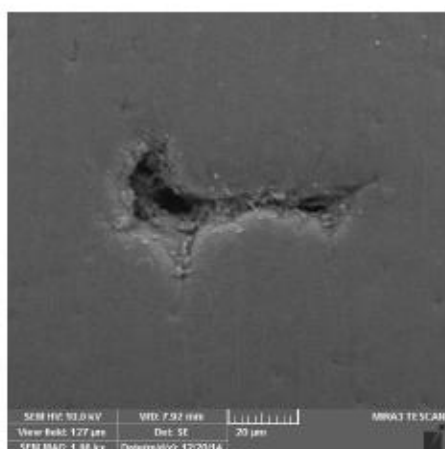
بررسی و مقایسه مقاومت به خوردگی ...



شکل ۵: تصویر SEM از سطح فولاد A216 پس از آزمون پلاریزاسیون سیکنی در محلول ۳/۵٪ NaCl (الف) ناحیه لبه شیار ساز (ب) ناحیه درون شیار



شکل ۶: تصویر SEM از سطح پوشش روی پس از آزمون پلاریزاسیون سیکنی در محلول ۳/۵٪ NaCl (الف) ناحیه لبه شیار ساز (ب) ناحیه درون شیار



شکل ۷: تصویر SEM از سطح پوشش کرم پس از آزمون پلاریزاسیون سیکنی در محلول ۳/۵٪ NaCl