

اثر تالک حامل بنزوتیازول بر خوردگی فولاد نرم در محلول سدیم کلراید

علی بحرانی^۱، رضا نادری محمودی^{۲*}، محمد مهدویان احدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت از مواد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.
^۲ استادیار، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.
^۳ استادیار، پژوهشکده پوشش‌های سطح و فناوری‌های نوین، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش.

* نویسنده مسئول: rezanaderi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۶

چکیده

در این مقاله ایفای نقش تالک بعنوان یک حامل بازدارنده خوردگی و توانایی آن در جذب و انتشار این مواد مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، کارایی مواد بازدارنده منتشر شده بوسیله آنالیزهای الکتروشیمیایی نظیر طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و پلاریزاسیون و هم چنین آنالیزهای سطحی نظیر میکروسکوپ روبشی و پراش انرژی پرتو ایکس بررسی شدند. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که تالک علاوه بر جذب بازدارنده آلی بنزوتیازول (BTH) (Benzothiazole)، توانایی انتشار آن در محلول خورنده کلرید سدیم را داراست. بر این اساس با توجه به اندازه و روند تغییرات پارامترهای امپدانس در فرکانس‌های پایین، مقاومت پلاریزاسیون و دانسیته جریان خوردگی مشاهده گردید که افزودن تالک حاوی بازدارنده نقش موثری در کنترل خوردگی فولاد نرم در محلول کلرید سدیم دارد. هم چنین تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ روبشی مشخص نمود که تشکیل فیلم متراکم از محصولات خوردگی در حضور BTH منتشر شده از تالک، موجب افزایش مقاومت به خوردگی شده است.

کلمات کلیدی: فولاد نرم، تالک، بازدارنده خوردگی، طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، آنالیز سطح؛

Effect of talc as reservoir of benzothiazole on the mild steel corrosion in a sodium chloride solution

A. Bahrani¹, R. Naderi^{*2}, M. Mahdavin³

¹ MSc of Corrosion & Protection of Material, Faculty of Material and Metallurgical Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

² Assistant Professor, School of Metallurgy and Materials Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran.

³ Assistant Professor, Department of Surface Coatings & Corrosion, Institute for Color Science and Technology, Tehran.

* Corresponding Author: rezanaderi@ut.ac.ir

Submission: 2015, 12, 19 Acceptance: 2016, 08, 27

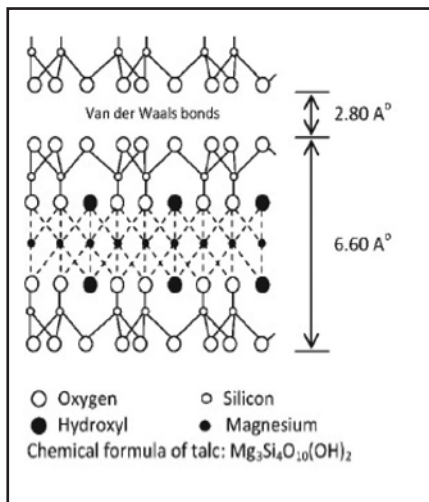
Abstract:

This paper evaluates the function of talc as a reservoir and its ability to absorb and release corrosion inhibitors. In this sense, the performance of released corrosion inhibitors is studied by using electrochemical analysis such as electrochemical impedance spectroscopy as well as surface analysis such as scanning electron microscopy and Energy-dispersive X-ray spectroscopy. Results indicated that talc can adsorb benzothiazole (BTH) as an organic inhibitor and release it in a sodium chloride solution. The trend and magnitude of some parameters including low frequency impedance modulus, polarization resistance and current density revealed the effective role of inhibitor-doped talc in controlling the corrosion of mild steel in sodium chloride solution. The scanning electron microscopy results showed that in the presence of benzothiazole, formation of a compact film on the substrate surface, increasing the corrosion resistance.

Keywords: Mild steel; Talc; Corrosion inhibitor; electrochemical impedance spectroscopy; Surface analysis.;

۱- مقدمه

می‌باشد. تالک دارای ساختاری لایه‌لایه بوده که از انباشته شدن صفحاتی بر روی یکدیگر تشکیل می‌شود. هر کدام از لایه‌ها از یک لایه منیزیم-اکسیژن/هیدروکسیل اکتاهدرال ساندویچ شده بین دو لایه از سیلیکون-اکسیژن تتراهدرال تشکیل شده است. این ساختار لایه‌لایه، به تالک خواص سدکنندگی فوق العاده‌ای بخشیده است [۲۰-۲۲]. با اینحال با انجام برخی عملیات سطحی می‌توان از تالک استفاده‌های دیگری نیز نمود. در پژوهشی Zhaoui Li و همکارانش اقدام به جذب metoprolol روی سطح تالک نمودند. طبق گزارش ارائه شده از این پژوهش، به دلیل ساختار لایه‌ای شکل تالک، جذب چند لایه‌ای رخ می‌دهد که بیشتر مشخصه پیوند هیدروژنی و واکنش‌های هیدروفوبیک می‌باشد [۲۳].



شکل ۱- ساختار مولکولی تالک [۲۰].

ترکیبات آلی هتروسیکلیک حاوی اتم‌های نیتروژن، گوگرد یا اکسیژن اغلب جهت حفاظت فلزات از خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۵ و ۲۶]. اعتقاد بر این است که این ترکیبات با تشکیل فیلم محافظ بر سطح فلز، مناطق فعال سطحی را مسدود می‌کنند [۲۸-۲۶].

طی پژوهش حاضر سعی شده‌است برای اولین بار با انجام عملیات سطحی و قراردادن بازدارنده آلی خوردگی بنزو تیازول بر روی تالک، نقش آن بعنوان یک حامل بازدارنده خوردگی در فاز محلول با استفاده از پلاریزاسیون و تکنیک طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) و روش‌های آنالیز سطح نظیر میکروسکوپ الکترونی روبشی Field Emission (FESEM) و آنالیز پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

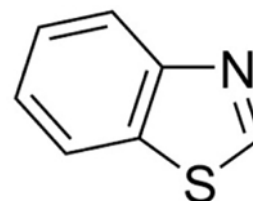
روش‌های متعددی جهت کنترل خوردگی سازه‌های فلزی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است که از آن میان پوشش‌ها سهم عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ فنی و اقتصادی پوشش‌های پلیمری یکی از پر مصرف‌ترین پوشش‌ها می‌باشد بطوری‌که محافظت سازه‌های فولادی از خوردگی توسط پوشش‌های آلی به امری کاربردی و معمول بدل شده است [۴-۱]. عملکرد پوشش‌ها توسط راهکارهای مختلفی قابلیت بهبود دارد؛ از جمله این راهکارها می‌توان به اصلاح فرمولاسیون، بهبود شرایط پخت، انتخاب اجزای مناسب و سایر موارد اشاره نمود [۵]. نقش عمده حفاظتی پوشش‌ها در برابر محیط خورنده، سدکنندگی فیزیکی می‌باشد. حال آنکه یکی از روش‌های پیشنهادی جهت ارتقای عملکرد پوشش در برابر محیط خورنده، ایجاد حفاظت فعال در آن می‌باشد [۹-۶]. پوششی با حفاظت فعال علاوه بر نقش سدکنندگی فیزیکی، خواص ترمیمی پیدا کرده که موجب طولانی‌تر شدن نقش حفاظتی آن حتی پس از آسیب‌های جزئی می‌شود [۱۰]. فرآیند تخریب پوشش پس از اولین گسیختگی‌ها و به سرعت صورت می‌گیرد. بنابراین ایجاد حفاظت فعال جهت دستیابی به اثری بلند مدت، امری ضروری می‌باشد که به صورت اضافه نمودن پیگمنت‌های ضد خوردگی و بازدارنده خوردگی بصورت مستقیم و غیرمستقیم میسر است [۱۱]. با توجه به مشکلات بوجود آمده در شرایط پخت و همچنین عدم کنترل بر انتشار مواد بازدارنده خوردگی ناشی از افزودن مستقیم این مواد، این روش در برخی موارد مطلوب نیست [۵]. راه حل این مشکلات بوجود آمده قراردادن بازدارنده خوردگی روی یک حامل می‌باشد [۱۲ و ۱۳]. با بکارگیری این روش می‌توان علاوه بر رفع مشکلات ایجاد شده در حین پخت، بر انتشار عوامل بازدارنده خوردگی نیز کنترل مناسبی داشت. از جمله این حامل‌ها می‌توان به مولیبدات سریم، اکسید تیتانیوم، ذرات رس و زئولیت اشاره نمود. حامل‌ها بایستی علاوه بر توانایی در جذب مواد بازدارنده خوردگی، قابلیت قرارگیری در پوشش را نیز داشته باشند [۱۳-۱۱].

استفاده از برخی ترکیبات معدنی جهت بهبود خواص سدکنندگی پوشش‌ها مورد توجه بسیاری از محققان در زمینه پوشش قرار گرفته است. تالک نیز با توجه به ساختار و آرایش اتمی خود، بعنوان پرکننده استفاده می‌شود [۱۶-۱۴]. این ماده معدنی در نقش یک پرکننده، باعث تقویت خواص سدکنندگی پوشش پلیمری می‌گردد [۱۷-۱۹]. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، تالک طبیعی، یک سیلیکات منیزیم با ترکیب $Si_4Mg_3O_{10}(OH)_2$

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

شکل ۲ نشان دهنده ساختار مولکولی بنزو تیازول (BTH) محصول شرکت Merck می‌باشد. کلرید سدیم نیز از شرکت Merck تهیه شده و بدون هرگونه خلص سازی اضافی مورد استفاده قرار گرفته‌است. پودر تالک همچنین از شرکت پودرسازان تامین شده است. به عنوان زیرآیند فلزی، ورق‌هایی از جنس فولاد نرم تهیه شده است.



شکل ۲ - ساختار BTH.

جهت آماده‌سازی ورق‌های فولادی، عملیات سمباده‌زنی از سمباده با درجه ۸۰ تا ۱۲۰۰ صورت گرفته و پس از آن توسط استن چربی‌زدایی انجام شد. همچنین جهت پوشاندن لبه‌ها و پشت ورق فولادی از ترکیب بی‌زواکس و رزین کولوفونی استفاده شد درحالی‌که ناحیه‌ای به مساحت یک سانتیمتر مربع بدون پوشش گذاشته شد. در ابتدا محلول‌هایی از بازدارنده مذکور با غلظت یک میلی مولار آماده گردید. سپس به میزان ۱ گرم بر لیتر تالک به محلول‌ها اضافه شده و به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و با سرعت ۸۰۰ rpm روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. پس از مدت مذکور تالک بوسیله کاغذ صافی از محلول جدا و بخوبی توسط آب مقطر شستشو داده شد و پس از آن در دمای محیط خشک گردید. سپس تالک خشک شده به محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم افزوده شد و به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۸۰۰ rpm روی هم‌زن قرار گرفت. سپس تالک مجدداً توسط کاغذ صافی از محلول جدا شده و محلول حاصل جهت انجام آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- آزمون‌ها

جهت ارزیابی رفتار خوردگی نمونه‌های فولادی در محلول‌های مختلف از آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و پلاریزاسیون استفاده شد. برای این منظور از دستگاه Ivium Compactstat در پتانسیل مدار باز (OCP) و در محدوده فرکانسی

۱۰kHz-۱۰mHz با دامنه نوسانات ۱۰mV استفاده گردید. پس از آن آزمون پلاریزاسیون با نرخ ۱ mV/s و از ۲۵۰mV تا ۲۵۰mV+ نسبت به OCP انجام شد. آزمون توسط سه الکتروود شامل الکتروودشمارنده (گرافیت)، الکتروود مرجع (نقره-کلرید نقره) و الکتروود کاری صورت گرفت. هم‌چنین جهت اطمینان از نتایج بدست آمده، آزمون سه بار تکرار شده است. آزمون پتانسیل مدار باز نیز توسط الکتروود کالومل بعنوان الکتروود مرجع و مولتی متر با مشخصات دستگاهی SANWA مدل Cd 800 a انجام شده است.

شرایط سطحی نمونه فولادی پس از قرار گرفتن در معرض محلول‌های مختلف توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی Field Emission مورد مطالعه قرار گرفته شده است. همچنین آنالیز فیلم سطحی تشکیل شده روی نمونه‌ها توسط آنالیز پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) صورت گرفته است. این دو آنالیز توسط دستگاه MIRA/TESCAN انجام شده است.

جهت بررسی میزان بازدارنده موجود در محلول نیز از روش تعیین مقدار کل کربن آلی (TOC) با مشخصات دستگاهی TOC-L استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی زیرآیند فولادی

جدول ۱ ترکیب شیمیایی زیرآیند فولادی استفاده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

۳-۲- نتایج بدست آمده از آنالیز TOC

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، پودر تالک در معرض محلول ۰/۰۰۱ مولار BTH قرار گرفته و پس از آن جهت بررسی برداشت و انتشار یازدارنده، تالک در معرض محلول ۳/۵٪ NaCl قرار داده شد. جدول ۲ نتایج حاصل از این بررسی توسط روش TOC را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - نتایج آنالیز TOC

محلول	غلظت (mg/lit)
۰/۰۰۱ مولار BTH	۶۳/۴۹
۳/۵٪ NaCl پس از ۲۴ ساعت هم‌زدن با تالک حاوی BTH	۲/۳۹

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورق‌های فولادی

عنصر	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Co	Cu	Nb
% وزنی	بالانس	۰/۱۹	۰/۴۱۵	۱/۳۹	<۰/۰۰۵۰	<۰/۰۰۵۰	۰/۰۲۶	۰/۰۱۸	۰/۰۵۵۹	۰/۰۴۲۹	۰/۰۴۸۱

۳-۴- نتایج حاصل از EIS

شکل ۳ نشان دهنده نمودار نایکویست بدست آمده پس از ۱ و ۴ ساعت غوطه‌وری نمونه فلزی در محلول‌های مختلف می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، افزایش زمان غوطه‌وری موجب افزایش قطر نیم‌دایره یا به عبارت دیگر، موجب افزایش مقاومت به خوردگی در تمامی نمونه‌ها شده است که احتمالاً به دلیل تشکیل فیلمی از محصولات خوردگی روی سطح می‌باشد. اما در مورد محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک، این افزایش مقاومت بطور چشمگیری بیشتر می‌باشد که می‌توان آن را به عملکرد BTH روی سطح و کمک به تشکیل فیلم متراکم روی آن مربوط ساخت. همچنین می‌توان به دپرس شدن نیم‌دایره‌های نایکویست اشاره نمود که برخی محققان دلیل آن را در ناهمگن بودن سطح نمونه جستجو می‌کنند. با این دیدگاه، می‌توان قسمت‌های مختلف از سطح را با ثابت‌های زمانی مختلف مشخص نمود. همان‌طور که در نمودارهای حاصل از EIS مشاهده می‌شود، برای هر کدام از اندازه‌گیری‌ها، تنها یک حلقه ظرفیتی ظاهر شده است.

شکل ۴ نشان دهنده نمودار بد دست آمده پس از ۴ ساعت

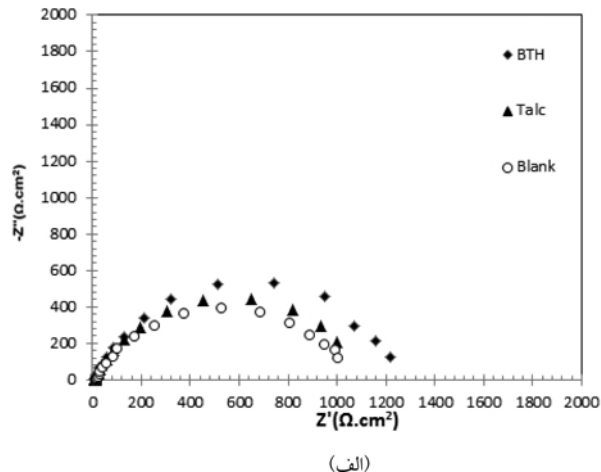
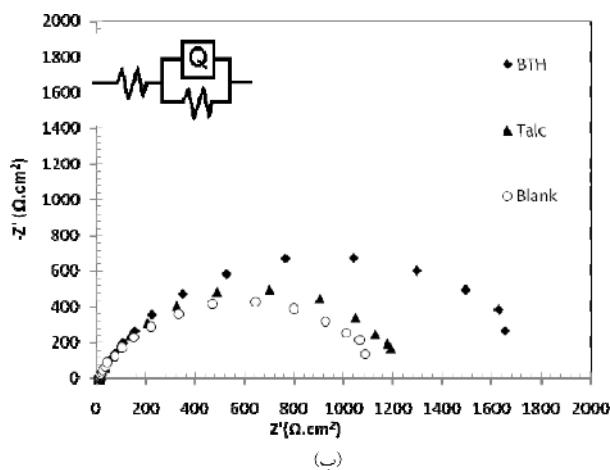
همان‌طور که از نتایج بدست آمده مشخص است، تالک علاوه بر برداشت بازدارنده از محلول اولیه، به دلیل وجود گرادیان غلظتی BTH بین خود و محلول ۳/۵٪ NaCl، اقدام به انتشار BTH در محلول می‌کند. این امر احتمالاً موجب تشکیل فیلم و یا تقویت فیلم تشکیل شده روی سطح نمونه می‌گردد که در نهایت باعث افزایش مقاومت به خوردگی می‌گردد.

۳-۳- نتایج حاصل از EDX

نتایج حاصل از آنالیز EDX (جدول ۳) در نمونه‌های فولادی که در معرض محلول‌های مختلف قرار گرفته اند نشان دهنده حضور S و N در فیلم سطحی نمونه در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک می‌باشد که حاکی از سهم بازدارنده خوردگی BTH در تشکیل فیلم سطحی می‌باشد. حال آنکه در نمونه دیگر که در معرض محلول ۳/۵٪ NaCl قرار داده شد، هیچگونه N و S بر روی سطح شناسایی نگردید. همچنین میزان اکسیژن موجود در نمونه در معرض محلول حاوی BTH، به صورت قابل توجهی نسبت به نمونه دیگر کمتر است که احتمالاً به تشکیل کمتر محصولات خوردگی ارتباط دارد.

جدول ۳- ترکیب شیمیایی سطح نمونه فولادی، بدست آمده از آنالیز EDX

عنصر نمونه	Fe	C	O	N	S
در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک	Bal.	۱۰/۰۲	۷/۳۵	۳/۰۱	۴/۱۷
در معرض محلول Blank	Bal.	۷/۱۳	۲۸/۹	-	-



شکل ۳- نمودار نایکویست فلز غوطه‌ور در محلول‌های مختلف برای مدت زمان (الف) ۱ ساعت و (ب) ۴ ساعت غوطه‌وری.

از تالک و عملکرد این بازدارنده خوردگی روی سطح نسبت داد که موجب تشکیل فیلمی با مقاومت بالاتر و احتمالاً تراکم بیشتر روی سطح نمونه فولادی گردیده است.

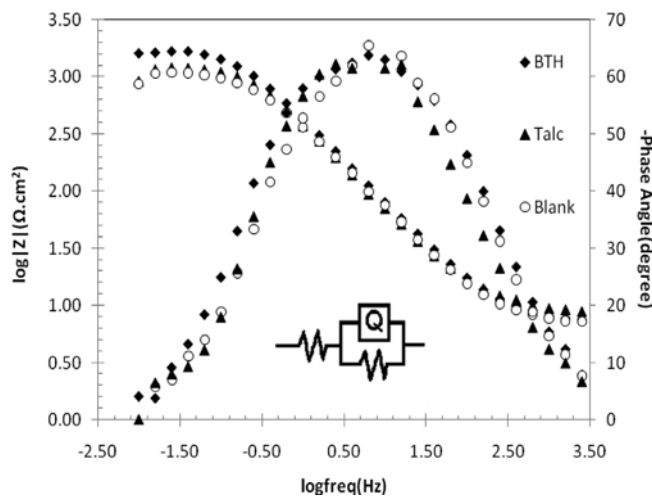
۳-۵- نتایج حاصل از پلاریزاسیون

شکل ۶ منحنی‌های پلاریزاسیون مربوط به فلز غوطه ور در محلول‌های مختلف را پس از ۴ ساعت نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر جریان، سرعت خوردگی و سایر پارامترهای مستخرج از این نمودار را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل و جدول مذکور دیده می‌شود در حضور BTH به عنوان بازدارنده رهاشده از تالک در محلول، میزان جریان خوردگی در حدود ۵ برابر نسبت به نمونه Blank کاهش یافته است که این مسئله را می‌توان به تشکیل فیلم روی سطح در حضور BTH نسبت داد. نکته قابل توجه اینکه این نتایج در توافق کامل با داده‌های حاصل از آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی می‌باشد.

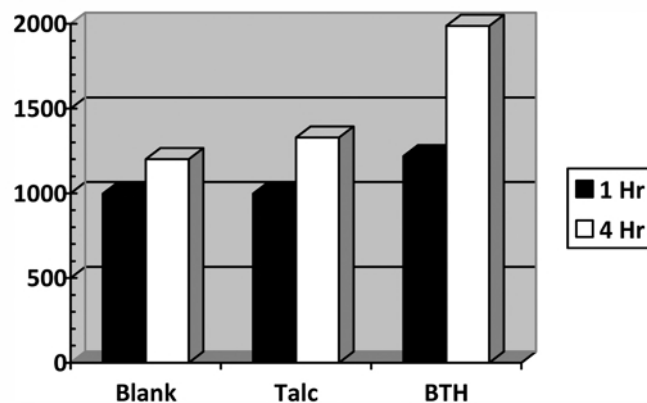
غوطه‌وری نمونه فلزی در محلول‌های مختلف می‌باشد. مقدار امپدانس در فرکانس‌های پایین نشان‌دهنده مقاومت پلاریزاسیون جریان مستقیم می‌باشد همانطور که مشخص است میزان امپدانس مطلق و همچنین قطر نیم‌دایره نمودار نایکویست در فرکانس‌های پایین برای نمونه در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد که حاکی از مقاومت به خوردگی بالاتر در این نمونه بوده و احتمالاً ناشی از تشکیل فیلم تراکم روی سطح، در حضور BTH می‌باشد.

شکل ۵ مقاومت‌های انتقال بار بدست آمده در اثر غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول‌های متفاوت و زمان‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. همانطور که دیده می‌شود مقاومت انتقال بار برای محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک بیشتر از دو نمونه دیگر می‌باشد و از آنجا که مقاومت انتقال بار با دانسیته جریان خوردگی رابطه عکس دارد نتایج حاصله حاکی از مقاومت به خوردگی بالاتر در این مورد است.

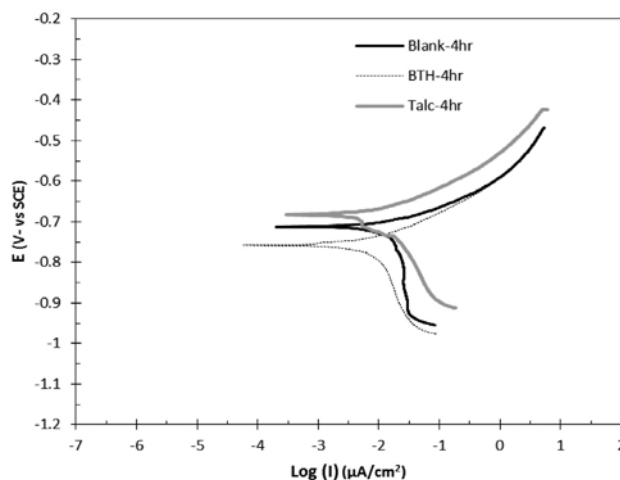
این افزایش مقاومت در برابر انتقال بار را می‌توان به انتشار BTH



شکل ۶- نمودار بد نمونه‌های فلزی غوطه ور در محلول‌های مختلف برای مدت زمان ۴ ساعت.



شکل ۷- مقایسه مقاومت‌های انتقال بار بدست آمده در محلول‌های متفاوت پس از ۱ و ۴ ساعت غوطه‌وری.

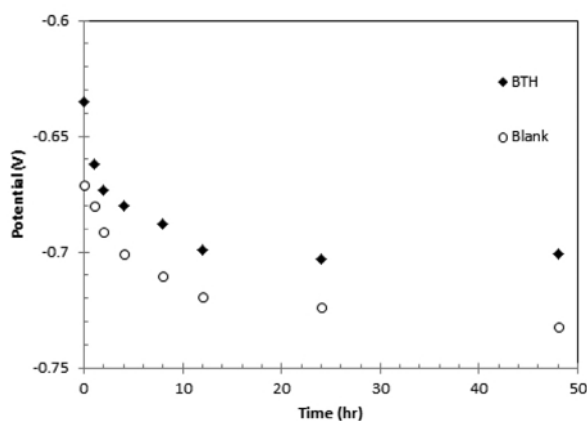


شکل ۶- منحنی‌های پلاریزاسیون برای محلول‌های مختلف پس از زمان ۴ ساعت.

جدول ۴- نتایج آنالیز منحنی‌های پلاریزاسیون برای محلول‌های مختلف پس از ۴ ساعت

محلول	$i_{corr}(\mu A/cm^2)$	$E_{corr}(V \text{ vs SCE})$	Corrosion rate (mm/year)
BTH	۱/۹۳	-۰/۷۵۳۲	۰/۰۰۶۳
Blank	۱۰/۹۱	-۰/۷۱۱۲	۰/۰۳۵۷
Talc	۷/۴۰	-۰/۷۱۴۲	۰/۰۲۴۲

از تالک، محصولات متراکم و چسبنده روی سطح تشکیل داده و خوردگی تقریباً بصورت یکنواخت رو سطح صورت گرفته است؛ در حالیکه محصولات خوردگی تشکیل شده روی سطح در نمونه دیگر، چسبندگی چندانی نداشته و رنگ محلول طی زمان تغییر می‌نماید.

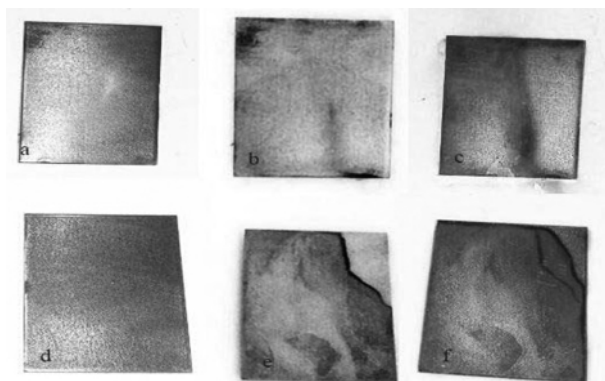


شکل ۷- نمودار پتانسیل مدار باز مربوط به ورق فولادی غوطه ور در محلول‌های کلرید سدیم فاقد و حاوی بازدارنده در زمان‌های مختلف.

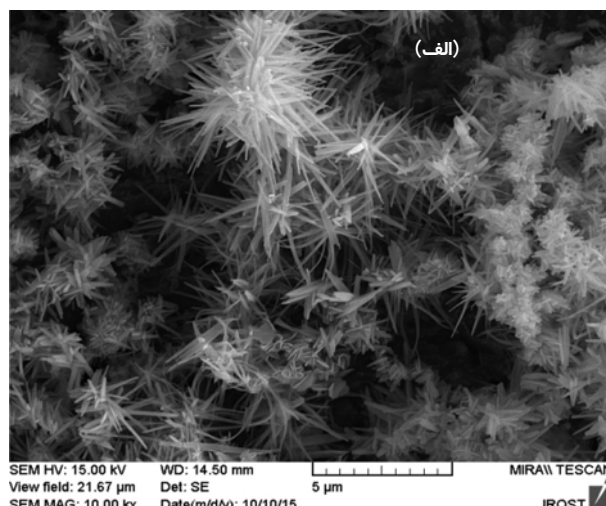
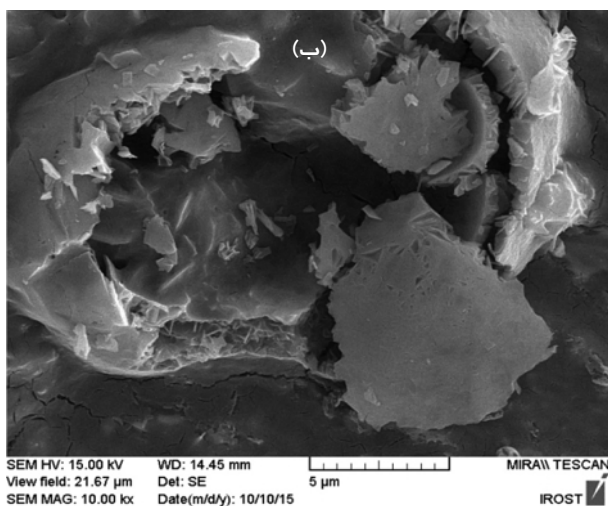
۳-۶- نتایج حاصل از پتانسیل مدار باز

پتانسیل‌های گرفته شده از ورق‌های فولادی آماده‌سازی شده که تنها مساحت 1 cm^2 از آنها پوشانده نشده و در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک و محلول Blank قرار گرفته بود، در شکل ۷ نشان داده شده است. در ساعتهای ابتدایی غوطه‌وری (۱۰ ساعت) افت شدیدی در پتانسیل قابل مشاهده است و پس از آن شیب این تغییرات بسیار کاهش می‌یابد که احتمالاً بدلیل پوشانده شدن سطح با محصولات خوردگی می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود BTH باعث انتقال پتانسیل مدار باز به مقادیر مثبت‌تر شده و این امر احتمالاً نشان‌دهنده تشکیل فیلم محافظ بر روی سطح می‌باشد که در توافق با نتایج حاصل از آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی می‌باشد.

شکل ۸ تصاویر گرفته شده از سطح نمونه‌ها در معرض محلول حاوی بازدارنده خوردگی و محلول Blank برای زمان‌های مختلف غوطه‌وری را به نمایش می‌گذارد. همانطور که دیده می‌شود، نمونه فولادی در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده



شکل ۸ - تصاویر ورق‌های فولادی با ابعاد برابر در معرض محلول Blank به مدت (a) ۲ ساعت، (b) ۱۲ ساعت، (c) ۲۴ ساعت و در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک به مدت (d) ۲ ساعت، (e) ۱۲ ساعت و (f) ۲۴ ساعت.



شکل ۹ - تصاویر FESEM بدست آمده از نمونه های در معرض محلول (الف) Blank و (ب) حاوی BTH منتشر شده از تالک، به مدت ۲۴ ساعت.

نتیجه گیری

- (۱) نتایج حاصل از TOC و EDX نشان دهنده توانایی تالک در جذب و در پی آن، انتشار مواد بازدارنده در محیط خورنده می باشد. به عبارت دیگر می توان تالک را بعنوان یک حامل بازدارنده در پوشش معرفی نمود.
- (۲) نتایج EIS مخصوصا بعد از ۴ ساعت نشان دهنده افزایش مقاومت انتقال بار در حضور BTH منتشر شده از تالک بوده که مؤید نقش بازدارندگی از خوردگی این ترکیب آزولی می باشد.
- (۳) نتایج حاصل از پلاریزاسیون نیز در تایید نتایج EIS نشان می دهد در حضور BTH منتشر شده از تالک، جریان خوردگی و به تبع آن نرخ خوردگی کاهش محسوسی یافته اند. دانسیته جریان خوردگی در حضور بازدارنده کاهش ۵ برابری نسبت به محلول Blank نشان می دهد.
- (۴) تصاویر بدست آمده از FESEM نشان دهنده تشکیل فیلم متراکم از محصولات خوردگی در حضور BTH منتشر شده از تالک می باشد که موجب افزایش مقاومت به خوردگی در این نمونه شده است. در صورتی که در غیاب این بازدارنده خوردگی، محصولات خوردگی بصورت غیر متراکم در سطح نمونه توزیع شده اند.
- (۵) نتایج بدست آمده از EDX همچنین نشان دهنده مقادیر قابل توجهی S و N و همچنین مقادیر بیشتری از C در سطح نمونه در معرض محلول حاوی BTH منتشر شده از تالک می باشد که با توجه به ترکیب شیمیایی BTH، می توان این نتایج را به نقش این بازدارنده خوردگی در تشکیل فیلم محافظ نسبت داد. حال آنکه مقدار O به مراتب کمتر نمونه در معرض BTH منتشر شده از تالک، مؤید دیگری بر ایفای نقش بازدارندگی از خوردگی این ترکیب می باشد.

مراجع

- [1] D. Thirumoolan, T. Siva, K. Vetrivel, S. Sathiyarayanan, K. Anver Basha, Corrosion resistant performance of hydrophobic poly(N-vinyl imidazole-co-ethyl methacrylate) coating on mild steel, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 89, Dec. 2015, Pp. 181–191.
- [2] M. G. Hosseini, M. Sabouri, T. shahrabi 2006, ' Comparison between polyaniline – Phosphate and polypyrrole composite coatings for mild steel corrosion protection', *Eurocorr* , Lisbon, Portugal.
- [3] R.S. Patil, S. Radhakrishnan, Conducting polymer based hybrid nano-composites for enhanced corrosion protective coatings, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 57, No. 4, 2006, Pp. 332-336.
- [4] S. Syed Azim, S. Sathiyarayanan, G. Venkatachari, Anticorrosive properties of PANI–ATMP polymer containing organic coating, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 56, No. 2–3, 2006, Pp. 154-158.
- [5] A. Ghazi, E. Ghasemi, M. Mahdavian, B. Ramezanzadeh, M. Rostami, The application of benzimidazole and zinc cations intercalated sodium montmorillonite as smart ion exchange inhibiting pigments in the epoxy ester coating, *Corrosion Science* Vol. 94, May 2015, Pp. 207–217.
- [6] M. Garcia-Heras, A. Jimenez-Morales, B. Casal, J.C. Galvan, S. Radzki, M.A. Villegas, Preparation and electrochemical study of cerium–silica sol–gel thinfilms, *J. Alloys Compd.* Vol. 380, 2004, Pp. 219–224.
- [7] J. Sinko, Challenges of chromate inhibitor pigments replacement in organic coatings, *Prog. Org. Coat.* Vol. 42, 2001. Pp 267–282.
- [8] R. Naderi, M. Fedel, F. Deflorian, M. Poelman, M. Olivier, Synergistic effect of clay nanoparticles and cerium component on the corrosion behavior of eco-friendly silane sol–gel layer applied on pure aluminum, *Surf. Coat. Technol.* Vol. 224, 2013, Pp. 93–100.
- [9] Z. Tian, H. Shi, F. Liu, S. Xu, E.H. Han, Inhibiting effect of 8-hydroxyquinoline on the corrosion of silane-based sol–gel coatings on AA 2024-T3, *Prog. Org. Coat.* Vol. 82, 2015, Pp. 81–90.
- [10] B.A. Bhanvase, M.A. Patel, S.H. Sonawane, Kinetic properties of layer-by-layer assembled cerium zinc molybdate nanocontainers during corrosion inhibition, *Corros. Sci.* Vol. 88, 2014, Pp. 170–177.
- [11] M.L. Zheludkevich, J. Tedim, M.G.S. Ferreira, “Smart” coatings for active corrosion protection based on multi-functional micro and nanocontainers, *Electrochimica Acta* Vol. 82, 2012, Pp. 314–323.
- [12] I.A. Kartsonakis, A.C. Balaskas, G.C. Kordas, Influence of cerium molybdate containers on the corrosion performance of epoxy coated aluminium alloys 2024-T3, *Corros. Sci.* 53 Vol. 11, 2011, Pp. 3771–3779.
- [13] S.V. Lamaka, M.L. Zheludkevich, K.A. Yasakau, M.F. Montemor, P. Cecilio, M.G.S. Ferreira, TiO_x self-assembled networks prepared by templating approach as nanostructured reservoirs for self-healing anticorrosion pre-treatments, *Electrochemistry communications* Vol. 8 (3), Pp. 421-428.
- [14] Karine Joncoux-Chabrol, Jean-Pierre Bonino, Marie Gressier, Marie-Joëlle, Improvement of barrier properties of a hybrid sol–gel coating by incorporation of synthetic talc-like phyllosilicates for corrosion protection of a carbon steel, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 206, Issues 11–12, 2012, Pp. 2884-2891.
- [15] Zhaohui Li, Nicole M. Fitzgerald, Zachary Albert, Andrew Schnabl, Wei-Teh Jiang, Contrasting mechanisms of metoprolol uptake on kaolinite and talc, *Chemical Engineering Journal* Vol. 272, 2015, Pp. 48–57.

- [16] HesaniElfaki, AlaaHawari, Catherine Mulligan, Enhancement of multi-media filter performance using talc as a new filter aid material: Mechanistic study, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* Vol. 24, 2015, Pp. 71–78.
- [17] D.J. Sekelik, E.V. Stepanov, S. Nazarenko, D. Schiraldi, A. Hiltner, E. Baer, Oxygen Barrier Properties of Crystallized and Talc-Filled Poly(ethylene terephthalate), *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.* 27, 1998, Pp. 84.
- [18] P. Mederic, M. Moan, M.-H. Klopffer, Y. Saint-Gerard, Talc Filled Thermoplastic Composites: Melt Rheological Properties, *Appl. Rheol.* Vol.13, 2003, Pp. 297.
- [19] L. Clerc, L. Ferry, E. Leroy, J.M. Lopez-Cuesta, Influence of talc physical properties on the fire retarding behaviour of (ethylene–vinyl acetate copolymer/magnesium hydroxide/talc) composites, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 88, 2005, Pp. 504–511.
- [20] I.A. Kartsonakis, E. Athanasopoulou, D. Snihirova, B. Martins, M.A. Koklioti, M.F. Montemor, G. Kordas, C.A. Charitidis, Multifunctional epoxy coatings combining a mixture of traps and inhibitor loaded nanocontainers for corrosion protection of AA2024-T3, *Corros. Sci.* 85, 2014, Pp.147–159.
- [21] J.H. Rayner, G. Brown, The crystal structure of talc, *Clays Clay Miner.* Vol. 21, 1973, Pp.103.
- [22] R.F. Giese, Interlayer bonding in kaolinite, dickite and nacrite, *Clays Clay Miner.* Vol. 27, 1979, Pp. 213.
- [23] M. Fleischmann, I.R. Hill, G. Mengoli, M.M. Musiani, J. Akhavan, A comparative study of the efficiency of some organic inhibitors for the corrosion of copper in aqueous chloride media using electrochemical and surface enhanced Raman scattering techniques, *Electrochimica Acta*, Vol. 30, 1985, Pp. 879-888.
- [24] A. Dafali, B. Hammouti, A. Aouniti, R. Mokhlisse, S. Kertit, K. Elkacemi, 2-Mercapto-1-methylimidazole as corrosion inhibitor of copper in aerated 3% NaCl solution, *Annales de Chimie Science des Matériaux*, Vol. 25, 2000, Pp. 437-446.
- [25] V.S. Sastri, *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., 2011. 103.
- [26] Y. Abboud, A. Abourriche, T. Saffaj, M. Berrada, M. Charrouf, A. Bennamara, A. Cherqaoui, D. Takky, *Appl. Surf. Sci.* Vol. 252, 2006, Pp. 8178–8184.
- [27] I.B. Obot, N.O. Obi-Egbedi, Theoretical study of benzimidazole and its derivatives and their potential activity as corrosion inhibitors, *Corrosion Science*, Vol. 52, 2010, Pp. 657-660.
- [28] M. Mahdavian, S. Ashhari, Mercapto functional azole compounds as organic corrosion inhibitors in a polyester-melamine coating, *Progress in Organic Coatings* Vol. 68, 2010, Pp. 259–264.