

ارزیابی خواص ضد خوردگی ناشی از حضور اکسید آهن میکایی در فرمولاسیون پرایمرهای خطوط لوله انتقال گاز بر پایه لاستیک مصنوعی

حجت اله ارفاقی^۱، منصور فرزام^{۲*}، داود زارعی^۳، ایمان دانایی^۴، عبدالله ابول پور^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۲، ش.ص. ۱۰۹-۱۲۰، ۱۳۹۵/۰۵/۲۶)

چکیده

در این پژوهش درصدهای مختلف از رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی به ساختار پرایمر لاستیک مصنوعی (سینتتیک رابر) افزوده شد. پوشش‌ها بر روی نمونه پلیت‌های فولادی (St 37) و همچنین لوله‌های فولادی با قطر ۸ اینچ اعمال گردید. با استفاده از روش امپدانس الکتروشیمیایی، میزان مقاومت به خوردگی پرایمرها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی اثر رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی بر چسبندگی پرایمر مذکور به سطح فلز فولاد (لایه زیرین)، آزمون چسبندگی فیلم خشک به روش کراس کات بر روی نمونه پلیت‌های فولادی و جهت بررسی چسبندگی پرایمر به نوار لاستیک مصنوعی (لایه فوقانی)، آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان بر روی لوله‌های با قطر ۸ اینچ انجام شد. نحوه توزیع رنگدانه‌ها درون ساختار پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نتایج آزمون‌های الکتروشیمیایی حاکی از بهبود خواص مقاومت به خوردگی پرایمرهای حاوی درصدهای پایین از رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی نسبت به پرایمر بدون رنگدانه دارد. بیش‌ترین مقاومت پوشش در نمونه‌ای با ۱۰ درصد وزنی رنگدانه حاصل شد. همچنین نتایج تست چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان نشان داد که چسبندگی نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی از رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی به نوار لاستیک مصنوعی، بهتر از نمونه بدون رنگدانه بود.

واژه‌های کلیدی: پوشش خطوط لوله، پرایمر لاستیک مصنوعی، اکسید آهن میکایی، امپدانس الکتروشیمیایی، چسبندگی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بازرسی فنی، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران

^۲ - دانشیار، گروه مهندسی بازرسی فنی، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران

^۳ - استادیار، گروه پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی، شاخه تهران جنوب، تهران، ایران

^۴ - استادیار، گروه مهندسی بازرسی فنی، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران

^۵ - لیسانس، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

*- نویسنده مسئول مقاله: put_farzam@gmail.com

پیشگفتار

بوده و به منظور چسبندگی نوار به پرایمر استفاده می‌شود و وظیفه حفاظت از خوردگی را به عهده دارد [۱۲].

پرایمر به عنوان زیر لایه، نقش ویژه‌ای در چسبندگی نوارهای لاستیک مصنوعی به سطح زیرین (لوله یا پوشش اصلی)، پیشگیری از خوردگی و حفاظت و نگهداری لوله ایفا می‌کند. پرایمر به عنوان اولین لایه بر روی سطح اعمال می‌شود. قبل از اعمال نوار، لایه‌ای از پرایمر به عنوان لایه ضد خوردگی و چسباننده نوار بر روی سطح لوله فلزی اعمال می‌شود. این پرایمرها معمولاً دارای ساختارهای حاوی پلیمرها و ترکیبات لاستیک مصنوعی از جمله لاستیک بوتیل رابر می‌باشند [۱۶-۱۳].

رنگدانه‌های اکسید آهن میکابی (MIO)، به عنوان یکی از پرکاربردترین رنگدانه‌های لایه‌ای با مکانیزم سدکنندگی، درون ساختار پرایمر به عنوان لایه ممانعت کننده در برابر نفوذ عوامل خوردنده در پوشش‌های ضد خوردگی کاربرد دارند [۱۷]. اکسید آهن میکابی به لحاظ شیمیایی ماده‌ای خنثی بوده و به سختی با اسیدها، بازها، نمک‌ها و دیگر مواد واکنش می‌دهد. همچنین ماده‌ای غیر سمی است و پایداری حرارتی خوبی دارد؛ چون نقطه ذوب آن بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد است [۱۸]. این رنگدانه‌ها باعث تقویت ماتریس رزین شده و موجب افزایش چسبندگی در پوشش‌های چند لایه نیز می‌شوند [۱۹]. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این رنگدانه‌های لایه‌ای، خاصیت ممانعت کنندگی آن‌ها در برابر نفوذ عوامل خوردنده می‌باشد که باعث ایجاد یک مسیر دشوار و پر پیچ و خم در مقابل نفوذ عوامل خوردنده می‌گردد [۲۰].

در عمل، استفاده از پوشش نوار سرد اجرا به همراه پرایمر لاستیک مصنوعی، دارای مشکلاتی از جمله عدم چسبندگی کافی بین نوار و پرایمر مذکور بوده است. عدم چسبندگی کافی بین نوار و پرایمر می‌تواند به دلایل متفاوتی از جمله اعمال نامناسب نوار، استفاده از پرایمر نامناسب و ... باشد. بهبود خواص ذاتی در چسبندگی پرایمر مذکور به نوار سرد اجرا، راه حل مناسبی جهت کاهش مشکلات ذکر شده می‌باشد. در این تحقیق درصدهای

خطوط لوله، ساده‌ترین و موثرترین راهکار انتقال و توزیع نفت و گاز طبیعی از چاه به پالایشگاه و از پالایشگاه به مبادی مصرفی می‌باشند. با توجه به خواص مکانیکی مناسبی که فولاد دارد، خطوط لوله معمولاً از جنس فولاد ساخته می‌شوند؛ اما به لحاظ مقاومت به خوردگی، فولاد دارای ضعف است و به همین منظور استفاده از پوشش‌ها به همراه حفاظت کاتدی در اکثر موارد امری اجتناب ناپذیر است [۵-۱]. پس از انتخاب پوشش اصلی خطوط لوله و اعمال آن در کارخانه، قسمت‌های انتهایی لوله‌ها به منظور عملیات جوشکاری بدون پوشش باقی می‌ماند که در این قسمت‌ها باید از پوشش‌های مخصوص نواحی اتصالات استفاده شود. یکی از انواع پوشش‌های مخصوص نواحی ترمیمی و اتصالات، نوارهای سرد اجرا بر پایه لاستیک مصنوعی (سینتتیک رابر) می‌باشند. از مزایای سیستم‌های نوارهای پوششی سرد اجرا، قابل استفاده بودن آن در محل بوده و در مقایسه با سیستم پوشش‌های گرم اجرا وسایل و کارگر کمتری مورد نیاز است و هزینه نصب نیز کم‌تر می‌باشد [۹-۶].

طبق استاندارد شرکت ملی گاز ایران (IGS-R-TP-024) برای ترمیم پوشش‌های کول تار، جهت دستیابی به مقاومت حرارتی بالاتر و اعمال آسان‌تر، از پوشش نوار سرد بر پایه لاستیک مصنوعی استفاده می‌گردد. این پوشش‌ها برای استفاده بر روی سطوح نامنظم، انشعاب خطوط لوله و ... مناسب می‌باشند. همچنین، طبق استاندارد شرکت ملی نفت ایران (IPS-M-TP-322) که مربوط به پرایمر کاربردی برای نوارهای سرد اجرا بر پایه لاستیک مصنوعی است، استفاده از پرایمرهای بر پایه لاستیک مصنوعی به همراه نوارهای پلاستیکی مخصوص آن در نواحی اتصالات، ترمیمی و روی سطح لوله مجاز می‌باشد [۱۰ و ۱۱]. نوارهای سرد اجرا بر پایه لاستیک مصنوعی، از دو لایه تشکیل شده‌اند؛ لایه بیرونی از جنس پلی اتیلن بوده و وظیفه محافظت از پوشش در برابر صدمات مکانیکی را دارد. لایه داخلی نوار یک لایه الاستومری از جنس لاستیک مصنوعی (معمولاً بوتیل رابر)

جهت انجام تست‌های امیدانس و کراس کات، قطعاتی از جنس فولاد کم کربن (ST-37) در ابعاد $8 \times 0.2 \text{ cm}^3$ با استفاده از کاغذ سمباده از شماره ۱۲۰ تا ۸۰۰ سمباده زنی شدند. قبل از اعمال پرایمر نیز سطح قطعات با استون شستشو داده شد و در نهایت با جریان هوا خشک گردید. سپس پوشش‌ها توسط فیلم کش بر روی پلیت‌های فولادی اعمال گردید. جهت خشک شدن و پخت پوشش، نمونه‌ها در محیط عاری از گرد و غبار قرار داده شدند. پس از خشک شدن پوشش‌ها با استفاده از ضخامت‌سنج ضخامت نهایی فیلم خشک اندازه‌گیری شد که ضخامت $50 \pm 5 \mu\text{m}$ به دست آمد.

جهت آماده سازی سطح لوله‌ها برای آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان، سطح لوله‌هایی که بدون پوشش بودند؛ با استفاده از برس سیمی تمیز کاری شد و برای اطمینان از جدا شدن کامل چربی و زنگ زدگی، سطح لوله با استفاده از سمباده نرم سمباده زده شد و در نهایت سطوح با استون شستشو داده شد و در مجاورت جریان هوا خشک گردید. لازم به ذکر است که این لوله‌ها از قبل سند بلاست شده بودند و موارد گفته شده صرفاً جهت تمیز کاری سطح لوله انجام شد. بعد از آماده سازی لوله‌ها با استفاده از قلم مو، پرایمر لاستیک مصنوعی را در حالت‌های بدون رنگدانه و حاوی رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی (۱۰ و ۵۰ درصد وزنی) بر روی لوله‌ها (لوله‌های همراه با پوشش کولتار و لوله‌های بدون پوشش) اعمال شد و سپس نوار سرد اجرای دستی بر روی پرایمر، نوار پیچی گردید.

مختلف از رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی به فرمولاسیون پرایمر افزوده شد و درصد بهینه به لحاظ مقاومت به خوردگی با استفاده از آزمون امیدانس الکتروشیمیایی استخراج گردید. سپس جهت بررسی چسبندگی پرایمر به سطح فولاد و نوار لاستیکی به ترتیب آزمون‌های چسبندگی به روش‌های کراس کات و وزنه‌های آویزان انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد اولیه

پرایمر لاستیک مصنوعی (بوتیل رابر) با نام تجاری NSP-27 و نوارهای مخصوص آن با نام تجاری NST-1000 هر دو از شرکت نیا شیمی تهیه گردید. حلال تولوئن به عنوان رقیق کننده از محصولات پتروشیمی اصفهان تهیه گردید. لوله‌های فولادی با طول حدود نیم متر و قطر هشت اینچ از خط لوله انتقال گاز اهواز – آبادان تهیه شد. تعدادی از این لوله‌ها حاوی پوشش کولتار و تعداد دیگری از لوله‌ها نیز بدون پوشش بودند. رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی (بیش از ۸۵٪ ذرات آن‌ها دارای اندازه ذرات کوچک‌تر از $44 \mu\text{m}$) از شرکت معادن سرمک تهیه گردید.

آماده سازی نمونه‌ها

شش فرمولاسیون با نسبت‌های مختلف وزنی از رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی مطابق با جدول ۱ ساخته شد. اختلاط کامل اجزاء پرایمر توسط همزن مکانیکی با دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۹۰ دقیقه صورت گرفت.

جدول ۱- درصد وزنی رنگدانه‌ها در فرمولاسیون‌های مختلف

درصد وزنی (% wt.) اکسید آهن میکایی	پرایمر بیوتل رابر
۰	Pure primer
۵	BRP 5
۱۰	BRP 10
۱۵	BRP 15
۳۰	BRP 30
۵۰	BRP 50

آزمون‌های آزمایشگاهی

جهت بررسی چگونگی توزیع و حضور رنگدانه‌های اکسید آهن میکابی از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA\TESCAN با بزرگنمایی ۵۰۰ برابر استفاده شد. باید توجه کرد که در رنگدانه‌های لایه‌ای، نوع جهت گیری لایه‌ها، نقش مهمی در عملکرد ضد خوردگی این رنگدانه‌ها دارد.

آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در یک سیستم سه الکترودی شامل الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره اشباع، الکتروود کمکی از جنس پلاتین و الکتروود کار (نمونه پلیت‌های فولادی) تشکیل می‌شود. از محلول 3.5 wt.% NaCl به عنوان الکتروولیت استفاده شد. این آزمون با استفاده از دستگاه Auto lab PGSTAT303N و نرم افزار تحلیل گر پاسخ فرکانس FRA2 حول پتانسیل آزاد خوردگی با دامنه ۱۰ mV و در محدوده فرکانس بین ۱۰۰ kHz تا ۱۰ mHz انجام شد.

به منظور بررسی چسبندگی پرایمر به سطح فولاد، آزمون چسبندگی فیلم خشک به روش کراس کات مطابق با استاندارد ASTM D3359 انجام گردید [۲۱]. در این آزمون با استفاده از یک تیغه فلزی، ابتدا شش خراش موازی روی پوشش به‌گونه‌ای ایجاد می‌شوند که این خراش‌ها به سطح فلز برسند، سپس در جهت عمود بر آن‌ها نیز این خراش‌ها در همان محل ایجاد می‌گردند. سپس نوار چسب مخصوص آزمون را روی چهارخانه‌های ایجاد شده چسبانیده و با مالش آرام انگشت دست بر روی آن، حباب‌های زیر نوار چسب به‌طور کامل از هوا خالی گردیده تا نوار چسب روی پوشش کاملاً بخواهد و سپس نوار چسب را با یک حرکت ناگهانی و سریع در خلاف جهت چسبانیدن چسب کشیده تا از روی سطح جدا شود. چسبندگی پوشش‌ها بر اساس میزان کنده شدن آن‌ها و با توجه به جدولی که در استاندارد مذکور آمده است رتبه بندی می‌شوند. نتایج آزمون از رتبه 0B تا 5B می‌باشند که رتبه 0B مربوط به نمونه‌ای است که بیش از ۶۵ درصد از پوشش آن پس از انجام آزمون کنده شده و رتبه 5B مربوط به نمونه‌ای است که پوشش آن اصلاً کنده نشده است [۲۲].

جهت بررسی چسبندگی پرایمر به نوار پلاستیکی، آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان با توجه به استاندارد CAN/CSA Z245.21-10 انجام شد [۲۳]. مطابق با استاندارد باید عرض ۲۵ میلی متر از نوار برش داده شود و از زاویه ۹۰ تا ۱۳۵ درجه با دست کنده شود. سپس وزنه ۲ کیلو گرمی به انتهای آزاد نوار آویزان می‌شود. با توجه به قطر لوله و مطابق با استاندارد در صورتی که زمان آزمایش از ۸ دقیقه بیشتر شود، آزمایش را متوقف کرده و میزان کنده شدن نوار تا محل زاویه ۱۸۰ درجه در مدت زمان ۸ دقیقه بررسی می‌گردد. همچنین اگر نوار قبل از زمان ۸ دقیقه از زاویه ۱۳۵ به ۱۸۰ درجه برسد، آزمایش می‌بایست متوقف شود. طول نوار از محل زاویه ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه حدوداً به میزان ۱۶ سانتی متر می‌باشد.

نتایج و بحث

مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع عرضی نمونه حاوی ۱۰ و ۵۰ درصد وزنی رنگدانه MIO در شکل ۱ نشان داده شده است. نقاط تیره در شکل، رزین لاستیک مصنوعی را نشان می‌دهد و نقاط روشن نمایانگر ذرات اکسید آهن میکابی است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، طول ذرات رنگدانه در حدود ۴۰ تا ۵۰ میکرومتر و ضخامت آن‌ها حدوداً ۲ تا ۳ میکرومتر می‌باشد. نحوه توزیع و نوع جهت گیری رنگدانه‌ها عامل مهمی در عملکرد ضد خوردگی پوشش است. همان‌گونه که در تصویر SEM از مقطع عرضی نمونه BRP 10 مشخص است، رنگدانه‌ها به‌صورت موازی با سطح درون ساختار پوشش قرار گرفته‌اند که حاکی از جهت گیری مناسب این رنگدانه‌هاست. این نوع جهت گیری از رنگدانه‌های لایه‌ای MIO می‌تواند باعث ایجاد سدی در برابر نفوذ عوامل خوردنده به درون ساختار پوشش شود. از طرفی افزودن بیش از حد رنگدانه‌ها همان‌گونه که در نمونه BRP 50 مشاهده می‌شود، موجب کاهش میزان ترکندگی رزین شده و باعث ایجاد هوای به دام افتاده درون پوشش می‌شود. که این خلل و فرج ایجاد شده، باعث ایجاد نقاط موضعی جهت نفوذ راحت‌تر عوامل

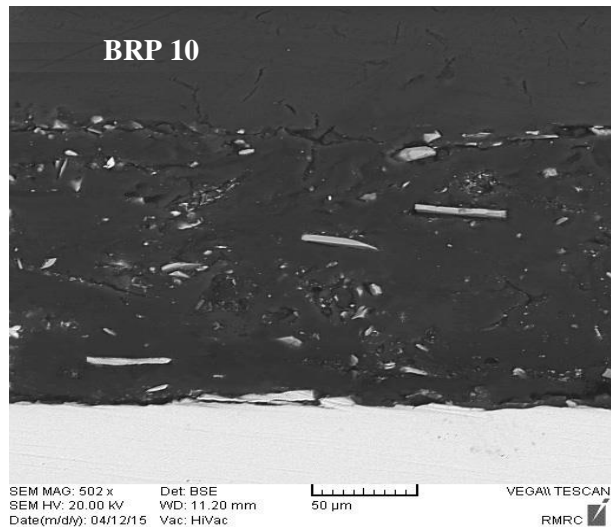
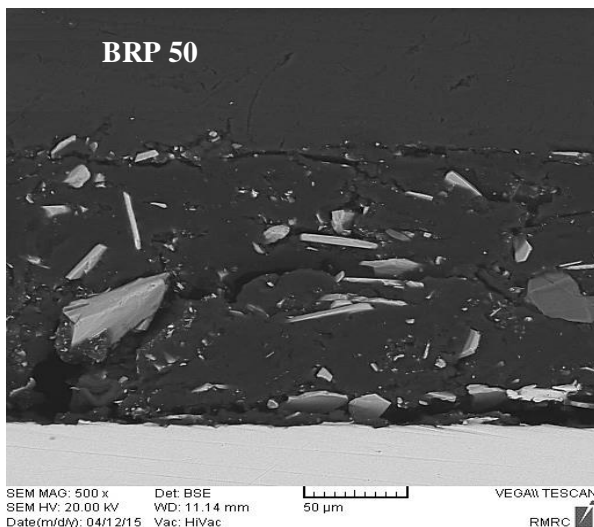
می‌آیند. R_s نیز مقاومت الکترولیت (محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم) می‌باشد. جدول ۲ مقادیر پارامترهای به دست آمده از نمودارهای نایکوئیست شکل‌های ۳ تا ۵ را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در نمودارهای نایکوئیست دیده می‌شود با گذشت زمان، حلقه‌های خازنی کوچک‌تر شده که نشان دهنده نفوذ تدریجی محلول خورنده به درون پوشش‌ها می‌باشد. از طرفی پس از گذشت ۱۲۰ روز از غوطه‌وری پوشش‌ها، همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است، نمونه عاری از رنگدانه بیش‌ترین افت مقاومت داشته که نشان دهنده نفوذ راحت‌تر موکلول‌های آب و یون‌های مهاجم به درون پوشش می‌باشد. از طرفی نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی از رنگدانه MIO بزرگ‌ترین حلقه خازنی و بیش‌ترین مقاومت به خوردگی را دارد. افزایش مقاومت به خوردگی نمونه‌های BRP 5، BRP 10 و BRP 15 نشان می‌دهد که حضور رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی با نسبت‌های وزنی ۵، ۱۰ و ۱۵ درون ساختار پرایمر لاستیک مصنوعی باعث ایجاد یک لایه ممانعت‌کننده در برابر نفوذ عوامل خورنده به درون پوشش شده و مقاومت به خوردگی پوشش را بهبود می‌بخشد.

خورنده به درون پوشش و رسیدن یون‌های مهاجم به سطح فلز می‌شوند.

امپدانس الکتروشیمیایی

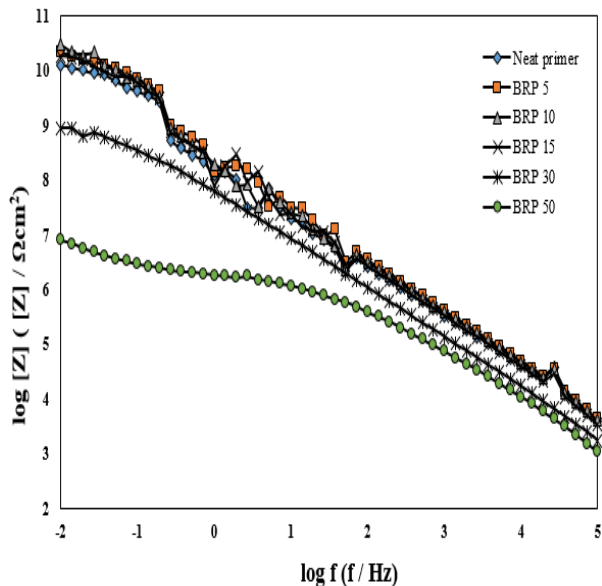
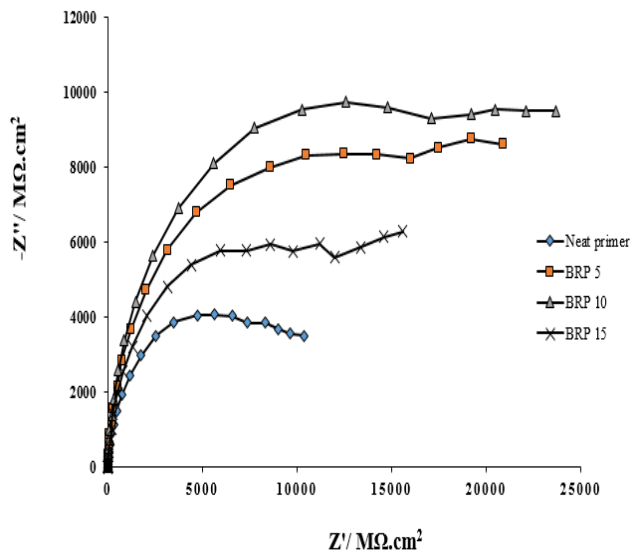
آزمون امپدانس الکتروشیمیایی برای نمونه‌های مختلف از پرایمرها در روزهای ۴۵، ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ گرفته شد. شکل ۲ نمودار باد مربوط به تمامی پرایمرها پس از گذشت ۴۵ روز غوطه‌وری را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که پس از گذشت ۴۵ روز، نمونه‌های حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی از رنگدانه، افت مقاومت شدیدی نسبت به سایر نمونه‌ها داشته و به دلیل کم‌تر بودن مقاومت این نمونه‌ها نسبت به نمونه عاری از رنگدانه، نمونه‌های BRP 30 و BRP 50 کنار گذاشته شدند و تحلیل طیف‌های امپدانس و محاسبه مقاومت پوشش‌ها برای سایر نمونه‌ها با گذشت زمان انجام گردید. شکل‌های ۳ تا ۵ نمودارهای نایکوئیست مربوط به نمونه‌ها در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهند. با توجه به تک حلقه‌ای بودن نمودارهای نایکوئیست نمونه‌های مذکور، از مدار معادل ساده شکل ۶ جهت تحلیل طیف‌های امپدانس استفاده شد. در مدارهای معادل استفاده شده RC مقاومت پوشش و Cc ظرفیت خازنی پوشش است که از نمودار نایکوئیست به دست



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع عرضی نمونه‌ها

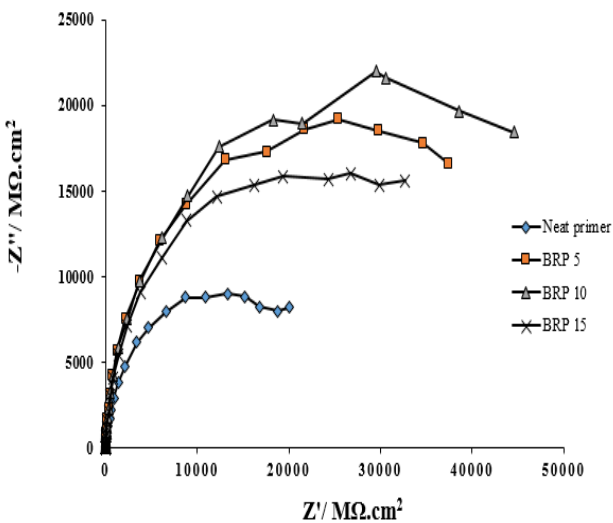
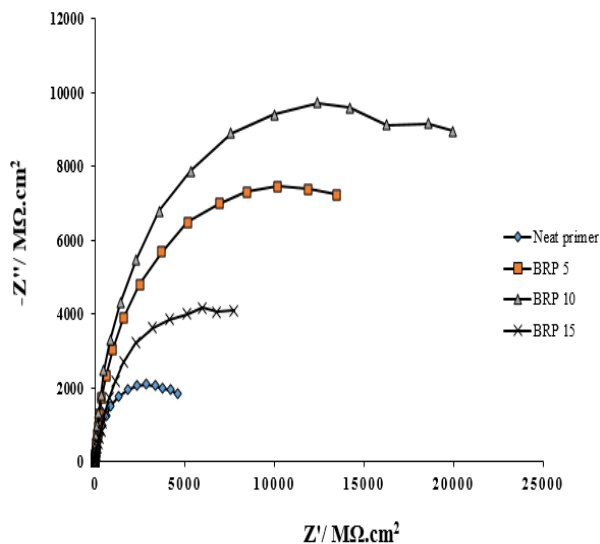
محلول الکترولیت، حدوداً ۴ برابر نمونه عاری از رنگدانه می‌باشد.

مطابق با نتایج بدست آمده از جدول ۲، میزان مقاومت به خوردگی نمونه BRP 10 پس از گذشت ۱۷۰ روز در



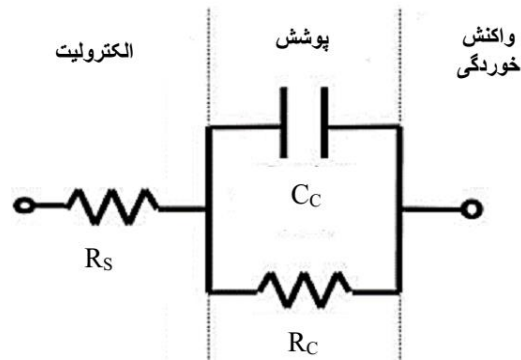
شکل ۲- نمودار باد مربوط به تمامی پوشش‌های بعد از ۴۵ روز غوطه وری در الکترولیت

شکل ۴-نمودار نایکوئیست پوشش‌ها بعد از ۱۲۰ روز غوطه وری در الکترولیت



شکل ۳- نمودار نایکوئیست پوشش‌ها بعد از ۷۰ روز غوطه وری در الکترولیت

شکل ۵-نمودار نایکوئیست پوشش‌ها بعد از ۱۷۰ روز غوطه وری در الکترولیت



شکل ۶- مدار معادل پوشش‌های حاوی ۵، ۱۰، ۱۵ درصد وزنی رنگدانه و نمونه عاری از رنگدانه

جدول ۲- مقادیر پارامترهای به دست آمده از نمودارهای نایکوئیست

نمونه	زمان	۷۰ روز	۱۲۰ روز	۱۷۰ روز
		$R_c / \Omega \cdot \text{cm}^2$	2.18×10^9	1.07×10^9
$Q_c / \Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^{-2}$	1.11×10^{-9}	1.17×10^{-9}	1.28×10^{-9}	
n	0.9	0.9	0.9	
BRP 5	$R_c / \Omega \cdot \text{cm}^2$	4.26×10^9	2.1×10^9	1.84×10^9
	$Q_c / \Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^{-2}$	7.95×10^{-10}	8.54×10^{-10}	1.05×10^{-10}
	n	0.94	0.93	0.93
BRP 10	$R_c / \Omega \cdot \text{cm}^2$	4.8×10^9	2.4×10^9	2.37×10^9
	$Q_c / \Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^{-2}$	7.8×10^{-10}	7.16×10^{-10}	7.42×10^{-10}
	n	0.94	0.94	0.94
BRP 15	$R_c / \Omega \cdot \text{cm}^2$	3.72×10^9	2.2×10^9	2.13×10^9
	$Q_c / \Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^{-2}$	8.26×10^{-10}	1.33×10^{-9}	1.19×10^{-9}
	n	0.93	0.91	0.91

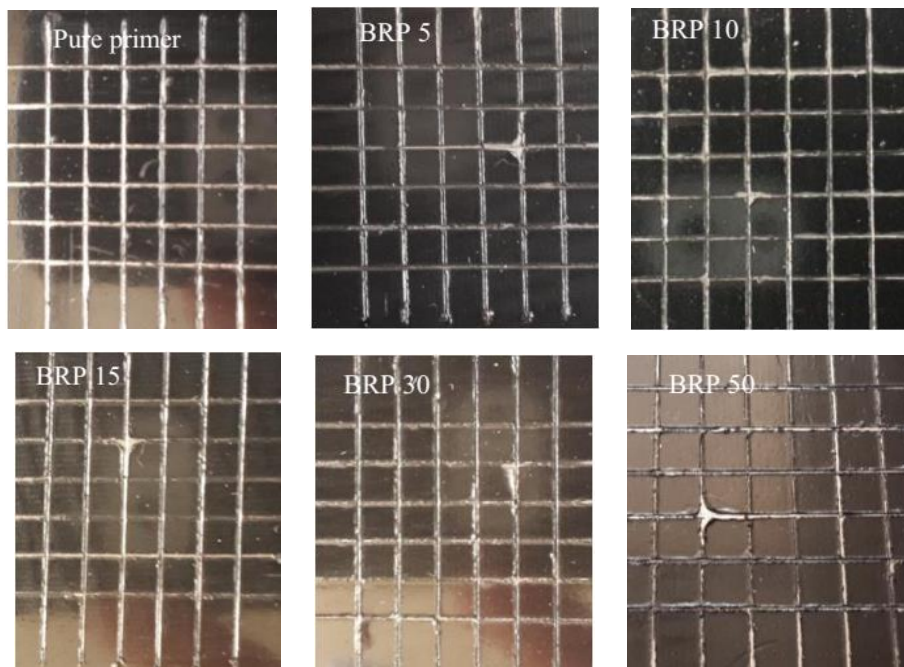
آزمون چسبندگی به روش کراس کات

نیز در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که از تصاویر مشخص است، پس از انجام این آزمون تمامی پوشش‌ها به صورت یک دست به سطح فلز چسبیده و اصلاً جدا نشدند که نشان دهنده چسبندگی مناسب همه نمونه‌ها به سطح فولاد می‌باشد.

این آزمون جهت بررسی چسبندگی پرایمرها به سطح فولاد و مطابق با استاندارد ASTM D3359 انجام شد. نمونه‌های مختلف از پوشش‌ها بر روی پلیت‌های فولادی اعمال گردید که تصاویر پوشش‌ها بعد از انجام این آزمون در شکل ۷ آمده است. همچنین نتایج مربوط به این آزمون

جدول ۳- نتایج آزمون چسبندگی به روش کراس کات

BRP 50	BRP 30	BRP 15	BRP 10	BRP 5	Pure primer	نمونه
5B	5B	5B	5B	5B	5B	گرید



شکل ۷- تصاویر مربوط به پوشش‌ها بعد از انجام تست چسبندگی به روش کراس کات

آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان

به منظور بررسی چسبندگی پرایمر به نوار لاستیکی و سطح لوله در ابعاد واقعی این آزمون انجام شد. در جداول ۴ و ۵ نتایج چسبندگی پرایمر به نوار برای پرایمرهای حاوی ۱۰ و ۵۰ درصد وزنی رنگدانه و نمونه بدون رنگدانه که در دو ناحیه شامل سطح فلز لوله و پوشش کولتار اعمال شده بود، آورده شده است. لوله‌های پوشش داده شده به مدت ۲ ماه در دمای اتاق نگهداری شد و سپس آزمون چسبندگی مطابق با استاندارد و در دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد انجام گردید.

معیار پذیرش این آزمون در استاندارد CAN/CSA Z245.21-10 نرخ کنده شدن پوشش ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه برای نوارهای پلی اتیلنی می‌باشد. که نتایج این آزمون

حاکمی از چسبندگی بهتر نوار لاستیک مصنوعی به نمونه BRP 10 نسبت به بدون رنگدانه و نمونه BRP 50 در هر دو ناحیه پوشش کولتار و سطح فلز لوله بود. بر روی سطح فلز لوله و برای پرایمر حاوی ۱۰ درصد وزنی از رنگدانه‌های اکسید آهن میکابی مشخص شد که سرعت کنده شدن نوار نصف سرعت کنده شدن نوار در حالت استفاده از پرایمر بدون رنگدانه است. در ضمن چسبندگی نمونه BRP 10 در ناحیه پوشش کولتار نیز بهبود قابل توجهی داشت. از طرفی در این آزمون چسبندگی نمونه BRP 50 حتی ضعیف‌تر از پرایمر بدون رنگدانه بود که نشان می‌دهد، افزودن بیش از حد رنگدانه، موجب کاهش شدید چسبندگی در کل سیستم پرایمر و نوار لاستیکی می‌گردد. در کل هم چسبندگی هر سه نوع پرایمر بر روی سطح فلز لوله بهتر از چسبندگی آن‌ها بر روی پوشش کولتار بود.

جدول ۴- نتایج آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان بر روی پوشش کولتار

سرعت کنده شدن (میلی متر بر دقیقه)	میزان کنده شدن (سانتی متر)	زمان (دقیقه)	وزنه (کیلوگرم)	اعمال پرایمر بر روی پوشش کولتار
۱۵	۱۲	۸	۲	Pure primer
۹/۳۷	۷/۵	۸	۲	BRP 10
۲۶/۶۶	۱۶	۶	۲	BRP 50

جدول ۵- نتایج آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان بر روی سطح لوله فولادی

سرعت کنده شدن (میلی متر بر دقیقه)	میزان کنده شدن (سانتی متر)	زمان (دقیقه)	وزنه (کیلوگرم)	اعمال پرایمر بر روی سطح لوله
۸/۷۵	۷	۸	۲	Pure primer
۴/۳۷	۳/۵	۸	۲	BRP 10
۱۴/۳۷	۱۱/۵	۸	۲	BRP 50

نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمون‌های الکتروشیمیایی و چسبندگی بر روی نمونه‌ها به شرح ریز است:

حضور رنگدانه‌های اکسید آهن میکایی در نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی، باعث ایجاد یک لایه ممانعت کننده در برابر نفوذ یون‌های مهاجم شده و مقاومت به خوردگی این پوشش‌ها را افزایش داد. با توجه به نمودارهای نایکوئیست، نمونه BRP 10 بیش‌ترین مقاومت به خوردگی را بعد از گذشت ۱۷۰ روز غوطه‌وری داشت. در حالی که حضور بیش از حد این رنگدانه‌ها همان‌گونه که در نمونه‌های حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی دیده شد، موجب نفوذ راحت‌تر عوامل خوردنده به درون پوشش و کاهش مقاومت به خوردگی پوشش گردید.

تصاویر SEM از مقطع عرضی برش داده شده نشان می‌دهد که رنگدانه‌ها در نسبت‌های وزنی پایین (۱۰٪) به صورت موازی با سطح قرار گرفته و با ایجاد لایه‌های سد کننده از نفوذ یون‌های مهاجم ممانعت می‌کنند. از طرفی با افزایش رنگدانه‌ها در نسبت‌های وزنی بالاتر (۵۰٪)

جهت‌گیری رنگدانه‌ها نامنظم شده و باعث ایجاد مسیرهای جدید برای نفوذ عوامل خوردنده می‌گردد.

در آزمون چسبندگی به روش کراس کات، با افزودن رنگدانه‌ها درون ساختار پوشش، میزان چسبندگی پوشش به سطح پلتهای فولادی تغییری نداشت و تمامی نمونه‌ها چسبندگی قابل قبولی به سطح فولاد داشتند.

نتایج آزمون چسبندگی به روش وزنه‌های آویزان که در ابعاد واقعی از نمونه بهینه به لحاظ خوردگی (BRP 10)، نمونه حاوی ۵۰ درصد وزنی رنگدانه (BRP 50) و نمونه بدون رنگدانه گرفته شد، نشان داد که چسبندگی سیستم پوشش نوار لاستیکی به همراه پرایمر مربوط به نمونه BRP 10 بهتر از چسبندگی سیستم پوشش نوار لاستیکی و پرایمر نمونه بدون رنگدانه و نمونه BRP 50 بود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از شرکت گاز استان خوزستان به دلیل حمایت و پشتیبانی از این پژوهش تشکر کنند.

References:

- 1- M. Kutz, Handbook of environmental degradation of materials: William Andrew, Norwich, 2005.
- 2- M. Romano, M. Dabiri, A. Kehr, "The Ins and Outs of Pipeline Coatings: Coatings Used to Protect Oil and Gas Pipelines." J. Prot. Coat. Linings, 22 (7) 40-47, 2005.
- 3- M. Wilmott, J. Highams, R. Ross and Kopystinski, Coating and Thermal Insulation of Subsea or Buried Pipelines, Journal of protective coatings & linings (JPCL), vol. 17, no. 11, pp. 47-54, 2000.
- 4- B. Khanna, AS, High-Performance Organic Coatings. Elsevier, Amsterdam 2008.
- 5- L. Shreir, Corrosion. Corrosion control, Volume 2, Michigan: Butterworth-Heinemann, 1994.
- 6- M. Dabiri, "The Ins and Outs of Pipeline Coatings: Coatings Used to Protect Oil and Gas Pipelines," Journal of Protective Coatings and Linings (JPCL), vol. 22, no. 7, 2005.
- 7- Association, AWWA C209, Standard for Cold-Applied Tape Coatings for the Exterior of Special Sections, Connections and Fittings for Steel Water Pipelines, 1996.
- 8- C. R. Reeves, "Pipeline rehabilitation using field applied tape systems," Corrosion NACE, vol. 1, no. 615, , pp. 1 -6, 1998.
- 9- A. N. Moosavi, "Advanced in field joint coatings for underground pipelines," Corrosion National association of corrosion engineering, vol. 8, no. 0745, pp. 40-44, 2000.
- 10-IGS-R-TP-024 (Iranian Gas Standard), "Recommended practice for selection of suitable external coatings for underground (buried) gas pipeline", 2009.
- 11- IPS-M-TP-322 (Iranian Petroleum Standard), "Material standard for primer to be used hand-applied laminated tape suitable for cold applied tape coating system." 1994.
- 12- IPS-M-TP-310 (Iranian Petroleum Standard), "Material standard for cold-applied plastic tape as inner layer tape for tape coating system of buried steel pipes" 1994.
- 13- Zaikin, A, Sofina, SY, Stoyanov, O, "Tape Polymer Materials for Anti-corrosion Insulation of Pipelines." Polym. Sci. Ser. D, 4 (3) 209-220, 2011.
- 14- Thompson, I, Saithala, JR, "Review of Pipeline Coating Systems from an Operator's Perspective." Corros. Eng. Sci. Technol., 51 (2) 118-135, 2015.
- 15- IPS-M-TP-317 (Iranian Petroleum Standard), , "Material standard for hand-applied petrolatum tape and primer," 1996.
- 16- IGS-M-TP-14-4(1) (Iranian Gas Standard), "Hand-Applied Two-Layer P.E. Tape" 2006.
- 17- A. Forsgren, Corrosion Control through Organic Coating, (Corrosion technology), CRC, Taylor & Francis, 2006.
- 18- A. Derek, D. Bayliss, H. Deacon, "Steelwork corrosion control", Published by Spon Press, 2002.
- 19- A. Philip, P.E. Schweitzer, Paint and Coating _ Application and Corrosion Resistance (Corrosion Technology) CRC Press, 2005.
- 20- P. A. Sorensen, S. Kiil, K. Dam-Johansen, C. E. Weinell, Anticorrosive coating- a review, Journal of Coatings Technology and Research Volume 6, issue 2, 135-176, 2009.
- 21- The American Society of Testing and Materials, ASTM D3359, "Standard Test

Methods for Measuring Adhesion by Tape Test”, 2005.

۲۲- ل. فتح یونس و م. آزادبه، "مطالعه تاثیر فعال سازی مکانیکی سطح فولاد ساده کربنی بر خواص حفاظتی پوشش فسفات Zn اعمالی و بهبود چسبندگی رنگ"، مجله مواد نوین، جلد ۴، شماره ۳، بهار ۱۳۹۳.

23- Canadian Standard Association, "CAN/CSA Z245.21 -10, External fusion bond epoxy coating for steel pipe/ External polyethylene coating for pipe", 2010.

