

ارتقای سطح کیفی سامانه‌های رنگ و پوشش در بخش بالادستی نفت و گاز (خشکی و دریا)

محمد قربانی^۱، استاد تمام دانشکده‌ی مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف ■ هاجر مکریمی قرطاول، دکترای دانشکده‌ی مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف ■ سعید صفری و احسان چمبری، کارشناسی ارشد دانشکده‌ی مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف ■ وحید زرغامی، دکترای پژوهشکده‌ی علوم و فناوری نانو دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

از مهمترین بخش‌های استقرار مدیریت خوردگی در تاسیسات نفت و گاز، ارتقای وضعیت کیفی سیستم‌های حفاظت فنی در تاسیسات است. در این پژوهش ارتقای کیفی سیستم‌های رنگ و پوشش، به عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های حفاظت فنی به ویژه در مقابل خوردگی خارجی مدنظر قرار گرفته است. در همین راستا ابتدا سیستم‌های رنگ و پوشش شرکت‌های عملیاتی شرکت ملی نفت ایران و اشکالات موجود در سیستم‌های آنها مطالعه و بررسی شدند. با بررسی منابع گسترده‌ای از کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط و همچنین، سوابق و اشکالات سیستم‌های رنگ و پوششی، تجربیات موفق و ناموفق، اطلاعات آماری سیستم‌های رنگ و پوشش و دستورالعمل‌های از پیش تدوین شده در شرکت‌های عملیاتی نفت در چهار مرحله‌ی انتخاب رنگ و پوشش، آماده‌سازی سطوح، اعمال، بازرسی و پایش گردآوری شدند. کالاهای و روش‌های نوین مطابق با فناوری روز دنیا در بخش بالادستی نفت و گاز در مراحل انتخاب مانند پوشش‌های هوشمند، انواع کامپوزیت‌ها، پوشش‌های خودترمیم‌شونده، پوشش‌های نانو، آب‌گریز، ضد کف، رنگ و پوشش‌های با حلال آبی و... که می‌توانند در انتخاب‌های آبی به عنوان گزینه‌های احتمالی در نظر گرفته شوند و روش‌های نوین آماده‌سازی، معرفی و بررسی شدند و با پوشش‌های فعلی از جمله پوشش‌های سرد و گرم، پوشش داخلی، سطوح خارجی و سطوح مدفون مقایسه شدند.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۱۲/۰۴

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش داور: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

واژگان کلیدی:

بخش بالادستی نفت و گاز، مدیریت خوردگی، سیستم رنگ و پوشش، پوشش‌های نوین.

مقدمه

توقف تجهیزات و هزینه‌های ناشی از خسارات خوردگی از سوی دیگر بایستی در تصمیم‌های کلان مدیریت خوردگی لحاظ شود. در حال حاضر روش‌های پیشگیرانه تبدیل به روش‌های پیش‌اقدام شده است و در این زمینه بایستی تا حد ممکن سیستم‌های رنگ و پوشش را به گونه‌ای طراحی کرد که خرابی را به صفر برساند. بررسی و حل مسائل و مشکلات کلان سیستم‌های رنگ و پوشش در صنعت نفت و گاز و ارائه‌ی راهکارهای اساسی، منطقی و علمی در این خصوص نیازمند رویکردی برنامه‌محور است که در آن مدیریت خوردگی بخشی از یک سیستم مدیریت یکپارچه بوده که در ارتباط با توسعه، اجرا، بازرگری و ارتقای کیفی سیستم‌ها (از جمله سیستم‌های رنگ و پوشش) است.

با توجه به سرمایه‌گذاری کلان در صنعت نفت کشورمان که از حدود صد سال پیش تاکنون انجام شده و گسترش روزافزون تاسیسات و واحدهای عملیاتی اعم از صنایع بالادستی و پایین‌دستی آن، اهمیت کنترل و کاهش هزینه‌های خوردگی و در نهایت لزوم انجام مدیریت خوردگی کاملاً آشکار است.

سامانه‌های رنگ و پوشش یکی از مهمترین عوامل در کنترل خوردگی خارجی و داخلی است، بنابراین بهینه‌سازی و ارتقای سطح کیفی سامانه‌های رنگ و پوشش، می‌تواند به نحو موثری خوردگی را کاهش، عمر تجهیزات را افزایش و هزینه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری آنها و سایر هزینه‌های مربوط به خوردگی را کاهش دهد.

استفاده از سیستم‌های رنگ و پوشش مناسب به منظور پیشگیری از وقوع خوردگی یا به تعویق انداختن آن با در نظر گرفتن هزینه‌های مالی ناشی از اجرا و ارتقای این سیستم‌ها از یک‌سو (تعمیر یا

۲- تاریخچه‌ی استفاده از سامانه‌های رنگ و پوشش

سیستم‌های رنگ و پوشش از اواخر سده‌ی ۱۸۰۰ تا به امروز برای

* نویسنده‌ی عهد در مکاتبات (ghorbani@sharif.edu)

سیستم‌های رنگ و پوشش به همراه سوابق اشکالات موجود در مناطق مشخص شده از سوی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران، توسط گروه خوردگی صنعتی شریف تهیه و به شرکت‌های تابعه‌ی نفت و گاز جهت تکمیل ارائه شد.

آیتم‌های کلیدی شامل بیش از چهل مورد از جمله نوع و محل تجهیز، جنس زیرآبند، سال پوشش‌دهی، تعداد و نوع لایه‌ها، ضخامت هر یک از لایه‌ها، شرکت سازنده‌ی رنگ، پیمانکار اجرایی، روش آماده‌سازی و اعمال، آخرین زمان بازرسی، اشکالات مشاهده شده، تعمیرات انجام شده، راهکارها و بازخوردهای حاصل و... بودند.

در شکل ۱ مقایسه‌ی فراوانی انواع سیستم‌های رنگ و پوشش مورد استفاده در شرکت‌های مورد پژوهش به لحاظ آماری ارائه شده است. بر این اساس، عمده‌ی مصرف سیستم‌های رنگ و پوشش به ویژه برای سطوح خارجی به کار رفته در خشکی بر پایه‌ی پوشش‌های اپوکسی است. پوشش‌های بر پایه‌ی اپوکسی دارای تنوع و فراوانی بسیاری است که هر یک از شرکت‌ها بر پایه‌ی استانداردهای داخلی (IPS) و بین‌المللی (به ویژه استانداردهای SSPC) اقدام به انتخاب سیستم رنگی، آماده‌سازی زیرلایه‌ی فلزی و اعمال سیستم رنگی یا پوششی کرده‌اند. شکل ۲ فراوانی روش‌های اعمال پوشش را نشان می‌دهد.

شکل ۳ فراوانی عمر رنگ و پوشش‌های استفاده شده در شرکت‌های مورد پژوهش را نشان می‌دهد. (بر حسب زمان اعمال) به طور کلی، انتظار می‌رود سامانه‌های رنگ و پوشش در مناطقی که شرایط آب‌وهوایی خورنده‌ای ندارند، دوام مناسبی داشته باشند. (حدود ۲۰ سال) با این حال، شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب و وجود املاح به ویژه نمک در این محیط‌ها شرایط بسیار خورنده‌ای را در مناطق جنوبی در نزدیکی خط ساحلی و به خصوص فراساحلی ایجاد می‌کند که لزوم کنترل خوردگی و بازرسی‌های مکرر و پیشگیرانه را برای تخریب‌های خوردگی بیش از پیش ضروری می‌سازد.

در این مناطق عمر برخی از پوشش‌ها در صورتی که به درستی انتخاب نشده یا آماده‌سازی مناسب نباشد به کمتر از ۵ سال می‌تواند برسد.

حفاظت از خوردگی سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ابتدا از پوشش‌های نفتی، سرب، قطران زغال‌سنگ و انواع مختلف مواد دیگر استفاده شده است. در سده‌ی ۱۹۰۰ پوشش‌های پلیمری، روکش‌های آسفالت، نوارهای مومی و پلیمری نیز به کار گرفته شدند. در اواسط دهه‌ی ۵۰، پلی‌اتیلن اکستروود شده (دو لایه) به عنوان پوشش تالیسات نفت و گاز و در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰، پوشش‌های اپوکسی باند جوشی (FBE) معرفی شدند. از دهه‌ی ۱۹۸۰، پوشش سه لایه‌ی اکستروود شده در اروپا و ژاپن مورد استفاده قرار گرفت.

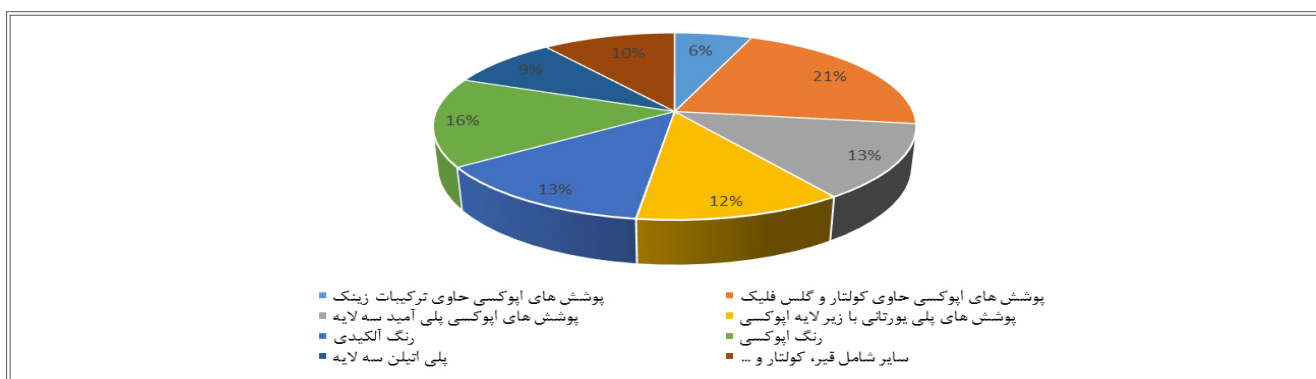
این پوشش‌ها شامل یک لایه‌ی داخلی FBE و یک لایه چسب است که به دنبال آن یک لایه پلی‌الفین بیرونی (پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن) ایجاد می‌شود. در دهه‌ی ۱۹۹۰ پوشش‌های کامپوزیتی معرفی شدند که در آن چسب با یک لایه‌ی درجه‌بندی شده‌ی FBE و پلی‌اتیلن اصلاح شده جایگزین شد. [۱]

روکش‌های منقبض‌شونده‌ی حرارتی (HSS) در قرن ۲۱ مطرح شدند که اغلب در محل‌های جوش و اتصال مورد استفاده قرار گرفتند. این پوشش‌ها، لوله‌ها یا نوارهای پلیمری هستند که پس از اعمال حرارت به مقدار لازم در محور قطری جمع می‌شوند. همچنین، پوشش‌های مقاوم به حرارت (بیش از ۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) و فشار بالا و پوشش‌های با خواص مکانیکی بهبود یافته مانند استفاده از الیاف شیشه و یا فیبرهای کربنی به همراه گرانول‌های اپوکسی در پوشش جهت ایجاد مقاومت به سایش در لوله‌های مدفون در زمین‌های صخره‌ای توسعه یافتند.

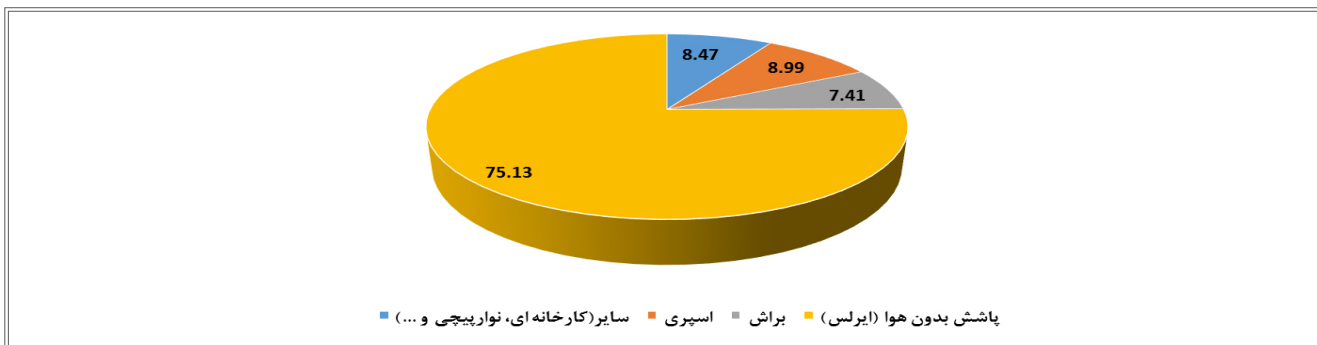
در سال‌های اخیر برخی از پوشش‌های جدید، قابلیت کاربرد در حوزه‌ی نفت و گاز پیدا کرده‌اند که شامل پوشش‌های هوشمند خودترمیم‌شونده، پوشش‌های آب‌گریز، پوشش‌های ضد کف (Anti-Foam) و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی‌های ناشی از میکروباها می‌باشد. [۲]

۳- نتایج پژوهش

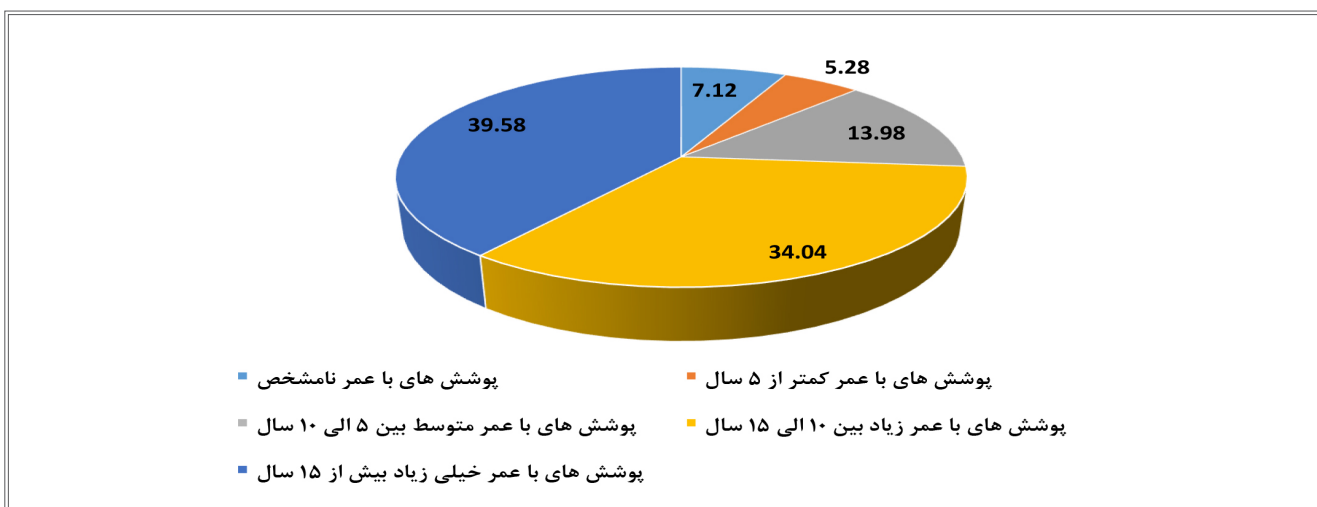
در پژوهش انجام شده، چک‌لیست‌هایی از آیتم‌های کلیدی مربوط به



شکل ۱ | فراوانی انواع رنگ و پوشش‌های مورد استفاده در شرکت‌های مورد پژوهش



شکل ۲ | فراوانی روش های اعمال پوشش



شکل ۳ | فراوانی عمر رنگ و پوشش های استفاده شده در شرکت های مورد پژوهش

۴- چالش های سیستم های رنگ و پوشش های مورد استفاده و راهکارهای پیشنهادی اولیه

سیستم های رنگ و پوشش مورد استفاده در خشکی را می توان به سه مجموعه اصلی سیستم های رنگ و پوشش مورد استفاده در تاسیسات روزمینی (در معرض اتمسفر)، تاسیسات زیرزمینی (مدفون) و سطوح داخلی تاسیسات (مانند پوشش داخلی مخازن و لوله ها) تقسیم بندی کرد. منظور از تاسیسات فراساحل، تاسیساتی هستند که در دریا و به دور از خشکی قرار دارند. این تاسیسات را می توان به سه دسته تقسیم کرد: تاسیسات روی آب (مانند بخش بیرونی سکوها) و تاسیسات مغروق که داخل عمق زیادی از آب دریا قرار دارند. دسته سوم می توان در این تقسیم بندی اضافه کرد که مربوط به تاسیسات در معرض پاشش آب دریا می باشد که اگرچه مغروق نیستند ولی به دلیل قرار گرفتن در خط جزر و مد هم در معرض اتمسفر هوا و هم در معرض پاشش آب دریا قرار دارند، به طوری که خورنده ترین شرایط را برای این نواحی ایجاد می کند. به طور کلی، دلایل ناکارآمدی سیستم های رنگ و پوشش قبل

از عمر پیش بینی شده را می توان به این صورت طبقه بندی کرد:

- انتخاب نادرست سیستم رنگ و پوششی منطبق با شرایط کاری تجهیز
- کیفیت نامناسب رنگ و پوشش انتخابی تهیه شده از یک شرکت سازنده ی رنگ و پوشش
- آماده سازی ضعیف سطح (تمیزکاری ناکافی، زبری نامناسب و...)
- اجرای نامناسب (تجهیزات نامناسب، ضعف اختلاط، پاشش کم یا زیاد، اعمال ضخامت های کمتر یا بیشتر و...)
- عدم توجه به شرایط محیطی (و عملیاتی) در زمان انتخاب یا اجرای رنگ و پوشش
- عدم پایش و نگهداری مناسب (مربوط به کارفرما)

ممکن است دلایل دیگری نیز توسط بازرسی و مجموعه حفاظت فنی مطرح شود که عمده ی این دلایل را می توان در زیرمجموعه ی اشکال اصلی مطرح شده در بالا گنجانده. به عنوان مثال، از دیگر دلایل مطرح شده می توان به مواردی مانند فرمولاسیون نامناسب رنگ یا پوشش (۲)، عدم انطباق رنگ و پوشش با کاربرد مورد نظر (۱)، تفاوت شرایط محیطی از

مبحث اجرای رنگ و پوشش، یکی از معضلات اساسی پروژه‌های اجرای رنگ در ایران فاصله‌ی طولانی بین زمان تولید رنگ و زمان بهره‌برداری و اجرای رنگ است.

غالب کاربران صنعتی به دلیل طولانی بودن روند خرید رنگ ترجیح می‌دهند که مقدار زیادی بیش از میزان مورد نیاز خرید کنند تا به کمبود رنگ دچار نشوند. مقادیر اضافه بر مصرف پروژه‌ها نگهداری و در کاربردهای متعاقب استفاده می‌شوند.

لذا گاهی دوره‌ی انبارداری بسیار طولانی می‌شود و همچنین شرایط انبارداری هم استاندارد نیست و عامل کاهش کیفیت رنگ می‌شود. فاصله‌ی زمانی زیادی بین دوره‌ی خرید و زمان اجرا در غالب رنگ‌های صنعتی وجود دارد. همچنین میزان خرید رنگ‌های صنعتی نسبت به نیاز واقعی همیشه بیشتر است و شیوه‌ی انبارداری و بهره‌برداری رنگ‌ها طی زمان انبارداری اهمیت فراوان دارد.

یکی از عوامل مهم در اجرای درست پروژه‌ی رنگ و پوشش، انتخاب صحیح پیمانکاران است. انتخاب صحیح پیمانکاران زنده و توانمند به تهیه‌ی امکانات مناسب برای اجرای استاندارد عملیات آماده‌سازی و اجرای رنگ، نقش اساسی در طول عمر رنگ دارد. پیمانکار بایستی علاوه بر آگاهی کامل از استانداردهای اجرا، تجهیزات مناسب داشته باشد، همین‌طور اهمیت لازم را به کار و ایمنی کارگران و... بدهد. در برخی از اشکالات مطرح شده، عدم کفایت پیمانکار در بروز اشکالات در سیستم رنگ و پوشش به وضوح آشکار است.

بازرسی رنگ و پوشش‌های صنعتی نقش مهمی در عمر مفید سامانه‌های پوششی دارد. متأسفانه در شرایط خاصی تایید رنگ‌آمیزی ممکن است بدون دقت لازم بازرسان انجام شود که منجر به عوارض زود هنگام می‌گردد. به عنوان مثال، دیده شده است که اجرای رنگ در بخش‌های کم رویت (دور از دسترس)، گاهی انجام نشده است. بنابراین، نقش بازرسی دقیق در هر یک از مراحل چهارگانه در اجرای صحیح پروژه‌ی سیستم رنگ و پوشش اهمیت بحرانی دارد.

و بالاخره، در سطح مدیریتی، لازم است که مدیران و مسئولین صنعت نفت و گاز به موضوع رنگ در کاهش خسارات ناشی از خوردگی، نگرش فنی‌تری داشته باشند و آن را جزو آخرین اولویت‌ها در تاسیسات در نظر نگیرند. در صورتی که اگر خوردگی یکی از مشکلات اساسی تاسیسات صنعتی به ویژه در صنایع بالادستی نفت و گاز در نظر گرفته شود و اهمیت خسارات آن روشن شود، به راه‌های پیشگیری از این پدیده‌ی مخرب توجه بیشتری خواهد شد.

باید در نگاه مدیران، اهمیت رنگ‌های صنعتی و سیستم‌های پوششی به عنوان لایه‌ی محافظت‌کننده مشخص شود تا دستوراتی مانند تعمیرات به موقع صادر شده و با تخصیص بودجه‌ی متناسب و زمان کافی بدون درخواست از مجریان برای تسریع در کار که ممکن است منجر به بروز اشکالاتی در سیستم رنگ و پوششی شود، (مانند آماده‌سازی ناکافی،

آنچه توسط طراح و بازرس پیش‌بینی شده (۵)، شرایط محیطی نامناسب در زمان اجرا (۵)، تخریب فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی و تخریب سیستم پوششی ناخواسته طی دوره‌ی سرویس‌دهی (۶)، چسبندگی نامناسب رنگ (معمولاً دلیل ۳ و گاهی ۴) و خشک نبودن یا پخت نامناسب (۴) اشاره کرد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، دلایل دیگر را نیز می‌توان در این شش مجموعه‌ی اصلی قرار داد. در ادامه به دلایل اصلی و راهکارهای پیشنهادی مربوط به آنها پرداخته می‌شود:

در مبحث شرایط محیطی و عملیاتی، انتخاب صحیح سامانه‌ی پوششی مخصوص کاربردهای صنعتی اهمیت فراوان دارد. لذا اولین علت تخریب زود هنگام رنگ را می‌توان عدم شناخت دقیق از ویژگی‌های محیطی و شرایط عملیاتی تجهیزات دانست. دانش شناخت محیط اتمسفری و یا محیط‌های غوطه‌وری، وجود و شدت یون‌های خورنده مانند یون‌های کلرید و گوگرد در تاسیسات، میزان رطوبت و نهایتاً تعیین درجه‌ی خوردگی محیط‌های در معرض رنگ و پوشش اهمیت فراوانی دارد که بایستی در بررسی‌های اولیه قبل از انتخاب سیستم رنگ و پوشش مناسب مورد بررسی قرار گیرد.

در بحث انتخاب سیستم رنگ و پوشش، عدم شناخت ویژگی‌ها و خواص رنگ‌ها و کاربرد نایجای آنها دیگر علت اصلی تخریب رنگ‌ها است. در صورتی که که بازرسان و مشاوران تولید صنعتی تجهیزات، اطلاع دقیقی از ویژگی‌های رنگ‌های سفارش شده نداشته باشند، انتخاب‌های ناشیانه موجب تخریب زود هنگام رنگ‌ها می‌شود. به عنوان مثال، رنگ اپوکسی در محیط روباز به دلیل ضعف مقاومت اپوکسی در برابر اشعه‌ی ماورابنفش نور خورشید به سرعت گچی شده است. بنابراین، جهت کاهش معضلات رنگ ضروری است که بازرسان و کاربران رنگ‌های صنعتی از ویژگی‌های رنگ‌ها اطلاع کافی پیدا کنند.

در مبحث کیفیت نامناسب رنگ و پوشش، گاهی به دلایل اقتصادی، شرکت سازنده‌ی رنگ استفاده از مواد اولیه‌ی نامرغوب را جایگزین مواد مرغوب و گران می‌کند. البته گاهی دلایل دیگری چون عدم در اختیار داشتن فرمولاسیون مناسب، قدمت تجهیزات تولید، استفاده از مواد اولیه در دوره‌های نگهداری طولانی و... منجر به کاهش کیفیت رنگ تولیدی می‌شود. به طور معمول شرکت سازنده بایستی مسئولیت ضعف کیفی رنگ را به عهده گیرد. اما در غیاب آزمایشگاه معتبر کنترل کیفیت از به عهده گرفتن این مسئولیت سرباز می‌زند.

یکی از مهمترین بخش‌های عملیات رنگ‌آمیزی که گاهی هزینه‌ی بسیاری را به همراه دارد، عملیات آماده‌سازی است. شرایط جوی، مواد و تجهیزات و مهارت فنی بسیاری برای آماده‌سازی مناسب سطح لازم است. بخش زیاد معضلات رنگ‌های صنعتی به ضعف عملیات آماده‌سازی باز می‌گردد.

اجرای رنگ‌آمیزی مهارت ویژه‌ای نیاز دارد و کارکرد تکنسین‌های ناآگاه و یا کم‌تجربه می‌تواند به تخریب و عارضه‌ی فیلم منجر شود. همچنین، در

پوشش‌های نوین بر پایه‌ی پلی‌یورتان

اگرچه پوشش‌های پلی‌یورتان به عنوان پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی محسوب می‌شوند، اما برای افزایش هر چه بیشتر مقاومت در برابر خوردگی این پوشش‌ها می‌توان از نانوذرات مختلف استفاده کرد. این نانوذرات می‌توانند تخلخل‌های موجود در پوشش را کاهش دهند که کاهش میزان تخلخل‌ها منجر به بسته شدن مسیر نفوذ عوامل خوردنده شده و باعث افزایش مقاومت در برابر خوردگی می‌شود. تحقیقات و گزارش‌های مختلفی از بهبود مقاومت در برابر خوردگی و یا مقاومت مکانیکی (سایش، مقاومت به ضربه و...) پوشش پلی‌یورتان با استفاده از نانوذرات از قبیل اکسیدروی، اکسیدتیتانیوم، اکسیدزیرکونیم، سیلیکا، زئولیت و... وجود دارد. [۹و۸]

پوشش‌های نوین آلکیدی

رزین‌های آلکیدی به دلیل قیمت پایین، فرآیند تهیه‌ی نسبتاً آسان، قابلیت انحلال در حلال‌های ارزان قیمت و قابلیت امتزاج خوب با اغلب رزین‌ها به عنوان یکی از رزین‌های پرمصرف در پوشش‌های آلی شناخته می‌شوند. این پوشش‌ها می‌توانند از نفوذ الکترولیت به سطح زیرلایه جلوگیری به عمل آورده و به عنوان یک سد در برابر خوردگی عمل کنند. از پوشش‌های آلکیدی به عنوان یک پوشش محافظ در محیط‌های نیمه‌صنعتی، زیر آب دریا، مرطوب، شرجی و نیز محیط‌های شهری استفاده می‌شود. البته لازم به ذکر است که مقاومت پوشش در معرض محیط خوردنده در طول زمان کاهش می‌یابد. از این رو، می‌توان با استفاده از برخی پیگمنت‌های ضد خوردگی نظیر نانوذرات SiO_2 ، Al_2O_3 ، SiC و... مقاومت پوشش در برابر خوردگی را بهبود بخشید و یا به عبارت دیگر طول عمر پوشش را افزایش داد. به طور کلی، این نانوذرات موجب مسدود شدن مسیرهای نفوذ الکترولیت به زیرلایه شده و از این طریق موجب افزایش مقاومت در برابر خوردگی پوشش می‌شوند. [۱۰]

پوشش‌های نوین پایه آکرلیک

رنگ‌های آکرلیک نوعی رنگ شیمیایی و نوعی پرایمر پلاستیکی است که به طور کلی به دو دسته حلال نفتی و حلال آب تقسیم می‌شوند. در ابتدا از این رنگ‌ها برای کاربردهای ساختمانی و... استفاده می‌شد، اما به تدریج استفاده از این رنگ‌ها در سایر صنایع نظیر صنایع نفت و گاز مورد توجه قرار گرفت، به نحوی که امروزه استفاده از این پوشش‌ها کاربرد فراوانی پیدا کرده است. این پوشش‌ها دارای نواقص و عیب‌هایی نظیر خواص سطحی نسبتاً پایین و مقاومت در برابر خوردگی کم بودند. حضور نانوذرات مانند TiO_2 و SiO_2 از طریق به حداقل رسیدن نفوذ الکترولیت به زیرلایه، موجب افزایش مقاومت در برابر خوردگی پوشش‌های آکرلیک شده و استفاده‌ی بهینه از این ذرات سبب می‌شود خسارت‌های ناشی از خوردگی در این پوشش‌ها به کمترین مقدار ممکن برسد. [۱۱]

حذف لایه‌ها، عدم دقت در اعمال و... ناشی از شتاب در کار) از ایجاد یک سیستم رنگ و پوشش ناکارآمد در آینده‌ی نزدیک جلوگیری گردد.

۱-۴- شناسایی کالاها و روش‌های نوین و پیشرفته‌ی سیستم‌های رنگ و پوشش

اندازه‌ی بازار جهانی رنگ‌ها و پوشش‌های نفت و گاز در سازه‌های دریایی در سال ۲۰۱۶، ۳۷۸ میلیون دلار ارزش گذاری شده و پیش‌بینی می‌شود با رشد ۷/۳ درصد به صورت سالانه، تا سال ۲۰۲۳ به ۶۲۰ میلیون دلار برسد. یک نکته‌ی حائز اهمیت در انتخاب رنگ و پوشش مناسب در صنایع نفت و گاز مسائل اقتصادی است. در صنایع نفت و گاز در حوزه‌ی دریا جذابیت پوشش‌های پلی‌یورتان نسبت به سایر پوشش‌ها در حال افزایش است و انتظار می‌رود در طول سال‌های پیش رو تا سال ۲۰۲۳ از محبوبیت پوشش‌های اپوکسی کاسته شود، اگرچه همچنان سهم زیادی از بازار متعلق به پوشش‌های اپوکسی است. [۴و۳]

پوشش‌های نوین بر پایه‌ی اپوکسی

استفاده از این پوشش‌ها در سازه‌های دریایی به شدت در حال گسترش است، به نحوی که تخمین زده می‌شود بیش از ۶ میلیون متر مربع از سطوح فولادی جهان با پوشش اپوکسی اینتومنست^۱ پوشش‌دهی شده باشد. به علاوه می‌توان با اضافه کردن یک جزء دیگر به این پوشش‌ها خواص مدنظر را در این پوشش‌ها به طرز مطلوبی بهبود بخشید. از رنگدانه‌های ضد خوردگی مختلفی در طول سالیان گذشته به عنوان جزء دوم در پوشش اپوکسی استفاده شده است ولی باید به این نکته اشاره کرد که امروزه از رنگدانه‌های بر پایه‌ی سرب و کرومات بر خلاف گذشته استفاده نمی‌شود، زیرا استفاده از این ترکیبات آثار زیان‌باری بر روی بدن انسان و همچنین محیط‌زیست می‌گذارد. در میان ترکیبات پیشنهادی، استفاده از رنگدانه‌های فسفات‌روی و سیلیکات‌روی بیش از سایر موارد مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه امروزه استفاده از رنگدانه‌ی فسفات‌روی رایج‌تر است. سازوکار عملکرد رنگدانه‌ی فسفات‌روی بدین صورت است که در اثر آبکافت جزئی این ترکیبات، کمپلکسی از یون‌های فسفات و آهن روی سطح شکل می‌گیرد که این ترکیبات نقش یک لایه‌ی محافظ را ایفا کرده و از رسیدن عوامل خوردنده به سطح فلز ممانعت به عمل آورده و از سطح محافظت می‌کند. [۶و۵]

یکی دیگر از پوشش‌های اپوکسی که امروزه برای کاربری محیط‌های بسیار خوردنده مورد توجه قرار گرفته، پوشش اپوکسی نووالاک است که از مقاومت بالایی در مقابل خوردگی برخوردار هستند، اما مقاومت آنها در برابر ضربه و تنش نسبت به سایر پوشش‌ها پایین‌تر است. افزودن نانوذرات کلی و اکسیدگرافن که با نسبت‌های مختلف با هم ترکیب شدند، سبب افزایش چسبندگی پوشش و بهبود جدایش کاندی شد. [۷]

تشکیل داده که منجر به تشکیل شبکه‌ی Si-O-Si می‌شود که این شبکه به صورت یکنواخت سطح را احاطه کرده و منجر به بهبود کیفیت پوشش می‌شود.

به عنوان مثال، استحکام چسبندگی پوشش اعمالی بر روی سطح اصلاح شده توسط گاما-آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان تقریباً دو برابر استحکام چسبندگی و شعاع منطقه‌ی جدایش کاتدی یافته یک دهم پوششی است که بر روی زیرلایه‌ی فاقد آماده‌سازی اعمال شده بود که علت آن اتصال شیمیایی گروه‌های هیدروکسیلی و گروه‌های آمینی گاما-آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان به ترتیب با زیرلایه‌ی فلزی و پوشش پلی اتیلن اعمالی بر روی سطح است.

استفاده از این روش آماده‌سازی می‌تواند استحکام چسبندگی پوشش و مقاومت در برابر جدایش کاتدی را نسبت به پوشش‌ها متداول کنونی افزایش دهد و در نتیجه باعث افزایش طول عمر پوشش شود. [۱۴ و ۱۵]

۲-۴- پیشرفت‌های حاصل در پوشش‌های نو ظهور

تحقیقات علم مواد برای توسعه‌ی نسل جدید پوشش، به منظور کمک به صنعت نفت و گاز در بهبود ایمنی و صرفه‌جویی مالی، در حال انجام است. بخش بالادستی صنایع نفت و گاز به جهت کاهش سرعت خوردگی و محدودسازی جایگزینی تجهیزات پرهزینه، به استفاده از پوشش‌های هوشمند و موثر برای خطوط لوله و سایر سازه‌ها وابسته است.

برای صنعتی که به شدت به سازه‌های فلزی متکی و اغلب در محیط‌های خورنده و با دسترسی سخت قرار می‌گیرد، خوردگی دشمن اصلی است. هر چند که پوشش‌های مدرن مورد استفاده در صنعت نسبت به گذشته بسیار بهتر هستند، اما محدودیت‌هایی نیز دارند. در بحث شناسایی پوشش‌های جدید در صنعت نفت و گاز، تنها این ایده مدنظر نیست که پوشش‌هایی با دوام و ایمنی بیشتر ایجاد شود، بلکه در نهایت باید هزینه‌ی اقتصادی کمتری نیز داشته باشند.

عمر یک پوشش معمولی حدوداً ۱۰ سال است و اگر عمر آن با استفاده از این فناوری‌ها ۵ تا ۱۰ سال دیگر افزایش یابد، صرفه‌جویی مالی گسترده‌ای ایجاد شده که تاثیر بسیار زیادی دارد. در اینجا به برخی از انواع پوشش‌های نو ظهور اشاره می‌شود. [۱۵ و ۱۶]

الف) پوشش‌های خودترمیم‌شونده

اضافه کردن مستقیم هر ماده‌ی بازدارنده‌ای به سیستم پوشش، به دلایلی مانند واکنش آن با مواد پوشش و حلالیت آن در پوشش‌ها منجر به حضور غلظتی کم از ممانعت‌کننده شده و در نتیجه خاصیت ممانعت‌کنندگی، ضعیف می‌شود. یک راه‌حل جدید در توسعه‌ی پوشش‌ها، جلوگیری از هرگونه تعامل میان ممانعت‌کننده و زمینه‌ی پوشش، توسط محصورسازی یا بارگذاری ممانعت‌کننده در نانو کپسول‌ها بوده است.

پوشش‌های روی غیرآلی (Inorganic Zinc)

پوشش‌های سیلیکات روی غیرآلی (IOZ) می‌تواند محافظت طولانی مدت از فولاد، به ویژه در محیط‌های دریایی ارائه دهد. رنگ زینک غیرآلی که از طریق واکنش شیمیایی اندک به بستر می‌چسبند، از مقاومت بسیار خوب در مقابل حلال‌ها برخوردار هستند و به علاوه می‌توانند تا دمایی در حدود ۳۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد مقاومت کنند.

در تحقیقی، حضور گرافن در پوشش روی غیرآلی منجر به بهبود و افزایش نقش حفاظتی روی در پوشش شد، به نحوی که با حضور ۲ درصد وزنی گرافن در پوشش، اتصال الکتریکی بهتری بین زیرلایه‌ی فولادی با ذرات روی موجود در پوشش برقرار شد. در محلول NaCl ۳/۵ درصد عمده محصولات ناشی از خوردگی عبارتند از: $Zn(OH)_2$ ، ZnO ، $Zn_5(OH)_8Cl_2$ و $ZnCO_3$ که حضور گرافن در پوشش منجر به افزایش فاز $Zn_5(OH)_8Cl_2$ و افزایش خواص حفاظتی پوشش می‌شود. به علاوه، ملاحظه شد که گرافن موجود در پوشش در پر کردن تخلخل‌های پوشش نیز نقش داشته و از این طریق نیز منجر به افزایش کیفیت پوشش می‌شوند. استفاده از ذراتی نظیر $ZrSiO_4$ و ZrO_2 نیز می‌تواند کیفیت و خواص این پوشش‌ها به ویژه خواص سایشی را بهبود بخشد. [۱۲]

پوشش‌های نوین بر پایه‌ی باند جوشی اپوکسی FBE

پوشش باند جوشی اپوکسی یا باند اتصال ذوبی (FBE) یک پوشش پودری است که به طور گسترده‌ای برای محافظت از خطوط لوله و طیف گسترده‌ای از محل جوش و اتصال لوله‌ها استفاده می‌شود. به طور کلی پوشش‌های FBE زیرمجموعه‌ی پلیمرهای ترموست هستند.

پوشش FBE اولین بار در دهه‌ی ۱۹۶۰ معرفی شد و از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های چشمگیری را پشت سر گذاشته است. به طور کلی، افزودن نانوذرات مانند ZnO می‌تواند باعث بهبود کیفیت پوشش و افزایش مقاومت پوشش در برابر جدایش کاتدی شود.

همچنین، روش نوین آماده‌سازی سطح با استفاده از عنصر سربوم منجر به افزایش مقاومت پوشش FBE در برابر جدایش کاتدی می‌شود. نتایج حاصل از آزمون Pull-Off نشان می‌دهد که آماده‌سازی زیرلایه با استفاده از سربوم می‌تواند استحکام و چسبندگی پوشش FBE را افزایش دهد. [۱۳ و ۱۴]

پوشش‌های پلیمری ترموپلاستیک (پلی اتیلن، پلی یورتان، پلی اولفین و...)

امروزه روش‌های مختلفی برای افزایش میزان چسبندگی این پوشش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که یکی از این موارد اصلاح شیمیایی سطح با استفاده از محلول سیلان است. به طور کلی ترکیبات آلی سیلان، دارای گروه‌های قابل هیدرولیز هستند که موجب تولید گروه‌های سیلانول^۲ می‌شود. این گروه‌ها با گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح فلز پیوند

ب) پوشش‌های آب‌گریز

از آنجایی که آب و رطوبت به عنوان اصلی‌ترین و عمده‌ترین الکترولیت در فرآیند خوردگی سازه‌ها ایفای نقش می‌کنند، آب‌گریز کردن سطح، منجر به حداقل شدن میزان خوردگی در سطح خواهد شد. با استفاده از موادی مانند پلی‌سیلوکسان‌ها، فلوروکسیل‌سیلان‌ها یا فلئوروپلیمرها می‌توان سطوح ابرهیدروبی ایجاد کرد و یا با استفاده از نانولوله‌های کربنی و نانو الیاف پلی‌آکریلونیتریل (PAN) انرژی سطح را کاهش داد. برخی از این پوشش‌های آب‌گریز در حال حاضر تجاری شده‌اند. (به عنوان مثال: ACULON) [۱۹]

ج) پوشش‌های ضد کف

کف به رسوباتی گفته می‌شود که معمولاً در دیواره‌های داخلی لوله‌ها توسط موجودات بیولوژیکی و یا رسوب کربنات‌ها به عنوان مثال در سیستم‌های آب سخت ایجاد می‌شود. اصلاح سطح توسط پوشش‌هایی که بتوانند از تشکیل این رسوبات بر روی سطح جلوگیری کنند، موضوعی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بوده و این‌گونه پوشش‌ها توسعه یافته‌اند. [۲۰]

د) پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی‌های ناشی از میکروپها

ترکیبات فعال و غیرفعال مختلفی را می‌توان در یک پوشش قرار داد که از اتصال و یا تکثیر موجودات میکروبیولوژیکی عامل خوردگی بیولوژیکی جلوگیری کنند. برخی از این پوشش‌ها با تغییر انرژی سطحی مانع از چسبیدن میکروارگانیسم‌ها به سطح می‌شوند و برخی دیگر نیز دارای مواد ضد میکروبی کپسوله شده در ساختار خود هستند که با آزاد شدن آنها میکروارگانیسم‌ها از بین می‌روند.

به عنوان مثال، گرافن مانع از چسبیدن میکروارگانیسم‌ها به سطح می‌شود. این در حالی است که پوشش‌های حاوی کلونیدهای نقره و مس در کشتن باکتری‌ها موثر عمل می‌کنند.

بسیاری از استراتژی‌ها رویکردی چندمنظوره را اجرا می‌کنند که هر دوی این مکانیسم‌ها را در بر داشته باشد. به عنوان مثال، از پوشش پلیمری کیتوسان حاوی آنتی‌بیوتیک‌ها و یا نانوذرات فلزی آنتی‌باکتریال استفاده می‌شود که با ترکیبی از مکانیسم‌های مختلف، میکروارگانیسم‌ها را از بین برده و آنها را به طور کامل نابود می‌کند. [۲۱]

ه) پوشش‌های کامپوزیتی نوین در تعمیر خطوط لوله‌ی انتقال نفت و گاز

امروزه با توجه به اهمیت تعمیر و نگهداری خطوط لوله‌ی انتقال نفت

نانوکپسول‌ها می‌توانند ممانعت‌کننده‌ی بارگذاری یا محصور شده را عایق‌بندی، از نشست آن جلوگیری و در صورت لزوم انتشار آن را کنترل کنند. به منظور بهبود عملکرد پوشش‌ها برای پاسخگویی به نیازهای صنعتی، سیستم‌های پوششی شناخته شده تحت عنوان "پوشش‌های هوشمند" با خصوصیات چندمنظوره مانند خودترمیمی و ممانعت‌کنندگی ساخته شده‌اند.

پوشش‌های خودترمیم‌شونده باید بتوانند در صورت آسیب دیدن پوشش و یا شروع واکنش‌های خوردگی، بازدارنده‌های خوردگی را به سرعت آزاد کنند. این کار می‌تواند از طریق وارد کردن بازدارنده‌های خوردگی در مخازن نانو مقیاس ویژه‌ای انجام شود. این نانو مخازن بازدارنده را در درون خود ذخیره می‌کنند و از برهم‌کنش مستقیم آن با پوشش جلوگیری می‌کنند و در مواقع نیاز بازدارنده از آنها خارج می‌شود تا فرآیند خوردگی را متوقف کند.

بازدارنده پس از آزاد شدن، در مناطق درگیر با خوردگی جذب شده و مانع از ادامه‌ی فعالیت خوردگی می‌شود. به طور کلی، مکانیسم‌های مختلفی در مورد آزادسازی بازدارنده از درون این نانو مخازن وجود دارد که یکی از آنها میزان درجه‌ی اسیدیته‌ی محیط است.

فرآیند خوردگی معمولاً با تغییر موضعی pH همراه است. در نتیجه تغییرات pH می‌تواند به عنوان محرکی برای نانو/میکرومخازن هوشمند حاصل بازدارنده در پوشش در نظر گرفته شود، به نحوی که این نانو مخازن نسبت به درجه‌ی اسیدیته‌ی محیط حساس هستند و در صورت اسیدی شدن (و یا قلیایی شدن) محیط، ضریب نفوذ نانو مخازن تغییر کرده و بازدارنده به راحتی از نانو مخازن خارج شده و نقش حفاظتی خود را ایفا می‌کند.

پاسخ مناسب نانو/میکرو مخازن به این محرک، آزادسازی بازدارنده‌ی خوردگی است. تاکنون بر اساس نتایج تحقیقات پژوهشگران انواع متعددی از مخازن پیشنهاد و استفاده شده‌اند که از این میان می‌توان به پلی‌آنیلین، سیکلودرکسترین، نانوذرات اکسیدی، ژئولیت، نانولوله‌های هالوژنیت، هیدروکسیدهای دوگانه‌ی لایه‌ای و نانوذرات متخلخل سیلیکا اشاره کرد. [۱۷]

انجمن بین‌المللی مهندسی خوردگی (NACE) در سایت فروش خود^۳ از موارد قابل تجاری‌سازی تکنولوژی پوشش خودترمیم‌شونده، در پوشش‌های رایج اپوکسی مواردی ذکر کرده است. یکی از این موارد استفاده از پوشش ویسکو-الاستیک تماماً آمورف خودترمیم‌شونده برای کاربرد ضد خوردگی در خطوط لوله بوده است. کمیسیون اروپا (European Commission) پروژه‌ی به‌کارگیری و استفاده از مواد خودترمیم‌شونده را در پوشش‌ها تحت عنوان پروژه‌ی^۴ SHEMAT دنبال می‌کند. شرکای پروژه به منظور تجاری‌سازی، گنجاندن عوامل خودترمیم‌شونده را در مواد مختلف اجرا کرده‌اند. [۱۸]

نتیجه‌گیری

هدف اصلی مدیریت خوردگی در تاسیسات نفت و گاز کاهش هزینه‌های ناشی از خوردگی است. اولین قدم جهت پیاده‌سازی مدیریت خوردگی، بررسی اشکالات سیستم‌های حفاظت فنی و رفع آنها و اطمینان از عملکرد صحیح سیستم‌های مذکور است. این پژوهش، اشکالات سیستم‌های رنگ و پوشش مورد استفاده در تاسیسات بخش بالادستی نفت و گاز را بررسی و راهکارهای عملی برای ارتقای وضعیت کیفی سیستم‌های مذکور ارائه کرده است. شناسایی و استفاده از پوشش‌های نوین و پیشرفته از جمله پوشش‌های نوین بر پایه‌های اپوکسی، پلی‌اورتان، آلکیدی، آکریلیک، پوشش‌های روی غیرآلی، پوشش‌های نوین بر پایه‌ی باند جوشی اپوکسی FBE، پوشش پلیمری ترموپلاستیک، پلی‌اتیلن و پلی‌اولفین و پوشش‌های نوین مانند پوشش‌های خودترمیم‌شونده، پوشش‌های آب‌گریز، پوشش‌های ضد کف و ضد خوردگی میکروبی، از پوشش‌های نوظهوری هستند که می‌توان با بررسی، انتخاب و اعمال مناسب آنها، سطح کیفی سیستم‌های رنگ و پوشش را ارتقا داد. شایان ذکر است این مقاله مستخرج از مطالعات اسنادی و میدانی مربوط به پروژه‌ی پژوهشی تحت عنوان «ارتقای وضعیت کیفی سیستم‌های رنگ و پوشش در بخش بالادستی نفت و گاز (خشکی و دریا) به همراه اجرای پایلوت تعریف شده» بوده و تحت حمایت‌های فنی و مالی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران انجام شده است.

این مقاله از مطالعات اسنادی و میدانی مربوط به پروژه‌ی پژوهشی با عنوان «ارتقای وضعیت کیفی سیستم‌های رنگ و پوشش در بخش بالادستی نفت و گاز (خشکی و دریا) به همراه اجرای پایلوت تعریف شده»، استخراج و تحت حمایت فنی و مالی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران انجام شده است. ■

و گاز روش‌های نوین، جایگزین روش‌های مکانیکی و سنتی قدیمی همچون تعویض کامل خطوط لوله و یا جوشکاری که نیازمند هزینه‌ی بالا، عملیات نصب بسیار مشکل در کنار خطرات جانی و مالی بسیاری بوده، شده‌اند.

از این رو تعمیر خطوط لوله با استفاده از جداره‌های کامپوزیتی که عمدتاً از طریق لایه‌گذاری دستی در محل لوله‌ها و یا پخت کامل جداره‌های کامپوزیتی انجام می‌گیرد، روزه‌روز افزایش یافته است.

شرکت‌های بزرگ دنیا اقدام به تحقیقات گسترده پیرامون ساخت جداره‌های کامپوزیتی به روش پیش‌آغشته با کمترین آلودگی محیطی و انعطاف‌پذیری بالا جهت نصب در هرگونه سطحی مخصوصاً در محیط‌های زیر آب کردند.

این فناوری که با استفاده از پوشش‌های کامپوزیتی انجام می‌شود، به دلیل آنکه نیاز به از سرویس خارج کردن خط لوله ندارد با استقبال بسیار زیادی در جهان روبرو شد.

این فناوری عمدتاً از طریق دو روش لایه‌گذاری دستی در محل تعمیر لوله‌ها (Hand lay-Up) و یا پخت کامل پوشش‌های کامپوزیتی در محل کارخانه که مبتکر آن شرکت Clock Spring بوده است، انجام می‌شود.

به عنوان نمونه، کلمپ‌های کامپوزیتی جهت تعمیر نشستی‌های فعال استفاده می‌شود و نسبت به کلمپ‌های موجود بسیار سبک‌تر و ارزان‌قیمت‌تر است. به دلیل طراحی مناسب، این کلمپ‌ها را می‌توان به همراه سایر پوشش‌های تعمیراتی استفاده کرد.

از دیگر محصولات تجاری کامپوزیتی می‌توان به بتونه ساینتو و شیشه ساینتو Viper Skin، (Syntho-Steel) آب‌بند تریدنت و نوار حرارتی ThermoWrap برای تعمیرات سریع قطعات فلزی اشاره کرد. [۲۲ و ۲۳]

پانویس‌ها

1. Epoxy Intumescent
2. Silanol

3. <https://Store.Nace.Org>
4. Training Network For Self-Healing Materials

منابع

- [1]. Buchanan, Robert. "Pipeline coatings & joint protection: a brief history, conventional thinking & new technologies." In Rio Pipeline Conference and Expo, 22-24 October 2003, Rio de Janeiro, Brazil. 2003.
- [2]. El-Sherik, A. M., ed. Trends in oil and gas corrosion research and technologies: Production and transmission. Woodhead Publishing, 2017.
- [3]. Pipe Coatings Market by Type (Thermoplastic Polymer Coatings, Fusion Bonded Epoxy Coatings, Concrete Coatings, Bituminous Coatings), Surface (External Surface, Internal Surface), Form, End-use Industry and Region - Global Forecast to 2025,
- [4]. Oil & Gas Pipeline Coatings Market, 2019 Analysis and Review of Oil & Gas Pipeline Coatings Market by Coating - Fusion Bonded Epoxy, Polyurethane, Coal Tar Enamel, Concrete, and Polyolefin for 2019.
- [5]. H. E. Fathabadi, "Investigation of Fusion Bonded Epoxy (FBE), as a Protective Coating for Pipes", 3 rd International Color and Coatings Congress (ICCC 2009).
- [6]. Y. Shao, C. Meng, G. Zhang, T. F. Wang, "The role of a zinc phosphate pigment in the corrosion of scratched epoxy-coated steel", Corrosion Science, Vol. 51, pp. 371-379, 2009.
- [7]. M. G. Sari, M. Abdolmaleki, M. Roštami, "Nanoclay Dispersion and Colloidal Stability Improvement in Phenol Novolac Epoxy composite via Graphene Oxide for the Achievement of Superior Corrosion Protection Performance", Corrosion Science, Vol. 173, 2020.
- [8]. H. Bahramnia, H. M. Semnani, A. Habibolahzadeh, H. Abdoos, "Epoxy/polyurethane nanocomposite coatings for anti-erosion/wear applications: A review", Journal of Composite Materials, 2020.
- [9]. F. Dolatzadeh, S. Moradian, M. M. Jalili, "Influence of various surface treated silica nanoparticles on the electrochemical properties of SiO₂/polyurethane nanocoatings", Corrosion science, Vol. 53, pp. 4248-4257, 2011.

■ ادامه منابع در (دبیرخانه) موجود است.