

انجمن خوردگی ایران
Iranian Corrosion Association

آموزش، کنفرانس، کمیته استاندارد، عضویت، انتشارات



بسم الله الرحمن الرحيم

زنگ

صاحب امتیاز: انجمن خوردگی ایران

مدیر مسئول: دکتر عماد رعایانی

سر دبیر: مهندس احمد رضا بحرانی

اسامی هیئت مدیره و بازرسان (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر مریم احتشامزاده

دکتر کوروش جعفرزاده

مهندس علیرضا حاتمی منفرد

دکتر هادی عادل خانی

مهندس سید محمود کثیریها

دکتر محمدعلی گلزار

دکتر محمد نجمی

مهندس رضا ایمانیان نجف آبادی

دکتر ابودر مسعودی

همکاران اجرایی (به ترتیب حروف الفبا):

انجمن: زهرا آصف، حجت عباسیان (طراحی و صفحه آرایی)، اکرم کرمی

دانشجویی: محسن جلالی، احمد رضا جوکار

ناشر: انجمن خوردگی ایران

زنگ، فصلنامه علمی، آموزشی، ترویجی انجمن خوردگی ایران از یکطرف با هدف ارتقای سطح دانش خوردگی متخصصان و دست اندرکاران علم و مهندسی خوردگی، ایجاد انگیزه در دانشجویان جهت پرداختن به فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقاتی و از طرف دیگر اطلاع‌رسانی در باب مسائل مرتبط با خوردگی در سطوح داخلی و خارجی و ایجاد پل ارتباطی بین انجمن خوردگی ایران و اعضای آن، اساتید دانشگاه و پیشکسوتان صنعت منتشر می‌گردد.

- فصلنامه زنگ در ویرایش، رد یا قبول، حک و اصلاح مطالب آزاد است.
- مقاله‌های دریافتی به هیچ عنوان عودت داده نمی‌شود.
- مسئولیت صحت مطالب، ارقام و نمودارها بر عهده نویسندگان و مترجمان مقاله‌ها خواهد بود.
- مقاله‌ها و دیدگاه‌های مندرج در فصلنامه زنگ، لزوماً به معنای تایید آن از طرف انجمن خوردگی ایران نمی‌باشد.
- اقتباس و نقل مطالب و استفاده از تصاویر فصلنامه با ذکر ماخذ آزاد است.

تهران، میدان فردوسی، خیابان شهید عباس موسوی (فرصت)،

کوچه اوشانا، پلاک ۱۱، واحد ۳

تلفن: ۸۸۳۴۴۲۸۷-۸ و ۸۸۲۷۳۳۴

دورنگار: ۸۸۳۴۷۷۴۹ و ۸۸۲۷۳۳۴

پایگاه اینترنتی: www.ica.ir

پست الکترونیک: info@ica.ir

قیمت: نسخه دیجیتال رایگان

زنگ

سال نوزدهم، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۴

فصلنامه علمی، آموزشی، ترویجی انجمن خوردگی ایران



سخن آغازین تریبون صنعت

۲
۴

مقاله

افزایش مقاومت در برابر اشعه فرابنفش پوشش اپوکسی با استفاده از میکروذرات کربن سیاه

۸

مروری بر پوشش‌های تبدیلی عاری از کروم جهت بهبود مقاومت در برابر خوردگی سطوح فلزی

۱۶

بررسی مکانیزم‌های تخریب پره فن دمنده اجباری پوشش‌دار و بدون پوشش در واحد دیگ بخار نیروگاه‌های برق

۳۰

دنیای خوردگی

واژه‌های خوردگی و حفاظت فلزات

۴۴

معرفی کتاب

۴۵

روی خط اینترنت

۴۶

بیشتر بدانیم

هوش مصنوعی

۵۲

مدیریت خوردگی

۶۲

اخبار انجمن

اخبار انجمن

۶۸

آموزش

۷۱

فهرست کتاب‌های موجود در انجمن

۷۲

رویدادهای مرتبط با انجمن

۷۵

نرخ‌نامه آگهی در انجمن

۷۸

سخن آغازین

به نام خدا

شروع بهار و سال جدید، امیدوارم سالی پربرکت برای همه ایرانیان باشد، انجمن خوردگی ایران در راستای رسالت علمی خود و طبق روال سال‌های گذشته، برنامه‌هایی را برای سال جدید باوجود همه محدودیت‌های موجود، تعیین نموده که با همراهی، همکاری و حمایت اعضای محترم حقیقی و حقوقی اجرایی خواهد شد.

مهم‌ترین رویداد سال برگزاری بیست و سومین کنگره ملی خوردگی است که پیش‌بینی شده در فرصت مناسبی از پاییز، این همایش به‌اجرا گذاشته شود. اقدامات و پیش‌بینی‌های اولیه در زمینه امور اجرایی و علمی و همچنین برنامه‌های کنگره انجام شده و از همین فرصت استفاده میکنم برای دعوت از همه اندیشمندان، محققین و صنعت‌گران عزیز کشور که همچون سال‌های گذشته ما را مورد لطف قرار داده و نتایج تحقیقات ارزشمند خود را به دبیرخانه کنگره ملی خوردگی ارسال نموده و علاقه‌مندان را از دانش خود بهره‌مند فرمایند.

برنامه‌هایی برای امسال انجمن پیش‌بینی شده که امیدوار هستیم با یاری خداوند بتوانیم این نوآوری‌ها را بشکل مطلوبی اجرایی کنیم و در راستای تحقق اهداف عالی انجمن قدم برداریم. نشریه زنگ نیز همواره با مساعدت مخاطبین گرامی تلاش نموده مطالب علمی متناسب با دانش خوردگی را جهت بهره‌برداری علاقه‌مندان این حوزه ارائه نماید که انتظار می‌رود مخاطبین گرامی با راهنمایی‌های خود ما را در خدمت‌رسانی بهتر یاری نمایند.

اکنون که مدت طولانی از آخرین شماره چاپی نشریه که به دلیل شرایط چاپ و نشر و گرانی کاغذ می‌گذرد، امیدوار هستیم با ارائه مطلوب نسخه الکترونیکی این نشریه هر چه سریعتر به انتشار آن به صورت چاپی نیز دست یابیم.



مهندس احمدرضا بحرانی

عضو هیات مدیره

انجمن خوردگی ایران

سردبیر

بسمه تعالی

نشریه زنگ از همان سال‌های آغازین تاسیس انجمن مهندسی خوردگی ایران به چاپ رسیده و با استقبال جامعه کارشناسی گوناگون روبرو شد. یکی از دلایل اصلی این استقبال، تنوع موضوعات انتخاب شده توسط کمیته انتشار نشریه و سر دبیران آن بوده است. نشریه تا دو دهه به صورت نسخه کاغذی به چاپ رسید ولیکن در سال‌های اخیر تنها به صورت الکترونیک تهیه و به اکثر کارشناسان ذیربط، شرکت‌های بخش خصوصی و برخی دانشگاه‌ها ارسال می‌شود. بدینوسیله از تمامی علاقمندان، اعضای حقیقی و حقوقی انجمن تقاضا می‌کنیم با ارسال مطالب مفید و نوین، ما را در انتشار به موقع این فصل‌نامه یاری کنند. مطالب ارسالی می‌تواند در برگیرنده خبرهای کوتاه، فناوری‌های نوین بازرسی فنی، پایش خوردگی مواد شیمیایی زیست سازگار و رویدادهای مهم داخلی و بین‌المللی مرتبط باشد. در خاتمه از کلیه عزیزانی که ما را در انتشار این فصل‌نامه یاری می‌کنند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

با احترام



دکتر عماد رعایائی

رئیس هیات مدیره

انجمن خوردگی ایران

به نام خدا

محمودرضا هدایتی، فارغ‌التحصیل رشته مهندسی برق از دانشگاه تهران هستم. ۳۲ سال است که شرکت پتونیا تاسیس شده و شرکت فعالیت خود را با تولید، طراحی و نصب تجهیزات ارتینگ و حفاظت از صاعقه شروع کرد. با توجه به شعاری که انتخاب کرده بودیم با عنوان (Invisible Protection) و از آنجائیکه حفاظت کاتدیک هم توی همین مقوله می‌توانست جای بگیرد، به تدریج شرکت بحث حفاظت کاتدیک را نیز به مجموعه فعالیت‌های خود اضافه کرد و طی این ۳۲ سال باعث افتخار است که بیش از ۱۵۰۰۰ پروژه بزرگ و کوچک در داخل کشور عزیزمان ایران و خارج از کشور داشتیم.

در واقع که شرکت پتونیا یک مجموعه تولیدی می‌باشد که شامل چندین کارگاه و کارخانه است و در شهرک صنعتی عباس‌آباد محصولات خود را تولید می‌نماید. شرکت پتونیا عموماً پروژه‌های کاتدیک خود را با بهره‌گیری از تخصص کارشناسان بخش مهندسی طراحی، تامین نموده و به همین جهت از صفر تا صد کار ارتینگ، حفاظت از صاعقه و کاتدیک پروکشن را به صورت (EPC (Engineering, Procurement, and Construction در مجموعه انجام می‌دهد.

در حیطه نفت، گاز و پتروشیمی شرکت پتونیا از نظر تخصصی چه کارهایی انجام داده و می‌دهد؟

همان‌طور که در سوال قبلی اشاره شد مجموعه پتونیا تا به امروز بیش از ۱۵۰۰۰ پروژه داشته و عموم پروژه‌های ما در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته که حجم وسیعی از این محصولات اتفاقاً در صنعت نفت، گاز یا صنایع پتروشیمی قرار گرفته است. در بسیاری از پروژه‌های کشور اغلب در منطقه کنگان یا عسلویه، آبادان و سایر سایت‌هایی که به نحوی با صنعت نفت، گاز و پتروشیمی سر و کار داشتند از محصولات ما استفاده داشته و دارند. البته محصولات و خدمات پتونیا در سایر صنایع مانند کاخانات تولیدی، اسکله‌ها، صنایع کشتی‌سازی، ساختمان‌ها، برج‌ها و در دیگر صنایع مختلف مورد استفاده می‌باشند.

اصولاً شما در فعالیت‌های صنعتی خود به چه چالش‌هایی برخورد می‌کنید؟ لطفاً چند مورد شاخص که برای ادامه کار مشکل‌ساز می‌باشند را نام ببرید.

بنده در یکی از سمینارهایی که حضور داشتیم، کارشناس برجسته‌ای از خارج کشور سخنرانی داشتند. ایشان در بحث مدیریت جمله قابل توجهی فرمودند و آن جمله این بود که: در سازمان‌ها مهم‌ترین ارکان سازمان نیروها و پرسنل نیستند، بلکه نیروها و پرسنل عین سازمانند یعنی خود سازمانند. بر همین اساس بنده هم معتقد هستم بایستی نگاهمان به پرسنل و نیروهایمان را اصلاح کنیم. در هر حال بزرگترین چالشی که قطعاً بنده و امثال بنده با آن مواجه هستیم در واقع کمبود و کسر نیروهای متخصص در این زمینه است. یعنی ما برای تامین نیروهای متخصصی که بایستی کار طراحی، نصب و راه‌اندازی را انجام بدهند، واقعاً خیلی مشکل داریم. فکر می‌کنم بزرگترین چالش ما این است. البته موضوعات دیگری مانند مسائلی که همین الان باهاش مواجه هستیم نیز چالش می‌باشند، بطور مثال قطعی مداوم برق، مباحث بیمه، مالیات و چالش‌های که با دولت سرکار داریم. به هر حال این یک فضای بیزینسی است که ما بالاخره باید خودمان را با این موارد تطبیق بدهیم اما اگر بخواهیم در این صنعت یک حضور موثر و خوب داشته باشیم من فکر می‌کنم که شاید مهم‌ترین موضوعی که الان باهاش مواجه هستیم نیروهای متخصص هستند که متأسفانه در صنعت حفاظت کاتدیک بهش خیلی توجه نشده است.

فکر می‌کنید که منشأ این چالشی که درباره کمبود نیروهای متخصص فرمودید، چه چیزی است؟ دلایلی مانند مهاجرت چقدر تاثیر دارد؟

حقیقت این هست که در این سال‌های اخیر اولین بحثی که شاید به ذهن برسد همین بحث مهاجرت است. ما در مجموعه خودمان متأسفانه حجم زیادی از نیروهایی که حتی بعضاً خودمان آموزش تخصصی داده بودیم مهاجرت کردند و الان در شرکت‌های اروپایی و کشورهای دیگر مشغول به کار هستند، مساله بعدی این هست که به نظر من در مورد آموزش نیروهای تخصصی به‌خصوص برای بحث حفاظت کاتدی بایستی به صورت دیگری بهش نگاه کرد، بنده در سفری که چند سال پیش به هند داشتم دیدم که در هند دانشکده‌ای برای حفاظت کاتدی موجود بود و فارغ‌التحصیلان آن فقط برای حفاظت کاتدی آموزش می‌دیدند. یعنی مبانی درسی از ابتدا و صفر تا صد بحث حفاظت کاتدی بود. بحث حفاظت کاتدی در کشور ما در حال حاضر به‌عنوان یکی از رشته‌های تحصیلی در دانشگاه وجود دارد اما متأسفانه به صورت اختصاصی دانشکده‌ای که صرفاً در این مبحث کار کند وجود ندارد. در همین راستا شرکت پتونیا در سال‌های قبل تلاش‌هایی داشته است که با دوستان خود در انجمن مهندسی



آقای مهندس محمودرضا هدایتی
مدیر عامل شرکت پتونیا



شرکت ما و سایر صنایع، دسترسی به آن‌ها از طریق انجمن امکان‌پذیر باشد. در زمینه فناوری و تکنولوژی‌های جدید به نظر ما مراجعه به انجمن به عنوان مرجع این حوزه معقول‌ترین راه است.

بنابراین به نظر من مهم‌ترین رسالت انجمن خوردگی ایران تولید محتوا، ایجاد ساختارهای آموزشی برای کارشناسان علاقمند و شناساندن اهمیت خوردگی در کشور می‌باشد. از اینرو می‌طلبید که انجمن در این زمینه‌ها بیشتر فعال باشد. متأسفانه در ایران آمار دقیقی از خسارات پدیده مخرب خوردگی نداریم و آمار تقریبی که می‌توان از خوردگی و تاثیر آن بر GNP کشور اشاره کرد

این است که اغلب بین ۴ تا ۸ درصد GNP کشور در خوردگی از بین می‌رود. لذا برای ایران عدد ۲۲ الی ۲۳ میلیارد [دلار] در سال را می‌توان حدس زد که ناشی از پدیده مخرب خوردگی است. این عدد بسیار قابل توجه و وحشتناک است در واقع اگر کشور ما صادرات حدود یکصد میلیاردی داشته باشد فقط حدود ۲۲ میلیارد به دلیل خوردگی از دست می‌رود و این در حالیست که طبق آمارهای موجود و نظر کارشناسان می‌شود ۶۰ الی ۷۰ درصد این میزان را با طراحی‌های مناسب و بحث حفاظت کاتدیک کاهش داد.

متأسفانه عموم مدیرانی که در صنایع مختلف کشور حضور دارند در خصوص خوردگی و آثار مخرب آن خیلی اشراف ندارند و برایشان بحث خوردگی و اینکه این پدیده چه خساراتی می‌تواند به همراه داشته باشد شفاف نیست و یا اصلاً به این آمارها و اعداد هنگفتی که از دست می‌رود توجه ندارند. لذا نقش انجمن در این خصوص مهم است که مدیران، مسئولان و تصمیم‌گیران کشور را آگاه سازد و دستورالعمل‌هایی را جهت کاهش آثار مخرب خوردگی ارائه دهد.

موضوع دیگری که اغلب خود بنده با آن مواجه می‌شوم این است که به‌طور مثال فرض کنید پروژه‌ای قرار است تا ۲ سال تمام شود و این پروژه حدود ۱۰ الی ۱۲ سال طول زمان می‌برد تا انجام شود. قاعدتاً در طول این مدت لوله‌ها و مخازن هنوز به بهره‌برداری نرسیده‌اند و موقع بهره‌برداری با گذشت سالیان زیاد به‌خاطر اینکه بحث حفاظت خوردگی موقت صورت نگرفته با مخزن و تجهیزات از بین رفته مواجه خواهند بود. با در نظر گرفتن این موارد متأسفانه می‌توان گفت که برخی از مدیران ما شاید دو متر جلوتر از خودشان را هم نمی‌بینند (البته نمی‌خواستم از این اصطلاح استفاده کنم!). با وجود مدیران خوب و دلسوز و کاربلد اما واقعیت برای برخی از مدیران همین است که عرض شد. اگر ما به خوردگی توجه نکرده باشیم نباید انتظار داشت که تجهیزات و تشکیلات بتوانند تا ۵ سال دیگر دوام بیاورند و سالم بمانند.

این‌ها مسائلی است که به نظر بنده بایستی از حتی مدارس هم شده ما در مورد خوردگی به مردم و مسئولین آگاهی برسانیم.

لازم است که مجدد بر بحث جلوگیری از خوردگی، حفاظت کاتدیک و مهم‌تر از آن آگاه‌سازی مدیران تاکید نمایم چراکه از نظر بنده خیلی اهمیت دارد وقتی که ۲۲ میلیارد در سال را که حدود ۵ یا ۶ درصد GNP باشد را به خوردگی و عواقب آن می‌پردازیم. بحث ۱ و ۲ میلیون نیست، بحث ۲۲ میلیارد [دلار] یعنی چیزی حدود ۲۰ درصد صادرات نفتی و غیر نفتی ما. از اینرو به نظر من مهم‌ترین کاری که انجمن می‌تواند و باید انجام بدهد، آگاه‌سازی مسئولین در درجه اول و عموم مردم در درجه دوم است و به نظر من این هدف با آموزش نیروهای متخصص، تولید محتوا و در واقع جمع‌آوری آخرین کتب و اطلاعاتی که تولیدکننده‌ها و شرکت‌هایی مثل ما بهش نیاز دارند محقق می‌شود.

خوردگی ایران نیز صحبت‌هایی شد. از اینرو شرکت پتونیا همچنان آمادگی دارد که متولی این قضیه باشد و به نحوی این سیستم راه‌اندازی شود. البته یک سری مسائل و بروکراسی‌های خاص خودش را دارد که به هر حال متأسفانه هنوز در مراحل ایده باقیمانده است.

این روزها درباره دانشگاه‌های نسل سوم خیلی صحبت می‌شود و در واقع پیوند دانشگاه با صنعت، شرکت شما در این راستا فعالیتی داشته که درباره بحث ارتباط و پیوند تحقیقات دانشگاهی با شرکت شما یا صنایع مرتبط با شما به نتیجه رسیده باشد؟

طبیعتاً اگر شرکت پتونیا و شرکت‌های مثل ما بخواهند که به بقای خودشان ادامه بدهند ناچار هستند که از دانش و تجربیات آدم‌های متخصص در این زمینه استفاده کنند. خصوصاً دانش‌های جدیدی که هر به نحوی ساختارها را عوض می‌کنند. خود بنده همین اخیراً به خاطر همین موضوع و تحقیقاتی که در زمینه حفاظت کاتدی داشتیم به یک تکنولوژی به اسم VCI مواجه شدم که اینها همه ناشی از این هست که ما با دانشگاه‌ها ارتباط داریم و برای تحقیقات روی محصولات جدیدی که لازم می‌شود تولید کنیم باید با دانشگاه‌ها و مراکز علمی و پژوهشی ارتباط برقرار کنیم. اتفاقاً ما یک ثبت اختراعی هم داریم که محصول همکاری با دانشگاه بود و در واقع اولین شرکتی هستیم که آندهای "MMO" را در ایران تولید کرد. موارد بسیار زیادی هست که با دانشگاه‌های مختلف و اساتید مختلف در ارتباط بوده و هستیم. این موارد به صورت پروژه در مجموعه تعریف شده و همین الان داریم باهاشون همکاری می‌کنیم در بسیاری موارد هم قبلاً کار انجام شده.

لطفاً تاریخچه‌ای ارائه بدهید از همکاری شرکت با انجمن خوردگی و بحث همکاری‌هایی که تا الان با هم داشتید.

شرکت پتونیا همین چند روز پیش ۳۲ امین سالگرد تاسیس خودش رو جشن گرفت و من به جهت همین حساسیتی که در مورد ارتباط با سازمان‌ها و ارگان‌هایی که در خصوص فعالیت‌های ما می‌توانند موثر باشند حساس بودم. یکی از اولین کارهایی که کردم عضویت در انجمن خوردگی بود. بر اساس کمپانی پروفایلی که داریم فکر می‌کنم که بالای ۱۷ یا ۱۸ سال هست که ما عضو انجمن بودیم و به هر حال در نمایشگاه‌های مختلف و شرایط مختلف با دوستان همکاری داشتیم مخصوصاً در دوره اخیر فکر می‌کنم که انجمن خیلی فعالیت‌هاش را بهتر کرده و خیلی دارد تلاش می‌کند که جایگاه واقعی خودش را در بحث خوردگی در صنعت نشان بدهد که این هم برای ما باعث افتخار و خیلی من خوشحال شدم از این قضیه و قطعاً در آینده من فکر می‌کنم که ما خیلی بهتر از گذشته بتوانیم با انجمن ارتباط و همکاری داشته باشیم.

مرتبط با همین موضوع فکر می‌کنید که در راستای اهداف شرکت شما، انجمن خوردگی ایران چه خدمات و همکاری‌هایی می‌تواند به شما ارائه بدهد؟

یکی از مباحثی که مطرح بوده است و من خودم هم نیز با یکی از مدیران انجمن که صحبت می‌کردم مطرح کردم، همان بحث راه‌اندازی و یا مساعدت برای اینکه ما بتوانیم انشالله این دانشگاه یا دانشکده خوردگی را راه‌اندازی کنیم است. این بحث، بحث آموزش نیروهای متخصص می‌باشد

طبیعتاً انتظار داریم که انجمن خوردگی ایران علاوه بر این موضوع بتواند آخرین دست‌آوردهای تکنولوژی دنیا را همیشه داشته باشد تا در صورت نیاز و تمایل

شما منشأ عمده مشکلات فعلی در صنایع که به واسطه خوردگی می‌باشد را تا چه اندازه ضعف‌های مدیریتی می‌دانید؟

در بحث خوردگی ما دو مقوله داریم، یکی راه‌اندازی سیستم مناسب که آن هم حتماً به یک بینش و دانش خوب احتیاج دارد و دوم بحث تعمیرات و نگهداری. شاید اگر شما یک سیستم خوب هم راه‌اندازی بکنید به هر حال این سیستم ممکن است که بعد از مدتی کارایی خودش را از دست بدهد. مثلاً آندش خورده شود، قطعی به وجود بیاید یا در ترانس مشکل ایجاد بشود. این است که اگر به این دو مقوله خوب دقت شود مطمئن هستیم که می‌توانیم تجهیزات کشور را در برابر بخش مهمی از خوردگی حفاظت کنیم. به نظر بنده نکته و معضل اصلی عدم شناخت مدیران نسبت به مساله بزرگ خوردگی می‌باشد. چراکه حتی در صورت کمبود نیروهای متخصص و از این دست موارد، می‌توان از خارج کشور نیروی مورد نیاز را تامین کرد.

در واقع شما فکر می‌کنید مساله خوردگی همچنان موضوعی است که هم ناشناخته مانده و هم به آن کم توجه می‌شود؟

ببینید نمیتوانم بگویم ناشناخته چون بالاخره کمابیش این مساله در پروژه‌ها دارد اتفاق می‌افتد، اکثر غریب به اتفاق پروژه‌ها بحث خوردگی را به عنوان یکی از بخش‌هایی که بایستی کار بکنند مد نظر قرار می‌دهند ولی آن چیزی که من فکر می‌کنم که توجه بهش همیشه اهمیت موضوع هست. ببینید این یک کاری است که مثل بقیه کارها بگوییم، برویم و انجامش بدهیم (تو دستورالعمل‌ها وجود دارد) ولی همان‌طور که گفتیم نگاه به حفاظت کاتدیک یک نگاه شاید افرای آمیز باشد اما خیلی هم بی‌ربط نیست، به نوعی نگاه فانتزی وجود دارد چون اثرات خوردگی یک روزه و دو روزه نمایان نمی‌شود. اثرات خوردگی ممکن است تو مناطقی مثل تهران که عوامل خوردگی کمتر است چند سال طول بکشد یا مناطق جنوبی در زمان کمتر خودش را نشان بدهد. اما در کل اثرات ناشی از خوردگی چیزی نیست که بخواد خودش را در مدت یک الی دو ماه نشان بدهد و بیشتر مدیران هم وقتی یک پروژه‌ای دستشون است هدفشان بیشتر این است که یک سازه‌ای درست کنیم و یک روبانی هم بذاریم و افتتاح انجام شود و ... ولی اینکه توی این مدت تجهیزاتی که آنجا نصب شده آیا دچار خوردگی شده یا نشده‌اند و اینکه آیا تجهیز شده در برابر خوردگی یا نه؟ چیزایی نیست که خیلی دیده بشود، شاید منطبق با همان شعاری است که ما برای شرکتمون انتخاب کردیم (که البته این شعار هم به کمک شرکت تبلیغاتی آمریکایی بود آن زمانی که ارتباط ایران و آمریکا بهتر بود و در تحریم نبودیم) آنها گفتن بهترین شعار برای شما "invisible protection" هست به معنی حفاظت ناپیدا حالا چه ارتینگ باشه چه حفاظت کاتدی. واقعیت مطلب این است که حفاظت کاتدی ناپیدا می‌باشد و همین باعث خواهد شد در معرض دید نباشد. یک مخزن بزرگ نیست که مدیر بیاد و بتواند به آن افتخار کند راه‌اندازی آن به دست خود را نشان بدهد. حفاظت کاتدیک در واقع تجهیز زیر زمین است و مدیران مملکت هم بیان کسی نگاهش نمیکند و اغلب نمی‌بینند که زیر زمین از مثلاً ارتینگ یا حفاظت کاتدیک چه خبر است و چطور اعمال شده‌اند. اغلب کسی توجهی ندارد چون اصلاً نسبت به آن آگاهی وجود ندارد، شاید اگر یک موقع یک مسئول آگاهی می‌آمد و یک سوالش همین بود که شما برای حفاظت اینجا در برابر خوردگی چه کردید؟ شرایط فرق می‌کرد.

با توجه به تجربیاتی که خودم در این بیش از سی سال داشتم واقعاً ضعف بسیار زیادی را در بحث آشنایی مدیران این کشور نسبت به اهمیت این موضوع دارم می‌بینم و فکر می‌کنم که انجمن واقعاً روی این زمینه خیلی باید تلاش بکند. دلیل اذعان بنده به عدم آگاهی مدیران هم همین است که این مسیر نادرست به کمک انجمن و شرکت‌هایی مثل پتونیا اصلاح شود.

فکر می‌کنید که رویدادهایی مثل کنگره خوردگی که تا الان برگزار شده پتانسیل کمک کردن به این موضوعاتی که دغدغه شما است و به آن اشاره کردید از قبیل دیده شدن مشکلات برای مدیران دستگاه‌های دولتی و یا کلاً آشنایی بیشتر با معضلات خوردگی و یا حتی ارتباط برقرار کردن بین شرکت‌ها تا الان موثر بوده یا می‌تواند موثرتر باشد؟

به هیچ وجه نمی‌شود منکر اثرات این کنگره‌ها باشیم، قطعاً اینها کمک می‌کند ولی واقعیت این است که به نظر من تو دل صدها کنگره و نمایشگاهی که در کشور سالانه برگزار می‌شود یک مقداری به نظر من گم هست، بنده فکر می‌کنم شرکت‌هایی مثل ما یا کسانی که در این زمینه متخصص هستند و دوست دارند اطلاعات بیشتری را از مباحث مربوط به خوردگی کسب کنند، حضورشان در کنگره‌ها مفید باشد ولی به اعتقاد من شاید لازم باشد که همان‌طور که گفتیم به نوعی این کنگره به صورت تخصصی برای مدیران رده بالای کشور هم وجود داشته باشد، من این رو که می‌گویم واقعاً به نظرم عمومیت باید داشته باشد و مدیران باید بیایند و شرکت کنند چون بحث حدود ۲۰ میلیارد دلار است و حفظ این ۲۰ میلیارد در سال خیلی اهمیت دارد، این است که به نظر من باید به برگزاری این کنگره‌ها و دوره‌های آموزشی در رده‌های بالا به صورت تخصصی‌تر بیشتر توجه بشود.

در آخر اگر پیامی برای کسانی که مصاحبه شما را مطالعه می‌کنند دارید؟

من یک پیام برای دانشجویان میتوانم داشته باشم، کسانی که به هر حال الان مدرکشان رو دارند میگیرند و تمایل دارند وارد بازار کار شوند و دوست دارند در زمینه‌ای وارد بشوند. مشروط بر اینکه البته علاقه داشته باشند به این رشته، خیالشون راحت باشد که کار هم براشون است. خواستم بگم یکی از رشته‌هایی که با خیال راحت میتونند بگند ما اگر رفیم در این رشته درس خواندیم بلافاصله استخدام خواهیم شد، بحث حفاظت کاتدیک هست، چون واقعاً نیاز می‌باشد. اعداد و رقم‌ها کوچک نیستند که بگوییم بحث مهم نیست و مگر چقدر تاثیر گذاره؟ اتفاقاً تاثیرش خیلی زیاد است و همه شرکت‌ها در این زمینه نیاز به این تخصص دارند. فقط هم ما نیستیم بلکه سایر کشورهای دنیا هم به همین شکل است. بنابراین من اول به دانشجویانی که دوست دارند وارد دانشگاه بشوند توصیه می‌کنم که در صورت علاقمندی این رشته، درس بخوانند و آموزش ببینند و این کمک می‌کند که شما آینده شغلی را داشته باشید انشالله. نکته دوم توصیه بنده به، بازهم برمی‌گردم به آن محثی که خیلی بهش تاکید داشتم مدیران مملکتی. یک مقداری با این بحث خوردگی آشناتر بشویم، با آمار و ارقام آشناتر بشویم و یک مقدار مساعدت بکنید. در نهایت توصیه‌ای هم که به خود انجمن می‌توانم داشته باشم این است که کمک بکنید که آمار استخراج شود، ما اطلاعات کم داریم. اگر دیتا در مملکت زیاد باشد و مدیران هم با این رویکرد برخورد بهتری داشته باشند، اهمیت موضوع شاید بیشتر برای همگان قابل درک باشد.

مقاله

نحوه ارسال مقاله به انجمن خوردگی ایران

علاقه‌مندان می‌توانند مقالات خود را به هر یک از نشریات زیر با صاحب امتیازی انجمن خوردگی ایران ارسال نمایند:

- نشریه علمی و پژوهشی "علوم و مهندسی خوردگی"
- نشریه علمی، ترویجی و آموزشی "زنگ"

- فصلنامه علمی و پژوهشی "علوم و مهندسی خوردگی"

فصلنامه علمی پژوهشی علوم و مهندسی خوردگی با مجوز شماره ۹۰/۳/۱۱/۱۰۰۴ مورخ ۱۳۹۰/۱/۱۰ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری توسط انجمن خوردگی ایران به چاپ می‌رسد. این فصلنامه با هدف انتشار نتایج جدیدترین تحقیقات و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه علم و مهندسی خوردگی فلزات منتشر می‌شود. فصلنامه علمی پژوهشی علوم و مهندسی خوردگی همواره از دریافت مقاله‌ها اساتید، صاحب‌نظران و دانشجویان استقبال کرده و به ارتقاء سطح دانش و فناوری مهندسی خوردگی در کشور می‌اندیشد. مقاله‌ها ارسالی باید دارای قالب مشخصی باشند. این مقاله‌ها باید طبق دستورنامه موجود در بخش راهنمای نگارش مقاله موجود در پایگاه اینترنتی مجله نوشته شوند.

سردبیر: دکتر سعیدرضا اله‌کرم
مدیر مسئول: دکتر هادی عادل‌خانی

پایگاه اینترنتی: www.corrosionEngineering.ica.ir

پست الکترونیک: CorrosionEngineering@ica.ir

شماره تماس: ۸ - ۸۷ ۴۲ ۳۴ ۸۸ (داخلی ۲)

- فصلنامه علمی، ترویجی و آموزشی "زنگ"

انجمن خوردگی ایران با هدف انتشار آخرین یافته‌های علمی کاربردی در جهت ارتقای سطح دانش خوردگی، گسترش تحقیقات و برقراری ارتباط هرچه بیشتر به‌منظور آشنایی مسئولان و صاحبان صنایع، اساتید دانشگاه‌ها، کارشناسان و پژوهشگران، نشریه انجمن را به‌صورت فصلنامه و به‌نام "زنگ" منتشر نموده است. به‌طور کلی انتشار نشریه زنگ اهداف مختلفی را بر مبنای رویکرد علمی (شامل ارتقای سطح علمی خوانندگان، برطرف نمودن سوالات و نیازهای تخصصی خوانندگان در مسائل مختلف خوردگی، بروز نگهداشتن اطلاعات خوردگی خوانندگان و تبادل تجربیات خوردگی)، رویکرد اطلاع‌رسانی (شامل اطلاع‌رسانی در سطوح داخلی و خارجی)، رویکرد انگیزشی و ترویجی، رویکرد ارتباطی و رویکرد توسعه‌ای دنبال می‌کند.

لازم به یادآوری است از آنجا که فصلنامه زنگ، یک مجله تخصصی علمی بوده و از سوی یک انجمن علمی به‌دست متخصصین می‌رسد، طبیعی است اهداف علمی آن غالب بر دیگر رویکردها باشد. دست‌اندرکاران فصلنامه زنگ درصدد هستند تا با افزودن بخش‌های مفید دیگر به بخش‌های قبلی، سطح کیفی آنرا ارتقاء بخشند.

مدیر مسئول: دکتر عماد رعایائی، سردبیر: مهندس احمدرضا بحرانی

پایگاه اینترنتی: www.ica.ir، پست الکترونیک: info@ica.ir

شماره تماس: ۸ - ۸۷ ۴۲ ۳۴ ۸۸

افزایش مقاومت در برابر اشعه فرابنفش پوشش اپوکسی با استفاده از میکروذرات کربن سیاه

علی جلالی ویرثق^{۱*}، سعیدرضا اله کرم^۲، جابر نشاطی^۳، اسمعیل اکبری نژاد^۴

^۱ کارشناسی ارشد، آزمایشگاه جنبه‌های مکانیکی خوردگی، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

^۲ استاد، آزمایشگاه جنبه‌های مکانیکی خوردگی، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

^۳ استاد، رییس پردیس انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت.

^۴ استادیار، گروه پژوهش پوشش، پژوهشگاه صنعت نفت.

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: ali.jalali.v@ut.ac.ir

چکیده

سال‌های زیادی است که از پوشش‌های آلی برای حفاظت از مواد در برابر خوردگی استفاده می‌شود. اپوکسی یکی از این پوشش‌ها است که می‌تواند به عنوان سدی بین زیرلایه و عوامل خورنده قرار گرفته و مانع از ورود عوامل خورنده به پوشش شود. این پوشش‌ها علی‌رغم مقاومت مطلوب در برابر خوردگی، در برابر اشعه فرابنفش دچار زردشدگی و سپس تخریب می‌شوند. هدف از پژوهش حاضر افزایش مقاومت به اشعه فرابنفش این پوشش‌ها است. در این پژوهش با استفاده از میکروذرات کربن سیاه، ۵۸٪ مقاومت به اشعه فرابنفش پوشش اپوکسی بهبود یافت. برای بررسی ورود کربن سیاه و پراکندگی آن در ساختار اپوکسی از آزمون‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی رامان و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شد. همچنین برای بررسی تغییر رنگ از آزمون رنگ‌سنجی و برای بررسی میزان تخریب بر اثر اشعه فرابنفش از تصاویر میکروسکوپ نوری استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: اپوکسی، میکروذرات کربن سیاه، اشعه فرابنفش؛

۱- مقدمه

استفاده از پوشش‌های آلی یکی از مهم‌ترین روش‌های محافظت از سازه‌های مختلف در برابر عوامل جوی مانند آب، نور خورشید و تغییرات دمایی است. فرمولاسیون این پوشش‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شود که بتوانند عمر پوشش را افزایش داده و از زیرلایه محافظت کنند. [۱ و ۲] پوشش‌های اپوکسی جزء پوشش‌های آلی هستند که به دلیل طیف وسیعی از خواص مانند خواص مکانیکی مناسب، مقاومت شیمیایی بالا و چسبندگی خوب کاربردهای فوق‌العاده‌ای در زمینه پوشش دارند. [۳ و ۴] رزین‌های اپوکسی در کفپوش‌ها، پل‌ها، اصلاح بتن، پوشش میلگردها، هواپیماسازی، خودروسازی و کشتی‌سازی کاربرد دارند. [۵ و ۶]

پوشش‌های اپوکسی علی‌رغم همه مزیت‌های یادشده در برابر تابش اشعه فرابنفش دچار تخریب می‌شوند. پوشش‌های اپوکسی که در معرض نور خورشید و اشعه فرابنفش هستند، مستعد تغییر رنگ و گچی شدن^۱ هستند. تابش‌های فرابنفش انرژی لازم برای شکستن بسیاری از پیوندهای تشکیل شده در پوشش‌های اپوکسی را دارا هستند. طی مرور زمان این پوشش‌ها زرد رنگ شده، شفافیت آن‌ها کم شده و قسمت بالایی پوشش دچار تخریب می‌شود. [۷ و ۱۳]

کلهر و گسنر تجزیه پلیمر اپوکسی با وزن مولکولی بالا بیسفنول A را مطالعه کرده اند. آن‌ها دریافته‌اند که کاهش در ویسکوزیته ذاتی و همچنین تشکیل ژل وجود دارد، که نشان می‌دهد بریدگی زنجیره و اتصال عرضی به طور همزمان رخ داده است. [۱۴] قاسمی و همکاران با محاسبه شاخص کربونیل میزان مقاومت پوشش اپوکسی در برابر تابش فرابنفش را بررسی کردند. [۱۱]

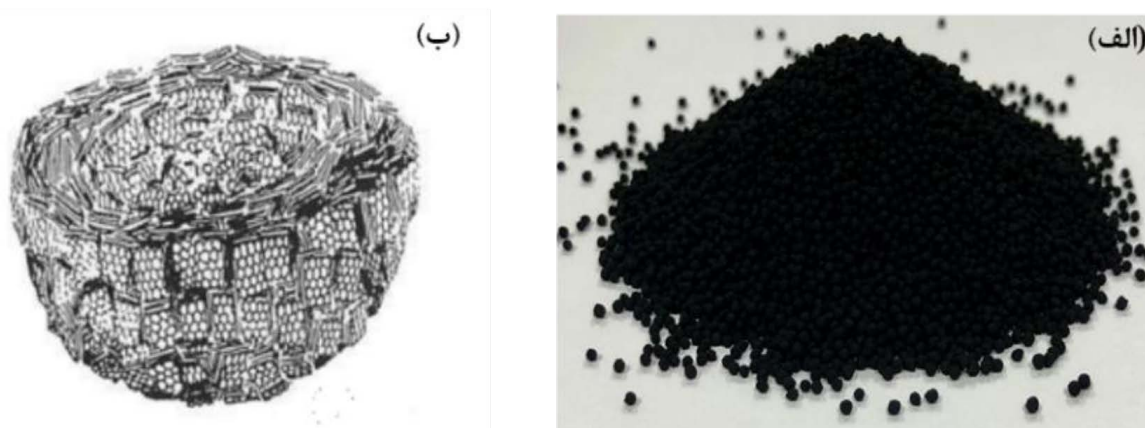
پژوهشگران این حوزه با استفاده از نانوذرات معدنی مختلف مانند: دی اکسید تیتانیوم [۱۷-۱۵]، اکسید روی [۱۸]، اکسید آلومینیوم [۱۹] و سیلیکا [۲۰] سعی کردند مقاومت در برابر اشعه فرابنفش پوشش‌های اپوکسی را بهبود دهند. در سال‌های اخیر استفاده از نانو ساختارهای

کربنی مانند: گرافن، اکسید گرافن، اکسید گرافن احیاشده، نقاط کربنی، نانو لوله کربنی متداول شده است. به عنوان مثال امرالهی و همکاران با افزودن ۱/۰ درصد اکسید گرافن به اپوکسی حدود ۱۴ درصد مقاومت در برابر اشعه فرابنفش پوشش را افزایش دادند. در همین پژوهش علاوه بر اکسید گرافن از پلی آنیلین نیز استفاده نمودند که باعث افزایش ۴۲ درصدی مقاومت به اشعه فرابنفش این پوشش‌ها شد. صفحات اکسید گرافن توزیع شده در زمینه اپوکسی باعث می‌شوند نور خورشید نتواند به راحتی به زمینه پلیمری برخورد کرده و باعث واکنش‌هایی شود که در نهایت باعث زردشدگی و سپس تخریب اپوکسی می‌شوند [۲۱].

کربن سیاه^۲ (CB) یک ماده کربنی صنعتی است که کاربردهای گسترده‌ای در صنعت پوشش به عنوان رنگدانه، تقویت کننده لاستیک و عامل رسانایی الکتریکی در پلاستیک‌ها دارد. CB متشکل از ذرات اولیه کروی آگلومره با اندازه ذرات متوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر، بسته به مکانیسم تشکیل آن است.

ذرات کروی کربن سیاه شامل بخش‌های گرافیتی و آمورف شکل هستند. حوزه‌های گرافیتی شکل معمولاً از ۳ تا ۴ لایه کربنی پلی آروماتیک توربوستراتیکی تشکیل شده‌اند. امتداد جانبی متوسط آنها تا ۳ نانومتر و فواصل بین لایه‌ای حدود ۳۵/۰ نانومتر است. (شکل ۱ - الف). این حوزه‌ها اغلب «واحدهای ساختاری پایه»^۳ (BSU) نامیده می‌شوند. BSU تقریباً به صورت متحدالمرکز حول یک هسته آمورف قرار گرفته‌اند (شکل ۱ - ب) چنین آرایشی از لایه‌های کربنی، یک نانو ساختار «پیازی شکل» را تشکیل می‌دهند. بخش‌های آمورف در هسته غالب هستند و گاهی اوقات پوسته‌ای از ذرات اولیه را تشکیل می‌دهند. [۲۲]

با توجه به ساختار ویژه کربن سیاه، در پژوهش حاضر با افزودن ۲٪ وزنی از این ماده به رزین اپوکسی مقاومت به اشعه فرابنفش آن با استفاده از آزمون‌های رنگ‌سنجی، طیف‌سنجی رامان، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوری و میکروسکوپی بررسی شد.



شکل ۱. (الف) پودر کربن سیاه، (ب) طرحی از ذره اولیه کربن سیاه متشکل از حوزه‌های گرافیتی شکل (BSU) که به طور متمرکز مرتب شده‌اند. [۲۲]

۲- مواد و روش تحقیق

انجام پذیرفت. نمونه‌ها پس از پایان آزمون هوازدگی (۳۰۰ ساعت) زیر میکروسکوپ نوری stereoscope، شرکت سازنده Olympus، در بزرگمایی ۱۰۰ برابر قرار گرفت و مکان‌های تخریب شده توسط اشعه فرابنفش بررسی شد. پس از انجام آزمون‌های رنگ سنجی، تغییر رنگ این پوشش‌ها به شکل کمی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{0.5}$$

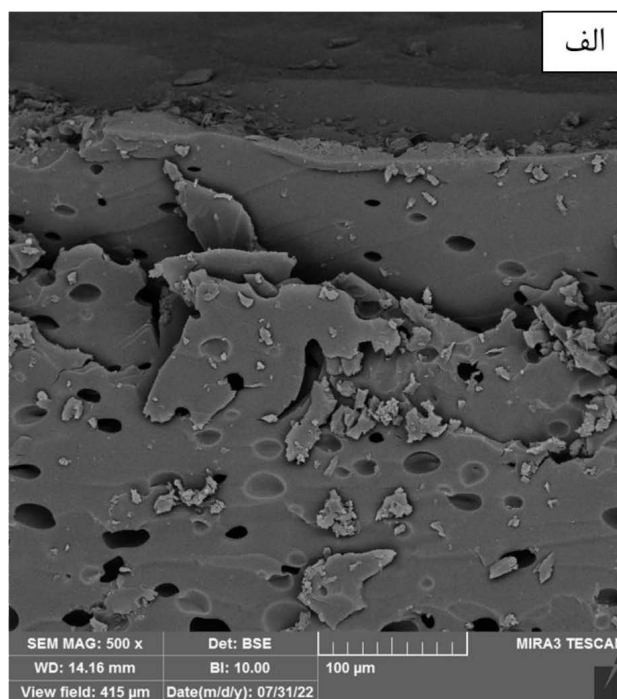
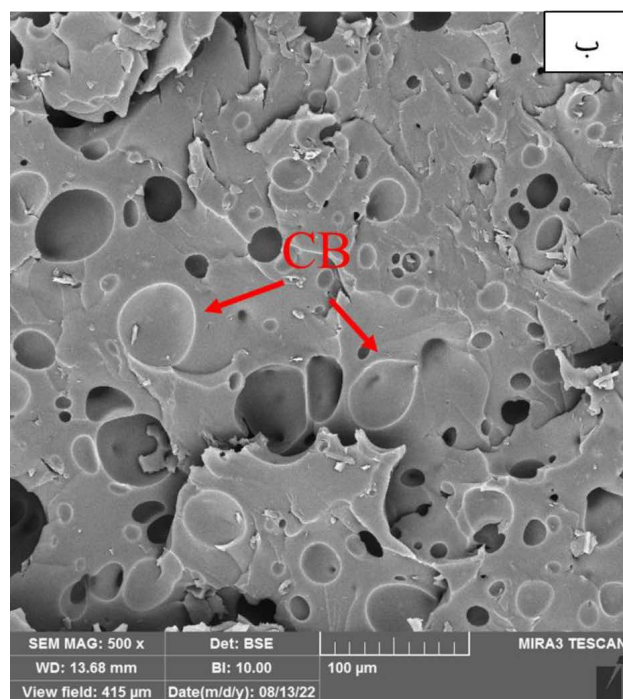
در این رابطه ΔL^* میزان تغییرات شفافیت، Δa^* میزان تغییرات قرمزی یا سبزی و Δb^* میزان تغییرات زردی یا آبی است. ΔE^* برآیند این متغیرها به عنوان درصد تغییر رنگ گزارش می‌شود [۲۲].

۳- نتایج و بحث

۳-۱ - بررسی توزیع نانوذرات کربن سیاه در زمینه اپوکسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

همان‌طور که در شکل ۲ - الف مشخص است تخلخل‌هایی با قطر ۲۵ میکرون در ساختار اپوکسی خالص پراکنده شده‌اند. این تخلخل‌ها مسیر ورود اشعه فرابنفش به زیرلایه است و می‌تواند عمر پوشش را کاهش دهد. با افزودن ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه (شکل ۲ - ب) به

مواد استفاده شده عبارتند از: رزین اپوکسی با اکی والان ۵۰۰ گرم، هاردنر پلی‌آمید با هیدروژن فعال ۱۸۵ گرم، نانوذرات کربن سیاه شرکت بایر. مقدار ۲٪ وزنی نانوذرات کربن سیاه به رزین اضافه شدند. برای توزیع و پخش یکنواخت نانوذرات کربن سیاه در رزین از همزن مکانیکی و گلوله‌های شیشه‌ای استفاده شد. پس از یکنواخت شدن رزین و نانوذرات، هاردنر پلی‌آمید به مخلوط اضافه و مجدداً با استفاده از همزن مکانیکی و گلوله‌های شیشه‌ای مخلوط شد. در نهایت با استفاده از فرآیند اسپری هوا رنگ به صفحات فولادی شن پاشی و چربی‌زدایی شده، اعمال گردید. ضخامت پوشش‌ها در حدود ۶۰ تا ۷۰ میکرومتر اندازه‌گیری شد. و بعد از یک هفته پخت کامل پوشش‌ها در دمای محیط (۲۵ درجه) انجام شد. پس از آن برای بررسی ورود کربن سیاه به اپوکسی آزمون طیف‌سنجی رامان و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های گرفته شد. برای بررسی گروه‌های عاملی ایجاد شد در این پوشش از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه استفاده شد. نمونه‌ها در معرض اشعه QUV-B به مدت ۳۰۰ ساعت قرار گرفتند. در این آزمون نمونه‌ها تحت شرایط تشدید شده محیطی و طبق استاندارد ASTM D ۶۶۹۵ قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از گذشت هر ۱۰۰ ساعت از دستگاه هوازدگی خارج شده و جهت انجام آزمون‌های رنگ‌سنجی و براقیت‌سنجی آماده می‌شدند. آزمون‌های رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه ۵۶۵/۴۵ Erichsen model



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع پوشش (الف) اپوکسی خالص، (ب) اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی نانوذرات کربن سیاه

شکل ۳ مشخص است. همان‌طور که در طیف b مشخص است دو پیک در اعداد موج‌های 1294cm^{-1} و 1600cm^{-1} مشاهده می‌شود که به ترتیب به باند مشخصه D و باند مشخصه G شناخته می‌شوند. به صورت کلی با ورود مواد کربنی به ساختار اپوکسی این باندها در طیف رامان آنها دیده می‌شوند. باند D با چگالی عیوب در صفحات گرافیتی ساختار کربن سیاه مرتبط است و باند G به پیوندهای کربنی sp^2 این صفحات مرتبط می‌شود، [۲۱].

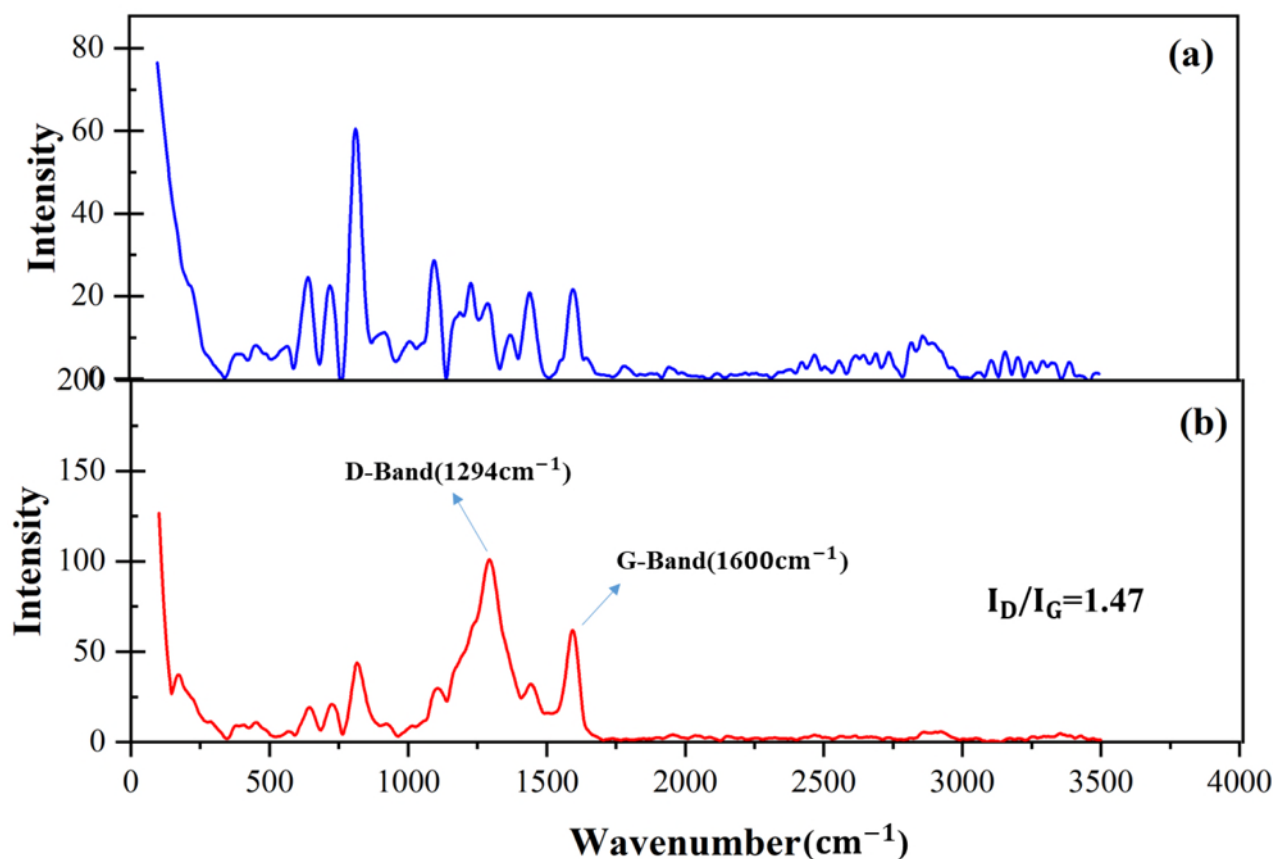
به صورت کلی باند D بی‌نظمی صفحات گرافیتی و باند G نظم این ساختارها را نشان می‌دهد. نسبت شدت باند D به باند $(I_D/I_G)G$ در نمونه‌های دارای کربن سیاه بیشتر از ۵/۰ است. این نسبت در این پژوهش ۱/۴۷ است. این عدد نشان دهنده این است که میزان بی‌نظمی صفحات گرافیتی که در ساختار BSU کربن سیاه است بالاست که به علت ساختار نامنظم ذاتی این ماده کربنی است.

همچنین این بی‌نظمی بالا نشان دهنده ترکیب و امتزاج مطلوب کربن سیاه با اپوکسی است زیرا در اثر برخورد هم‌زن مکانیکی با هر دو ماده صفحات شکسته شده و وارد ساختار پلیمر شده‌اند و بی‌نظمی را افزایش داده‌اند.

رزین اپوکسی، تخلخل‌ها تا حد مطلوبی بسته می‌شوند. همان‌طور که مشخص است قطر تخلخل‌ها به ۶۰ میکرون افزایش یافته است. زمانی که در هم‌زن مکانیکی میکروذرات کربن سیاه و اپوکسی با یکدیگر مخلوط می‌شوند تنش‌هایی بر رزین وارد می‌شود که نتیجه این تنش‌ها افزایش قطر تخلخل‌ها است. در واقع در اپوکسی خالص تخلخل‌هایی کوچک ولی باز را داریم در حالی که در اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه تخلخل‌هایی بزرگتر اما بسته را خواهیم داشت که باعث می‌شود مقاومت در برابر اشعه فرابنفش اپوکسی افزایش یابد. کربن سیاه با ساختار ویژه‌ای که دارد به راحتی داخل تخلخل‌ها نفوذ کرده و آن‌ها را بسته است. در شکل ۲ - الف تعدادی تخلخل هم به شکل تیره رنگ مشاهده می‌شود که این‌ها در واقع تخلخل‌هایی هستند که میکروذرات کربن سیاه به داخل آن نفوذ نکرده و مانند شکل ۲ - الف به همان شکل و اندازه مانده‌اند.

۳-۲ - مشخصه‌یابی پوشش با استفاده از طیف‌سنجی رامان

نتایج طیف‌سنجی مولکولی رامان برای دو نمونه اپوکسی خالص (a) و اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه (b) در



شکل ۳. نتایج طیف‌سنجی رامان: (a) اپوکسی خالص، (b) اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی نانوذرات کربن سیاه

شده که نشان می‌دهد گروه‌های متیلی در ساختار اپوکسی کمتر شده‌اند و بنابراین مقاومت به اشعه فرابنفش را افزایش داده‌اند.

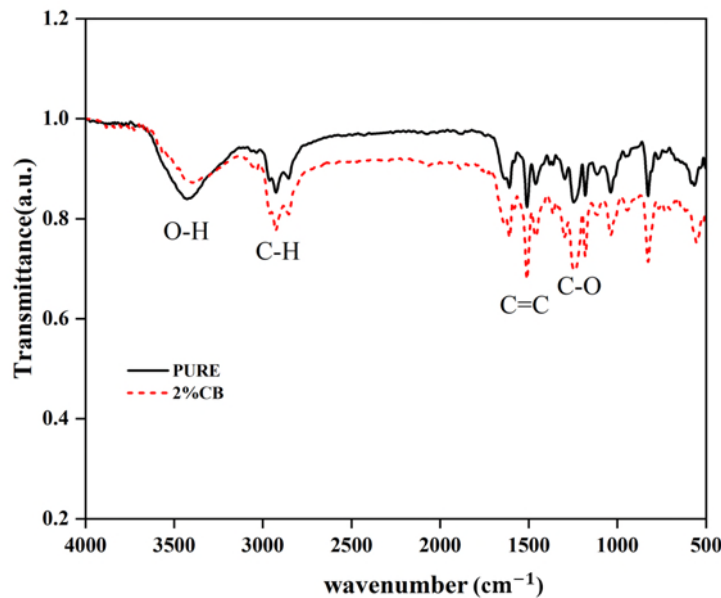
۳-۴ - بررسی تغییر رنگ پوشش‌ها بر اثر قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش

با توجه به نمودار شکل ۵-a میزان زردشدگی پوشش اپوکسی خالص ۵/۶۸ و میزان زردشدگی پوشش حاوی ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه ۲/۱۸ اندازه‌گیری شد. همچنین با توجه به نمودار شکل ۵-b میزان تغییر رنگ نهایی پوشش اپوکسی خالص ۵/۷ و پوشش حاوی ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه ۲/۴ اندازه‌گیری شد.

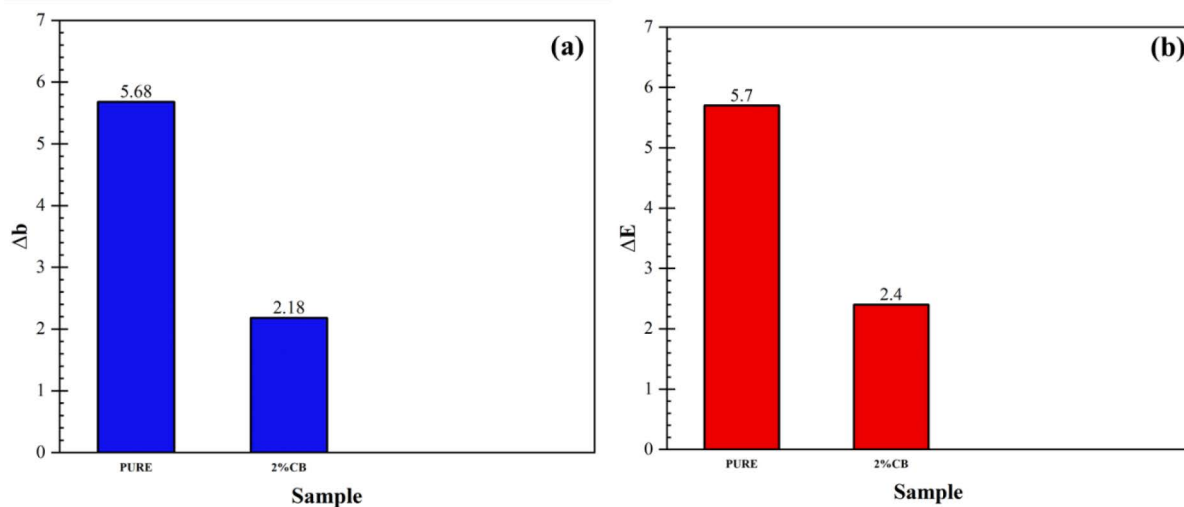
در بحث رنگ‌سنجی پارامترهای مانند میزان روشنایی (L^*)، میزان قرمزی یا سبزی (a^*) و میزان زردی یا آبی شدن (b^*) موثر هستند. با توجه به نتایج بدست آمده میزان تغییر رنگ نهایی این پوشش‌ها بسیار

۳-۳ - مشخصه‌یابی پوشش با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

همان‌طور که در نمودار شکل ۴ مشخص است در طیف FTIR هر دو پوشش پیک‌های مربوط به گروه‌های عاملی C-O, C=C, C-H و O-H با شدت‌های متفاوت مشاهده می‌شوند. گروه عاملی متیل (C-H) در این نمودارها از اهمیت خاصی برخوردار است. گروه عاملی متیل در ساختار اپوکسی مستعدترین قسمت برای شروع تخریب اپوکسی هستند زیرا میزان انرژی اشعه فرابنفش بیشتر از انرژی پیوند در متیل است و همین امر باعث می‌شود گروه متیل تبدیل به رادیکال‌های آزاد شوند. حال هرچه گروه‌های متیلی در ساختار بیشتر باشند اپوکسی شانس تخریب بیشتر و زودتری را دارد. همان‌طور که در نمودار شکل ۴ مشخص است با افزودن میکروذرات کربن سیاه میزان جذب کمتر



شکل ۴. نمودار حاصل از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه اپوکسی خالص و اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی نانوذرات کربن سیاه



شکل ۵. نتایج آزمون رنگ‌سنجی (a) میزان زردشدگی (Δb)، (b) تغییرات رنگ (ΔE).

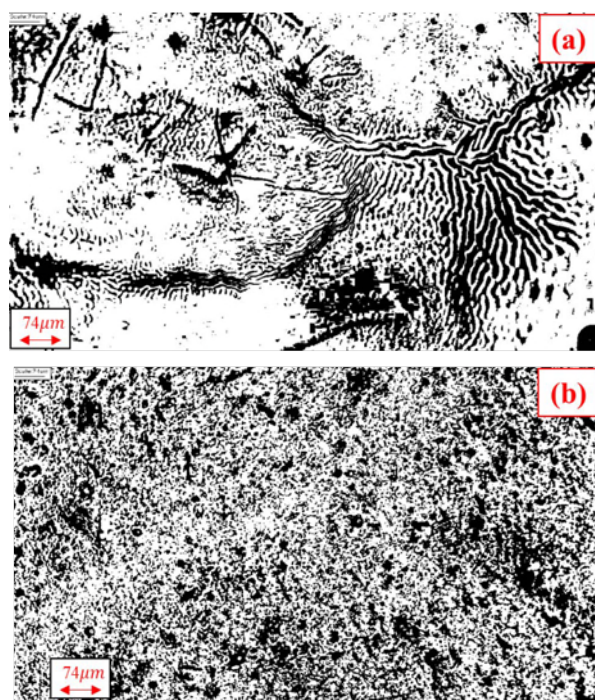
آمده است. با قرار گرفتن در معرض اشعه فرا بنفش، بریدگی زنجیره مولکولی روی سطح پلیمر رخ می‌دهد و رادیکال‌های پلیمری تولید می‌شوند. تولید این رادیکال‌ها به مرور باعث زردشدگی و نهایتاً تخریب پوشش می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۶-b (بزرگنمایی ۱۰۰) میکروذرات کربن سیاه به شکل قابل قبولی در زمینه اپوکسی توزیع شده‌اند. این میکروذرات با ایجاد فام مشکی از ایجاد رادیکال‌های پلیمری که عامل تخریب پوشش است جلوگیری می‌نمایند. این میکروذرات از اشعه و گسترش ترک نیز جلوگیری می‌کنند و اجازه نمی‌دهند ترک‌هایی با طول زیاد ایجاد شود.

وابسته به میزان تغییرات b^* است. میکروذرات کربن سیاه توانسته‌اند با کم نمودن گروه‌های متیل از زردشدگی جلوگیری کرده و در نهایت میزان تغییر رنگ نهایی را کمتر کنند. و به میزان ۵۸٪ بهبود دهند.

۳-۵ - بررسی میکرو ترک‌های ایجاد شده بر اثر قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش

پس از اینکه پوشش اپوکسی خالص ۳۰۰ ساعت در معرض اشعه QUVB قرار گرفت با استفاده از میکروسکوپ نوری سطح آن مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۶-a (بزرگنمایی ۱۰۰) مشخص است در اکثر نقاط پوشش تخریب صورت گرفته است. میکرو ترک‌هایی به شکل شاخه‌ای و پیوسته در ساختار به وجود



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح پوشش بعد از قرارگیری در معرض اشعه فرابنفش به مدت ۳۰۰ ساعت (a) اپوکسی خالص، (b) اپوکسی حاوی ۲٪ وزنی نانوذرات کربن سیاه

نتیجه‌گیری

از این پژوهش نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- با افزودن ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه به ساختار رزین اپوکسی میزان مقاومت به اشعه فرابنفش این پوشش ۵۸٪ بهبود یافت.
- ۲- با افزودن ۲٪ وزنی میکرو ذرات کربن سیاه با پراکندگی مناسب در زمینه اپوکسی از ایجاد ترک‌های میکرونی بر اثر تابش اشعه فرابنفش جلوگیری شد.
- ۳- با افزودن ۲٪ وزنی میکروذرات کربن سیاه به ساختار رزین اپوکسی باند های D و g در طیف رامان این پوشش مشاهده شد که نشان از امتزاج مناسب کربن سیاه با زمینه اپوکسی است.
- ۴- براساس نتایج بدست آمده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی میکروذرات کربن سیاه توانسته‌اند تخلخل‌های اپوکسی را پر کنند و مانع از ورود اشعه فرابنفش به زیرلایه شوند.

تشکر و قدردانی

از پژوهشگاه صنعت نفت بابت حمایت‌های مادی و معنوی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

- [1] Yari H, Moradian S, Tahmasebi N. The weathering performance of acrylic melamine automotive clearcoats containing hydrophobic nanosilica. *J Coatings Technol Res* 2014;11.
- [2] Razin AA, Yari H, Ramezanzadeh B. Stone-chipping and adhesion deterioration of automotive coating systems caused by outdoor weathering of underneath layers. *J Ind Eng Chem* 2015;31:291–300. doi:10.1016/j.jiec.2015.07.001.
- [3] H. Lee, K. Neville, *Handbook of Epoxy Resins*, McGraw Hill Book Company, New York, 1967.
- [4] V.C. Malshe, G. Waghoo, Weathering study of epoxy paints, *Prog. Org. Coat.* 51 (2004) 267–272
- [5] Chen, X. M., and B. Ellis. "Coatings and other applications of epoxy resins." *Chemistry and technology of epoxy resins*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. 303-325.
- [6] Rahman, Md Mostafizur, and M. Akhtarul Islam. "Application of epoxy resins in building materials: progress and prospects." *Polymer Bulletin* 79.3 (2022): 1949-1975.
- [7] M. Honarvar Nazari et al., "Nanocomposite organic coatings for corrosion protection of metals: A review of recent advances," *Progress in Organic Coatings*, vol. 162. 2022.
- [8] V. C. Malshe and G. Waghoo, "Weathering study of epoxy paints," *Prog. Org. Coatings*, vol. 51, no. 4, pp. 267–272, 2004
- [9] M. Hattori, A. Nishikata, and T. Tsuru, "EIS study on degradation of polymer-coated steel under ultraviolet radiation," *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 6, pp.
- [10] R. S. C. Woo, Y. Chen, H. Zhu, J. Li, J. K. Kim, and C. K. Y. Leung, "Environmental degradation of epoxy-organoclay nanocomposites due to UV exposure. Part I: Photo-degradation," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 67, no. 15–16, pp. 3448–3456, 2007
- [11] A. Ghasemi-Kahrizsangi, J. Neshati, H. Shariatpanahi, and E. Akbarinezhad, "Improving the UV degradation resistance of epoxy coatings using modified carbon black nanoparticles," *Prog. Org. Coatings*, vol. 85, pp. 199–207, 2015
- [12] M. M. Khotbehsara, A. Manalo, T. Aravinthan, J. Turner, W. Ferdous, and G. Hota, "Effects of ultraviolet solar radiation on the properties of particulate-filled epoxy based polymer coating," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 181, 2020, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109352.
- [13] M. Dong, H. Zhang, L. Tzounis, G. Santagiuliana, E. Bilotti, and D. G. Papageorgiou, "Multifunctional epoxy nanocomposites reinforced by two-dimensional materials: A review," *Carbon*, vol. 185. pp. 57–81, 2021.
- [14] P.G. Kelleher, B.D. Gesner, Photo-oxidation of phenoxy resin, *J. Appl. Polym. Sci.* 13 (1996) 9–15
- [15] LCK Liao, P Chiang, Multiple nano-TiO₂ layers to prevent dye/nano-TiO₂ from photodegradation under a UV-exposure environment, *Applied Surface Science* (2007) 3982-3986.
- [16] K. Deka Biplab, K. Maji Tarun, Effect of TiO₂ and nanoclay on the properties of wood polymer nano composite, *Composites: Part A*. 42 (2011) 2117-2125.
- [17] A Chatterje, MS Islam, fabrication and characterization of TiO₂ epoxy nano composite materials *Science and engineering A* 487 (2008) 574-585
- [18] N. Rajagopalan and a S. Khanna, "Effect of size and morphology on UV-blocking property of nanoZnO in epoxy coating," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 3, no. 4, pp. 1–14, 2013.
- [19] LJ Brickweg, BR Floryancic, ED Sapper, RH Fernando, alignment of alumina nanoparticles in coatings, *J. Coat. Technol. Res.* 4 (2007) 107-110.
- [20] SZhou, LWu, JSun, WShen, The change of the properties of acrylic-based polyurethane via addition of nano-silica, *Prog. Org. Coat.* 45 (2002) 33-42.
- [21] S. Amrollahi, B. Ramezanzadeh, H. Yari, M. Ramezanzadeh, and M. Mahdavian, "Synthesis of polyaniline-modified graphene oxide for obtaining a high performance epoxy nanocomposite film with excellent UV blocking/anti-oxidant/ anti-corrosion capabilities," *Compos. Part B Eng.*, vol. 173, 2019
- [22] M. Pawlyta, J. N. Rouzaud, and S. Duber, "Raman microspectroscopy characterization of carbon blacks: Spectral analysis and structural information," *Carbon N. Y.*, vol. 84, no. 1, pp. 479–490, 2015,

فراخوان مقاله

نشریه علمی - پژوهشی

علوم و مهندسی خوردگی

(فصلنامه)

انجمن خوردگی ایران مفتخر است که در راستای نشر علم و دانش، دستاوردهای تحقیقاتی اساتید و دانشجویان دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، محققان و پژوهشگران عرصه صنعت را در قالب مقالات علمی پژوهشی در نشریه "علوم و مهندسی خوردگی" منتشر نماید.

این نشریه تاکنون ۵۲ شماره را طی چهارده سال فعالیت منتشر نموده است

سردبیر: آقای دکتر سعیدرضا اله‌کرم، استاد دانشکده مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مدت زمان اعلام نتیجه مقاله: حداکثر ۴۵ روز

زمینه‌های مورد نظر برای پذیرش مقالات:

تمامی زمینه‌های مرتبط با خوردگی، الکتروشیمی و حفاظت از مواد: کنترل خوردگی شامل طراحی، انتخاب مواد، استفاده از رنگ و پوشش، استفاده از حفاظت‌های کاتدی و آندی، بازدارنده‌ها، نانو و بیومواد و کاربرد آنها در رابطه با خوردگی و حفاظت، جنبه‌های الکتروشیمیایی و مکانیزم‌های خوردگی، مدیریت خوردگی در صنایع، خوردگی و عوامل متالورژیکی، مکانیکی، میکروبی، محیطی، اکسیداسیون و خوردگی در دماهای بالا (خوردگی داغ)، ارزیابی و پایش خوردگی، آثار، ابنیه و اشیای تاریخی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی در خوردگی، آنالیز تخریب ناشی از خوردگی و تخمین عمر، محیط زیست و ...

همچنین چاپ مقالات مروری نوشته شده توسط اساتید، محققان و پژوهشگران بنام در هریک از زمینه‌های یاد شده جزو اهداف نشریه است.

به منظور کسب اطلاعات بیشتر به سایت‌های زیر مراجعه کرده و یا با شماره‌های زیر تماس گرفته شود:

corrosionengineering.ica.ir

پایگاه اینترنتی فعلی نشریه

journal.ica.ir

پایگاه اینترنتی جدید نشریه (در دست بروزرسانی)

www.ica.ir

پایگاه اینترنتی انجمن خوردگی ایران

تلفن: ۸-۸۸۳۴۴۲۸۷-۰۲۱ (داخلی ۲)

به منظور تسریع در امر داوری مقاله لطفاً:

- ۱: با مراجعه به سایت انجمن خوردگی ایران، مقاله دقیقاً طبق دستورالعمل تهیه مقالات آماده و برای نشریه ارسال شود.
 - ۲: همراه با مقاله، سه داور بنام در زمینه کار پژوهشی انجام شده با ذکر مشخصات (ایمیل، تلفن تماس، آدرس محل کار) نیز ارسال شود.
- با مساعدت اعضای محترم هیات تحریریه نشریه، بازه زمانی دریافت مقاله کامل تا انجام داوری حداکثر ۴۵ روز خواهد بود.

مروری بر پوشش‌های تبدیلی عاری از کروم جهت بهبود مقاومت در برابر خوردگی سطوح فلزی

مهسا رفیعی^۱، حسین عیوض محمدلو^{۲*}

^۱ دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
^۲ گروه رنگ و روکش‌های سطح، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران
 *پست الکترونیک نویسنده مسئول: h.mohammadloo@ippi.ac.ir

چکیده

این مقاله مروری، پیشرفت‌های اخیر در زمینه پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست و بدون کروم برای سطوح فلزی را بررسی می‌کند. با توجه به مخاطرات زیست‌محیطی و سلامتی مرتبط با پوشش‌های حاوی کروم شش ظرفیتی، توسعه جایگزین‌های ایمن‌تر ضروری شده است. این مطالعه، انواع مختلف پوشش‌های تبدیلی بدون کروم شامل پوشش‌های مبتنی بر سیلان، زیرکونیوم، تیتانیوم و لانتانید را مورد بحث قرار می‌دهد. مکانیسم‌های تشکیل فیلم، خواص ضد خوردگی و چسبندگی این پوشش‌ها بررسی شده است. تأثیر پارامترهای فرآیند مانند pH، دما و زمان غوطه‌وری بر عملکرد پوشش‌ها ارزیابی شده و اهمیت بهینه‌سازی این پارامترها تأکید شده است. چالش‌های تجاری‌سازی، از جمله پایداری طولانی مدت و مقیاس‌پذیری، همراه با راه‌حل‌های بالقوه مورد بحث قرار گرفته است. مقایسه عملکرد پوشش‌های بدون کروم با پوشش‌های سنتی کرومی نشان می‌دهد که در بسیاری موارد، این جایگزین‌ها قابلیت‌های مشابه و حتی برتر ارائه می‌دهند. استفاده از نانومواد و افزودنی‌های هوشمند به عنوان راهکارهای امیدوارکننده برای بهبود عملکرد معرفی شده‌اند. این مقاله با ارائه چشم‌اندازی از آینده تحقیقات و پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست پایان می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که این پوشش‌ها پتانسیل قابل توجهی برای جایگزینی پوشش‌های سنتی حاوی کروم در صنایع مختلف دارند.

واژه‌های کلیدی: پوشش، خوردگی، لایه نازک، سطح، چسبندگی، زیست‌سازگار؛

۱- مقدمه

در چند دهه گذشته، خوردگی به دلیل تأثیرات قابل توجه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن بر سازه‌های فلزی، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. مطالعات دهه‌های ۱۹۷۰ و ۸۰ نشان داد که خسارات ناشی از خوردگی می‌تواند به ۳٪ از تولید ناخالص داخلی یک کشور برسد [۱]. خوردگی نه تنها نیاز به تعمیر و نگهداری و جایگزینی پرهزینه سازه‌ها را ایجاد می‌کند، بلکه ارزش زیبایی‌شناختی و عملکردی آن‌ها را نیز کاهش می‌دهد. از نظر ساختاری، نازک شدن مقطع ناشی از خوردگی، مقاومت را کاهش داده و استحکام، سختی و شکل‌پذیری را به خطر می‌اندازد [۲]. خوردگی، که یک نگرانی عمده برای فلزات و آلیاژها است، در نتیجه تعامل آنها با محیط اطراف رخ می‌دهد و منجر به تخریب مواد می‌شود. ادبیات علمی بین‌المللی سیستم‌های طبقه‌بندی مختلفی [۳-۵] برای پدیده‌های خوردگی ارائه می‌دهد. یک طبقه‌بندی بر اساس واکنش رخ داده بر سطح فلز است، که بین خوردگی شیمیایی و الکتروشیمیایی تمایز قائل می‌شود، که در مورد دوم واکنش‌های کاتدی-آندی درگیر هستند. پوشش‌های تبدیلی، تریتمنت‌های سطحی هستند که در صنایع برای محافظت در برابر خوردگی و بهبود ظاهر زیبایی‌شناختی مواد، به ویژه آلیاژهای منیزیم، اعمال می‌شوند [۶]. آنها در جلوگیری از خوردگی با ایجاد مانعی بین آلیاژ و محیط خورنده مؤثر هستند. یکی از مزایای پوشش‌های تبدیلی، تنوع آن‌ها در رسیدگی به مکانیسم‌های مختلف خوردگی آلیاژهای منیزیم است، که مزایای اقتصادی و سادگی در روش‌های کاربرد آنها را ارائه می‌دهد. یکی از روش‌های سنتی برای اعمال پوشش‌های تبدیلی شامل ایجاد لایه‌ای از ترکیبات محافظ بر سطح فلزات مختلف از طریق روش‌های آماده‌سازی سطح یا پری‌تریتمنت، مانند چربی‌زدایی یا تمیزکاری قلیایی، و سپس اعمال محلول‌های شیمیایی یا حمام‌ها است [۷]. با این حال، چالش‌های مربوط به سمیت و نگرانی‌های زیست‌محیطی مرتبط با ترکیبات مورد استفاده در این پوشش‌ها، استفاده از آنها را در برخی کشورها محدود کرده است، که منجر به توسعه تریتمنت‌های سطحی جایگزین با سمیت کم‌تر و خواص مقاومت به خوردگی بهبود یافته شده است [۸]. برخی از محدودیت‌های مرتبط با استفاده از پوشش‌های فسفات‌ه مربوط به تأثیر زیست‌محیطی آن‌ها است. حمام‌های فسفات‌ه اغلب حاوی فلزات سنگین هستند که می‌توانند به‌طور بالقوه به سیستم‌های اکولوژیکی آسیب برسانند اگر به درستی مدیریت نشوند [۹]. به همین دلیل، توجه به پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست افزایش یافته است. بدون شک، فولاد کربنی به دلیل خواص مکانیکی برتر آن، یک ضرورت اساسی در بسیاری از صنایع مانند لوازم خانگی و هوافضا است. با این حال، مقاومت کم آن در برابر خوردگی، استفاده گسترده از آن را محدود می‌کند [۱۰ و ۱۱]. از میان روش‌های مختلف شناخته شده برای محافظت از زیرلایه فولادی در برابر خوردگی مانند آلیاژسازی [۱۲]،

بازدارنده‌ها [۱۳]، پوشش‌ها [۱۴-۱۶] و غیره، پوشش‌ها برای سرکوب خوردگی بسیار موثر ثابت شده‌اند. پوشش‌های تبدیلی می‌توانند بین پوشش و زیرلایه عمل کرده و زبری و سطح انرژی را افزایش دهند. بنابراین، این امر شرایط عالی برای تعامل آن‌ها فراهم می‌کند. علاوه بر این، حضور پوشش تبدیلی محدودیتی بر انتقال الکترون بین مناطق آندی و کاتدی اعمال می‌کند [۱۷ و ۱۸]. به طور متعارف، تریتمنت‌های کروم شش ظرفیتی (Cr(VI)) و فسفات‌ه گزینه‌های خوبی برای ایفای نقش پوشش تبدیلی بر روی زیرلایه فولادی با توجه به چسبندگی پوشش، خواص ضد خوردگی و هزینه در چندین صنعت مانند کشاورزی و خودروسازی هستند [۱۹-۲۳]. اما متأسفانه، سمیت این پوشش‌های تبدیلی بر جنبه‌های خوب آن‌ها سایه افکنده است [۲۴]. از این رو، وجود تمایل فزاینده به کشف پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست اجتناب‌ناپذیر است. ادبیات قابل توجهی در مورد پوشش‌های تبدیلی سبز برای زیرلایه فولادی رشد کرده است. برخی نمونه‌های خوب از آنها عبارتند از: کروم سه ظرفیتی [۲۵-۲۸] (Cr(III))، مولیبدات [۲۹-۳۱]، عناصر نادر خاکی (سریوم، لانتانیم، نئودیمیم، ایتیم و غیره) [۳۲ و ۳۳]، تیتانیوم [۳۴]، زیرکونیوم [۳۵] و غیره. بخش‌های بعدی، چندین سیستم پوشش تبدیلی سازگار با زیست را به تفصیل بررسی می‌کنند، از جمله پوشش‌های بر پایه زیرکونیوم، سریوم و تیتانیوم.

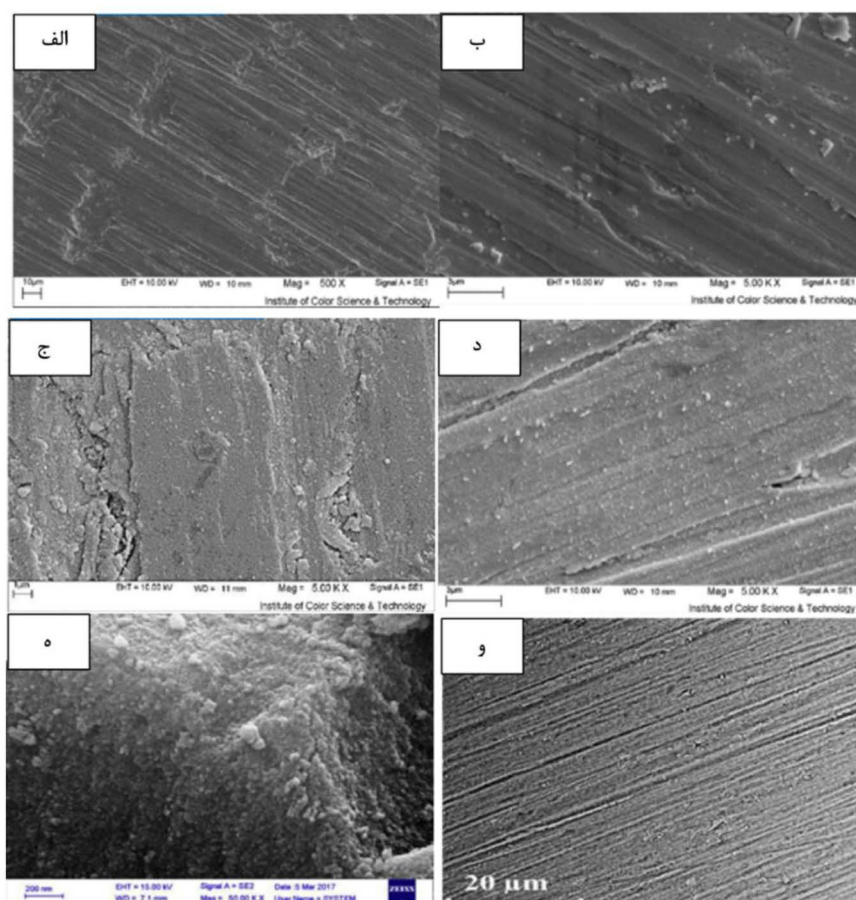
۲- پوشش‌های تبدیلی بر پایه سریوم

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که پوشش‌های تبدیلی سریوم (CeCCs) قابلیت بهبود خواص ضد خوردگی فولادها را دارند [۳۶ و ۳۷]. این پوشش‌ها می‌توانند هم به عنوان افزودنی در سایر پوشش‌ها و هم به صورت مستقیم روی سطوح فولادی استفاده شوند. به طور خاص، CeCCs توانایی قابل توجهی در افزایش مقاومت به خوردگی فولادهای گالوانیزه از خود نشان داده‌اند [۳۸]. ویژگی منحصر به فرد خودترمیمی CeCCs، آن‌ها را به جایگزین‌های امیدبخشی برای پوشش‌های کروم روی سطوح فلزی تبدیل کرده است [۳۹]. با این حال، در مطالعات سطح مشخص شده که وجود سریوم باعث ایجاد میکروترک‌ها در حین فرآیند خشک شدن می‌شود. این پدیده که ناشی از تنش انقباضی است، پوشش‌های حاوی سریوم را در برابر محیط‌های خورنده آسیب‌پذیر می‌کند [۴۰]. پرهیزکار و همکارانش [۴۱]، این موضوع را با اعمال CeCC روی سطوح فولادی و انجام آزمایش‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) در زمان‌های مختلف غوطه‌وری در محلول نمک ۳.۵ درصد وزنی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اگرچه مقاومت به خوردگی در ابتدا و در زمان‌های کوتاه غوطه‌وری بهبود می‌یابد، اما در دوره‌های طولانی‌تر کاهش پیدا می‌کند. این افت عملکرد به دلیل تشکیل ترک‌ها در سطح CeCC است که به عوامل خورنده اجازه نفوذ و رسیدن به فولاد زیرین را می‌دهد. علی‌رغم این چالش‌ها، تلاش‌های پژوهشی گسترده‌ای برای

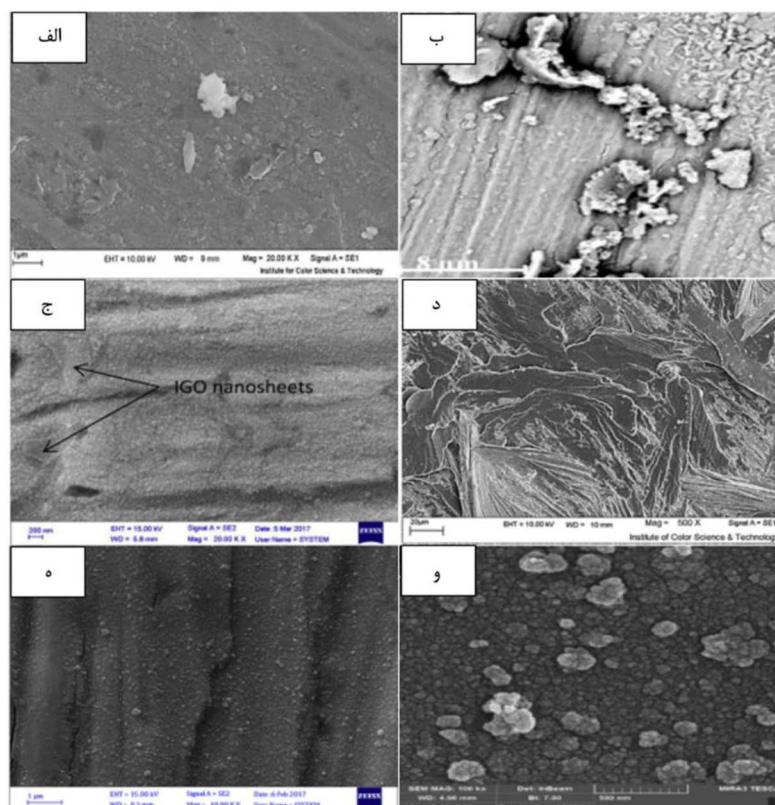
یکنواخت و بدون ترکی روی سطوح فولادی ایجاد می‌کنند، اگرچه گاهی تجمعاتی در سطح مشاهده می‌شود. ترکیب سریم با عناصر دیگر یا استفاده از پست‌تریتمنت‌ها می‌تواند کیفیت پوشش را بهبود بخشد. برای مثال، تریتمنت Ce-La و همچنین تریتمنت سریم پس‌تریتمنت شده با فسفات روی، پوشش‌های متراکم‌تر و بدون تجمع ایجاد کردند [۴۵، ۵۳ و ۵۴]. پوشش‌های تبدیلی مرکب Ce(III)-Pr(III) و Ce-IGO (اکسید گرافن عامل‌دار شده) نیز فیلم‌های یکنواخت و بدون ترک با اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر تولید کردند [۴۱، ۴۶، ۴۷ و ۵۵]. افزودن لانتانیم به محلول CeCC منجر به فیلمی متراکم‌تر با ترک‌های کمتر شد. استفاده از بازدارنده *Urtica* به عنوان پست‌تریتمنت برای CeCC، ترک‌ها را آب‌بندی کرده و فیلمی متراکم و بدون ترک ایجاد کرد [۵۴، ۵۶]. عملیات حرارتی CeCC نیز ترک‌ها را کاهش داد و سطحی متراکم‌تر ایجاد کرد، به طوری که دماهای بالاتر و مدت زمان طولانی‌تر، تعداد ترک‌ها را بیشتر کاهش داد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب CeCCs با سایر تریتمنت‌ها یا افزودنی‌ها می‌تواند خواص سطحی و عملکرد ضد خوردگی را به طور قابل توجهی بهبود بخشد [۱۸، ۴۱ و ۴۸]. اثر مشترک تریتمنت سریم با سایر تریتمنت‌ها در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است.

بهبود خصوصیات CeCC شامل، روش‌هایی مانند پری‌تریتمنت [۴۲]، استفاده از افزودنی‌ها [۴۳]، عملیات حرارتی [۴۴] و تریتمنت ثانویه فیلم انجام می‌شود [۴۵]. در شکل ۱، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) که توسط محققان مختلف گزارش شده است، مقایسه‌ای بین سطوح فولادی بدون تریتمنت و تریتمنت شده با سریم را نشان می‌دهد [۴۶-۴۸].

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پوشش‌های تبدیلی سریم (CeCCs) به دلیل اندازه بزرگتر ذرات، زبری بیشتری نسبت به سطوح بدون پوشش دارند. در مقایسه با نمونه‌های اصلاح شده با اسید سیتریک، CeCCs بدون اصلاح در زمان‌های تریتمنت کوتاه (۱-۲۰ دقیقه) دانه‌های زینک مشهودتری نشان دادند، در حالی که نمونه‌های اصلاح شده یکنواختی بیشتری داشتند. با این حال، افزایش زمان تریتمنت به ۱۰ دقیقه منجر به ایجاد ترک و در ۳۰ دقیقه باعث از بین رفتن کامل پوشش می‌شود [۴۹ و ۵۰]. سطوح تریتمنت شده با سریم مقاومت بهتری در برابر خوردگی حفره‌ای نسبت به نمونه‌های بدون تریتمنت نشان دادند، به خصوص زمانی که از اسید سیتریک در محلول CeCC استفاده شد. این امر نشان‌دهنده مقاومت بهتر در برابر حفره‌ای شدن در مقایسه با تریتمنت نیتریک اسید - کرومات است [۵۱ و ۵۲]. CeCCs معمولاً فیلم‌های



شکل ۱. تصاویر FE-SEM از (الف و ب) سطح فولادی تریتمنت نشده، (ج-و) زیرلایه فولادی تریتمنت شده با Ce [۴۶-۴۸].



شکل ۲. تصاویر FE-SEM از بستر فولادی تحت درمان با (الف) Ce-La، (ب) Ce-La به عنوان محلول دوم، (ج) Ce-IGO، (د) Ce-Zn، (ه) Ce-Pr و (و) سطح Ce-Nd [۵۷، ۵۵، ۵۴، ۴۸، ۴۶، ۱۷]

را در فیلم کاهش داد. در پوشش‌های Ce/La CC، رسوبات اکسید و هیدروکسید بالاترین غلظت Ce و La را در مقایسه با سایر مناطق نشان دادند. علاوه بر این، غلظت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در محلول CeCC بر غلظت سریم در فیلم تبدیلی تأثیر گذاشت، به طوری که مقادیر بالاتر H_2O_2 منجر به افزایش غلظت سریم شد [۵۶ و ۵۹]. تریتمنت سریم تأثیر قابل توجهی بر چسبندگی پوشش به سطح فولاد دارد. این تریتمنت باعث بهبود چسبندگی شده و نوع شکست را از چسبندگی به همبستگی تغییر می‌دهد [۶۴]. رسوب نانوذرات CeO_2 بر سطح فولاد، چسبندگی خشک را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. تریتمنت‌های ترکیبی مانند Ce-La و Ce-Nd نیز چسبندگی را بهبود می‌بخشند. تریتمنت Ce/La بالاترین چسبندگی را نشان می‌دهد. تریتمنت‌های Ce-AGO و Ce-IGO نیز قدرت چسبندگی را افزایش می‌دهند [۵۴، ۵۶ و ۵۷]. غلظت ۰.۱ گرم بر لیتر سریم در محلول CeCC بهترین نتیجه را در چسبندگی ایجاد می‌کند [۵۳]. سطح تریتمنت شده با سریم همچون سدی محافظ برای زیرلایه فولادی عمل می‌کند و از نفوذ محیط خورنده جلوگیری می‌نماید. این تریتمنت مقاومت در برابر خوردگی را افزایش داده و چگالی جریان خوردگی را کاهش می‌دهد. نتایج آزمون‌های الکتروشیمیایی مانند EIS نشان می‌دهند که سطوح تریتمنت شده با سریم پایداری بیشتری در برابر خوردگی دارند [۴۱،

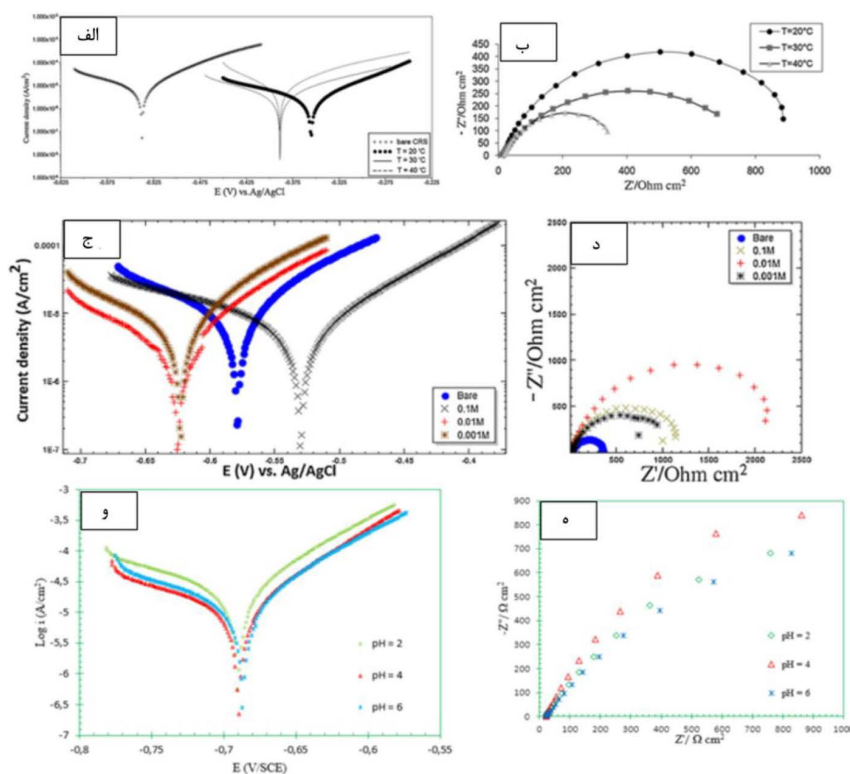
تحلیل‌های شیمیایی نشان داده است که فیلم‌های تریتمنت شده با سریم عمدتاً از CeO_2 و Ce_2O_3 تشکیل شده‌اند. این ترکیبات به عنوان اجزای اصلی پوشش‌های تبدیلی سریم (CeCC) شناخته می‌شوند. انرژی‌های پیوندی ۵۳۹.۲۸ و ۵۳۱.۲۸ الکترون‌ولت به ترتیب با CeO_2 و Ce_2O_3 مرتبط هستند [۱۷، ۴۵، ۴۷، ۴۸ و ۵۱-۵۸]. ضخامت CeCC در مطالعات مختلف متغیر بوده است. این ضخامت از حدود ۴۰ تا کمتر از ۶۰ نانومتر گزارش شده است [۵۰ و ۵۱]. جالب توجه است که اصلاح با اسید سیتریک نتایج متفاوتی را نشان داده است؛ در یک مطالعه منجر به ضخامت ۲۴۰ نانومتر و در مطالعه‌ای دیگر ۴۷.۴ نانومتر شده است. افزودن یک عامل جفت‌کننده سیلانی به محلول CeCC، تشکیل ترکیبات سریم در فیلم تبدیلی را تسهیل کرده و به تشکیل CeCC کمک کرده است. در بررسی سه نوع زیرلایه فولادی تریتمنت شده با سریم، بیشترین درصد اتمی Ce^{3+} در نمونه Zn-15 wt% Ni مشاهده شد، در حالی که بالاترین میزان Ce^{4+} در نمونه Zn یافت شد [۶۳]. نتایج طیف‌سنجی پراش انرژی (EDS) نشان داد که افزایش زمان تریتمنت پوشش تبدیلی، به ویژه در CeCC اصلاح شده با اسید سیتریک، منجر به غلظت بالاتر سریم در فیلم می‌شود. همچنین، تریتمنت سریم باعث کاهش غلظت آهن (Fe) شد [۱۸ و ۴۸]. افزودن لانتانیم (La) به محلول CeCC، محتوای سریم

بر روی زیرلایه فولادی عمدتاً شامل هگزافلوروزیرکونیک است [۷۸-۸۲]. رسوب این پوشش‌ها در حمام‌ها معمولاً سریع انجام می‌شود و ممکن است حاوی مقادیر کمی از یون‌های فلزی یا باقیمانده‌های فسفات باشد. پوشش‌های حاصل معمولاً نازک و بی‌رنگ هستند. مطالعات نشان داده‌اند که افزودن یون‌های دیگر به $ZrCC$ می‌تواند بر عملکرد آن تأثیرگذار باشد. برای مثال، استفاده از یون‌های Ni^{2+} [۸۰] فسفات [۸۳]، Fe^{3+} [۸۴]، Cu^{2+} [۸۵]، H_2O_2 و Mn^{2+} [۸۰] مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده که روش اعمال این یون‌ها (مستقیم یا در مراحل جداگانه) بر عملکرد نهایی پوشش تأثیر می‌گذارد [۸۹]. در تحقیقات مربوط به پوشش‌های تبدیلی زیرکونیوم ($ZrCC$)، روش‌های الکتروشیمیایی به عنوان ابزاری معتبر کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. به عنوان مثال، وو [۸۱] و همکارانش با استفاده از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)، مقاومت ضد خوردگی $ZrCC$ رنگی را در زمان‌های مختلف غوطه‌وری ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین قطر نیم دایره در نمودار نایکوئیست مربوط به نمونه‌ای است که ۵ دقیقه در محلول پوشش تبدیلی غوطه‌ور شده بود. pH محلول پوشش تبدیلی نقش کلیدی در فرآیند پوشش‌دهی ایفا می‌کند و بر یکنواختی و تراکم لایه پوشش روی سطح تأثیرگذار است. اسیدیته بالا (pH پایین) نه تنها از رسوب مطلوب پوشش جلوگیری

۴۶، ۴۸ و ۶۵]. تریتمنت‌های ترکیبی مانند Ce-La و Ce-Nd نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان می‌دهند [۶۶]. تریتمنت‌های ترکیبی مانند Ce-phytic acid و Ce-tannic acid اثرات محافظتی هم‌افزایی در برابر خوردگی نشان می‌دهند [۴۴ و ۶۷]. زمان و دمای تریتمنت نیز بر عملکرد پوشش تأثیرگذار هستند. معمولاً $CeCC$ در عرض ۶۰ ثانیه پوشش سطحی تشکیل می‌دهد و زمان‌های طولانی‌تر تا ۱۲۰ ثانیه منجر به پوشش ضخیم‌تر می‌شود [۷۰]. با این حال، زمان‌های بسیار طولانی ممکن است باعث ایجاد ترک شوند. دمای بهینه برای تریتمنت $CeCC$ حدود ۲۵ درجه سانتیگراد گزارش شده است [۷۱]. در مجموع، تریتمنت سریم و اصلاحات آن بهبود قابل توجهی در چسبندگی و مقاومت در برابر خوردگی نشان می‌دهند و پتانسیل بالایی برای استفاده در پوشش‌های محافظ بر روی زیرلایه‌های فولادی دارند.

۳- پوشش تبدیلی برپایه زیرکونیوم

پوشش‌های تبدیلی زیرکونیوم ($ZrCC$) به عنوان یک گزینه مناسب برای محافظت سطوح مختلف، به ویژه آلومینیوم و فولاد، مطرح شده‌اند [۷۷-۷۲]. همچنین، $ZrCC$ به دلیل مقرون به صرفه بودن، مقاومت بالا در برابر خوردگی و چسبندگی قوی به زیرلایه، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. محلول مورد استفاده برای رسوب $ZrCC$



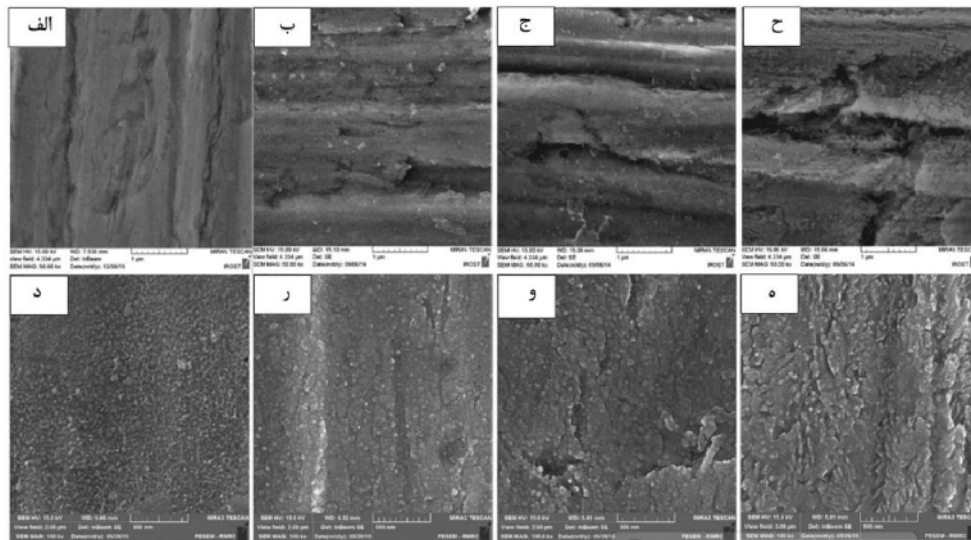
شکل ۴. منحنی‌های پلاریزاسیون و نمودارهای نایکوئیست برای پوشش تبدیلی زیرکونیومی ($ZrCC$) با (الف، ب) دماهای مختلف، (ج، د) غلظت‌های اسید متفاوت و (و، ه) pH‌های مختلف [۸۲، ۸۶ و ۸۷]

H_2TiF_6 ، بهترین زمان تشکیل فیلم برای نمونه ۲ دقیقه‌ای بود که امیدانس ۲۴۴۰ اهم سانتی‌متر مربع را نشان داد، در حالی که برای نمونه ۵ دقیقه‌ای با امیدانس ۲۵۹۰ اهم سانتی‌متر مربع زمانی که از $TiCl_4$ به عنوان منبع تیتانیوم استفاده شد، بهتر بود. همچنین، نمونه اخیر تراکم بالاتر و میکروتک‌های کمتری نشان داد. فیلم نازک و نقص به ترتیب نتیجه زمان غوطه‌وری بسیار کوتاه و طولانی هستند. گزارش شده است که شعاع کووالانسی و واندروالسی کمتر فلئورید نسبت به کلرید منجر به تفاوت در چگالی بار می‌شود که برای فلئورید بالاتر است. این امر منجر به واکنش سریع‌تر فلئورید با سطح می‌شود و به این معنی است که فلئورید به زمان غوطه‌وری کمتری برای بهبود خواص ضد خوردگی نیاز دارد [۹۳]. در مطالعه‌ای دیگر، محلول $TiCC$ از $C_2O_4H_2$ ، $TiCl_3$ ، H_2SiF_6 ، H_2O_2 (اسید اگزالیک) تشکیل شده بود. در طول ۳۰۰ ثانیه زمان غوطه‌وری، مطالعات SEM نشان داد که در زمان‌های غوطه‌وری کم، سطح متخلخل بود؛ اما با افزایش زمان غوطه‌وری، پوشش یکنواختی با میکروتک‌های قابل مشاهده، مشاهده شد [۹۴]. استفاده از K_2TiF_6 به عنوان منبع تیتانیوم در $TiCC$ نیز برای ۴ زمان غوطه‌وری (۲۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ ثانیه) بررسی شد. مقایسه چگالی‌های جریان خوردگی نشان داد که افزایش زمان غوطه‌وری باعث کاهش چگالی جریان خوردگی شد و کمترین چگالی جریان خوردگی برای نمونه ۳۰۰ ثانیه‌ای (۰/۳ میکروآمپر بر سانتی‌متر مربع) به دست آمد [۹۵]. دو پوشش آلومینیوم - سیلیکون روی زیرلایه فولادی استفاده شد. یکی بدون سیلیکون و دیگری با ۷٪ سیلیکون در ترکیب پوشش. سپس، $TiCC$ در زمان‌های غوطه‌وری مختلف (۴۵ ثانیه، ۱۰۰ ثانیه، ۳۰۰ ثانیه) روی آن‌ها اعمال شد. نتایج ارتباطی بین ترکیب پوشش آلومینیوم - سیلیکون و ویژگی‌های پوشش تبدیلی نشان داد. مشخص شد که در زمان غوطه‌وری کم، پوشش تبدیلی تمایل به رسوب در اطراف سیلیکون یوتکتیک^۱ کاتدی داشت و با افزایش زمان غوطه‌وری، پوشش تبدیلی به سایر مناطق گسترش یافت تا در نهایت سطح را کاملاً پوشش دهد. علاوه بر این، ضخامت پوشش تبدیلی بر اساس پروفایل عمقی اوژه (AES) محاسبه شد و مشخص شد که افزایش محتوای سیلیکون در ترکیب پوشش و همچنین زمان غوطه‌وری پوشش تبدیلی منجر به تشکیل فیلم پوشش تبدیلی ضخیم‌تر شد [۹۶]. چندین زمان غوطه‌وری (۳۰ ثانیه تا ۳۶۰ ثانیه) برای رسوب $TiCC$ در حضور یون‌های سیلیسیم روی فولاد الکتروگالوانیزه انتخاب شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان غوطه‌وری، فیلم $TiCC$ روندی به سمت غلظت بالاتر تیتانیوم و سیلیکون را تجربه کرد. اگرچه این افزایش غلظت تا پایان آزمایش ادامه داشت، بهترین نتیجه از نظر محدودیت تخریب خوردگی در زمان غوطه‌وری ۲۰ ثانیه به دست آمد [۳۸]. تصویری از پوشش‌های تبدیلی تیتانیومی مختلف را می‌توان در شکل ۵ مشاهده کرد.

می‌کند، بلکه سرعت انحلال آن را نیز افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، قلیائیت بالا (pH بالا) می‌تواند منجر به حمله یون‌های هیدروکسیل شود که پوشش سطح را محدود می‌کند. بررسی‌های متعدد نشان داده‌اند که محدوده pH بین ۴ تا ۴/۵ برای تشکیل فیلم مؤثرتر $ZrCC$ مناسب‌تر است. در این راستا، عیوض‌محمملو [۸۳] و همکارانش تأثیر دما و pH را بر خصوصیات ضدخوردگی و سطحی $ZrCC$ مطالعه کردند. نتایج آزمایش‌های الکتروشیمیایی آن‌ها نشان داد که بهترین عملکرد ضدخوردگی و پوشش بدون ترک در pH برابر ۴/۵ و دمای فرآیند ۲۰ درجه سانتیگراد حاصل می‌شود. شکل ۴ در این مطالعه، منحنی‌های پلاریزاسیون و نمودارهای نایکویست را برای $ZrCC$ در شرایط مختلف نشان می‌دهد. این شرایط شامل دماهای متفاوت (الف، ب)، غلظت‌های مختلف اسید (ج، د) و مقادیر متفاوت pH (و، ه) است.

۴ - پوشش تبدیلی بر پایه تیتانیوم

پوشش تبدیلی تیتانیوم ($TiCC$) به عنوان یکی از انواع مهم پوشش‌های تبدیلی، استانداردهای لازم برای کاربرد در صنعت خودروسازی را کسب کرده است [۸۸]. در پژوهشی توسط عیوض‌محمملو [۸۹] و همکاران، $TiCC$ روی زیرلایه فولادی در حضور ترکیبات مختلف از جمله اسید فیتیک، اسید هگزاfluوروزیرکونیک، مولیبدن و نیکل اعمال شد. تصاویر FE-SEM نشان داد که علی‌رغم وجود برخی نقایص، $TiCC$ لایه‌ای نسبتاً یکنواخت تشکیل می‌دهد. حضور نیکل در پوشش منجر به ایجاد لایه‌ای یکنواخت‌تر شد، در حالی که ترکیب $TiCC$ با مولیبدن، زیرکونیوم و اسید فیتیک عملکرد ضعیفی داشت. پوشش‌های فسفات‌ه و کروماته در مقایسه عملکرد بهتری نشان دادند [۹۰]. در مطالعه‌ای دیگر عیوض‌محمملو و همکاران، مورفولوژی $TiCC$ در حضور اسید فیتیک ($TiPhACC$) در زمان‌های غوطه‌وری مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که متراکم‌ترین و بدون ترک‌ترین پوشش پس از ۱۰ دقیقه غوطه‌وری حاصل می‌شود. همچنین مشخص شد که $TiPhACC$ برخلاف پوشش فسفات‌ه که بلوری است، ساختاری آمورف دارد [۹۱]. بررسی تأثیر زمان غوطه‌وری بر تشکیل $TiCC$ روی فولاد گالوانیزه نشان داد که زمان بهینه حدود ۳۰۰ ثانیه است. زمان‌های کوتاه‌تر منجر به پوشش ناقص و زمان‌های طولانی‌تر باعث ایجاد ترک در پوشش می‌شود [۹۲]. مطالعه‌ای دیگر تأثیر سه ترکیب CC مختلف $TiCC$ با pHهای متفاوت را بر روی فولاد گالوانیزه گرم (HDG) بررسی کرد. نتایج نشان داد که ترکیب CC و pH محلول بر مورفولوژی و یکنواختی پوشش تأثیر قابل توجهی دارد. در میان زمان‌های مختلف (۱۰-۱۰۰ دقیقه) برای تشکیل فیلم $TiCC$ در حضور اسید فیتیک در محلول ($TiPhACC$)، مشخص شد که مورفولوژی متراکم و بدون ترک برای نمونه ۱۰ دقیقه‌ای به دست آمد [۹۱]. برای $TiCC$ حاوی

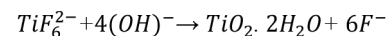


شکل ۵. تصاویر FE-SEM از TiCC و TiPhACC برای زمان‌های مختلف غوطه‌وری: (الف) بدون پوشش، (ب) TiCC (۱ دقیقه)، (ج) TiCC (۲ دقیقه)، (د) TiPhACC (۱ دقیقه)، (ه) TiPhACC (۵ دقیقه)، (و) TiPhACC (۲ دقیقه)، (ز) TiPhACC (۱۰ دقیقه)، (ح) TiCC (۱۰ دقیقه)، (ط) TiCC (۲۰ دقیقه).

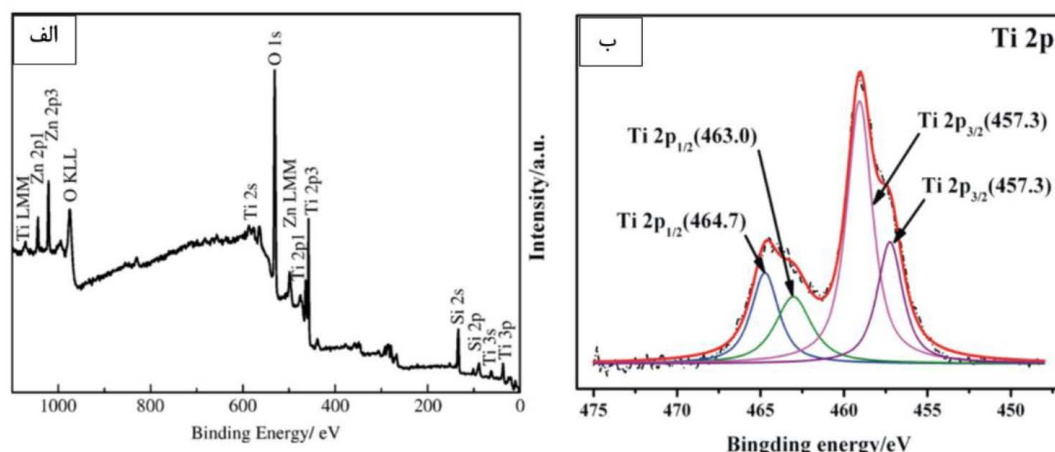
محدوده ۳.۵-۲.۵ pH به دست آمد [۳۸]. بر اساس اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی، بهترین غلظت برای تیتانیوم به شکل H_2TiF_6 در محلول TiCC ۱ گرم بر لیتر است که منجر به سرکوب خوردگی بالاتری شد و همین نتیجه زمانی که از $TiCl_4$ به عنوان منبع تیتانیوم استفاده شد، به دست آمد. در غلظت بالاتر، انحلال فلز و در غلظت پایین، عدم پوشش کامل می‌تواند تجربه شود [۹۳].

آنالیز XPS حضور گونه‌های مختلف از جمله Ti, O, Ni, Mo, Cl و Fe را در پوشش‌های $TiCC, TiMoCC$ و $TiNiCC$ تأیید کرد. انرژی‌های پیوند مشخصی برای ترکیبات مختلف تیتانیوم، نیکل و مولیبدن شناسایی شد. همچنین مشخص شد که منبع تیتانیوم مورد استفاده در محلول بر شدت سیگنال Ti در آنالیز XPS تأثیرگذار است [۹۳-۹۷]. در یک مطالعه، استفاده از پتاسیم هگزاfluorotitanat (IV) به عنوان منبع Ti گزارش شد. ترکیب شیمیایی دقیق پوشش تبدیلی پس از ۳۰۰ ثانیه غوطه‌وری تعیین شد که شامل درصدی مشخصی از عناصر مختلف بود. داده‌های XPS نشان داد که پتاسیم به شکل کربنات در پوشش وجود دارد [۹۸]. این مطالعات نشان می‌دهند که عوامل متعددی از جمله ترکیب محلول، زمان غوطه‌وری، pH و منبع تیتانیوم بر خواص و عملکرد $TiCC$ تأثیرگذار هستند. مطالعات XPS بر روی رسوب پوشش تبدیلی حاوی تیتانیوم ($TiCC$) از محلولی شامل Ti و Si در زمان‌های غوطه‌وری متفاوت انجام شد. نتایج نشان داد که در زمان‌های کوتاه غوطه‌وری، فیلم $TiCC$ حاوی بیشترین مقدار Ti (۱۱/۶٪) و کمترین مقدار Si (۳/۶۷٪) بود. با افزایش زمان غوطه‌وری تا ۳۰۰ ثانیه، این روند معکوس شد و غلظت Ti به ۲/۲۶٪ کاهش یافت، در حالی که غلظت Si به ۲۰/۶۲٪ افزایش پیدا کرد [۹۹]. آنالیز XPS پوشش $TiCC$ حاوی Si بر روی

$TiCC$ رسوب داده شده از محلول K_2TiF_6 روی زیرلایه فولادی در سه دما (۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد و بررسی دقیق داده‌های به دست آمده از پلاریزاسیون پتانسیودینامیک نشان داد که چگالی جریان خوردگی کمتر با دمای بالاتر حتی در زمان‌های غوطه‌وری مختلف مرتبط است [۹۵]. رسوب $TiCC$ (با استفاده از $TiCl_4$ به عنوان منبع تیتانیوم) روی فولاد الکتروکاتالیزه در حضور یون‌های سیلیکون در ترکیب پوشش تبدیلی بررسی شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم اینکه رسوب در ۶۰ درجه سانتی‌گراد منجر به غلظت بالاتر تیتانیوم و سیلیکون شد، عملکرد محافظت در برابر خوردگی بهتری در نمونه ۵۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد [۳۸]. به خوبی مشخص شده است که افزایش pH موضعی علت رسوب لایه پوشش تبدیلی روی سطح فولاد است. این ایده به صورت تجربی با اندازه‌گیری مقدار pH در فصل مشترک زیرلایه - محلول با استفاده از میکروالکتروکود تنگستن آزمایش شد. نتایج نشان داد که pH ابتدا از ۲ به ۶ تا ۵ دقیقه افزایش یافت که منجر به رسوب $TiCC$ طبق معادله ۱ شد و سپس مقدار pH تقریباً ثابتی حدود ۳/۵-۴ را دنبال کرد، [۸۹].



اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی نشان داد که بهترین مقدار pH برای $TiCC$ حاوی H_2TiF_6 یا $TiCl_4$ یکسان است (pH=2) [۹۳]. با این حال، در مطالعه‌ای دیگر در حضور یون‌های سیلیکون در ترکیب پوشش تبدیلی، بهترین فیلم $TiCC$ با بالاترین غلظت سیلیکون و تیتانیوم که می‌تواند واکنش‌های کاتدی را محدود کند، در



شکل ۶. طیف‌های XPS پوشش تبدیلی تیتانیومی (TiCC) پس از (الف) ۲ دقیقه و (ب) ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی [۳۸ و ۱۰۰].

در ابتدا نوسانی بین پتانسیل‌های آندی و کاتدی را تجربه کرد و سپس با شیب ملایمی به سمت پتانسیل‌های پایین‌تر حرکت کرد. [۱۰۲]. اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی نشان داد که TiCC حاوی یون‌های نیکل چگالی جریان خوردگی را به $1/6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ کاهش داد، که کمتر از $5/2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ TiMoCC، پوشش تبدیلی فسفات‌ه $5/1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ و کروماته $4/3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ بود. این بهبود به تشکیل فیلم متراکم دو لایه با ضخامت ۷۰ نانومتر نسبت داده شد [۸۹ و ۹۰]. علاوه بر این، TiCC بدون هیچ افزودنی، بالاترین امیدانس و کمترین چگالی جریان خوردگی را در مقایسه با TiPhACC و PhACC نشان داد [۹۱]. مطالعات نشان داده است که منبع تیتانیوم در محلول پوشش تبدیلی (CC) تأثیر قابل توجهی بر عملکرد ضد خوردگی فولاد پوشش داده شده دارد. در یک بررسی، فولاد پوشش داده شده با اپوکسی که با پوشش تبدیلی تیتانیوم (TiCC) پیش‌تریتمنت شده بود، با استفاده از منابع مختلف تیتانیوم (TiCl_4 و H_2TiF_6) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمون EIS پس از یک و هشت هفته نشان داد که CC حاصل از H_2TiF_6 امیدانس کمتری نشان داد [۹۳]. در مطالعه دیگری، تأثیر یون‌های تیتانیوم از TiCl_3 و سیلیسیم از H_2SiF_6 در CC با زمان‌های غوطه‌وری متفاوت، نشان داد که در زمان‌های غوطه‌وری کمتر، که منجر به غلظت بالاتر تیتانیوم و کمتر سیلیسیم می‌شود، چگالی جریان خوردگی کمتر است. این یافته نشان می‌دهد که TiCC در زمان‌های غوطه‌وری کوتاه‌تر، حتی در مقایسه با CC کروماته، عملکرد بهتری در بازدارندگی خوردگی دارد [۹۹]. در نهایت، TiCC (با محلول K_2TiF_6) در دو زمان غوطه‌وری مختلف (۶۰ و ۳۰۰ ثانیه) بر روی سطح فولاد اعمال شد. آزمون پاشش نمک نشان داد که پس از ۹۶ ساعت، نمونه ۳۰۰ ثانیه تنها ۵٪ محصولات خوردگی نشان داد، در حالی که نمونه ۶۰ ثانیه به طور قابل توجهی تخریب شد [۹۸].

فولاد الکتروگالوانیزه نشان داد که پوشش تبدیلی از TiO_2 ، ZnO و $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ تشکیل شده است [۳۸]. در مورد پوشش تبدیلی Ti/Zr اعمال شده بر روی فولاد الکتروگالوانیزه، عناصر O، Ti، Zn و F شناسایی شدند. انرژی‌های پیوند ۴۵۹/۱ و ۴۶۴/۷ الکترون‌ولت به Ti^{4+} در TiO_2 و انرژی‌های پیوند ۴۵۷/۳ و ۴۶۳/۰ الکترون‌ولت به Ti^{3+} در Ti_2O_3 نسبت داده شدند. پروفایل عمقی نشان داد که غلظت Zr در مقایسه با Ti در پوشش تبدیلی بالاتر بود [۱۰۰]. شکل ۶ طیف‌های XPS پوشش تبدیلی تیتانیوم را پس از ۲ و ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی نشان می‌دهد.

فولاد پوشش داده شده با آلومینیوم - سیلیکون با غلظت‌های مختلف سیلیکون (۱، ۳ و ۷ درصد وزنی) در پوشش تهیه شد و سپس با TiCC (پوشش تبدیلی تیتانیوم) تریتمنت شد. نتایج OCP (پتانسیل مدار باز) نشان داد که در تمام نمودارها، پتانسیل‌ها در ابتدا کاهش یافته و سپس به سمت یک منطقه پایدار جابجا شدند. نمونه بدون سیلیکون در $-0/84$ ولت نسبت به Ag/AgCl (پس از ۲۱۰ ثانیه) به حالت پایدار رسید، در حالی که نمونه‌های حاوی سیلیکون بین $-0/78$ و $-0/79$ ولت نسبت به Ag/AgCl (پس از ۱۵۰ ثانیه) به پایداری رسیدند [۱۰۱]. آزمایش‌های OCP برای رسوب TiCC بر روی فولاد گالوانیزه نیز انجام شد. در ابتدا، افزایشی در پتانسیل با افزایش زمان غوطه‌وری تا ۳۰۰ ثانیه مشاهده شد که نشان‌دهنده فرآیند تشکیل TiCC بود، سپس با کاهش اندکی همراه بود که انتقال به منطقه پایدارتر در نمودار را نشان می‌داد [۹۲]. در تحقیق دیگری، سه ترکیب TiCC بر روی زیرلایه فولادی اعمال شد و نتایج نشان داد که پتانسیل نمونه تریتمنت نشده در ابتدا به شدت کاهش یافت و سپس در $-1/07$ نسبت به SCE به منطقه پایدار رسید. تمام نمونه‌های تریتمنت شده پتانسیل بالاتری نسبت به نمونه تریتمنت نشده نشان دادند. در غیاب ترکیب آلی در ترکیب TiCC،

نتیجه‌گیری

این مقاله مروری، پیشرفت‌های اخیر در زمینه پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست و بدون کروم برای سطوح فلزی را مورد بررسی قرار داد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که پوشش‌های تبدیلی بدون کروم، به ویژه انواع مبتنی بر سریوم، زیرکونیوم و تیتانیوم پتانسیل قابل توجهی برای جایگزینی پوشش‌های سنتی حاوی کروم شش ظرفیتی دارند. مطالعات نشان می‌دهد که خواص ضد خوردگی و چسبندگی پوشش‌های بدون کروم در بسیاری از موارد قابل مقایسه و حتی برتر از پوشش‌های کرومی است. با این حال، عملکرد این پوشش‌ها به شدت تحت تأثیر پارامترهای فرآیند مانند pH، دما و زمان غوطه‌وری قرار دارد. بهینه‌سازی این پارامترها می‌تواند منجر به بهبود قابل توجه در عملکرد نهایی پوشش شود. علی‌رغم پیشرفت‌های چشمگیر، چالش‌هایی در مسیر تجاری‌سازی گسترده این فناوری‌ها وجود دارد. پایداری طولانی مدت، مقیاس‌پذیری و هزینه‌های تولید از جمله موانع اصلی هستند. با این وجود، راهکارهای نوآورانه مانند ترکیب نانومواد و افزودنی‌های هوشمند با پوشش‌های تبدیلی بدون کروم، چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه می‌دهند. تحقیقات آینده باید بر درک عمیق‌تر مکانیسم‌های محافظتی، بهینه‌سازی فرمولاسیون‌ها و بهبود پایداری طولانی مدت این پوشش‌ها متمرکز شود. همچنین، مطالعات بیشتر در زمینه سازگاری این پوشش‌ها با سایر روش‌های محافظتی و قابلیت کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف ضروری است. در مجموع، پوشش‌های تبدیلی سازگار با محیط زیست و بدون کروم، نوید بخش آینده‌ای پایدار در صنعت محافظت از سطوح فلزی هستند.

مراجع

- [1] G. Koch, Cost of corrosion, Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies, Vol. 2017, pp. 3–30.
- [2] C. Hansen, Metal Corrosion in the Human Body: The Ultimate Bio-Corrosion Scenario, Electrochemical Society Interface, Vol. 17, 2008, Pp. 31-34.
- [3] Glossary of Corrosion Related Terms; NACE International: Houston, TX, USA, 2002.
- [4] EN ISO 8044. Corrosion of Metals and Alloys: Basic Terms and Definitions; European Committee for Standardization (CEN): Brussels, Belgium, 1999.
- [5] National Physical Laboratory (NPL) UK. Guide to the conservation of metals. Available online: <http://www.npl.co.uk> (accessed on 20 July 2024).
- [6] R. Amini, A.A. Sarabi, The corrosion properties of phosphate coating on AZ31 magnesium alloy: The effect of sodium dodecyl sulfate (SDS) as an eco-friendly accelerating agent, Applied Surface Science, Vol. 257, No. 16, 2011, Pp. 7134-7139.
- [7] Eppensteiner F, Jenkins M, Metal Finishing, Metal Finishing Magazine, Vol. 109, 2011, Pp. 417-418.
- [8] Zin I, Lyon S, Pokhmurskii V, Corrosion Science, Vol. 45, 2003, Pp. 777-788.
- [9] S. Jegannathan, T.S.N. Sankara Narayanan, K. Ravichandran, S. Rajeswari, Formation of zinc phosphate coating by anodic electrochemical treatment, Surface and Coatings Technology, Vol. 200, No. 20–21, 2006, Pp. 6014-6021.
- [10] C.C. Jiang, G.Y. Xiao, X. Zhang, R.F. Zhu, Y.P. Lu, Formation and corrosion resistance of a phosphate chemical conversion coating on medium carbon low alloy steel, New Journal of Chemistry, Vol. 40, No. 2, 2016, Pp. 1347–1353.
- [11] C. Jiang, X. Zhang, D. Wang, L. Zhang, X. Cheng, Phosphate conversion coatings on 35CrMnSi steels subjected to different heat treatments, Electrochem. Commun, Vol. 40, 2020.
- [12] J. Xu, X. Xie, Z. Xu, Double glow surface alloying of low carbon steel with electric brush plating Ni in terlayer for improvement in corrosion resistance, Surface and Coatings Technology, Vol. 168, No. 2-3, 2003, Pp. 156-160.
- [13] S. Chen, B. Zhu, X. Liang, Corrosion Inhibition Performance of Coconut Leaf Extract as a Green Corrosion Inhibitor for X65 Steel in Hydrochloric Acid Solution, International Journal of Electrochemical Science. Sci, Vol. 15, No. 1, 2020, Pp. 1-15.
- [14] S. Khamseh, E. Alibakhshi, B. Ramezanzadeh, M.G. Sari, A.K. Nezhad, Developing a Graphite like Carbon: Niobium thin film on GTD-450 stainless steel substrate, Applied Surface Science, Vol. 15, No. 1, 2020, Pp. 1-15.
- [15] Y. Li, C. Wu, M. Xue, J. Cai, Y. Huang, H. Yang, Preparation of Sol-Gel Derived Anticorrosive Coating

- on Q235 Carbon Steel Substrate with Long-Term Corrosion Prevention Durability, *Materials* (Basel), Vol. 12, No. 12, 2019, Pp. 1960.
- [16] C. Hu, Y. Li, T. Li, Y. Qing, J. Tang, H. Yin, L. Hu, L. Zhang, Y. Xie, K. Ren, Fabrication of poly(N-methylaniline)/SiC-ZnO bilayer coatings onto the carbon steel substrate and studies on its anticorrosion properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 585, 2020, Pp. 124176.
- [17] S. Akbarzadeh, M. Ramezanzadeh, B. Ramezanzadeh, Inspection the corrosion prevention performance and dry/wet interfacial adhesion qualities of the melamine-cured polyester coating applied on the treated mild steel surface with a nanostructured composite cerium-neodymium film, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 590, 2020, Pp. 124472.
- [18] Z. Mahidashti, T. Shahrabi, B. Ramezanzadeh, The role of post-treatment of an ecofriendly cerium nanostructure Conversion coating by green corrosion inhibitor on the adhesion and corrosion protection properties of the epoxy coating, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 114, 2018, Pp. 19-32.
- [19] M. Mouanga, M. Puiggali, O. Devos, EIS and LEIS investigation of aging low carbon steel with Zn-Ni coating, *Electrochimica Acta*, Vol. 106, 2013, Pp. 82-90.
- [20] A.M. Rocco, T.M.C. Nogueira, R.A. Simao, W.C. Lima, Evaluation of chromate passivation and chromate conversion coating on 55% Al-Zn coated steel, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 179, 2004, Pp. 135-144.
- [21] C.R. Tomachuk, C.I. Elsner, A.R. Di Sarli, O.B. Ferraz, Corrosion resistance of Cr(III) conversion treatments applied on electrogalvanised steel and subjected to chloride containing media, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 119, 2010, Pp. 19-29.
- [22] M. Golabadi, M. Aliofkhazraei, M. Toorani, A. Sabour Rouhaghdam, Corrosion and cathodic disbondment resistance of epoxy coating on zinc phosphate conversion coating containing Ni²⁺ and Co²⁺, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 47, 2017, Pp. 154-168.
- [23] C. Lu, X. Liu, P. Wan, P. Yu, Thiourea-assisted phosphate conversion coating on mild steel and characterizations by cathodic polarization and linear polarization, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 52, No. 7, 2013, Pp. 4547-4555.
- [24] B. Ramezanzadeh, H. Vakili, R. Amini, The effects of addition of poly(vinyl) alcohol (PVA) as a green corrosion inhibitor to the phosphate conversion coating on the anticorrosion and adhesion properties of the epoxy coating on the steel substrate, *Applied Surface Science*, Vol. 327, 2015, Pp. 174-181.
- [25] N.T. Wen, C.S. Lin, C.Y. Bai, M. Der Ger, Structures and characteristics of Cr(III)-based conversion coatings on electrogalvanized steels, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 203, No. 3-4, 2008, Pp. 317-323.
- [26] J. Pan, Y. Li, Corrosion Resistance of Hot-dip Zn55Al Coated Steel Sheet Treated by Cr(III) Conversion Coating Against Chloride-Containing Media, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 562, No. 5, 2019, Pp. 1-22.
- [27] Y. Li, J. Pan, J. Qi, Trivalent Chromium Conversion Coating Formed on Hot Dip Zn-55Al-1.6Si Coated Steel, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 472, No. 1, 2019, Pp. 012075.
- [28] A.R. Di Sarli, J.D. Culcasi, C.R. Tomachuk, C.I. Elsner, J.M. Ferreira-Jr, I. Cořta, A conversion layer based on trivalent chromium and cobalt for the corrosion protection of electrogalvanized steel, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 258, 2019, Pp. 426-436.
- [29] D.L. Liu, Z.G. Yang, Z.Q. Wang, C. Zhang, Synthesis and evaluation of corrosion resistance of molybdate-based conversion coatings on electroplated zinc, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 205, 2010, Pp. 2328-2334.
- [30] H. Verbruggen, K. Baert, H. Terryn, I. De Graeve, Molybdate-phosphate conversion coatings to protect steel in a simulated concrete pore solution, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 361, 2019, Pp. 280-291.
- [31] S.H. Zhang, B. Yang, G. Kong, J.T. Lu, Electrochemical analysis of molybdate conversion coating on hot-dip galvanized steel in various growth stages, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 259, 2014, Pp. 1-28.
- [32] M.F. Montemor, A.M. Simões, M.G.S. Ferreira, Composition and corrosion behaviour of galvanised

- steel treated with rare-earth salts: The effect of the cation, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 44, 2002, Pp. 111-120.
- [33] M.T. Majd, T. Shahrabi, B. Ramezanzadeh, The role of neodymium based thin film on the epoxy/steel in terfacial adhesion and corrosion protection promotion, *Applied Surface Science*, Vol. 464, 2018, Pp. 516-533.
- [34] L. Zhu, F. Yang, N. Ding, Corrosion resistance of the electro-galvanized steel treated in a titanium conversion solution, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, No. 18, 2007, Pp. 7829-7834
- [35] H.R. Asemani, P. Ahmadi, A.A. Sarabi, H.E. Mohammadloo, Progress in Organic Coatings Effect of zirconium conversion coating : Adhesion and anti-corrosion properties of epoxy organic coating containing zinc aluminum polyphosphate (ZAPP) pigment on carbon mild steel, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 94, 2016, Pp. 18-27.
- [36] X. Li, S. Deng, H. Fu, G. Mu, Synergistic inhibition effect of rare earth cerium(IV) ion and anionic surfactant on the corrosion of cold rolled steel in H₂SO₄ solution, *Corrosion Science*, Vol. 50, No. 9, 2008, Pp. 2635-2645.
- [37] M. Forsyth, C.M. Forsyth, K. Wilson, T. Behrsing, G.B. Deacon, ATR characterisation of synergistic corrosion inhibition of mild steel surfaces by cerium salicylate, *Corrosion Science*, Vol. 44, No. 11, 2002, Pp. 2651-2656.
- [38] J.H. Park, W.S. Kim, D.H. Jo, J.S. Kim, J.M. Park, Effect of Ce conversion underlayer coating on the photo-catalytic activity of TiO₂ sol-gel film deposited on hot-dip GI, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 20, No. 4, 2014, Pp. 1965-1972.
- [39] O. Girčienė, L. Gudavičiūtė, A. Selskienė, A. Kirdeikienė, R. Ramanauskas, Electrochemical investigations of the anticorrosive behaviour of the phosphated electrogalvanized steel additionally coated with conversion layer of cerium oxide, *Chemija*, Vol. 31, No. 2, 2020, Pp. 77-86.
- [40] Z. Mahidashti, B. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, Screening the effect of chemical treatment of steel substrate by a composite cerium-lanthanum nanofilm on the adhesion and corrosion protection properties of a polyamide-cured epoxy coating; Experimental and molecular dynamic simulations, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 114, 2018, Pp. 188-200.
- [41] N. Parhizkar, B. Ramezanzadeh, T. Shahrabi, The epoxy coating interfacial adhesion and corrosion protection properties enhancement through deposition of cerium oxide nanofilm modified by graphene oxide, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 64, 2018, pp. 402-419.
- [42] K. Brunelli, M. Dabalà, I. Calliari, M. Magrini, Effect of HCl pre-treatment on corrosion resistance of cerium-based conversion coatings on magnesium and magnesium alloys, *Corrosion Science*, Vol. 47, 2005, Pp. 989-1000.
- [43] X. Wang, L. Zhu, X. He, F. Sun, Effect of cerium additive on aluminum-based chemical conversion coating on AZ91D magnesium alloy, *Applied Surface Science*, Vol. 280, 2013, Pp. 467-473.
- [44] Z. Mahidashti, T. Shahrabi, B. Ramezanzadeh, A new strategy for improvement of the corrosion resistance of a green cerium conversion coating through thermal treatment procedure before and after application of epoxy coating, *Applied Surface Science*, Vol. 390, 2016, Pp. 623-632
- [45] B. Ramezanzadeh, H. Vakili, R. Amini, Improved performance of cerium conversion coatings on steel with zinc phosphate post-treatment, *J Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 30, 2015, Pp. 225-233.
- [46] N. Parhizkar, T. Shahrabi, B. Ramezanzadeh, Steel surface pre-treated by an advance and eco-friendly cerium oxide nanofilm modified by graphene oxide nanosheets; electrochemical and adhesion measurements, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 747, 2018, Pp. 109-123.
- [47] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M.R. Saeb, H. Terryn, M. Ghaffari, Corrosion protection properties and interfacial adhesion mechanism of an epoxy/polyamide coating applied on the steel surface decorated with cerium oxide nanofilm: Complementary experimental, molecular dynamics (MD) and first principle quantum mechanics, *Applied Surface Science*, Vol. 419, 2017, Pp. 650-669.
- [48] Z. Mahidashti, B. Ramezanzadeh, Influence of lanthanum as additive and post-treatment on the corrosion protection properties and surface morphology of mild steel chemically treated by a cerium conversion

- coating, *Journal of Rare Earths*, Vol. 36, No. 10, 2018, Pp. 1112-1120.
- [49] J.T. Lu, H.J. Wu, G. Kong, C.S. Che, Q.Y. Xu, Growth and corrosion behavior of rare earth film on hot-dip galvanized steel, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 16, No. 6, 2006, Pp. 1397-1401.
- [50] S.H. Zhang, B. Yang, M.D. Li, W. Zhai, Z.G. Wang, S. Li, Effect of Citric Acid on Cerium Conversion Coating of Hot-Dip Galvanized Steel, *Key Engineering Materials*, Vol. 814, 2019, Pp. 144-151.
- [51] C. Wang, F. Jiang, F. Wang, The characterization and corrosion resistance of cerium chemical conversion coatings for 304 stainless steel, *Corrosion Science*, Vol. 46, No. 1, 2004, Pp. 75-89.
- [52] J. Xu, S.S. Xin, P.H. Han, R.Y. Ma, M.C. Li, Cerium chemical conversion coatings for corrosion protection of stainless steels in hot seawater environments, *Material and Corrosion*, Vol. 64, No. 7, 2013, Pp. 619-624.
- [53] E. Onofre-Bustamante, M.A. Domínguez-Crespo, A.M. Torres-Huerta, A. Olvera-Martínez, J. Genescá-Llongueras, F.J. Rodríguez-Gómez, Characterization of cerium-based conversion coatings for corrosion protection of AISI-1010 commercial carbon steel, *Journal of Solid State Electrochemistry*, Vol. 13, 2009, Pp. 1785-1799.
- [54] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, A Detailed Molecular Dynamics Simulation and Experimental Investigation on the Interfacial Bonding Mechanism of an Epoxy Adhesive on Carbon Steel Sheets Decorated with a Novel Cerium-Lanthanum Nanofilm, *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 9, No. 20, 2017, Pp. 17536-17551.
- [55] M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Development of a nanostructured Ce(III)-Pr(III) film for excellently corrosion resistance improvement of epoxy/polyamide coating on carbon steel, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 792, 2019, Pp. 375-388.
- [56] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Corrosion protective and adhesion properties of a melamine-cured polyester coating applied on steel substrate treated by a nanostructure cerium-lanthanum film, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 81, 2017, Pp. 419-434.
- [57] H. Vakili, B. Ramezanzadeh, R. Amini, The corrosion performance and adhesion properties of the epoxy coating applied on the steel substrates treated by cerium-based conversion coatings, *Corrosion Science*, Vol. 94, 2015, Pp. 466-475.
- [58] N. Mora, E. Cano, J.L. Polo, J.M. Puente, J.M. Bastidas, Corrosion protection properties of cerium layers formed on tinplate, *Corrosion Science*, Vol. 46, No. 3, 2004, Pp. 563-578.
- [59] B. Ramezanzadeh, M. Rostami, The effect of cerium-based conversion treatment on the cathodic delamination and corrosion protection performance of carbon steel-fusion-bonded epoxy coating systems, *Applied Surface Science*, Vol. 392, 2017, Pp. 1004-1016.
- [60] J. Xu, S.S. Xin, P.H. Han, R.Y. Ma, M.C. Li, Cerium chemical conversion coatings for corrosion protection of stainless steels in hot seawater environments, *Materials and Corrosion*, Vol. 64, No. 7, 2013, Pp. 619-624.
- [61] G. Liu, F. Yu, L. Yang, J. Tian, N. Du, Cerium-tannic acid passivation treatment on galvanized steel, *Rare Metals*, Vol. 28, 2009, Pp. 284-288.
- [62] G. KONG, J. LU, H. WU, Post treatment of silane and cerium salt as chromate replacers on galvanized steel, *Journal of Rare Earths*, Vol. 27, No. 1, 2009, Pp. 164-168.
- [63] Y.K. Song, F. Mansfeld, Evaluation of the corrosion resistance of different galvanized steels treated in a cerium salt solution, *Materials and Corrosion*, Vol. 56, No. 4, 2005, Pp. 229-236.
- [64] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Cerium oxide nanoparticles influences on the binding and corrosion protection characteristics of a melamine-cured polyester resin on mild steel: An experimental, density functional theory and molecular dynamics simulation study, *Corrosion Science*, Vol. 118, 2017, Pp. 69-83.
- [65] Y. Kobayashi, Y. Fujiwara, Effect of SO₄²⁻ on the corrosion behavior of cerium-based conversion coatings on galvanized steel, *Electrochimica Acta*, Vol. 51, No. 20, 2006, Pp. 4236-4242.
- [66] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Cerium oxide nanoparticles influences on the binding and corrosion protection characteristics of a melamine-cured polyester resin on mild steel: An ex

- perimental, density functional theory and molecular dynamics simulation study, *Corrosion Science*, Vol. 118, 2017, Pp. 69-83.
- [67] Y. Hamlaoui, L. Tifouti, F. Pedraza, Corrosion protection of electro-galvanized steel by ceria-based coatings: Effect of polyethylene glycol (PEG) addition, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 22, 2013, Pp. 2706-2715.
- [68] L.H. Gong, R.R. Tang, Y.Q. Zhu, D.L. Chen, Influence of silane coupling agent on the conversion film forming of galvanized steel treated with cerium salt, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 19, 2012, Pp. 800-804.
- [69] G.M. Liu, L. Yang, F. Yu, J.H. Tian, S.W. Duo, N. Du, Cerium-phytic acid passivation treatment on galvanized steel, *Key Engineering Materials*, Vol. 373-374, 2008, Pp. 228-231.
- [70] M.R. Majdi, I. Danaee, S.S.S. Afghahi, Preparation and anti-corrosive properties of cerium oxide conversion coatings on steel X52, *Material Research*, Vol. 20, No. 2, 2017, Pp. 445-451.
- [71] M. Hosseini, H. Ashassi-Sorkhabi, H.A.Y. Ghiasvand, Corrosion Protection of Electro-Galvanized Steel by Green Conversion Coatings, *Journal of Rare Earths*, Vol. 25, No. 5, 2007, Pp. 537-543.
- [72] J. Creus, F. Brezault, C. Rebere, M. Gadouleau, Synthesis and characterisation of thin cerium oxide coatings elaborated by cathodic electrolytic deposition on steel substrate, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 200, No. 14-15, 2006, Pp. 4636-4645.
- [73] G. Yoganandan, K. Pradeep Premkumar, J.N. Balaraju, Evaluation of corrosion resistance and self-healing behavior of zirconium-cerium conversion coating developed on AA2024 alloy, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 270, 2015, Pp. 249-258.
- [74] P. Zhou, Y. Liu, L. Liu, B. Yu, T. Zhang, F. Wang, Critical role of pretreatment on the corrosion resistance of Zr conversion coating on 6061 aluminum alloy: The combined effect of surface topography and potential difference between different phases, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 377, 2019, Pp. 124904.
- [75] S.S. Golru, M.M. Attar, B. Ramezanzadeh, Morphological analysis and corrosion performance of zirconium based conversion coating on the aluminum alloy 1050, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 24, 2015, Pp. 233-244.
- [76] H.R.P. Cardoso, C. Rapacki, J.Z. Ferreira, Monitoring of a Zr-based conversion coating on galvanised steel and its performance against corrosion, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, Vol. 54, No. 8, 2019, Pp. 726-730.
- [77] J. Cerezo, I. Vandendael, R. Posner, K. Lill, J.H.W. de Wit, J.M.C. Mol, H. Terryn, Initiation and growth of modified Zr-based conversion coatings on multi-metal surfaces, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 236, 2013, Pp. 284-289.
- [78] A.H. Wu, Y.Z. Wang, T.K. Xu, Z. Li, S.J. Luan, F.Z. Qu, Corrosion resistance properties of colored zirconium conversion coating and powder coating on cold-rolled steel, *Rare Metals*, Vol. 42, 2023, Pp. 1005-1010.
- [79] T. Lošťák, C. Timma, S. Krebs, J. Flock, S. Schulz, Organosilane modified Zr-based conversion layer on Zn-Al alloy coated steel sheets, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 305, 2016, Pp. 223-230.
- [80] H.R. Asemani, A.A. Sarabi, H. Eivaz Mohammadloo, M. Sarayloo, Electrochemical and morphological properties of zirconium conversion coating in the presence of nickel ions on galvanized steel, *Journal of Coatings Technology and Research*, Vol. 13, No. 5, 2016, Pp. 883-894.
- [81] J. Cerezo, R. Posner, I. Vandendael, J.H.W. De Wit, H. Terryn, J.M.C. Mol, The effect of conversion bath convection on the formation of Zr-based thin-film coatings on multi-metal surfaces, *Materials and Corrosion*, Vol. 67, No. 4, 2016, Pp. 361-367.
- [82] N. Van Chi, P.T. San, T.T.X. Hang, THE INFLUENCE OF ZrO₂/SILANE PRE-TREATMENT ON CORROSION RESISTANCE OF POWDER COATING, *Vietnam Journal of Science and Technology*, Vol. 56, 2018, Pp. 35.
- [83] A. Ghanbari, M.M. Attar, Influence of phosphate ion on the morphology, adhesion strength, and corrosion performance of zirconium-based surface treatment, *Journal of Coatings Technology and Research*, 2015, Pp. 1-11.
- [84] A. Payami-Golhin, M. Amrooni Hossaini, R. Eslami-Farsani, H. Khors, Phosphate-free protective nanoceramic coatings for galvanized steel sheet with H₂O₂ additive, *Advanced Materials Research*, Vol. 829, 2014, Pp. 436-440.

- [85] T. Lošak, S. Krebs, A. Maljusch, T. Gothe, M. Giza, M. Kimpel, J. Flock, S. Schulz, Formation and characterization of $\text{Fe}^{3+}/\text{Cu}^{2+}$ -modified zirconium oxide conversion layers on zinc alloy coated steel sheets, *Electrochimica Acta*, Vol. 112, 2013, Pp. 14–23.
- [86] H.E. Mohammadloo, A.A. Sarabi, A.A.S. Alvani, R. Salimi, H. Sameie, The effect of solution temperature and pH on corrosion performance and morphology of nanoceramic-based conversion thin film, *Mater and Corrosion*, Vol. 64, 2013, Pp. 535–543.
- [87] H.R. Asemani, P. Ahmadi, A.A. Sarabi, H.E. Mohammadloo, Progress in Organic Coatings Effect of zirconium conversion coating : Adhesion and anti-corrosion properties of epoxy organic coating containing zinc aluminum polyphosphate (ZAPP) pigment on carbon mild steel, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 94, 2016, Pp. 18–27.
- [88] I. Milošev, G.S. Frankel, Review—Conversion Coatings Based on Zirconium and/or Titanium, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 165, 2018, Pp. C127–C144.
- [89] H. Eivaz Mohammadloo, A.A. Sarabi, H.R. Asemani, P. Ahmadi, A comparative study of eco-friendly hybrid thin films: With and without organic coating application, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 125, 2018, Pp. 432–442.
- [90] H. Eivaz Mohammadloo, A.A. Sarabi, Titanium composite conversion coating formation on CRS In the presence of Mo and Ni ions: Electrochemical and microstructure characterizations, *Applied Surface Science*, Vol. 387, 2016, Pp. 252–259.
- [91] H. Eivaz Mohammadloo, A.A. Sarabi, Titanium-phytic acid nano structured conversion coating formation on CRS substrate, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 101, 2016, Pp. 391–399.
- [92] Y. Te Tsai, K.H. Hou, C.Y. Bai, J.L. Lee, M. Der Ger, The influence on immersion time of titanium conversion coatings on electrogalvanized steel, *Thin Solid Films*, Vol. 518, No. 24, 2010, Pp. 7541–7544.
- [93] H. Eivaz Mohammadloo, A.A. Sarabi, Ti-based conversion coatings on cold-rolled steel substrate: The effect of practical parameters and Ti source on surface and electrochemical properties, *Corrosion*, Vol. 72, No. 6, 2016, Pp. 791–804.
- [94] B. Szczygieł, J. Winiarski, W. Tylus, Effect of deposition time on morphology, corrosion resistance and mechanical properties of Ti-containing conversion coatings on zinc, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 129, No. 3, 2011, Pp. 1126–1131.
- [95] J. Winiarski, J. Masalski, B. Szczygieł, Corrosion resistance of chromium-free conversion coatings deposited on electrogalvanized steel from potassium hexafluorotitanate(IV) containing bath, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 236, 2013, Pp. 252–261.
- [96] I. Schoukens, I. Vandendael, J. De Strycker, A.A. Saleh, H. Terryn, I. De Graeve, Effect of surface composition and microstructure of aluminised steel on the formation of a titanium-based conversion layer, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 235, 2013, Pp. 628–636.
- [97] A. Abrashov, N. Grigoryan, T. Vagramyan, N. Asnis, On the Mechanism of Formation of Conversion Titanium-Containing Coatings, *Coatings*, Vol. 10, No. 4, 2020, Pp. 328.
- [98] J. Winiarski, J. Masalski, B. Szczygieł, Corrosion resistance of chromium-free conversion coatings deposited on electrogalvanized steel from potassium hexafluorotitanate(IV) containing bath, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 236, 2013, Pp. 252–261.
- [99] B. Szczygieł, J. Winiarski, W. Tylus, Effect of deposition time on morphology, corrosion resistance and mechanical properties of Ti-containing conversion coatings on zinc, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 129, No. 3, 2011, Pp. 1126–1131.
- [100] Y. Guan, J.G. Liu, C. wei Yan, Novel Ti/Zr based non-chromium chemical conversion coating for the corrosion protection of electrogalvanized steel, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 6, No. 10, 2011, Pp. 4853–4867.
- [101] I. Schoukens, I. Vandendael, J. De Strycker, A.A. Saleh, H. Terryn, I. De Graeve, Effect of surface composition and microstructure of aluminised steel on the formation of a titanium-based conversion layer, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 235, 2013, Pp. 628–636.
- [102] S. Le Manchet, J. Landoulsi, C. Richard, D. Verchère, Study of a chromium-free treatment on Hot-Dip Galvanized steel: Electrochemical behaviour and performance in a saline medium, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 205, No. 2, 2010, Pp. 475–482.

بررسی مکانیزم‌های تخریب پره فن دمنده اجباری پوشش دار و بدون پوشش در واحد دیگ بخار نیروگاه‌های برق

مجید میرزایی^{۱*}، حسین کوهانی^۲

^۱ عضو هیات علمی گروه پژوهشی مواد غیرفلزی (استادیار)، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

^۲ پژوهشگر گروه پژوهشی مواد غیرفلزی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: mjmirzaei@nri.ac.ir

چکیده

این تحقیق به منظور مطالعه موردی بررسی مکانیزم شکست پره فن دمنده اجباری^۱ (FDF) پوشش دار و بدون پوشش نیروگاه انجام شد و شامل بررسی‌های بصری، تحلیل‌های میکروساختاری، مطالعه سطح شکست بود. بر اساس نتایج به دست آمده، در فن بدون پوشش عیوب سطحی شامل حفره‌های خوردگی ناشی از وجود یون کلر و همچنین حفره‌های فرسایشی به دلیل فعالیت مکانیکی ذرات موجود در هوای وارد شده از سیستم فیلتراسیون که روی سطوح تیغه‌های فن ساییده می‌شوند، احتمال بروز ترک‌های سطحی را افزایش دادند. بارگذاری‌های چرخه‌ای و تمرکز تنش بر روی این نواقص سطحی، بر عمر خستگی تیغه تأثیر گذاشته و باعث افزایش تنش میانگین شده و در نهایت منجر به شکست خستگی قطعه FDF مورد مطالعه شده است. در پره فن پوشش دار، شکست در یک سوم ارتفاع پره به دلیل برخورد ذرات خارجی به لبه جلویی پره‌ها بوده که منجر به فرسایش و ایجاد شیار شده است. این شیار به عنوان ترک اولیه عمل کرده است. شکست در ریشه پره به دلیل ورود تکه‌های شکسته از سایر پره‌های آسیب‌دیده به فضای بین پوسته (استاتور) و پره (روتور) بوده که مانع از چرخش پره شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: فن دمنده اجباری، پوشش، سایش، خوردگی، خستگی؛

۱- مقدمه

فن‌ها در دیگ بخار نیروگاه برای حمل هوای مورد نیاز مشعل‌ها یا گازهای گرم کوره استفاده می‌شوند [۱]. این فن‌ها از نظر ساختمانی به دو دسته تقسیم می‌شود:

الف) فن با جریان محوری: در این نوع هوا از یک طرف در امتداد محور به پره‌ها می‌رسد و در همان امتداد به طرف دیگر دمیده می‌شود. مزیت این فن‌ها کوچکی و ارزان بودن آن نسبت به نوع دوم آن است [۲].

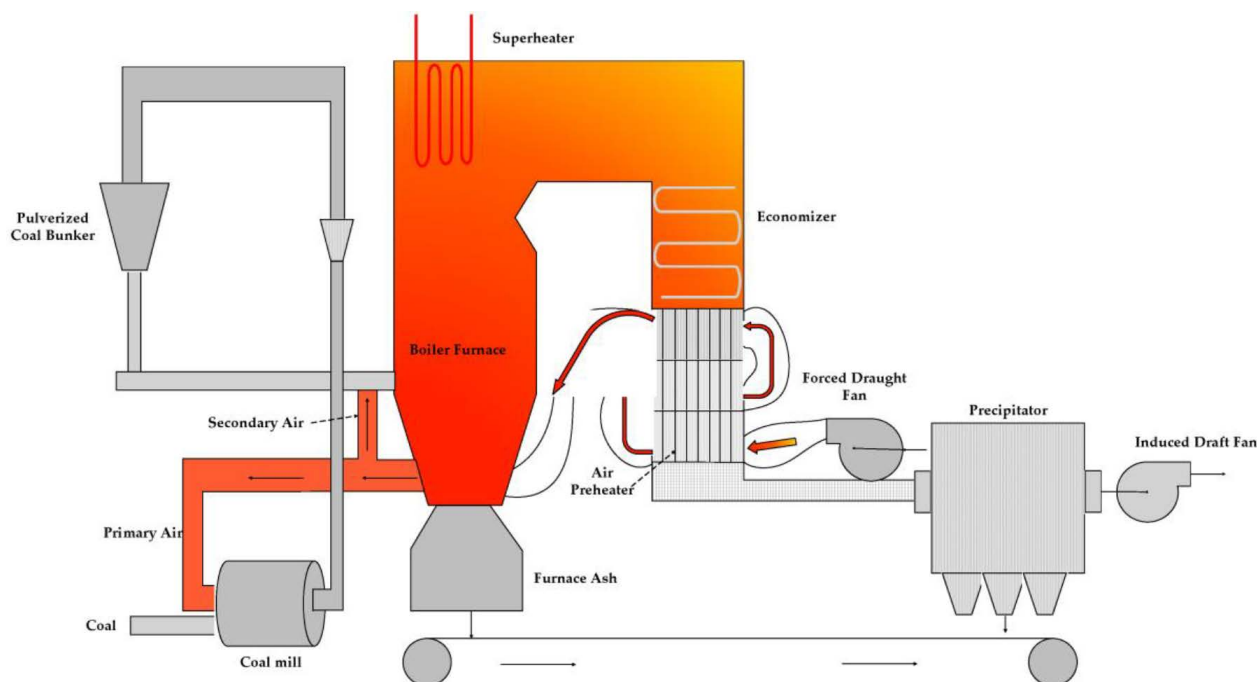
ب) فن با جریان شعاعی: در این فن‌ها هوا از یک طرف و یا از دو طرف در امتداد محور به پره‌ها می‌رسد و سپس در جهت جریان شعاعی جریان پیدا می‌کند، البته در بیشتر نیروگاه‌ها از این نوع فن استفاده می‌شود. ولی در هر حال نوع فن‌ها با نظر طراح دیگ بخار، طریقه بهره‌برداری و ملاحظات اقتصادی تعیین می‌گردد [۳].

یکی از فن‌های بسیار مهم در نیروگاه فن دمنده هوا می‌باشد. وظیفه اصلی این فن تامین هوای مورد نیاز احتراق است [۴]. این فن با توجه به مکشی که ایجاد می‌کند هوای محیط را مکش نموده و در کانال‌هایی که نهایتاً به محفظه احتراق ختم می‌شود به جریان می‌اندازد. در نیروگاه‌ها فن‌های دمنده هوا از هر دو نوع جریان محوری و جریان شعاعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین با توجه به اینکه این نوع فن‌ها در محیط تمیزی کار می‌کنند، در نتیجه از بیشترین بازده در بین فن‌های نیروگاه برخوردار می‌باشند [۵]. این نوع فن در تمام واحدهای بخاری استفاده می‌شود، البته به خاطر اهمیت این فن‌ها و به خاطر افزایش ضریب اطمینان عملکرد آنها عموماً از دو فن استفاده

می‌شود. همچنین سرعت این فن‌ها وابسته به میزان دبی هوای مورد نیاز می‌باشد، به عنوان مثال سرعت این فن در نیروگاه‌های شهید رجایی، بندرعباس، شهید محمد منتظری و نکا به ترتیب ۹۸۵، ۹۸۰، ۹۸۵ و ۱۴۸۰ دور بر دقیقه می‌باشد. همچنین دبی هوای مکش شده در نیروگاه شهید رجایی به مقدار ۵۱۱۸۳۰ متر مکعب بر ساعت برای هر فن می‌باشد و قدرت نامی موتور این تنها ۲۶۷۰ کیلو وات است. لازم به ذکر است که به خاطر سرعت بالای فن‌های مذکور و برای کاهش صدای آنها فن‌ها را در محفظه مناسبی قرار می‌دهند به علاوه در دهانه ورودی این فن‌ها به منظور جلوگیری از ورود کاغذ و اشیای اضافی، صفحه‌های محافظ استفاده می‌کنند. شماتیکی از این فن در شکل ۱ نشان داده است.

در نیروگاه‌های برق، معمولاً از فن‌های دمنده اجباری (FDF) برای ورود هوای احتراق به داخل دیگ‌های بخار استفاده می‌شود [۷]. در دیگ‌های بخار، میزان مصرف جریان هوای احتراق به بار دیگ بستگی دارد و توسط سیستم تنظیم پره‌های توربین هیدرولیکی کنترل می‌شود. اجزای FDF ممکن است به دلیل مکانیزم‌های تخریبی مختلف آسیب ببینند و منجر به فعالیت‌های نگهداری با هزینه بالا شوند. گزارش شده که رایج‌ترین آسیب‌های جدی در فن‌های نیروگاه شامل خوردگی، فرسایش و ارتعاش است. والیاکال^۱ و همکاران [۸] و یانچینگ و همکاران [۹] دریافتند که شکست پره فن به دلیل ارتعاش بوده است.

در این مطالعه اخیر به بررسی پره‌های فن دمنده اجباری (FDF)



شکل ۱. شماتیکی از فن دمنده اجباری در نیروگاه زغال سوز [۶]

بدون پوشش و پوشش دار پرداخته شده و مکانیزم های تخریب به صورت دو نمونه موردی مورد مطالعه قرار گرفته می شود.

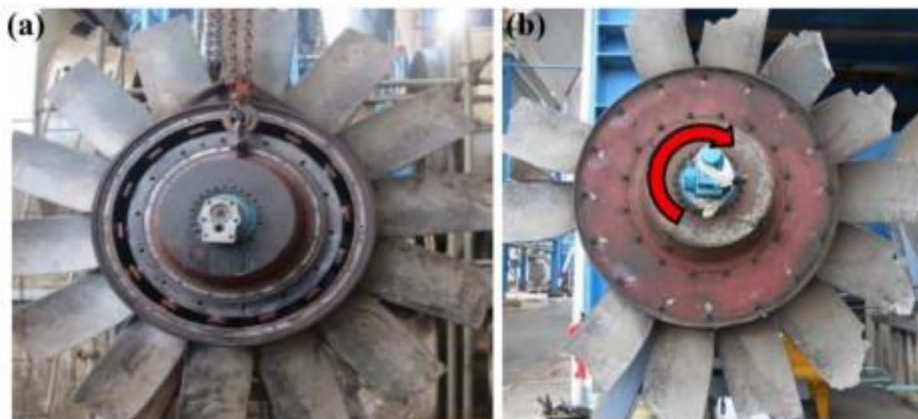
۲ - مطالعه موردی در فن های دمیده اجباری پوشش دار

در یک نیروگاه ۳۰۰ مگاواتی، FDF دچار شکست فاجعه بار شده که منجر به تعطیلی کامل سیستم شده است [۱۰]. FDF پنج سال به کار بوده و پیش از شکست، با لرزش های بالایی (۱۴ میلی متر بر ثانیه) مواجه شده بود، در حالی که حداکثر لرزش مجاز هنگام کارکرد موتور ۷ میلی متر بر ثانیه است. فن دمیده اجباری از نوع جریان محوری بوده، به صورت افقی در جلوی دیگ بخار نصب شده و دارای ۱۴ پره است. فن از نوع تک مرحله ای بوده و دارای یک ساختار ریخته گری است. پره ها در طول کارکرد توسط سیستم هیدرولیکی تنظیم پره های توربین تنظیم شده و در جای خود ثابت نگه داشته می شوند. پره ها با پیچ به میله مرکزی متصل شده اند و جهت چرخش فن از دید بالادست، ساعتگرد است. شکست زود هنگام این پره ها نادر بوده و نیازمند یک تحلیل دقیق از دلایل شکست است [۱۰].

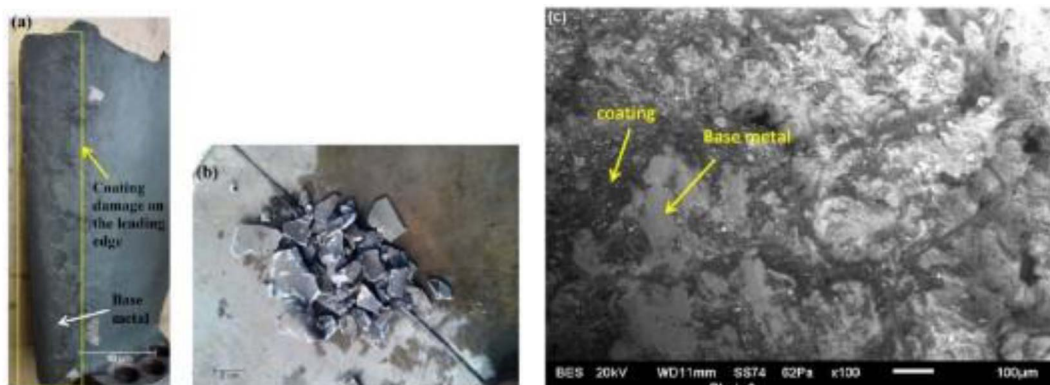
برای تشخیص علت آسیب ها، از روش های مختلفی شامل آزمایش های

غیرمخرب و مخرب استفاده شد. شکل ۲ پره های FDF را قبل و بعد از خرابی نشان می دهد. بازرسی های بصری نشان داد که پوشش لبه جلویی پره دچار آسیب های جدی ناشی از فرسایش شده است، همانطور که در شکل ۳ a مشاهده می شود و مقدار زیادی پسماند در پشت فن جمع شده بود، از جمله خود پره های به شدت آسیب دیده است. پسماندهای پره های شکسته برای تحلیل های بیشتر جمع آوری شدند (شکل ۳ b). شکل ۲ c تصاویر شکست پوشش آسیب دیده نزدیک به لبه جلویی پره را نمایش می دهد. پوشش پره کاملاً از بین رفته و فلز پایه به وضوح قابل مشاهده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مشاهدات بصری نشان داد که دو نقطه از پره ها دچار بیشترین آسیب بودند، که در ریشه پره و دیگری در یک سوم ارتفاع پره بوده است [۱۰].

شکل های ۵ a و b محل هایی که نمونه ها برای تجزیه و تحلیل متالوگرافی، آزمایش های ترکیب شیمیایی و سختی از دو پره مورد مطالعه برداشته شده اند را نشان می دهند [۱۰]. تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی تیغه ای که مورد بررسی قرار گرفت،



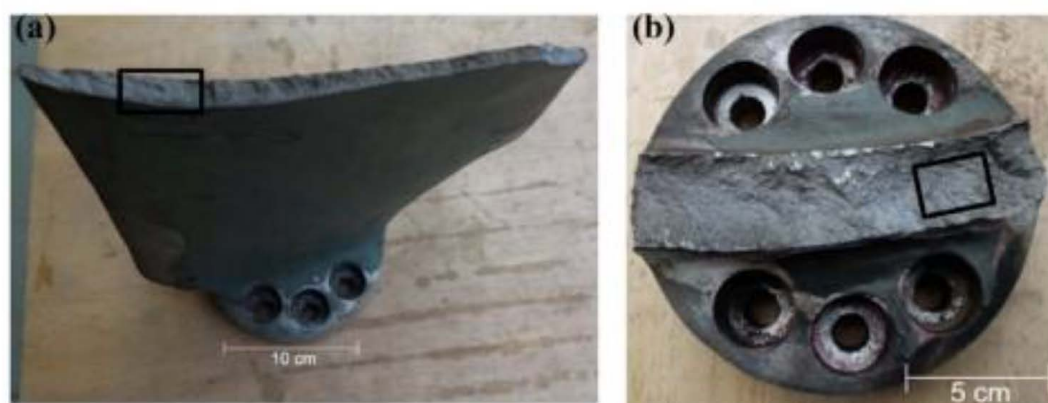
شکل ۲. بررسی تیغه های (a) قبل از خرابی و (b) بعد از خرابی (فلش قرمز جهت چرخش را نمایان می کند) [۱۰]



شکل ۳. (a) خسارت پوشش روی لبه جلویی پره (نشان دار شده با مربع)؛ (b) تکه های باقی مانده از پره های شکسته و (c) تصویر الکترون های ثانویه از ناحیه آسیب دیده پوشش [۱۰].



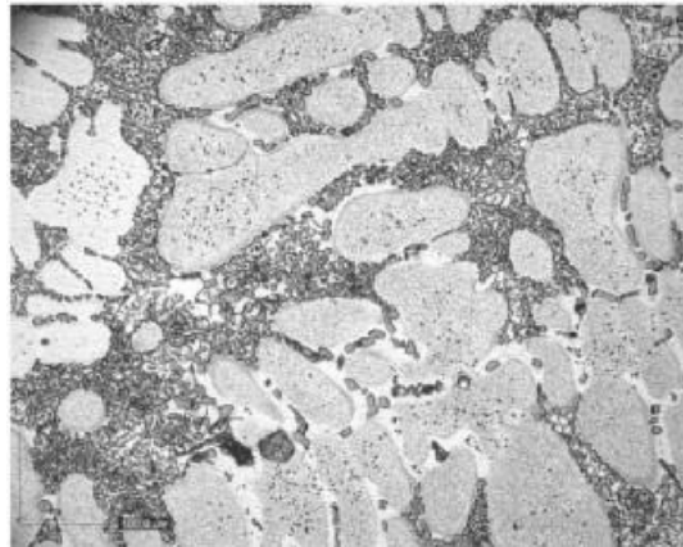
شکل ۴. دو نقطه آسیب دیدگی پره: شکستگی در ریشه پره (مشخص شده با شماره ۱) و شکستگی در یک سوم ارتفاع پره (مشخص شده با شماره ۲) [۱۰].



شکل ۵. محل نمونه برداری‌ها از پره‌های آسیب دیده (نشان دار شده با مربع سیاه): (a) در یک سوم ارتفاع پره و (b) در ریشه پره [۱۰].

است. آلیاژهای ریخته‌گری باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند زیرا نقص‌هایی در طی فرآیند جامدسازی تشکیل می‌شوند و ترکیب شیمیایی آلیاژها بر خواص مکانیکی تأثیر می‌گذارد. برخی الزامات برای موادی که باید به عنوان تیغه FDF استفاده شوند وجود دارد، مانند: وزن سبک، مقاومت خوب در برابر سایش در جریان‌های بالا، مقاومت خوب در برابر خوردگی و نگهداری کم. استفاده از آلیاژ ریخته‌گری آلومینیوم برای تیغه FDF به طور گسترده‌ای در صنعت مرسوم است، زیرا ویژگی‌های آلیاژهای آلومینیوم نیازهای FDF را برآورده می‌کنند. بنابراین، استفاده از آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم (Al-Si) برای تیغه FDF در این نیروگاه زغال‌سوز با الزامات مطابقت داشت [۱۰].

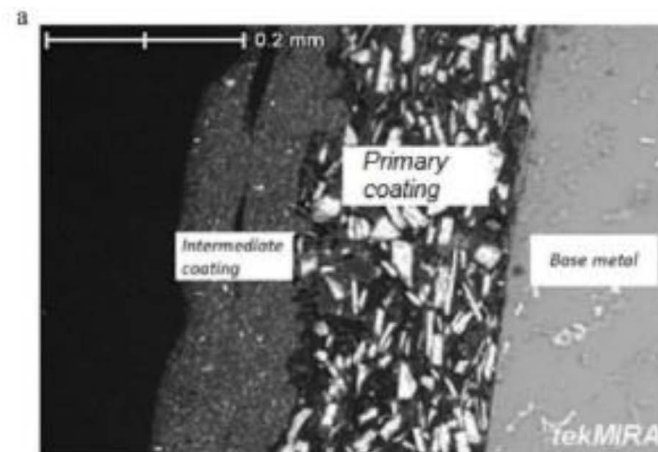
تأیید کرد که این تیغه از آلیاژ آلومینیوم ساخته شده و شامل ۶/۵٪ سیلیسیم (Si)، ۰/۱۶٪ آهن (Fe)، ۰/۸٪ مس (Cu)، ۲/۰٪ منگنز (Mn)، ۰/۳٪ منیزیم (Mg)، ۱/۲٪ روی (Zn) (درصد وزنی) و باقیمانده آلومینیوم (Al) است. تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی ذرات سایش نیز با مواد تیغه آسیب دیده به خوبی همخوانی داشت. میانگین سختی تیغه ۱۲۳/۷ ویکرز (HV) بوده و میکروساختار تیغه آسیب دیده در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۶ میکروساختار درشتی را نمایش می‌دهد که شامل ساختار دندردیتی فاز آلومینیوم - آلفا (α -Al) و تجزیه و تحلیل مرتبط است. ساختارهای دندردیتی توسط سیلیکون یوتکتیک احاطه شده‌اند که این موضوع شاهد قوی‌ای است که تیغه از طریق فرآیند ریخته‌گری ساخته شده



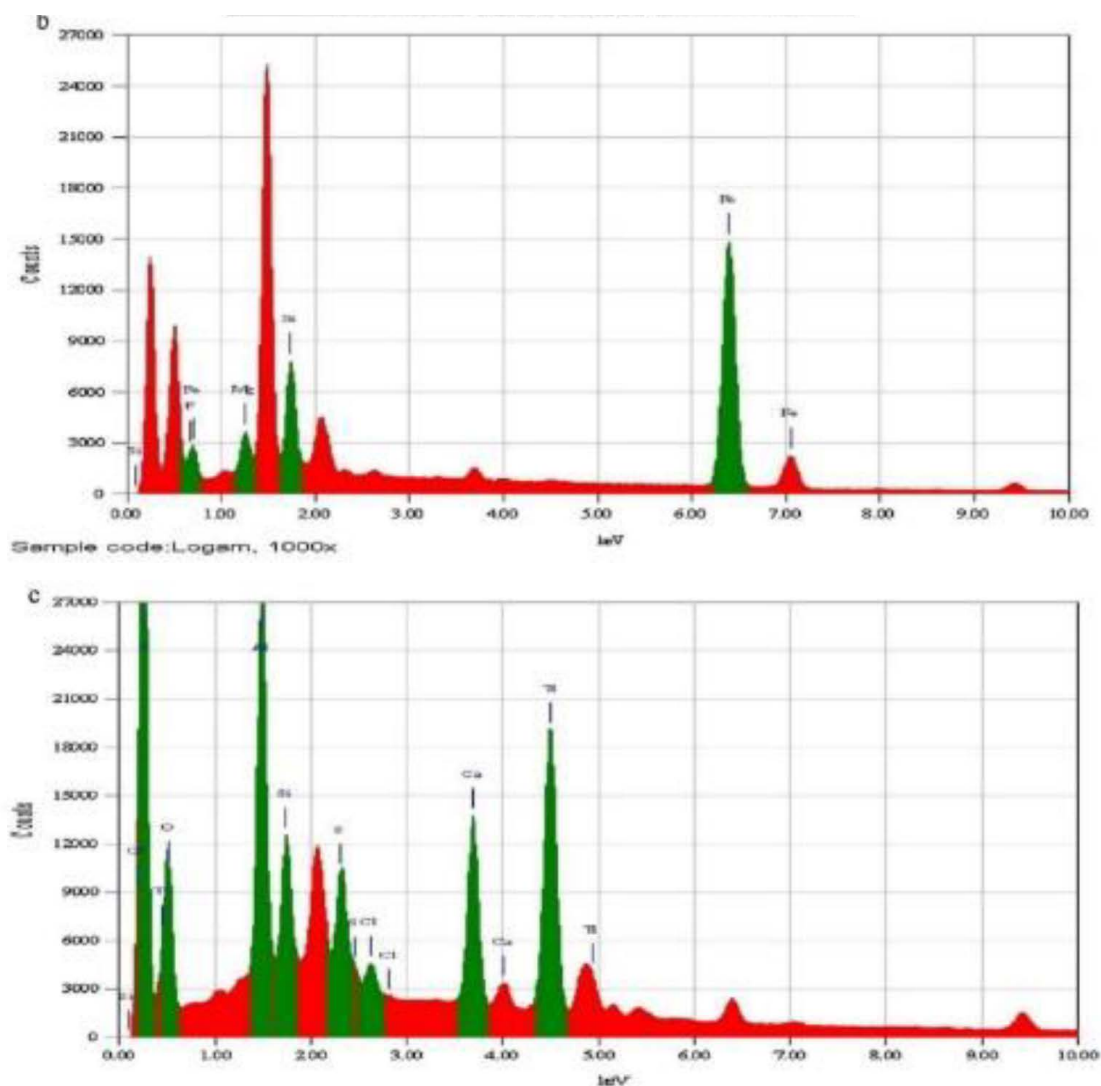
شکل ۶. تصویر میکروسکوپ نوری از تیغه‌ای که مورد بررسی قرار گرفته است (آلیاژ ریخته‌گری هیپوکتیک آلومینیوم - سیلیس) [۱۰]

تجزیه و تحلیل شکست با استفاده از SEM بر روی سطح تیغه آسیب‌دیده انجام گرفت و نتایج آن در شکل ۸ قابل مشاهده است. شکل ۸ نشان می‌دهد که هیچ نشانه‌ای از خطوط استریشن وجود ندارد، که این بیانگر آن است که شکست تیغه به دلیل بار خستگی نبوده است. تصویر SEM از سطح آسیب‌دیده در شکل ۸ نشان‌دهنده وجود تعداد زیادی حفره‌های ریز است، که برای محصولات ریخته‌گری معمول است و هیچ مدرکی از تغییر شکل پلاستیکی قبلی وجود ندارد. شکست ترد توسط ذرات تیغه تأیید می‌شود، که به قطعاتی شکسته شده و هیچ تغییر شکل پلاستیکی رخ نداده است (مطابق شکل ۳ b). SEM-EDS بر روی سطح شکسته تیغه آسیب‌دیده برای بررسی رسوبات انجام شد و نتایج آن در شکل ۸ قابل مشاهده است [۱۰].

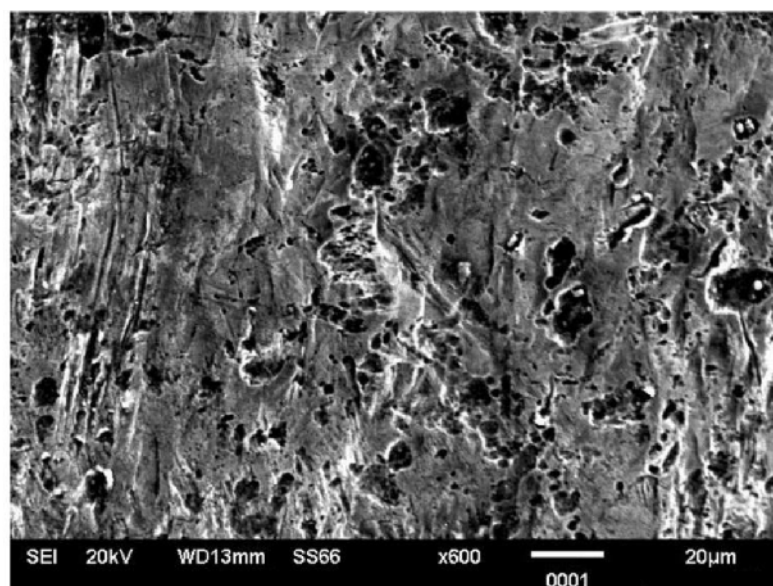
شکل ۷ a یک تصویر SEM با الکترون برگشتی را نشان می‌دهد که از قسمت‌های سالم پوشش‌های اولیه و میانی روی تیغه گرفته شده است. ویژگی مشخص پوشش تیغه، زبری و وجود فازهای مختلف است که از طریق کنتراست میکروساختار قابل مشاهده است. برخی ناپیوستگی‌ها بین بستر و پوشش‌ها مشاهده شد. طیف‌های EDS پوشش تیغه (شکل‌های ۷ b و c) نشان می‌دهند که پوشش‌های اولیه و میانی به ترتیب حاوی آهن (Fe) و تیتانیوم (Ti) هستند. پوشش اولیه از پوشش میانی ضخیم‌تر است. در این مورد، پوشش اولیه نقش مهمی در افزایش مقاومت تیغه در برابر خوردگی دارد و پوشش میانی برای افزایش مقاومت در برابر سایش اعمال شده است. مطالعات SEM نشان می‌دهند که پوشش تیغه (مواد پوششی و ضخامت آن‌ها) برای تیغه‌های FDF مناسب است [۱۰].



شکل ۷. (a) تصویر SEM پراکنده پستی از ساختارهای میکروسکوپی اولیه و میانی تیغه پوشش‌دار. (b) طیف‌های SEM-EDS از لایه پوششی اولیه تیغه. (c) طیف‌های SEM-EDS از لایه پوششی میانی تیغه [۱۰]



ادامه شکل ۷. (a) تصویر SEM پراکنده پستی از ساختارهای میکروسکوپی اولیه و میانی تیغه پوشش‌دار. (b) طیف‌های SEM-EDS از لایه پوششی اولیه تیغه. (c) طیف‌های SEM-EDS از لایه پوششی میانی تیغه [۱۰]



شکل ۸. تصویر الکترونی ثانویه از تیغه دچار شکست [۱۰]

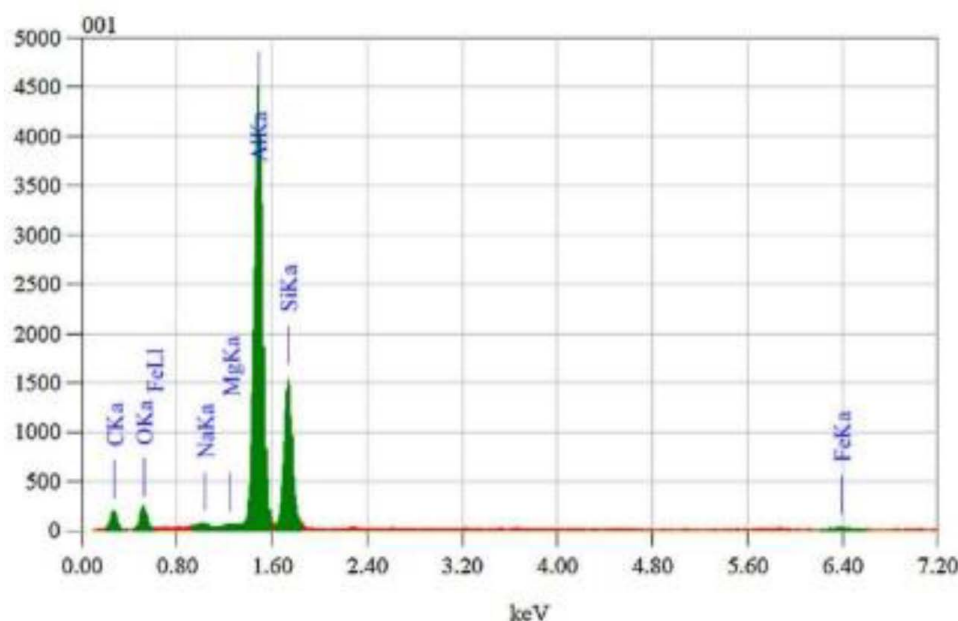
برای ایجاد فرسایش در تیغه‌ها را ندارند. بنابراین در این شکست تیغه FDF، باور بر این بود که اندازه ذرات خاکستر پروازی که وارد شده بودند بیش از ۱۰ میکرون بوده که کمتر تمایل به چسبیدن به سطح تیغه دارند، اما می‌توانند فرسایش و شیار ایجاد کنند. بازرسی بصری نشان داد که شیاری در نزدیکی لبه پیشرو تیغه آسیب‌دیده تشکیل شده بود (مطابق شکل ۱۰) و در طول عملیات دچار گسترش ترک شده بود. این موضوع تعجب‌آور نیست، زیرا همانطور که پیشتر اشاره شد، لبه پیشرو اولین بخش تیغه است که با هوا برخورد می‌کند. این شیار احتمالاً نقطه آغازین آسیب‌های شدید تیغه‌های FDF بود که در ثلث ارتفاع تیغه قرار داشت. شیار به عنوان یک مرکز تمرکز تنش عمل کرده و همچنین به عنوان ترک‌های اولیه بوده است. از آنجایی که ماده تیغه از آلیاژ ریخته‌گری است که شکننده و با مقاومت کم است، آلیاژ ریخته‌گری تیغه نمی‌تواند در برابر نیروهای گریز از مرکز ناشی از چرخش بالا (۱۴۹۰ دور در دقیقه) در طول عملیات مقاومت کند و منجر به گسترش سریع ترک می‌شود. بنابراین، امکان دارد که هرگونه آسیب به یک تیغه می‌تواند باعث برخوردهای متعدد به تیغه‌های دیگر شود و در نتیجه تعداد زیادی ذرات به وجود آمده باشد [۱۰].

تیغه FDF در جهت ساعتگرد با سرعت چرخش ۱۴۹۰ دور در دقیقه و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به کار بود. شکستی که در قسمت ریشه تیغه اتفاق افتاده بود، در حقیقت به خاطر آسیب‌های وارد شده به بدنه تیغه‌های دیگر بود. قطعات شکسته تیغه وارد فضای بین محفظه (استاتور) و تیغه (روتور) شده و موجب مسدود شدن چرخش تیغه و ایجاد یک گشتاور شدند که در نهایت منجر به شکستن تیغه در قسمت ریشه شد [۱۰].

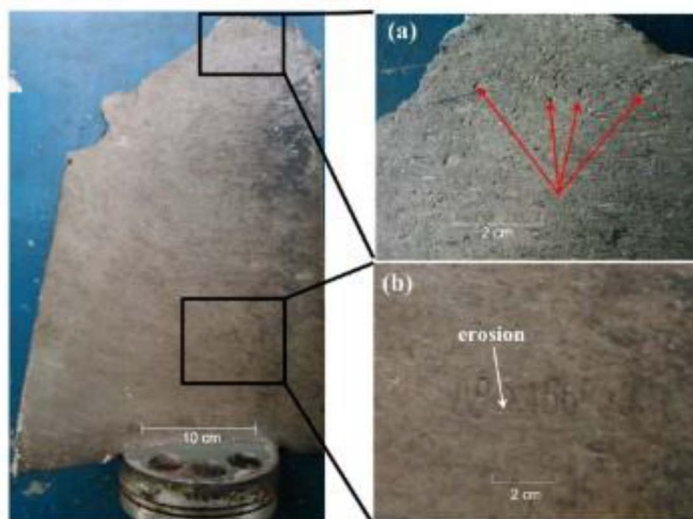
تحلیل کیفی SEM-EDS ذرات خاکستر زغال سنگ (شکل ۹) وجود کربن، اکسیژن، آلومینیوم و سیلیکون را همراه با مقادیر کمتری از عناصر سدیم، منیزیم و آهن نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که ذرات خاکستر پروازی زغال سنگ از ذرات ساینده تشکیل شده‌اند [۱۰].

نتایج SEM-EDS نشان می‌دهد که آسیب دیدگی در ثلث ارتفاع تیغه ممکن است به دلیل ورود ذرات ساینده خارجی که به تیغه برخورد کرده‌اند، باشد. برخورد این ذرات خارجی با سطح تیغه‌های FDF نه تنها به پوشش لبه پیشرو آسیب زده (مطابق شکل ۳a)، بلکه به بدنه خود تیغه نیز فرسایش وارد کرده است. با این حال، فرسایش لبه پیشرو در همه تیغه‌ها اتفاق افتاده است. این به دلیل این است که لبه پیشرو تیغه اولین بخشی است که با هوا برخورد می‌کند. همچنین، نوع زغال سنگ استفاده شده در این نیروگاه دارای محتوای خاکستر بالا و زغال سنگ با دامنه حرارتی پایین (LRC) است که مقادیر زیادی خاکستر پرواز تولید می‌کند. علاوه بر این، تشکیل خاکستر پرواز نیز به عنوان بخشی از فرآیند احتراق رخ می‌دهد. این موضوع با یافته‌های مربوط به سطح تیغه که دچار فرسایش و شکاف شده است، مطابقت دارد که در شکل ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده است. آسیب وارد شده به تیغه FDF به احتمال زیاد به دلیل عدم عملکرد صحیح سیستم فیلتراسیون بوده است [۱۰].

فرسایش تیغه‌های FDF به دلیل از دست دادن مواد تیغه به واسطه فعالیت مکانیکی ذرات موجود در جریان هوا که به سطوح تیغه‌ها برخورد یا خراش می‌زنند، مشخص می‌شود. تأثیر فرسایش شدید منجر به نامتعادلی شدید و ارتعاشات بالا می‌شود. گزارش شده که ذرات کوچک با اندازه‌ای کمتر از حدود ۱۰ میکرون انرژی جنبشی کافی



شکل ۹. تجزیه و تحلیل کیفی SEM EDS از خاکستر پرواز زغال سنگ روی سطح تیغه آسیب دیده [۱۰]



شکل ۱۰. آسیب‌های سطحی تیغه مورد بررسی: (a) شکاف (مشخص شده با فلش‌های قرمز) و (b) فرسودگی [۱۰].



شکل ۱۱. شکاف در لبه جلویی تیغه و ادامه آن به گسترش ترک [۱۰].

سری 2xxx مجموعه‌ای از آلیاژهای کار شده هستند که در آن‌ها مس به عنوان عنصر اصلی آلیاژی به کار رفته است، اغلب همراه با منیزیم به عنوان افزودنی دوم. این آلیاژها به عملیات حرارتی حلالی نیاز دارند تا خواص مطلوب خود را به دست آورند. در مورد آلیاژ آلومینیوم ۲۰۱۴، از عملیات حرارتی رسوب (پیرسازی) برای افزایش خواص مکانیکی استفاده می‌شود [۱۱]. شکل ۱۲ نمای کلی پره‌های آسیب دیده را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۱۲ مشخص است، بیشتر پره‌ها دچار آسیب شده‌اند و این آسیب‌ها در مرحله دوم پره‌ها بیشتر به چشم می‌خورند. همچنین، خرابی‌ها در لبه جلویی نسبت به لبه پشتی، در هر دو مرحله اول و دوم پره‌ها، شدیدتر است. تحقیقات بر روی پره شکسته‌ای که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است، متمرکز بود. سطح شکست تقریباً عمودی نسبت به جهت طولی پره است [۱۱].

۳ - مطالعه موردی در فن‌های دمنده اجباری بدون پوشش

تجزیه و تحلیل شکست یک پره فن دمنده اجباری (FDF) در واحد بویلر یک نیروگاه حرارتی سوخت فسیلی ارائه شده است. فن محوری مورد بررسی دارای دو مرحله پره است که تقریباً ۲۰۰,۰۰۰ ساعت در حال کار بوده‌اند (بر اساس مشخصات ارائه شده توسط سازنده، عمر انتظاری این پره‌ها ۲۸۰,۰۰۰ ساعت است). شکست در یکی از پره‌های مرحله اول ۴۰ روز پس از آخرین بازرسی رخ داده است، در حالی که پره‌های دیگر در هر دو مرحله به طور قابل توجهی آسیب دیده‌اند [۱۱].

پره‌های مورد بررسی از آلیاژ آلومینیوم 2014-T6 ساخته شده‌اند و فرآیند ساخت آن‌ها شامل فورجینگ و در ادامه عملیات حرارتی حلالی و پیرسازی مصنوعی (تمپر T6) است. آلیاژهای آلومینیوم



شکل ۱۲. نمای عمومی پره‌های آسیب دیده فن دمنده اجباری [۱۱]



شکل ۱۳. دید کلی از تیغه‌ای که دچار شکست شده است [۱۱].

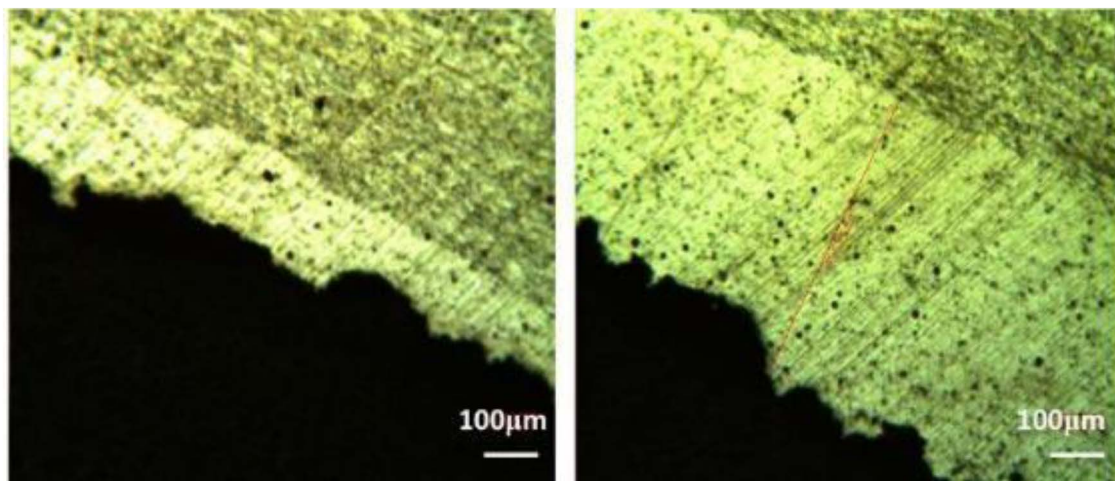
شکل ۱۴ لبه جلویی پره آسیب دیده را پس از پاک‌سازی نشان می‌دهد. تعدادی حفره‌هایی بر روی سطح فشاری بال‌هوا نزدیک به لبه جلویی وجود دارد که شبیه به حفره‌های ناشی از فرسایش هستند. یکی از شایع‌ترین مکانیزم‌های آسیب مرتبط با شکست فن‌های نیروگاهی، فرسایش است که مسئولیت نگهداری‌های جدی و هزینه‌بر را به عهده دارد. مشاهدات نشان می‌دهد که احتمال ورود اجسام خارجی از طریق سیستم فیلتراسیون وجود دارد. برخورد این اجسام با سطح پره‌ها می‌تواند منجر به فرسایش شود. اثرات فرسایش می‌تواند به ناهمواری شدید و ارتعاشات بالا منجر شود. فرسایش در واحدهای فن با از دست دادن مواد پره‌ها از طریق فعالیت مکانیکی مواد ذره‌ای در جریان هوا که به سطوح پره‌ها برخورد یا ساییده می‌شوند، مشخص می‌گردد. شکل ۱۵ میکروساختار لبه جلویی را نشان می‌دهد [۱۱].



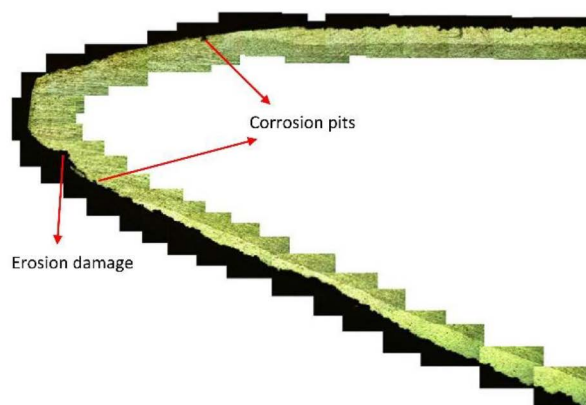
شکل ۱۴. لبه جلویی تیغه آسیب‌دیده. علائم فرسایش در این بخش دیده می‌شود [۱۱].

شکل ۱۴ لبه جلویی پره آسیب دیده را پس از پاک‌سازی نشان می‌دهد. تعدادی حفره‌هایی بر روی سطح فشاری بال‌هوا نزدیک به لبه جلویی وجود دارد که شبیه به حفره‌های ناشی از فرسایش هستند. یکی از شایع‌ترین مکانیزم‌های آسیب مرتبط با شکست فن‌های نیروگاهی، فرسایش است که مسئولیت نگهداری‌های جدی و هزینه‌بر را به عهده دارد. مشاهدات نشان می‌دهد که احتمال ورود اجسام خارجی از طریق سیستم فیلتراسیون وجود دارد. برخورد این اجسام با سطح پره‌ها می‌تواند منجر به فرسایش شود. اثرات فرسایش می‌تواند به ناهمواری شدید و ارتعاشات بالا منجر شود. فرسایش در واحدهای فن با از دست دادن مواد پره‌ها از طریق فعالیت مکانیکی مواد ذره‌ای در جریان هوا که به سطوح پره‌ها برخورد یا ساییده می‌شوند، مشخص می‌گردد. شکل ۱۵ میکروساختار لبه جلویی را نشان می‌دهد [۱۱].

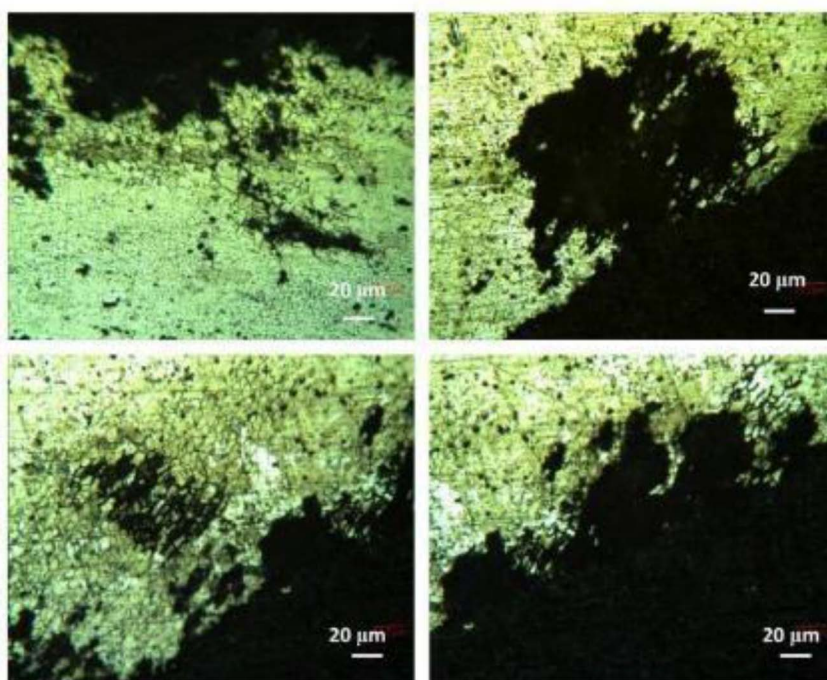
مشخص است که یک لایه با ضخامتی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر و با میکروساختار متفاوت، ناحیه سطحی را پوشانده و در نوک لبه جلویی ناپدید شده است (شکل ۱۶). همچنین، شکل ۱۶ نشان می‌دهد که بخش‌هایی از پره از سطوح مکش و فشار و همچنین از



شکل ۱۵. تصاویر میکروسکوپی نوری از لایه بیرونی تیغه‌ای که دچار آسیب شده است [۱۱]



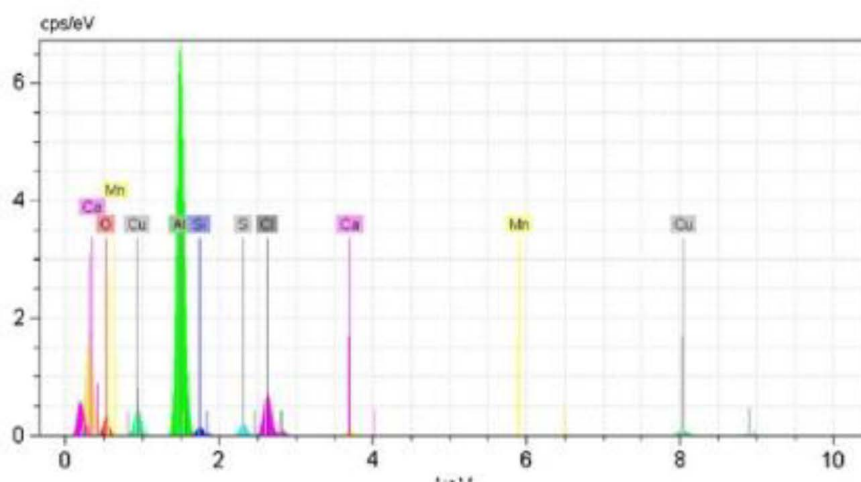
شکل ۱۶. تصاویر میکروسکوپی نوری از لبه جلویی تیغه‌ای که دچار آسیب شده است [۱۱].



شکل ۱۷. تصاویر میکروسکوپی نوری که آسیب‌های وارده در مناطق مختلف سطح تیغه را نشان می‌دهند [۱۱]

بسیار پیچیده بوده و به طور کامل شناخته شده نیستند. کاربرد عملی این مدل‌های نظری هنوز محدود است. خوردگی حفره‌ای دو مرحله مشخص را نشان می‌دهد: مرحله شروع و مرحله گسترش. مدت‌هاست که معلوم است خوردگی حفره‌ای در حضور کلرید توسعه می‌یابد. یون‌های کلرید بر روی فیلم اکسید طبیعی جذب شده، سپس با شکست فیلم در نقاط ضعیف، تشکیل میکروتکره‌هایی به عرض چند نانومتر اتفاق می‌افتد. بسیاری از حفره‌ها در مدت زمان بسیار کوتاهی شروع به تشکیل می‌کنند، اما اکثر حفره‌ها پس از چند روز متوقف می‌شوند. مطالعات پلاریزاسیون نشان داده‌اند که وقتی رشد حفره‌ها متوقف می‌شود، آن‌ها دوباره پسیو می‌گردند. وقتی فلز دوباره پلاریزه می‌شود، این حفره‌های پسیو شده دوباره فعال نمی‌شوند، بلکه خوردگی حفره‌ای در نقاط جدید شروع خواهد شد [۱۱].

نتایج تجزیه و تحلیل EDS محصولات درون این حفره‌ها در شکل ۱۸ ارائه شده است که وجود اکسیدهای عناصر آلیاژی مانند آلومینیوم (Al) را نشان می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر کلر (Cl) و مس (Cu) در نتایج به دست آمده قابل توجه هستند. شایع‌ترین انواع مشکلات خوردگی که در واحدهای فن مشاهده می‌شوند شامل خوردگی بین دانه‌ای، خوردگی عمومی و خوردگی ناشی از فرسایش است. مطالعات میکروساختاری روی سطوح نمونه‌ها وقوع خوردگی حفره‌ای و بین دانه‌ای را تأیید کرده‌اند. با توجه به مکان نیروگاه و نتایج تجزیه و تحلیل EDS، به نظر می‌رسد که یون کلر عامل اصلی خوردگی حفره‌ای است که شروع آن عموماً تحت کنترل کینتیک واکنش‌های کاتدی است و برای گسترش آن نیاز به غلظت کافی کلرید در محلول داخل حفره‌ها است. مکانیزم‌های الکتروشیمیایی خوردگی حفره‌ای



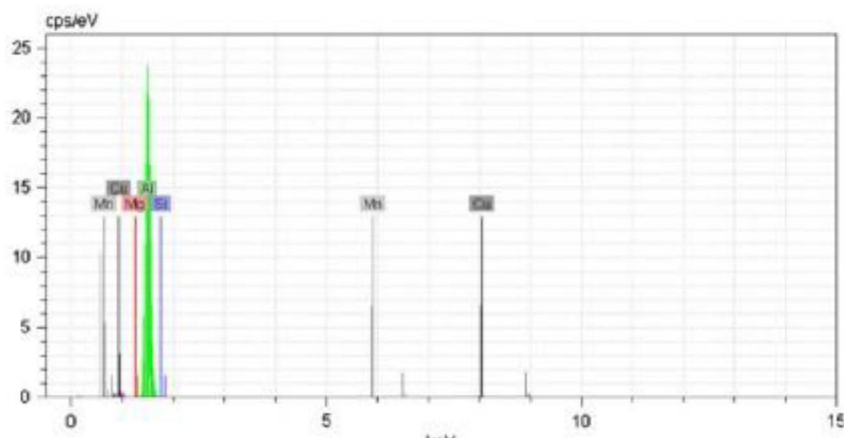
element	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Mn	Cu
Wt%	32.94	43.56	1.23	1.56	6.89	1.07	0.58	12.17

شکل ۱۸. ترکیبات شیمیایی مواد موجود در حفره‌های روی سطح تیغه‌ای که دچار آسیب شده است [۱۱].

شیمیایی این دو بخش به ترکیب شیمیایی آلیاژ ۲۰۱۴ شباهت دارند. آلیاژهای موجود در سری ۲XXX به اندازه بسیاری از آلیاژهای دیگر آلومینیومی، مقاومت خوردگی مناسبی ندارند و در شرایط خاصی ممکن است دچار خوردگی بین دانه‌ای شوند. به همین دلیل، این آلیاژها معمولاً با آلومینیوم خالص با کیفیت بالا یا با آلیاژ منیزیم - سیلیکون از سری ۶XXX پوشیده می‌شوند که این کار محافظت گالوانیکی برای ماده اصلی را تأمین کرده و در نتیجه مقاومت به خوردگی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. آنالیز EDS نشان داد که لایه پوششی تیغه‌های فن مورد بررسی، ترکیب شیمیایی مشابهی با ماتریکس دارد. پس به نظر می‌رسد که انتخاب این لایه به عنوان یک لایه مقاوم در

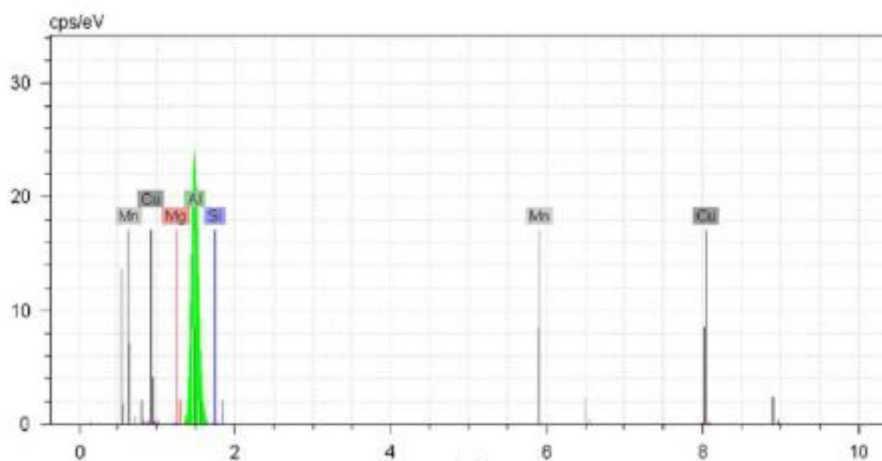
اکسیژن در مناطق کاتدی به آهستگی کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این مناطق شامل فازهای بین‌فلزی زیر لایه اکسیدی هستند که تا حدودی آن‌ها را پوشانده‌اند. در جایی که فیلم ترک برمی‌دارد، آلومینیوم به سرعت اکسیده شده و یک کلرید میانی پیچیده به نام $AlCl_4^-$ تشکیل می‌شود. فقط یک نسبت بسیار کم از حفره‌هایی که شروع به تشکیل شده‌اند به گسترش خود ادامه می‌دهند، بر اساس دو واکنش الکتروشیمیایی: اکسیداسیون در آند که توسط حفره تشکیل شده و احیا در کاتد در خارج از حفره.

شکل‌های ۱۹ و ۲۰ به ترتیب نتایج آنالیز EDS لبه و بخش مرکزی نمونه را نمایش می‌دهند. این نتایج بیانگر آن هستند که ترکیبات



element	Mg	Al	Si	Mn	Cu
Wt%	0.27	92.73	0.46	0.83	5.72

شکل ۱۹. ترکیب شیمیایی لبه پره شکسته (لایه رویی) [۱۱]



element	Mg	Al	Si	Mn	Cu
Wt%	0.32	92.35	0.22	0.71	6.40

شکل ۲۰. ترکیب شیمیایی قسمت میانی پره آسیب دیده [۱۱].

بر عمر خستگی تحت بارگذاری دینامیکی کششی دارد که ممکن است منجر به شروع ترک خستگی در یک محیط خورنده به دلیل تمرکز تنش محلی در سطح خورده شود. بر اساس توضیحات داده شده، فرسایش، خوردگی، لرزش و خستگی، رویدادهای پی در پی هستند که به پارگی نهایی منجر شده‌اند. نحوه شکست قطعه، مکانیزمی که به شکست تیغه منجر می‌شود را مشخص می‌کند. وجود خطوط ریز بر روی سطح شکست، وقوع شکست خستگی را تأیید می‌کند. از سوی دیگر، معروف است که خوردگی و آسیب‌های ناشی از خستگی می‌توانند به طور هم‌زمان اتفاق بیفتند و تأثیر ترکیبی آنها بسیار شدیدتر از

برابر خوردگی در این مورد مناسب نمی‌باشد [۱۱]. اگر ماده از نقطه تسلیم خود عبور کند، به دلیل تغییر شکل‌های موضعی در ساختار شبکه‌ای خود، سخت و مقاوم می‌شود. اما اگر این نقطه تسلیم به طور مکرر پشت سر گذاشته شود، ترک‌های ریزی به دلیل تغییر شکل زیاد شبکه ظاهر می‌شوند. این اتفاق معمولاً در ابتدای دوره خستگی ماده رخ می‌دهد، که کمتر از ۵٪ کل چرخه‌های تا زمان شکست است. این ترک‌های کوچک ناشی از تنش شروع به گسترش می‌کنند و در نهایت منجر به شکست ماده می‌شوند. علاوه بر این، حفره دار شدن ناشی از فرسایش یا خوردگی تأثیر قابل ملاحظه‌ای

HB اندازه‌گیری شده است. بنابراین، به نظر نمی‌رسد که شکست مورد بررسی به دلیل کاهش خواص مکانیکی تیغه رخ داده باشد. در این مورد خاص، به نظر می‌رسد که بارگذاری چرخه‌ای و تمرکز تنش بر روی عیوب سطحی ناشی از فرسایش و خوردگی حفره‌ای، با افزایش تنش میانگین، بر عمر خستگی تیغه تأثیر گذاشته و منجر به شکست خستگی قطعه FDF مورد مطالعه شده است [۱۱].

وقتی است که هر کدام به تنهایی رخ دهند. در تعدادی از مقالات، تأثیر چاله‌های خوردگی بر رفتار خستگی بررسی شده است. چون ترک‌های خستگی به طور ترجیحی از هر نوع چاله‌های سطحی، از جمله چاله‌های خوردگی، شروع می‌شوند، وجود خوردگی عمر خستگی قطعه را کاهش می‌دهد [۱۱].

سختی کلی در قسمت ریشه و بخش بال هوایی تیغه، تقریباً ۱۴۵

نتیجه‌گیری

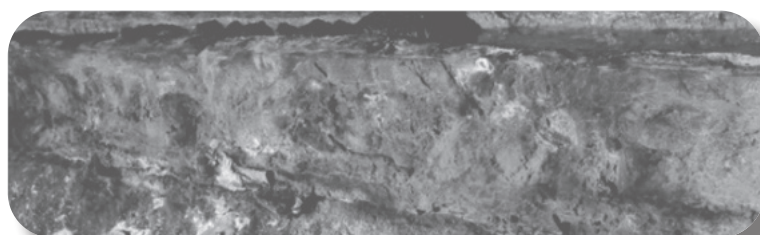
بر اساس نتایج تحقیقات، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- برای FDF پوشش‌دار، ماده تیغه از آلیاژ ریخته‌گری آلومینیوم - سیلیسیم (A356.0) است که با نیازهای مورد نیاز برای استفاده در تیغه‌های FDF مطابقت دارد. مواد پوششی اولیه و میانی تیغه به ترتیب حاوی آهن (Fe) و تیتانیوم (Ti) هستند و این مواد پوششی برای تیغه FDF مناسب‌اند. آسیب دیدگی سطح تیغه به دلیل وجود ذرات خارجی بوده و بر اساس نتایج SEM-EDS، این ذرات خارجی خاکستر پرواز هستند که احتمالاً از استفاده از زغال سنگ با دامنه حرارتی پایین و به عنوان بخشی از فرآیند احتراق به وجود آمده‌اند. شکست در ثلث ارتفاع تیغه به دلیل برخورد ذرات خارجی با لبه پیشرو تیغه‌ها رخ داده که باعث ایجاد فرسایش و شیار شده و این شیار به عنوان ترک اولیه عمل کرده است. با توجه به اینکه ماده تیغه شکننده بوده و تحت چرخش بالا قرار داشته، این امر منجر به گسترش سریع ترک در تیغه شده است. شکست در قسمت ریشه تیغه به دلیل ورود قطعات شکسته از تیغه‌های دیگر آسیب‌دیده به فضای بین محفظه (استاتور) و تیغه (روتور) بوده که موجب مسدود شدن چرخش تیغه شده‌اند.
- بررسی شکست تیغه فن اجباری بدون پوشش نشان می‌دهد که چون نیروگاه در نزدیکی دریا قرار دارد، حضور یون‌های کلر در هوا باعث ایجاد پیتینگ روی سطح تیغه‌ها شده است. همچنین، وجود عیوب سطحی ناشی از فرسایش به دلیل فعالیت مکانیکی ذرات معلق در جریان هوا، باعث شروع ترک‌های خستگی روی سطح تیغه مورد بررسی به دلیل تمرکز تنش شده است. علاوه بر این، معلوم است که خوردگی و آسیب‌های ناشی از خستگی می‌توانند به طور همزمان اتفاق بیفتند و تأثیر ترکیبی آنها بسیار شدیدتر از وقتی است که هر کدام به تنهایی رخ دهند. در نهایت، گسترش ترک‌های خستگی به شکست تیغه منجر می‌شود. نتایج آزمایش سختی نشان داد که شرایط استفاده تأثیری بر خواص مکانیکی آلیاژ نگذاشته است.

مراجع

- [1] C. Subramanian, H. Roy, A. Mondal, D. Ghosh, S.K. Laha, K.J. Uke, Failure of induced draft-ID fan blade in coal fired boiler, Engineering Failure Analysis, 122 (2021) 105282.
- [2] Y. Kang, J. Ao, G. Ma, Research on structural resonance of large axial fan in power plant, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2024, pp. 012037.
- [3] N.M. Shrirao, Study & Analysis Of Conservation Of Energy With VFD.
- [4] Y. Xu, H. Wang, X. Liu, J. Zhu, J. Xu, M. Xu, Mitigating CO2 emission in pulverized coal-fired power plant via co-firing ammonia: A simulation study of flue gas streams and exergy efficiency, Energy Conversion and Management, 256 (2022) 115328.
- [5] V. Vanin, O. Lasurenko, M. Kruhol, Assessment of group regulation feasibility in thermal power plant auxiliaries capacity control, Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 6 (2020) 45-53.
- [6] Q. Wang, H. Xu, L. Pan, L. Sun, Active disturbance rejection control of boiler forced draft system: a data-driven practice, Sustainability, 12 (2020) 4171.
- [7] M. Nurbanasari, T. Kristyadi, T. Purwanto, A. Maulana, R. Fadilah, Case Studies in Engineering Failure Analysis.
- [8] A.M. Valyakala, J. Dileepal, B. Paul, Root cause analysis for the failure of a forced draft fan in a petrochemical industry, International Journal of Engineering Research and Development, 6 (2013) 84-90.
- [9] Y.-q. WANG, J. Zhe, Y.-l. CUI, C.-z. CUI, S. Zhi, Failure analysis of air fan blades, Journal of China University of Mining and Technology, 18 (2008) 466-469.
- [10] M. Nurbanasari, T. Kristyadi, T. Purwanto, A. Maulana, R. Fadilah, Damage analysis of the forced draft fan blade in coal fired power plant, Case studies in engineering failure analysis, 8 (2017) 49-56.
- [11] H. Kazempour-Liacy, M. Mehdizadeh, M. Akbari-Garakani, S. Abouali, Corrosion and fatigue failure analysis of a forced draft fan blade, Engineering Failure Analysis, 18 (2011) 1193-1202.

دنیای خوردگی



واژه‌های خوردگی و حفاظت فلزات

معرفی کتاب

روی خط اینترنت

● واژه‌های خوردگی و حفاظت فلزات



واژه‌های مهندسی خوردگی که در این بخش آورده شده است، از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۵؛ توسط گروه واژه‌گزینی فرهنگستان زبان و ادب فارسی با همکاری انجمن خوردگی ایران، در کارگروه برو ن‌پذیر مهندسی خوردگی بررسی و در شورای واژه‌گزینی تصویب شده‌اند که به ترتیب حروف الفبا در مجله زنگ منتشر می‌گردد. واژه‌های مصوب خوردگی که به صورت یک جلد کتاب نیز منتشر شده است، شامل ۶۷۸ واژه است که در هر شماره از مجله زنگ برخی از آن‌ها درج می‌شوند.

ب

بازدارندگی inhibition
کاهش سرعت یک واکنش کاتالیز شده (catalyzed reaction) با استفاده از ماده بازدارنده

بازدارندگی خوردگی میانا interface corrosion inhibition
فرایند تعویق خوردگی که در آن برهم‌کنش شدیدی بین زیرآیند (substrate) در حال خورده شدن و بازدارنده خوردگی رخ می‌دهد، در این فرایند بازدارنده خوردگی برحسب میزان پتانسیل زیرآیند (substrate) جذب سطح می‌شود و به عنوان یک الکتروکاتالیزور مثبت یا منفی بر روی واکنش خوردگی اثر می‌کند یا خود بازدارنده در فرایند اکسایش - کاهش الکتروشیمیایی مشارکت می‌کند

بازدارندگی خوردگی میان‌فازی interphase corrosion inhibition
فرایند تشکیل یک لایه سه‌بعدی بین زیرآیند (substrate) در حال خورده شدن و برق‌کاف که در آن لایه بازدارنده معمولاً از ترکیبات حل‌پذیر ضعیف مانند محصولات خوردگی اکسیدی یا واسطه‌ها یا بازدارنده‌ها به وجود می‌آید

بازدارنده inhibitor
ماده‌ای که یک واکنش شیمیایی را متوقف می‌کند یا به تأخیر می‌اندازد

بازدارنده آستانه‌ای threshold inhibitor
نوعی بازدارنده که اگر در مقدارهای کمتر از حد استوکیومتری (stoichiometric) هم به کار رود، همچنان به عنوان یک عامل تعلیقی در محیط آب عمل می‌کند

بازدارنده آندی anodic inhibitor
نوعی بازدارنده خوردگی که در آن ماده یا ترکیبی از مواد شیمیایی با سازوکارهای مختلف فیزیکی یا شیمیایی یا فیزیکی-شیمیایی سبب جلوگیری یا کاهش آهنگ واکنش‌های آندی یا اکسایش می‌شود

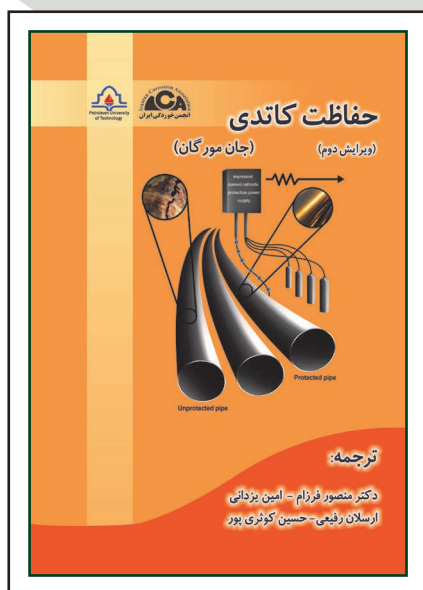
بازدارنده اسیدی acid inhibitor
نوعی بازدارنده خوردگی غالباً از جنس مواد آلی حاوی نیتروژن و گوگرد و دارای بار قطبی که جذب سطح فلز می‌شود و از حمله اسید به سطح عریان فلز در هنگام پوسته‌زدایی محافظت می‌کند

بازدارنده اکسایش oxidation inhibitor
ماده‌ای که با افزوده شدن به ماده‌ای دیگر، مقاومت آن ماده را در برابر حملات زیان‌بار محیط‌های اکسندة افزایش می‌دهد

بازدارنده بر جذبی adsorption inhibitor
نوعی بازدارنده خوردگی اغلب از جنس ترکیبات آلی که برای متوقف کردن واکنش‌های انحلال و کاهش، جذب سطح فلز می‌شود

بازدارنده بر جذبی adsorption inhibitor
نوعی بازدارنده خوردگی اغلب از جنس ترکیبات آلی که برای متوقف کردن واکنش‌های انحلال و کاهش، جذب سطح فلز می‌شود
مت. بازدارنده جذب سطحی

بازدارنده پوششی شناور flotation-type coating, flotation coating inhibitor, flotation inhibitor
نوعی بازدارنده خوردگی برای محافظت سطح داخلی مخازن که لایه‌ای از آن را بر روی کف مخزن خالی قرار می‌دهند و زمانی که مخزن پر می‌شود، این لایه روغنی شناور می‌شود و با پایین و بالا رفتن سطح مایع، لایه‌ای از پوشش بر روی سطح مخزن به وجود می‌آید



عنوان کتاب: حفاظت کاتدی - جان مورگان

مترجمین:

دکتر منصور فرزام، مهندس امین یزدانی، مهندس ارسلان رفیعی و
مهندس حسین کوثری پور

مؤلف: جان مورگان

انتشارات: انجمن خوردگی ایران

از حفاظت کشتی‌ها توسط Davy انگلیسی (۱۸۲۴) نزدیک به دو قرن می‌گذرد و این علم یک روش کارآمد در حفاظت از آلیاژهای مختلف در خاک، آب، دریا و آرماتورها در بتن و غیره توسعه یافته است و یکی از مبانی بسیار با اهمیت حفاظت از فلزات در محیط‌های مختلف می‌باشد.

کتاب حاضر که ترجمه کتاب مورگان می‌باشد یکی از آثار بسیار فنی و مهندسی در زمینه مقابله با خوردگی می‌باشد که توسط استاد فرزانه جناب آقای دکتر منصور فرزام استاد و پیشکسوت خوردگی ترجمه گردیده و با دانش فنی خود که از انجام پروژه‌های

مختلف نفت و گاز و پتروشیمی برخوردار بوده بر غنای آن افزوده است ضمن اینکه اصول واژه‌گزینی فرهنگستان زبان و ادب فارسی را در آن ملحوظ فرموده است.

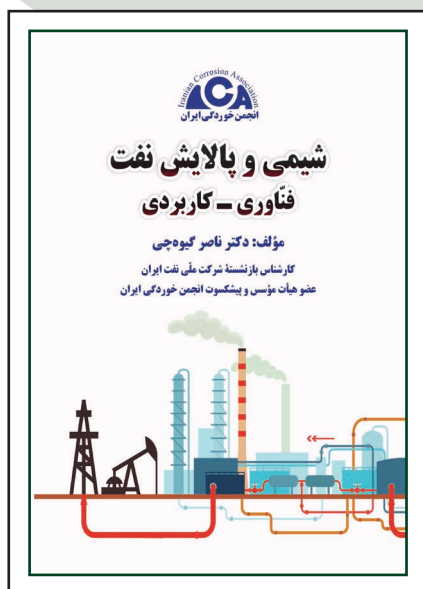
کتاب مورگان یک مجموعه کامل و پیوسته‌ای است که تمامی نکات حفاظت کاتدی، جریان‌های سرگردان و مقابله با آن را و نحوه اندازه‌گیری پتانسیل و روش‌های اندازه‌گیری آنرا در خود جای داده است. مطالعه این اثر ارزشمند به تمامی مهندسين خوردگی، کارشناسان صنعتی، مدیران بهره‌برداری و پرسنل بازرسی فنی توصیه شده است.

قیمت: ۳۱۰/۰۰۰ تومان

تعداد صفحه: ۶۹۶

سال نشر: ۱۴۰۱

شمارگان: ۵۰۰ نسخه



عنوان کتاب: شیمی و پالایش نفت

فناوری - کاربردی

مؤلف: دکتر ناصر گیوه‌چی

انتشارات: انجمن خوردگی ایران

نقش صنایع مواد نفتی در تحول و تکامل رشته‌های مختلف صنعت و در پیشرفت کلیه شئون اقتصادی کشور ما بسیار مهم است، به‌طوری‌که امروزه در تمام شاخه‌های تولیدی مربوط به نیازهای زندگی و آمار پیشرفت اقتصادی جوامع مختلف مصرف زیادی برای مواد اولیه دیگر صنایع به ویژه پتروشیمی پیدا شده است.

توسعه و تکامل شیمی نفت از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد و تأثیر علمی آن در شئون مختلف صنعت از قبیل تهیه مواد شیمیایی، دارویی، کود شیمیایی و مواد پلاستیکی و ... از ابتدای قرن حاضر می‌گردد. حس کنجکاوی و تلاش و کوشش و میل دائمی بشر به تقلید از طبیعت و تسلط بر آن از یک سو و مسئله تأمین نیازهای جوامع شرقی از سوی دیگر موجب ترقی این علم و اهمیت روز افزون آن در حیات صنعتی و تمدن

جدید گردید، تا جایی که ملل شرقی جهان تعلیم و تدریس آنرا در برنامه دانشگاه‌ها گنجانیدند.

هدف و منظور اصلی این مجموعه که در حقیقت حاصل بیش از ۳۰ سال تجربه جناب آقای دکتر ناصر گیوه‌چی در صنایع نفت است، قدم مهمی در تدوین و تألیف شیمی و پالایش نفت و فرآورده‌های آن است.

لازم به ذکر است، مؤلف در تهیه این مجموعه از واژه‌های تخصصی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده به عمل آورده است. این مجموعه صرف نظر از بُعد علمی‌ای که دارد، به طریقی واژه‌های مصوب فرهنگستان در زمینه علوم را انتشار می‌دهد تا مورد توجه اهل عمل قرار گیرد.

قیمت: ۵۰۰/۰۰۰ تومان

تعداد صفحه: ۷۴۸

سال نشر: ۱۴۰۱

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

روی خط اینترنت

مجله زنگ جهت غنی کردن بار آموزشی و محتوایی بخش روی خط اینترنت آمادگی دارد تمامی مطالب، اخبار، تحلیل‌ها و دیدگاه‌های کارشناسان، دست‌اندرکاران و علاقه‌مندان به علم و مهندسی خوردگی و مرتبط به آن را در تمامی حوزه‌ها منتشر نماید.

لازم به ذکر است مطلب ارسالی با نام فرستنده درج خواهد شد ضمن اینکه درج منبع اصلی مطلب نیز الزامی می‌باشد.

شرکت با توسعه آلیاژهای جدید و مقاوم در برابر خوردگی، توانسته قطعاتی را تولید کند که طول عمر بیشتری دارند و هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهند.

پیش از این، این قطعات با قیمت‌های بسیار بالا از کشورهای خارجی و از طریق چندین واسطه وارد کشور می‌شدند، اما این شرکت موفق شده است با تولید بومی این قطعات، هزینه‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به عنوان مثال، قطعه‌ای که قبلاً با قیمت ۱۰ هزار دلار وارد می‌شد، اکنون با هزینه‌ای حدود ۲ هزار دلار در داخل کشور تولید می‌شود.

نائبی تأکید کرد که تمامی فرآیند تولید این قطعات، از طراحی آلیاژ تا تولید نهایی، به صورت کاملاً بومی انجام می‌شود. این امر نه تنها موجب صرفه‌جویی ارزی شده، بلکه باعث ارتقای توان فنی و استقلال کشور در زمینه تأمین قطعات حساس هواپیماها نیز شده است.

این شرکت همچنین توانسته است محصولات دیگری نظیر ابزارهای کمک توانبخشی را نیز بر اساس آلیاژهای توسعه‌یافته خود تولید کند، که انتظار می‌رود تا پایان تابستان وارد بازار شوند. این دستاوردها نشان‌دهنده پیشرفت چشمگیر کشور در حوزه فناوری‌های پیشرفته و توانمندی در مقابله با چالش‌های ناشی از تحریم‌ها است.

این تلاش‌ها، به ویژه در زمینه تولید قطعات مصرفی هواپیماها، یک گام مهم در جهت کاهش وابستگی به واردات و تقویت صنایع داخلی به شمار می‌رود.

منبع: <https://khabarban.com/a/40719140>

نوآوری ایرانی در صنعت هوایی: قطعات منیزیمی بومی جایگزین واردات گران‌قیمت شدند



یک شرکت دانش‌بنیان ایرانی، که پیش‌تر به فناوری تولید آلیاژهای منیزیمی دست یافته بود، اکنون توانسته با توسعه این آلیاژها، قطعاتی با مقاومت بالا در برابر اکسایش و خوردگی تولید کند که در تعمیر و نگهداری هواپیماها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قطعات در بخش‌های مختلف بدنه و سیستم‌های حیاتی هواپیماها، از جمله سیستم‌های گازرسانی و شفت‌ها، به کار می‌روند و به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد منیزیم، مانند وزن سبک، برای کاهش وزن هواپیماها بسیار مناسب هستند. مدیرعامل این شرکت، دکتر بهزاد نائبی، با اشاره به اینکه هواپیماهای موجود در ایران به دلیل تحریم‌های بین‌المللی نیاز به تعمیرات پیچیده دارند، تأکید کرد که قطعات منیزیمی مورد استفاده در این هواپیماها، به دلیل مقاومت پایین در برابر خوردگی و اکسایش، به مرور زمان نیاز به تعویض دارند. این

نوآوری در پوشش‌دهی: گامی بزرگ در مقاومت قطعات صنعتی



پژوهشگران و فناوران یکی از شرکت‌های پیشرو در پژوهشگاه مواد و انرژی، با تلفیق سه فناوری پیشرفته نانو، لیزر و پلاسما، گامی بلند در جهت افزایش مقاومت قطعات صنعتی در برابر چالش‌های حرارتی، خوردگی و سایش برداشته‌اند. این دستاورد جدید، که در قالب پوشش‌های کامپوزیتی سرامیکی ارائه شده است، نه تنها توانسته مقاومت تجهیزات را تا دمای شگفت‌انگیز ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد افزایش دهد، بلکه با استفاده از فرایندهای پیشرفته‌ای مانند آنالیزینگ، خواص ضدخوردگی و ضدسایش قطعات را نیز بهبود بخشیده است.

یکی از برجسته‌ترین نوآوری‌های این فناوری، به‌کارگیری ذرات نانو کامپوزیت آلومین یا PTFE در ترکیب پوشش است. این نانوذرات، که به طور هوشمندانه‌ای در ساختار پوشش‌ها جایگذاری شده‌اند، نقش کلیدی در کاهش ضریب اصطکاک و افزایش مقاومت به خوردگی دارند. این ویژگی‌ها باعث شده است که قطعات پوشش داده شده، کارایی بیشتری در محیط‌های صنعتی سخت از خود نشان دهند.

کاربردهای این فناوری نه تنها به صنعت محدود نمی‌شود، بلکه به حوزه‌هایی نظیر پزشکی و تولید محصولات مصرفی نیز نفوذ کرده است. به عنوان مثال، ابزارهای پزشکی که نیازمند دقت و مقاومت فوق‌العاده هستند، با این پوشش‌ها دوام بیشتری پیدا می‌کنند. همچنین، ظروف آشپزخانه که باید در برابر حرارت و سایش مقاوم باشند، از این فناوری بهره‌مند می‌شوند.

این دستاورد نه تنها یک پیشرفت علمی مهم به شمار می‌رود، بلکه می‌تواند تأثیرات عمیقی بر صنعت و زندگی روزمره داشته باشد. افزایش مقاومت قطعات به معنای کاهش هزینه‌های نگهداری، افزایش عمر مفید تجهیزات و در نهایت، بهره‌وری بیشتر در صنایع مختلف است. این فناوری نوین نشان می‌دهد که چگونه ترکیب دانش و نوآوری می‌تواند به خلق راه‌حل‌های پایدار و مؤثر در مقابله با چالش‌های مهندسی منجر شود.

نوآوری در مقابله با خوردگی هواپیماها: همکاری اوشینیت و لاکهید مارتین



پاتریک سالیوان، مدیرعامل شرکت اوشینیت (Oceanit) می‌گوید: «هواپیماهایی که در جوامع ساحلی و اطراف آن پرواز می‌کنند، به ویژه در مکان‌هایی مانند هاوایی و گوام، با خوردگی مواجه هستند. این مشکل بسیار رایج است و باید برای حل آن اقدام کرد. این راه‌حل نباید اختلالی در عملکرد سیستم‌ها داشته باشد و چیزی را در فرآیند تغییر ندهد و در عین حال بتوان آن را به صورت مقیاس‌پذیر انجام داد. بنابراین ما به یک فرآیند رسیدیم تا مواد بسیار مقیاس‌پذیر و سازگار با زیست محیطی را استفاده کنیم.»

سالیوان می‌گوید: «اوشینیت از یک روش مبتنی بر آب برای ایجاد لایه‌ای بسیار نازک استفاده می‌کند. این شرکت این فناوری را روی یک دستگاه کولر گازی در دفتر هونولولو خود آزمایش کرد، جایی که به طور معمول به دلیل نسیم شور اقیانوس خوردگی بسیار سریع ظاهر می‌شود. ما ابتدا آلومینیوم را پوشش‌دهی کردیم.»

این شرکت فناوری خود را Aeropel نامیده است و قبل از امضای قرارداد با لاکهید در ماه مه، با چندین شرکت هواپیمایی تجاری همکاری کرده است.

سالیوان گفت: «این ساختار به طور منحصر به فرد به فلز پایه می‌چسبد و شما می‌توانید آن را به عنوان یک پوشش در نظر بگیرید که ویژگی‌های سطح را تغییر می‌دهد.»

Aeropel هنوز روی سطوح قطعات هواپیماهای رادارگریز آزمایش نشده است و تنها روی قطعات معمولی و تجهیزات پشتیبانی زمینی مورد آزمایش قرار گرفته است.

سالیوان از عرضه یک پوشش مقاوم در برابر خوردگی که می‌تواند توسط فردی آموزش ندیده با سطح سواد معمولی به کار گرفته شود، استقبال کرد. چنین پوشش‌هایی ممکن است هزینه‌های نگهداری را به اندازه کافی برای خرید برای خرید هواپیماهای بیشتر توسط پنتاگون کاهش دهد.

محافظتی نوین با استفاده از فناوری گرافن: کاهش هزینه‌ها و افزایش دوام فلزات



بر اهمیت این فناوری می‌گوید: «Nanocorr فراتر از یک راه‌حل ساده برای مقابله با خوردگی است. این محصول به طور همزمان پایداری، کارایی اقتصادی و کاهش هزینه‌های نگهداری را برای صنایع مختلف به ارمغان می‌آورد. این نه تنها محافظتی قوی در برابر عوامل خوردنده فراهم می‌کند، بلکه به بهبود بهره‌وری و کاهش نیاز به نگهداری‌های مکرر کمک می‌کند.»

این پیشرفت‌ها، نمونه‌ای بارز از کاربردهای نوین علم نانو در صنایع مختلف است. گرادو گرافن با این نوآوری‌ها نشان داده که چگونه می‌توان با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، به بهبود کیفیت محصولات، افزایش پایداری و حفظ محیط زیست کمک کرد. در دنیای امروز که بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند، چنین دستاوردهایی نقشی حیاتی در موفقیت صنایع مختلف ایفا می‌کنند.

منبع: <https://khabarban.com/a/40512458>

پوشش‌های نیکل-بور با نانو الماس: نوآوری در مقاومت سایشی فلزات

سید صابر میرحسینی، دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، با طرح تحقیقاتی جدید خود در حوزه مهندسی سطح، تحولی در عملکرد پوشش‌های فلزی ایجاد کرده است. پروژه تحقیقاتی او با عنوان «رفتار سایشی پوشش کامپوزیتی الکترولس نیکل-بور-نانو الماس (Ni-B-Nano Diamond) نیتروژن‌دهی پلاسمایی شده روی فولاد AISI 4140»، به بررسی روش‌های نوین برای ارتقاء خواص سایشی و تریبولوژیکی پوشش‌های فلزی پرداخته است.

در دنیای صنعت، قطعات فلزی باید در برابر شرایط سخت و استفاده مداوم مقاومت بالایی داشته باشند. یکی از چالش‌های بزرگ در این زمینه، بهبود عملکرد پوشش‌های نیکل-بور است که به دلیل سختی و مقاومت سایشی محدود، در کاربردهای صنعتی با مشکلاتی مواجه است. میرحسینی و تیمش با استفاده از ذرات نانو الماس، که به خاطر سختی بسیار بالا شناخته می‌شوند، و اعمال نیتروژن‌دهی پلاسمایی، به دنبال تقویت این پوشش‌ها بودند.

میرحسینی توضیح داد که در این تحقیق، برای اولین بار از ذرات نانو الماس به عنوان تقویت‌کننده استفاده شده است. این نانو ذرات، که به دلیل ساختار منحصر به فرد و سختی بالا شهرت دارند، به پوشش‌های نیکل-بور افزوده شده‌اند تا مقاومت آنها در برابر سایش و خوردگی به طور قابل توجهی افزایش یابد. همچنین، نیتروژن‌دهی پلاسمایی به این پوشش‌ها اعمال شده است تا ویژگی‌های تریبولوژیکی و عملکردی آنها بهبود یابد.

شرکت «گراو گرافن»، به عنوان یکی از پیشروان عرصه فناوری نانو، با معرفی محصول جدید خود Nanocorr Shield بار دیگر نشان داده که چگونه علم می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و کاهش هزینه‌های صنعتی کمک کند. این شرکت که همواره در خط مقدم توسعه مواد گرافنی برای کاربردهای صنعتی قرار دارد، این بار با تکیه بر فناوری منحصر به فرد G2D، محصولی را به بازار عرضه کرده که می‌تواند تحولی چشمگیر در محافظت از سازه‌های فلزی ایجاد کند.

Nanocorr Shield به عنوان یک افزودنی شیمیایی تقویت‌شده با گرافن، توانسته است تا ۷۰ درصد مقاومت رنگ‌ها و پوشش‌ها را در برابر خوردگی افزایش دهد. این دستاورد که در آزمایش‌های اسپری نمکی به اثبات رسیده، می‌تواند به کاهش چشمگیر هزینه‌های نگهداری سازه‌های فلزی منجر شود. با استفاده از این محصول، یک لایه محافظ قدرتمند در برابر عوامل خوردنده‌ای مانند آب، اکسیژن و کلریدها ایجاد می‌شود، که باعث افزایش عمر مفید سازه‌ها می‌گردد. نکته جالب توجه در مورد Nanocorr Shield این است که تنها با افزودن مقدار کمی گرافن به رنگ‌ها و پوشش‌ها، می‌توان به چنین نتایج شگفت‌انگیزی دست یافت. این فناوری نه تنها به حفظ خواص مکانیکی و شیمیایی رنگ کمک می‌کند، بلکه با کاهش ضخامت لایه‌های پوششی، مصرف رنگ را نیز به طرز محسوسی کاهش می‌دهد. این ویژگی از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است و به صرفه‌جویی در مصرف منابع کمک می‌کند.

اما Nanocorr Shield تنها محصول این شرکت نیست. گرادو گرافن با مجموعه‌ای از پوشش‌های پیشرفته همچون Nanodur و Nanolav، گام‌های بزرگی در کاهش تأثیرات زیست‌محیطی تولید رنگ و پوشش‌ها برداشته است. این محصولات با استفاده از فناوری G2D و نانوپلاکت‌های گرافن، علاوه بر دوام و قابلیت شستشوی بالا، کمترین تأثیر را بر محیط زیست دارند.

الکساندرو زانوتو، مدیر فنی محصولات شرکت گرادو گرافن، با تأکید

دی الکتریک توسعه داده‌اند. این پوشش جدید با افزایش چسبندگی و بهبود خواص بازدارنده، می‌تواند دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر را در برابر خوردگی محافظت کند و در عین حال انعطاف‌پذیری مکانیکی آن‌ها را حفظ نماید.

یکی از مشکلات عمده در بسته‌بندی این دستگاه‌ها، استفاده از پوشش‌های پلیمری است که پیوندهای الکتریکی ضعیفی بین اجزای مدار ایجاد می‌کنند و در شرایط محیطی نامساعد موجب تجمع آب در سطح مشترک و از کار افتادن دستگاه می‌شوند. پوشش SiO_x با ضخامت بهینه ۸۲۰ نانومتر، که از طریق روش CAP رسوب‌گذاری می‌شود، توانسته این مشکل را به طور مؤثر حل کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که این پوشش جدید به طور قابل توجهی خواص محافظتی در برابر خوردگی را بهبود می‌بخشد. برای مثال، در آزمایش‌های انجام‌شده بر روی آنتن‌های "بال کوسه‌ای" چاپی که بر روی سقف خودروها نصب می‌شوند، این پوشش توانست عملکرد بهتری را در شرایط محیطی سخت به نمایش بگذارد.

این دستاورد علمی نه تنها نشان‌دهنده پیشرفت مهمی در زمینه تولید دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر با هزینه کم و کارایی بالا است، بلکه مسیر جدیدی را برای تجاری‌سازی این فناوری‌ها با قابلیت اعتماد و دوام بیشتر در مقیاس بزرگ فراهم می‌آورد.

این پژوهش گامی اساسی در جهت حل مشکلاتی است که تا کنون در بسته‌بندی و محافظت از دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر وجود داشت و می‌تواند به کاربرد گسترده‌تر این دستگاه‌ها در صنایع مختلف منجر شود.

منبع: <https://www.mehrnews.com/news/6169299>

دستاورد جدید در مهندسی هسته‌ای: ماده‌ای کارآمد و ارزان برای رآکتورها



گروهی از محققان آزمایشگاه ملی آرگون (AGL) با همکاری وزارت انرژی آمریکا، ماده‌ای جدید و کارآمد برای استفاده در

این نوآوری‌ها باعث شده‌اند که پوشش‌های نیکل-بور با نانو الماس، برای کاربردهای متنوعی از جمله صنایع شیمیایی، غذایی، هوافضا، اتومبیل‌سازی، ابزارهای برش، قالب‌سازی و صنایع تسلیحاتی مناسب باشند. با کاهش هزینه تولید و زمان لازم برای فرآیند، این پوشش‌ها نه تنها از نظر اقتصادی به صرفه‌تر شده‌اند، بلکه امکان مقیاس‌پذیری و تکرارپذیری بهتری نیز ارائه می‌دهند.

میرحسینی ابراز امیدواری کرد که با حمایت‌های لازم، این فناوری به مرحله تجاری‌سازی برسد و در نتیجه، گامی مهم در بومی‌سازی این نوع پوشش‌ها برداشته شود. او همچنین تأکید کرد که نتایج این تحقیق می‌تواند به تحقیقات و توسعه‌های آینده در زمینه بهبود خواص پوشش‌های آبکاری و کاربردهای گسترده‌تر در صنایع مختلف کمک کند.

این پروژه نمونه‌ای بارز از چگونگی استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای بهبود عملکرد و دوام قطعات صنعتی است و نشان‌دهنده ظرفیت بالای علم و نوآوری در رفع چالش‌های صنعتی می‌باشد.

منبع: <https://khabarban.com/a/40112454>

نوآوری محقق ایرانی: پوشش ارزان برای دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر



در دنیای امروز که دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر چاپی (PFE) نقش مهمی در صنایع مختلف از جمله درمان، خودروسازی، هوافضا و کشاورزی ایفا می‌کنند، چالش‌های جدی در زمینه بسته‌بندی و محافظت از این دستگاه‌ها وجود دارد. این دستگاه‌ها به دلیل ساختار انعطاف‌پذیر و هزینه تولید پایین، بسیار محبوب هستند، اما حفظ دوام و عملکرد آن‌ها در شرایط محیطی نامساعد همچنان یک معضل بزرگ است.

اخیراً گروهی از محققان به همراه رحیم رحیمی، پژوهشگر ایرانی، راه‌حلی نوآورانه برای این مشکل ارائه داده‌اند. آن‌ها با استفاده از فناوری پلاسمای اتمسفر سرد (CAP)، یک پوشش نوین SiO_x را به عنوان لایه‌ای میانی بین مدارهای چاپی و پوشش کپسوله

این نوآوری به ویژه برای محققان و دانشجویان در حوزه متالورژی و علم مواد توجه برانگیز است.

به گزارش ایسنا، امیر بهرام قراگوزلو، دانش‌آموخته دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مجری طرح «ساخت نانوکامپوزیت‌های جاذب امواج الکترومغناطیس با استفاده از اکسید گرافن عامل‌دار شده با مایعات یونی»، اعلام کرد: «با پیشرفت سریع تکنولوژی و افزایش استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی، مسئله تداخل امواج الکترومغناطیسی و نیاز به محافظت در برابر آن به موضوعی حیاتی تبدیل شده است. در صنایع دفاعی و الکترونیک، نیاز به پوشش‌های رادار گریز و محافظت در برابر خوردگی بسیار برجسته است.»

تا پیش از این، پوشش‌های فلزی به دلیل مشکلاتی مانند عدم انعطاف‌پذیری و وزن بالا برای مقابله با تداخل امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شد. با این حال، روش‌های جدید شامل پوشش‌های پلیمری و نانوکامپوزیت‌ها، توانسته‌اند این مشکلات را به حداقل برسانند. این تحقیق جدید با استفاده از مواد در دسترس و مایعات یونی، نانوکامپوزیت‌هایی را تولید کرده است که به‌طور مؤثر امواج الکترومغناطیسی را جذب و اتلاف می‌کنند و در عین حال به کاهش مشکلات خوردگی کمک می‌کنند.

این نانوکامپوزیت‌ها نه تنها در ضخامت‌های کم و درصد پایین به بازدهی بالایی دست یافته‌اند، بلکه قابلیت استفاده به‌عنوان پوشش‌های محافظتی در صنایع مختلف از جمله نظامی، الکترونیک و حتی در حوزه سلامت را دارند.

قراگوزلو اظهار داشت: «پوشش‌های تولید شده می‌توانند به‌عنوان یک لایه محافظتی مؤثر در برابر خوردگی و تداخل‌های الکترومغناطیسی عمل کنند و این موضوع به‌ویژه در صنایع حساس از اهمیت بالایی برخوردار است.»

این تحقیق نمایانگر پیشرفت‌های عمده‌ای در تولید پوشش‌های محافظتی است و می‌تواند به‌عنوان مبنای محکمی برای تحقیقات و توسعه‌های آینده در حوزه متالورژی و علم مواد مورد استفاده قرار گیرد.

منبع: <https://www.isna.ir/news/1403032617204>

فراخوان

علاقتمندان می‌توانند جهت کسب اطلاعات بیشتر در خصوص ارسال مطلب، با انجمن خوردگی ایران تماس حاصل نمایند.

تلفن: ۸ - ۸۷ ۴۲ ۳۴ ۸۸

www.ica.ir

رآکتورهای هسته‌ای توسعه داده‌اند که مقاومت بی‌نظیری در برابر خوردگی و فرسایش از خود نشان می‌دهد. این ماده می‌تواند به عنوان جایگزینی ارزان‌تر و ایمن‌تر برای آلیاژهای نیکل که معمولاً در رآکتورهای هسته‌ای استفاده می‌شوند، به کار رود.

با توجه به برنامه‌های ایالات متحده برای تولید ۱۰۰ درصد برق خود از منابع تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۵، انرژی هسته‌ای نقش کلیدی در این انتقال به سوی انرژی پاک ایفا خواهد کرد. اما یکی از چالش‌های اساسی در این مسیر، وابستگی رآکتورهای هسته‌ای به آلیاژهای نیکل است که به دلیل قیمت بالا و مشکلات حمل‌ونقل، بهره‌وری را کاهش می‌دهند.

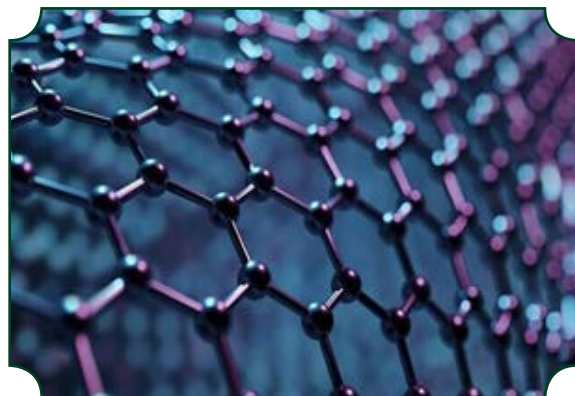
محققان با استفاده از چارچوب جدیدی که امکان شبیه‌سازی دقیق عملکرد مواد در شرایط دشوار رآکتور را فراهم می‌کند، موفق به شناسایی ماده‌ای شدند که نه تنها می‌تواند تاب‌آوری بیشتری در برابر تشعشعات و شرایط سخت رآکتور داشته باشد، بلکه هزینه‌های ساخت و نگهداری را نیز به طرز چشمگیری کاهش می‌دهد.

این ماده در آزمایش‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از سیستم شتاب‌دهنده ATLAS، مقاومت فوق‌العاده‌ای در برابر خوردگی نشان داد که برای کاربرد در رآکتورهای هسته‌ای ضروری است. نتایج این آزمایش‌ها بسیار امیدوارکننده بوده و محققان قصد دارند این ماده را به زودی به ثبت برسانند.

در حالی که این دستاورد می‌تواند نقطه عطفی در صنعت هسته‌ای باشد، تحقیقات بیشتری برای بهینه‌سازی این ماده و ارزیابی عملکرد آن در شرایط واقعی رآکتورهای هسته‌ای مورد نیاز است.

منبع: <https://www.isna.ir/news/1403051408739>

نانوکامپوزیت‌های جدید: نوآوری در پوشش‌های ضد رادار و مقابله با خوردگی فلزات



محققان ایرانی با دستیابی به نانوکامپوزیت‌های پیشرفته، گام مهمی در تولید پوشش‌های رادار گریز و مقابله با خوردگی فلزات برداشته‌اند.

بیشتر بدانیم

بیشتر بدانیم



● هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی در خوردگی صنایع نفت

● مدیریت خوردگی

استفاده از منابع تغذیه کامپیوتر در بالا بردن عمر تجهیزات و
پایداری حفاظت کاتدیک خطوط لوله زیر زمینی

هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی در خوردگی صنایع نفت

مجتبی صادقی

تحقیق و توسعه، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: msg8789@yahoo.com

چکیده

خوردگی یکی از چالش‌های عمده در صنایع نفت و گاز است که منجر به هزینه‌های قابل توجه تعمیر و نگهداری و کاهش بهره‌وری می‌شود. تکنیک‌های مرسوم پایش خوردگی اغلب در ارائه راه حل‌های دقیق و موثر کوتاهی می‌کنند. با این حال، ظهور هوش مصنوعی^۱ در سال‌های اخیر فرصت‌های امیدوارکننده‌ای را برای متحول کردن فرآیند نظارت بر خوردگی ایجاد کرده است. این مقاله کاربرد هوش مصنوعی در توسعه مدل‌های پیش‌بینی خوردگی را بررسی و پتانسیل شناسایی فعالانه و کاهش مسائل مربوط به خوردگی را ارائه می‌دهد و کاربردهای هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی و استراتژی‌های نظارت را روشن و بینشی در مورد مزایای بالقوه این فناوری‌ها برای تشخیص خوردگی در زمان واقعی و فعال ارائه می‌دهد. در نهایت، به چالش‌های ذاتی در اجرای راه حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی صنعت نفت و گاز می‌پردازد. مسائلی مانند اکتساب داده‌ها، کیفیت داده‌ها، انتخاب الگوریتم و اعتبارسنجی مدل، همراه با اهمیت ادغام تخصص انسانی در فرآیندهای تصمیم‌گیری مورد بحث قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، نفت، خوردگی، مدل؛

۱ - مقدمه

صنعت نفت و گاز به عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین انرژی جهانی، با چالش‌های بزرگی روبرو است که مهم‌ترین آن‌ها مسئله خوردگی است. با زیرساخت‌هایی که بیش از سه میلیون کیلومتر را شامل می‌شوند، این صنعت با ضررهای قابل توجهی مواجه است که به خوردگی نسبت داده می‌شود، تخمین زده می‌شود که سالانه حدود ۱۰٪ از تولید فلز جهان را از دست می‌دهد [۲]. روش‌های سنتی نظارت بر خوردگی مانند کوپن‌های خوردگی، سنج‌های مقاومت الکتریکی و بازرسی‌های التراسونیک تاکنون کارآمد بوده‌اند اما اغلب در دقت و به‌موقع بودن داده‌ها کوتاهی می‌کنند، که نیاز به روش‌های پیشرفته‌تر را نمایان می‌سازد. در اینجا هوش مصنوعی وارد می‌شود. هوش مصنوعی پتانسیل شناسایی و کاهش پیشگیرانه مسائل مربوط به خوردگی را دارد. مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های تاریخی، الگوهای خوردگی را شناسایی و رفتار آینده را پیش‌بینی کنند. تجزیه و تحلیل داده‌های پایش خوردگی هوش مصنوعی می‌تواند در پردازش و تحلیل حجم عظیمی از داده‌های پایش خوردگی کمک کند. تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی می‌توانند الگوها و ارتباطات پنهان در داده‌ها را کشف کرده و بینش‌های ارزشمندی را برای مدیریت خوردگی ارائه دهند [۳-۵]. الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند عوامل مؤثر بر خوردگی را شناسایی و تعادل بهینه‌ای بین هزینه‌ها و ریسک‌ها ایجادکنند [۴]. در مجموع، هوش مصنوعی پتانسیل انقلابی کردن پایش و مدیریت خوردگی در صنعت نفت و گاز را دارد [۶].

این مقاله راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را مورد بررسی قرار می‌دهد، مزایای آن‌ها نسبت به روش‌های سنتی را برجسته می‌کند و مسیری برای پیشرفت‌های آینده در این حوزه حیاتی را ترسیم می‌کند.

۲ - مواد و روش تحقیق

در این تحقیق با بررسی منابع مختلف علمی به حوزه کاربرد هوش مصنوعی در خوردگی صنایع نفت پرداخته شده است.

۳ - نتایج و بحث

۳-۱ مفهوم تکاملی هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی

روش‌های پیش‌بینی خوردگی برای جریان‌های نفت و گاز بر اساس میزان و نوع مکانیزم دخیل در آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. با پیشرفت

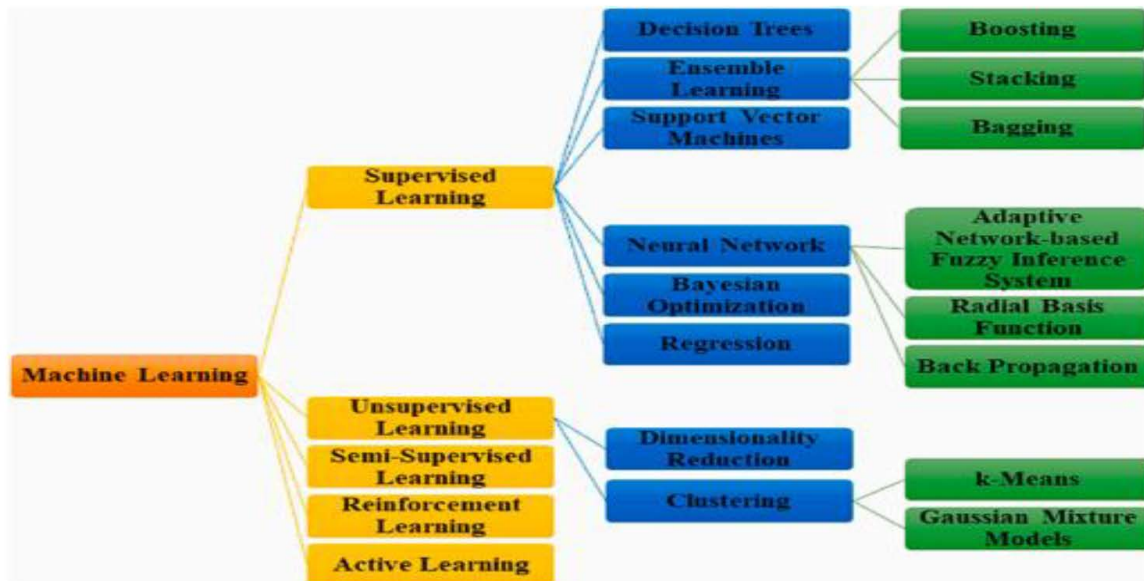
فناوری اطلاعات، مدل‌های مبتنی بر داده که بر پایه یادگیری ماشینی^۱ هستند، به تدریج گسترش یافته‌اند [۷]. انواع مختلفی از مدل‌های پیش‌بینی خوردگی وجود دارد که شامل مدل تجربی است که به‌طور عمده عوامل مؤثر مانند دما، فشار، نیروی برشی، pH و فیلم محصولات خوردگی را در نظر می‌گیرد [۸]. روش نیمه تجربی مانند مدل ترکیبی که با ترکیب چندین روش، مانند ترکیب داده‌های تجربی با بینش‌های مکانیکی عمل می‌کند برای پیش‌بینی عمق حداکثر خوردگی نقطه‌ای که در خطوط لوله نفت و گاز رخ می‌دهد [۹-۱۰]. برای پیش‌بینی نرخ خوردگی خطوط لوله جریان چند فاز، برخی از مدل‌های خوردگی استفاده شده شامل مدل‌های آماری، مدل‌های تحلیلی و مدل‌های محاسباتی مانند تحلیل المان محدود، دینامیک سیالات محاسباتی، اسکریپت‌های پایتون و شبیه‌سازی دینامیک مولکولی هستند [۱۱-۱۲]. هر یک از این مدل‌ها می‌توانند نقاط قوت و محدودیت‌های خود را داشته باشند و در سناریوهای خاصی در صنعت نفت و گاز، پتروشیمی، زیرساخت‌ها و سایر بخش‌هایی که خوردگی در آن‌ها نگرانی محسوب می‌شود، به کار گرفته شوند. محققان و مهندسان معمولاً مدل مناسب را بر اساس داده‌های موجود، ماهیت مشکل خوردگی و سطح دقت و پیچیدگی مورد نظر انتخاب می‌کنند.

۳-۲ چارچوب هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی

مفاهیم نظری مختلفی در چارچوب هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی گنجانده شده‌اند. این چارچوب از روش‌های یادگیری ماشینی مانند رگرسیون، دسته‌بندی و خوشه‌بندی که بر اساس آمار و بهینه‌سازی ریاضی هستند، استفاده می‌کند. مدل‌سازی عدم قطعیت و وابستگی از استدلال بیزی و نظریه احتمال استفاده می‌کند. روش‌های سنتی ارزیابی خوردگی به مدل‌های رگرسیون ساده و فرضیه‌سازی متکی هستند که به راحتی می‌توانند نتایج ارزیابی نادرست تولید کنند. یادگیری ماشینی به ویژه برای محاسبات پیچیده و نیازمند نیروی کار که در ارزیابی خوردگی دخیل هستند، مناسب است و توسط استفاده از الگوریتم‌های موجود یادگیری ماشینی به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گرفته است [۱۳].

اجزای این چهار نوع مختلف از الگوریتم‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند که به طور گسترده‌ای به کار می‌روند.

یادگیری تقویتی، یادگیری نظارت شده و یادگیری بدون نظارت سه زیرمجموعه اصلی الگوریتم‌های یادگیری ماشینی هستند. در یادگیری نظارت شده، یک یا چند متغیر خروجی بر اساس مقادیر متغیرهای ورودی پیش‌بینی می‌شوند. نمونه‌ای از یک متغیر ورودی می‌تواند مجموعه داده آموزشی با n نمونه و مقادیر خروجی مرتبط



شکل ۱. طبقه‌بندی معمول الگوریتم‌های یادگیری ماشین [۱۴].

نفت و گاز برای نظارت بر خوردگی، نحوه استفاده از هوش مصنوعی را به وضوح نشان می‌دهد و با جمع‌آوری داده‌ها آغاز می‌شود که شامل داده‌های بلادرنگ از شبکه‌های حسگر و اطلاعات از داده‌های تاریخی است. پیش‌پردازش داده‌ها این اطلاعات را برای تجزیه و تحلیل توسط الگوریتم‌های هوش مصنوعی که شامل تکنیک‌های یادگیری ماشین مانند رگرسیون، طبقه‌بندی و یادگیری عمیق برای پیش‌بینی خوردگی، شناسایی انواع و تشخیص الگوهای پیچیده هستند، تصفیه می‌کند. هوش مصنوعی نظارت بلادرنگ بر خوردگی را تسهیل می‌کند و ابزارهایی برای ارزیابی ریسک ارائه می‌دهد تا احتمال و تأثیر بالقوه خوردگی را ارزیابی کند. پشتیبانی تصمیم‌گیری هشدارها و اعلان‌ها را برای کاهش ریسک خوردگی فراهم می‌کند و برنامه‌ریزی نگهداری به برنامه‌ریزی وظایف ضروری کمک می‌کند. ادغام با زیرساخت‌های موجود عملیات بدون وقفه در صنعت را تضمین می‌کند. سیستم‌های هوش مصنوعی با داده‌های جدید به مرور زمان یاد می‌گیرند و بهبود می‌یابند، قابلیت‌های پیش‌بینی را افزایش می‌دهند. این نمودار رویکرد جامع استفاده شده برای مقابله با خوردگی در بخش نفت و گاز را نشان می‌دهد [۱۷-۱۶و۶].

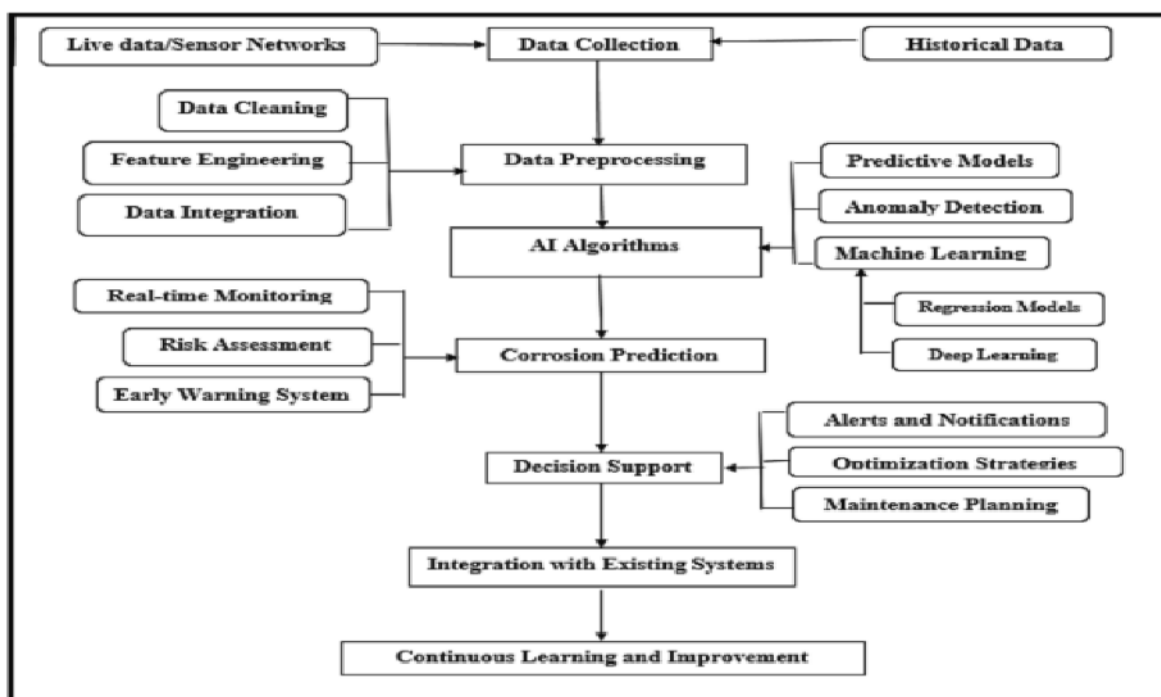
۳-۴ طراحی مدولار این شبکه‌ها

طراحی مدولار این شبکه‌ها از فهم به دست آمده از مدل‌های مکانیکی الهام گرفته است (شکل ۳). محققان یک مدل نرخ خوردگی با استفاده از شبکه‌های عصبی موازی توسعه داده‌اند که مدول‌ها در مرحله آموزش یکپارچه شده‌اند، در حالی که رگرسیون لجستیک برای ایجاد یک الگوی ملموس از داده‌ها استفاده شده است [۶].

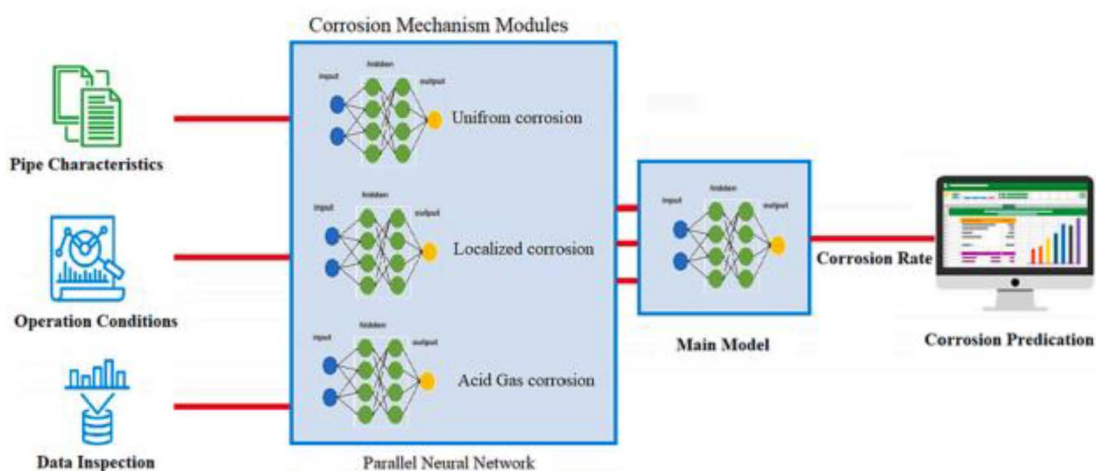
باشد. یک متغیر خروجی می‌تواند یک متغیر پیوسته باشد. یادگیری تقویتی یک الگوریتم یادگیری ماشین است که به ماشین یا عوامل نرم‌افزاری اجازه می‌دهد تا به طور هوشمندانه بهترین رفتار را در یک زمینه خاص تنظیم کنند و از عملکرد بهره‌برداری کنند. یادگیری بدون نظارت از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای خوشه‌بندی و تجزیه و تحلیل مجموعه‌های داده بدون برچسب استفاده می‌کند؛ این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌ها را گروه‌بندی کرده و الگوهای پنهان را بدون دخالت انسانی کشف کنند [۱۵].

۳-۳ الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی در صنعت نفت و گاز

مفهوم شبکه عصبی برای اولین بار توسط مک‌کالوچ و پیتز در یک مقاله در سال ۱۹۴۳ مطرح شد و سپس روزنبلات در سال ۱۹۵۸ با تقلید از نورون‌های مغز انسان، مدلی ادراکی متشکل از یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک لایه پنهان ساخت که به عنوان پرسپترون نیز شناخته می‌شود [۱۶-۱۷]. در نتیجه، فناوری شبکه عصبی به مدت ۱۰ سال به دوران افول رسید، در طی این مدت این فناوری توسط کارشناسان و محققان اصلی مورد پذیرش قرار نگرفت. تا سال ۱۹۸۵، رامله‌هارت، ویلیامز، هینتون و دیگر محققان الگوریتم پس‌انتشار^۱ بهبود یافته را به پرسپترون چندلایه معرفی کردند و از توابع غیرخطی مانند سیگموید یا تانژانت هیپربولیک برای نگاشت مقادیر ورودی به منظور شبیه‌سازی پاسخ نورون‌ها به محرک‌ها استفاده کردند. نمودار شماتیک مفاهیم هوش مصنوعی در شکل ۲ مراحل از جمع‌آوری داده‌ها تا بهبود مدل را نشان می‌دهد. شماتیک پیاده‌سازی هوش مصنوعی در صنعت



شکل ۲. نمودار شمایک مفهوم هوش مصنوعی در نظارت بر خوردگی در صنعت نفت و گاز [۶].



شکل ۳. شبکه عصبی موازی برای مدل پیش‌بینی خوردگی در صنعت نفت و گاز [۶].

۳-۵ منطق فازی در مدل‌های خوردگی

منطق فازی نیز توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. یک مجموعه داده شامل کامپوزیت‌های اپوکسی-گرافن به عنوان پوشش‌های حفاظتی بر روی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ برای ساخت مدل مقاومت در برابر خوردگی با استفاده از تکنیک‌های منطق فازی استفاده شد. علاوه بر این، یک روش بهینه‌سازی برای تعیین پارامترهای سنتز ایده‌آل برای دستیابی به خواص بهینه حفاظتی در برابر خوردگی انجام شد. مدل فازی توافق قوی با

داده‌های تجربی نشان داد و ضریب تعیین بالایی (R مربع) برابر با ۰.۹۹۷۵۸ به دست آورد [۱۸]. استفاده از معیارهای متخصص، به ویژه استفاده از منطق فازی، برای دستیابی به ارزیابی جامع احتمال خرابی نیز بررسی شده است. در همه موارد، احتمال قابل توجهی از خرابی به دلیل کاهش مقاومت مواد، عمدتاً به دلیل ضخامت فعلی واحدهای فرآیند وجود دارد. برای کمی‌سازی اثرات ترکیبی، یک شبکه بیزی فرموله شده است که احتمال اثر دومینو را به $E-4$ می‌رساند.

۳-۶ مدل‌های شبکه بیزی پویا

یک مدل شبکه بیزی پویا^۱ تک‌واحدی برای پیش‌بینی رشد خوردگی در مدیریت خطوط لوله نفت و گاز ادغام می‌کند. استفاده از این مدل بر روی داده‌های خوردگی شبیه‌سازی شده و دنیای واقعی، کارایی آن را در یادگیری پارامترها و پیش‌بینی دقیق رشد خوردگی برجسته می‌کند. در مقایسه با مدل‌های موجود، ادغام عناصر گرافیکی در این مدل، قابلیت استفاده و شفافیت آن را افزایش می‌دهد و رویکردی بصری‌تر برای مدیریت خوردگی در صنعت خط لوله ارائه می‌دهد. این مزایا مدل را برای کاربردهای عملی مدیریت خوردگی بسیار مناسب می‌سازد [۱۹].

۳-۷ مدل فازی مبتنی بر شبکه عصبی تطبیقی

یک مدل فازی مبتنی بر شبکه عصبی تطبیقی برای تخمین نرخ خوردگی فولاد کربنی ناشی از خوردگی تحت عایق^۲ با استفاده از داده‌های API طراحی شده است. شبیه‌سازی‌ها اثربخشی مدل را در پیش‌بینی نرخ‌های خوردگی نشان می‌دهند و با مقادیر API ۵۸۱ همخوانی نزدیکی دارند، با حداقل انحراف مطلق متوسط برابر با ۰.۰۰۰۵. این نتایج به مهندسان یک رویکرد کمی برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه در مورد مسائل مربوط به خوردگی ارائه می‌دهد [۲۰].

۳-۸ کاربرد هوش مصنوعی در نظارت بر خوردگی

هوش مصنوعی در آستانه انقلابی در جنبه‌های مختلف صنعت نفت و گاز است و دستوردهای قابل توجهی در این زمینه دیده می‌شود. این موفقیت‌ها شامل افزایش بهره‌وری انرژی از طریق تحلیل داده‌های مصرف انرژی، استراتژی‌های نگهداری پیشگیرانه که از خرابی تجهیزات جلوگیری می‌کنند، ابتکارات جذب کربن با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهینه‌سازی حفاری برای بهبود کارایی و دقت، و ادغام رباتیک و پهپادهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای بازرسی و نگهداری زیرساخت‌ها در محیط‌های چالش‌برانگیز است [۲۰ و ۶].

در چشم‌انداز وسیع‌تر صنعت نفت و گاز، هوش مصنوعی به عنوان یک نیروی تحول‌آفرین ظاهر شده است که عملیات و تصمیم‌گیری‌ها را بهینه‌سازی می‌کند. علاوه بر این، در این صنعت، هوش مصنوعی نقش محوری در نظارت و ارزیابی خوردگی ایفا می‌کند و از الگوریتم‌های پیشرفته و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای حفاظت از یکپارچگی زیرساخت‌ها و تضمین ایمنی و قابلیت اطمینان استفاده می‌کند.

۳-۹ کاربرد هوش مصنوعی در مدل خوردگی یکنواخت

این مدل طراحی شده است تا عوامل و پارامترهای مختلف را تحلیل کند و بینشی در مورد نحوه تاثیر خوردگی یکنواخت بر یک ماده یا ساختار در طول زمان ارائه دهد. این مدل به یک مدل پیش‌بینی اشاره دارد که از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی یا تخمین وقوع و پیشرفت خوردگی یکنواخت در مواد استفاده می‌کند. محققان به پیش‌بینی خوردگی CO₂ در خطوط لوله با استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی نرخ خوردگی پرداخته‌اند، که این یک روش ارزشمند برای مدیریت داده‌های پیچیده است و تمامی نتایج آزمون‌ها در محدوده اعتماد ۹۵ درصد قرار دارند. این نشان‌دهنده سطح بالایی از دقت و صحت عملکرد مدل است. استفاده از اعتبارسنجی تقاطعی^۳ برای ارزیابی بیشتر عملکرد مدل و انتخاب، سختگیری تحلیل را افزایش می‌دهد. یک روش نوآورانه با ادغام شبکه‌های عصبی کوچک که نمایانگر فیزیک بنیادی خوردگی بالای خط^۴ هستند، پیشنهاد می‌شود با گنجاندن جنبه‌هایی مانند الکتروشیمیایی مکانیزم‌های خوردگی، مدل پیش‌بینی خوردگی بهبود دقت و استحکام را حاصل می‌کند، شبکه‌های عصبی مصنوعی خطای ریشه میانگین مربعات کمتری از ۱۰٪ دارند [۶].

با گنجاندن عواملی مانند پارامترهای لوله، عمر خدمت، نوع خوردگی، محل خوردگی، جهت خوردگی و مقدار خوردگی در یک جهت سه‌بعدی، مدل می‌تواند به طور بالقوه تعاملات پیچیده‌ای که خوردگی خطوط لوله را تحت تاثیر قرار می‌دهند، به دقت ثبت کند [۶]. یک شبکه عصبی پیچشی تخصصی^۵ برای طبقه‌بندی ۱۴۰,۰۰۰ تصویر نوری بر اساس شدت خوردگی آن‌ها توسعه دادند. الگوریتم محلی‌سازی پیشنهادی بر اساس روش بازگشتی مبتنی بر منطقه دقت بالاتری برای شناسایی نواحی خورده‌شده در یک تصویر مشخص فراهم می‌کند. توانایی تمایز بین تصاویر خطوط لوله خورده و تصاویر بدون خوردگی، شبکه عصبی پیچشی تخصصی سفارشی‌شده دقت بالاتری (۹۸.۸٪) را نشان داد.

۳-۱۰ تحلیل خوردگی موضعی با استفاده از مدل‌های

هوش مصنوعی

۳-۱۰-۱ مدل‌سازی المان محدود و شبکه‌های عصبی

مصنوعی

استفاده از مدل‌سازی المان محدود برای شبیه‌سازی خوردگی نقطه‌ای

1 - Dynamic Bayesian Network

3 - Leave-One-Out Cross-Validation

5 - Convolutional Neural Network

2 - Corrosion UnderInsulation

4 - top-of-the-line corrosion

۱۲-۳ پیش‌بینی خوردگی نقطه‌ای در فولاد و خوردگی فولاد کربنی

روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی احتمال خوردگی نقطه‌ای در فولاد تقویت‌شده و نرخ خوردگی فولاد کربنی به کار گرفته می‌شوند. فرآیند خوردگی پیچیده و غیرخطی است که پیش‌بینی دقیق آن را چالش‌برانگیز می‌کند. از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون بردار پشتیبان/ماشین‌های بردار پشتیبان^۵ (SVR/SVM) استفاده و عملکرد مدل با استفاده از داده‌های واقعی ارزیابی شد. مدل ترکیبی نتایج چشمگیری در پیش‌بینی ریسک خوردگی نقطه‌ای (درصد خطا ۵.۶٪) و نرخ خوردگی (درصد خطا ۱.۲۶٪) به دست آورد.

۱۳-۳ پیش‌بینی نرخ خوردگی داخلی با استفاده از مدل‌های یادگیری جمعی

مدل‌های یادگیری جمعی برای پیش‌بینی نرخ خوردگی داخلی در خطوط لوله نفت و گاز به کار رفته است که برای ایمنی عملیاتی حیاتی هستند. این مدل از چهار تکنیک برای ادغام داده‌ها و از هشت توصیف‌گر سیستم استفاده می‌کند. استحکام با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع تضمین می‌شود. روش تقویت گرادیان شدید با $RMSE\ 0.031\ mm/y$ و $PI\ 0.61$ عملکرد بهتری دارد. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که دما، فشار و سطوح CO_2 تأثیر قابل توجهی بر نرخ‌های خوردگی دارند. هوش مصنوعی برای مدل‌سازی رفتار خوردگی نقطه‌ای فولاد زنگ نزن آستنیتی ۱.۴۴۰۴ EN با استفاده از محلول‌های مختلف کلرید و متغیرهای محیطی استفاده شده است. تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی مانند درخت‌های طبقه‌بندی، تحلیل تفکیکی، K- نزدیک‌ترین همسایگان، شبکه‌های عصبی و ماشین بردار پشتیبان اعمال شده‌اند. نتایج نشان‌دهنده اثربخشی هوش مصنوعی در پیش‌بینی خوردگی نقطه‌ای در این آلیاژ در شرایط مختلف است [۶].

۱۴-۳ کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی

الگوریتم‌های هوش مصنوعی متنوعی برای نظارت بر خوردگی به کار گرفته می‌شوند، بسته به اهداف خاص و نیازهای سیستم نظارت، ماهیت داده‌ها، نوع خوردگی مورد نظارت و نتایج مورد نظر از فرآیند نظارت. جدول ۱ ترکیب بین الگوریتم‌های هوش

و در نظر گرفتن توزیع احتمالی حفره‌های خوردگی باعث افزایش قابلیت اطمینان و کاربردپذیری روش پیشنهادی می‌شود. این رویکرد می‌تواند با شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ ادغام شود تا پیچیدگی خوردگی نقطه‌ای را بهتر درک کرده و دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش دهد [۶].

۲-۱۰-۳ مکانیزم حسگر خوردگی

مکانیزم حسگر خوردگی که از فرکانس‌های پیک در امضاهای رسانایی یک میدل پیزوالکتریک-فلزی دایره‌ای استفاده می‌کند، به تشخیص خوردگی کمک می‌کند. یک رویکرد نوآورانه با استفاده از شبکه عصبی خوشه‌بندی زیرفضا^۲ و بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۳ برای برآورد رشد عمق نقص خوردگی^۴ در خطوط لوله خورده شده معرفی شده است. این روش از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای مدل‌سازی رشد عمق نقص خوردگی وابسته به زمان بهره می‌برد و به درک مدیریت یکپارچگی خطوط لوله کمک می‌کند.

۳-۱۰-۳ ترکیب هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین

محققان از ترکیب هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین در طول چرخه تولید چاه‌ها برای ارزیابی خوردگی موضعی در لوله‌ها استفاده می‌کنند. مدل آموزش‌دیده بر روی بیش از ۲۰ مجموعه داده فراصوتی منبع باز، با دقت کلی ۹۵٪ در شناسایی نقص‌های خوردگی به کار گرفته شده است.

۱۱-۳ تشخیص خوردگی حرارتی با استفاده از یادگیری ماشین

یک رویکرد چند مرحله‌ای یادگیری ماشین برای تشخیص و محلی‌سازی نقص‌های خوردگی حرارتی در کاربردهای نفت و گاز ارائه می‌دهد. این رویکرد با تولید داده‌های پایه با استفاده از شبیه‌سازی انتقال حرارت کامسول آغاز می‌شود. سپس یک شبکه عصبی برای طبقه‌بندی جهت‌های نقص به کار می‌رود و در نهایت یک الگوریتم محلی‌سازی برای پیش‌بینی موقعیت نقص با ترکیب برآوردهای حسگر استفاده می‌شود. الگوریتم محلی‌سازی به طور میانگین خطای ریشه میانگین مربعات ۱.۴۹ اینچ در پیش‌بینی موقعیت نقص را به دست آورد.

جدول ۱. الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی: کاربرد، مدل‌ها، حسگرها و بررسی انتقادی

عامل محدود کننده	تحلیل سیستماتیک	حسگرها	مثال‌های مدل خاص	کاربرد	الگوریتم
ساده برای پیاده سازی پیش‌بینی نرخ خوردگی خوب برای روابط خطی ممکن است نتواند غیرخطی را به خوبی مدیریت کند فرض بر رابطه خطی	-محدود وقتی داده پیچیده یا غیرخطی است حساسیت به ناهنجاری‌ها	الکتروشیمیایی	شبکه‌های عصبی، درخت‌های تصمیم‌گیری، K-نزدیک‌ترین همسایه‌ها	پیش‌بینی نرخ خوردگی	مدل‌های رگرسیون
-ممکن است دقت کافی برای داده‌های خوردگی پیچیده نداشته باشد خوب برای طبقه‌بندی دودویی ارزیابی ریسک قابل تفسیر محدود به مشکلات دودویی یا چند کلاسه موثر برای تمایز بین دو یا چند نوع خوردگی	-محدود وقتی با بیش از دو کلاس خوردگی سر و کار دارد	مقاومت الکتریکی	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)، شبکه‌های عصبی، جنگل تصادفی	شناسایی انواع خوردگی	مدل‌های طبقه‌بندی
-می‌تواند الگوهای پیچیده را مدیریت کند موثر برای داده‌های بزرگ نیاز به مجموعه داده‌های بزرگ دارد ممکن است منابع محاسباتی قابل توجهی نیاز داشته باشد بسیار قدرتمند برای تشخیص الگوهای پیچیده	-نیاز به انتخاب و بهینه‌سازی مدل دقیق دارد	انتشار صوتی	شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN)، شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN)، شبکه‌های مولد تخصصی (GAN)	تشخیص الگوهای پیچیده	یادگیری عمیق

۱. کیفیت و کمیت داده‌ها: یکی از چالش‌های اصلی در اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی، دسترسی به داده‌ها و کیفیت آن‌ها است. محیط‌های صنعت نفت و گاز می‌توانند سخت و دور افتاده باشند، که جمع‌آوری داده‌های کافی و دقیق خوردگی را دشوار می‌سازد. نبود داده‌های تاریخی و فرمت‌های متنوع داده از منابع مختلف نیز می‌تواند توسعه مدل‌های هوش مصنوعی قوی را مختل کند.

۲. بهبود حسگرها برای نظارت بر خوردگی: بهبود حسگرها

مصنوعی، مکانیزم و حسگرهای استفاده شده را به همراه بررسی انتقادی توضیح می‌دهد [۶].

۳-۱۵ چالش‌ها و کارهای آینده

به دلیل عوامل مؤثر متعدد و مکانیسم پیچیده مشکلات خوردگی، مدل‌های پیش‌بینی خوردگی سنتی اغلب دارای ساختارهای ساده، دقت پیش‌بینی پایین و قابلیت تعمیم ضعیف هستند. چالش‌های اصلی فناوری‌های هوش مصنوعی به شرح زیر هستند:

چالش است [۶].

۳-۱۶ کارهای آینده:

۱. ارتقاء یکپارچه‌سازی داده‌ها: تحقیقات آینده باید بر توسعه تکنیک‌های پیشرفته یکپارچه‌سازی داده‌ها تمرکز کند که بتواند داده‌ها را از منابع متعدد، مانند شبکه‌های حسگر، اندازه‌گیری‌های درون‌چاهی و داده‌های تاریخی، ترکیب کند تا نمای کاملی از خوردگی فراهم کند. این کار کیفیت و غنای داده‌های موجود برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی را بهبود می‌بخشد.

۲. یادگیری عمیق و انتقال یادگیری: بررسی پتانسیل تکنیک‌های یادگیری عمیق، مانند شبکه‌های عصبی پیچشی و شبکه‌های عصبی بازگشتی^۱، می‌تواند توانایی مدل‌های هوش مصنوعی برای استخراج الگوهای پیچیده و وابستگی‌های زمانی از داده‌های خوردگی را افزایش دهد [۶].

۳. مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر فیزیک: ادغام مدل‌های مبتنی بر فیزیک در الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند قابلیت تفسیر و توضیح‌پذیری پیش‌بینی‌های خوردگی را بهبود بخشد. ترکیب دانش حوزه با رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند منجر به مدل‌های قوی‌تر و دقیق‌تر، به ویژه در سناریوهایی با داده‌های محدود شود.

۴. محاسبات لبه و اینترنت اشیاء^۲: استفاده از محاسبات لبه و فناوری‌های اینترنت اشیاء می‌تواند تأخیر را کاهش داده و پردازش و تحلیل بلادرنگ داده‌ها را در میدان امکان‌پذیر سازد. این کار می‌تواند پاسخ‌های به‌موقع به رویدادهای خوردگی را تسهیل کرده و کارایی کلی نظارت را بهبود بخشد.

۵. بازرسی رباتیک خودمختار: تحقیق و توسعه سیستم‌های رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی که قادر به بازرسی خودمختار در صنعت نفت و گاز برای خوردگی هستند، می‌تواند مداخله انسانی را کاهش داده و ایمنی را افزایش دهد. این ربات‌ها می‌توانند با حسگرها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی تجهیز شوند تا خوردگی را در زمان واقعی شناسایی و نظارت کنند.

۶. تحلیل هزینه-فایده: انجام یک تحلیل جامع هزینه-فایده برای ارزیابی قابلیت اقتصادی اجرای راه‌حل‌های نظارت بر خوردگی مبتنی بر هوش مصنوعی ضروری است. درک صرفه‌جویی‌های بالقوه در هزینه‌های نگهداری و از دست دادن تولید در مقابل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوش مصنوعی برای پذیرش صنعت حیاتی خواهد بود [۶].

چالش‌هایی مانند حساسیت (باید قادر به شناسایی تغییرات جزئی در شرایط مواد برای ارائه هشدارهای اولیه خوردگی باشند)، گزینش‌پذیری (باید قادر به تمایز بین مکانیزم‌های مختلف خوردگی مانند خوردگی یکنواخت، نقطه‌ای، خوردگی درز) را برای اطمینان از دقت و کیفیت بهتر داده‌ها و کمیت فراهم کند.

۳. پیچیدگی الگوریتم: طراحی الگوریتم‌های هوش مصنوعی که بتوانند به طور مؤثر با ماهیت پیچیده و غیرخطی فرآیندهای خوردگی مواجه شوند، چالشی قابل توجه است. خوردگی شامل متغیرهای متعددی مانند ترکیب سیال، دما، فشار و مواد استفاده شده است که می‌توانند به روش‌های پیچیده‌ای با یکدیگر تعامل داشته باشند. توسعه مدل‌های هوش مصنوعی که بتوانند این تعاملات را ثبت کرده و پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهند، موانع قابل توجهی دارد.

۴. نظارت بلادرنگ: برای مدیریت مؤثر خوردگی، نظارت بلادرنگ ضروری است تا مشکلات خوردگی به سرعت شناسایی و برطرف شوند. اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی برای نظارت بلادرنگ به توانایی‌های پردازش و تحلیل داده‌های کارآمد و همچنین سیستم‌های ارتباطی قابل اعتماد برای انتقال داده‌ها از سایت‌های دور دست نیاز دارد [۶].

۵. قابلیت تفسیر مدل: مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی اغلب به عنوان جعبه‌های سیاه در نظر گرفته می‌شوند، که تفسیر تصمیمات آن‌ها و درک مکانیسم‌های زیرین خوردگی را چالش‌برانگیز می‌کند. در صنایعی مانند نفت و گاز که پیامدهای خوردگی می‌تواند شدید باشد، قابلیت تفسیر مدل برای ایجاد اعتماد و اطمینان از ایمنی عملیات بسیار حیاتی است.

۶. ادغام با سیستم‌های موجود: ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی با زیرساخت‌های موجود در نفت و گاز و سیستم‌های مدیریت داده می‌تواند پیچیده باشد. مسائل سازگاری، نگرانی‌های امنیت داده و مقاومت در برابر تغییر از روش‌های سنتی می‌تواند در مرحله اجرا چالش‌هایی ایجاد کند.

۷. هزینه اجرا: اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی، از جمله حسگرهای مورد نیاز و زیرساخت‌های جمع‌آوری داده، می‌تواند هزینه‌بر باشد. نیاز به ارزیابی دقیق بازگشت سرمایه وجود دارد. همچنین، با گسترش عملیات نفت و گاز، سیستم‌های نظارت بر خوردگی باید به‌صورت مقیاس‌پذیر باشند تا داده‌ها و زیرساخت‌های بیشتری را در خود جای دهند. اطمینان از مقیاس‌پذیری بدون مشکل سیستم‌های هوش مصنوعی یک

نتیجه گیری

بررسی فناوری‌های نوظهور هوش مصنوعی برای نظارت بر خوردگی در صنعت نفت و گاز نشان‌دهنده پتانسیل عظیم این فناوری‌ها در تحول رویکرد مدیریت خوردگی در این صنعت است. از بینش‌های به‌دست‌آمده در این بررسی جامع، واضح است که عوامل متعددی بر خوردگی در صنعت نفت و گاز تأثیر می‌گذارند که این پدیده را پیچیده و چندوجهی می‌سازند. تکنیک‌های نظارت بر خوردگی سنتی اغلب در ارائه اطلاعات دقیق و به‌موقع کوتاهی کرده‌اند، که منجر به هزینه‌های نگهداری قابل‌توجه و از دست رفتن بهره‌وری شده است. با این حال، ادغام هوش مصنوعی راه‌های جدیدی برای مقابله با این چالش‌ها باز کرده است. کاربردهای هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی و استراتژی‌های نظارت، بینش‌های ارزشمندی در مورد مزایای بالقوه این فناوری‌ها برای تشخیص خوردگی بلادرنگ و پیشگیرانه ارائه می‌دهند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌ویژه قادر به تحلیل حجم زیادی از داده‌ها به‌طور کارآمد، شناسایی الگوها و انجام پیش‌بینی‌ها هستند که به بهبود تصمیم‌گیری در مدیریت خوردگی کمک می‌کنند. نظارت مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند ایمنی را با شناسایی مسائل بالقوه قبل از تبدیل شدن به مشکلات جدی بهبود بخشد. پهنپادها و ربات‌های مجهز به هوش مصنوعی می‌توانند وظایف خطرناک را انجام دهند و خطرات برای کارگران انسانی را کاهش دهند.

هوش مصنوعی پتانسیل انقلاب در صنعت نفت و گاز را با بهبود کارایی، ایمنی و پایداری محیطی دارد. با این حال، پرداختن به چالش‌های مربوط به داده‌ها، پیچیدگی، نظارت بلادرنگ و ادغام برای تحقق کامل این پتانسیل حیاتی است. با پیشرفت‌های مداوم و تلاش‌های همکاری، هوش مصنوعی آماده است تا نقشی محوری در شکل‌دهی به آینده این صنعت ایفا کند.

مراجع

- [1] A. A. Mazraeh, F. B. I. Alnaimi, Multi-diameter pipeline inspection gauge for long distance industrial application, *International Journal of Scientific Engineering and Research*, Vol. 6, 2015, Pp. 646-650.
- [2] J. F. Wansah, I. O. Obi, O.U. Oparaku, Remote monitoring of oil pipelines using telemetry Nigeria, *Journal of Solar Energy*, Vol. 20, 2010, Pp. 90-100.
- [3] J. S. Chou, N. T. Ngo, W. K. Chong, The use of artificial intelligence combiners for modeling steel pitting risk and corrosion rate, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 65, 2017, Pp. 471-483.
- [4] M. E. A. Ben Seghier, B. Keshtegar, M. Taleb-Berrouane, R. Abbassi, Advanced intelligence frameworks for predicting maximum pitting corrosion depth in oil and gas pipelines, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 147, 2021, Pp. 818-833.
- [5] M. J. Jiménez-Come, I. J. Turias, J. J. Ruiz-Aguilar, F. Trujillo, Characterization of pitting corrosion of stainless steel using artificial neural networks, *Materials and Corrosion*, Vol. 66, 2012, Pp. 1-29.
- [6] A. H. Khalaf, Y. Xiao, N. Xu, B. Wu, H. Li, B. Lin, J. Tang, Emerging AI technologies for corrosion monitoring in oil and gas industry: A comprehensive review, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 155, 2023, Pp. 1-25.
- [7] M. Wasim, M.B. Djukic, External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions, *Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 100, 2022, Pp. 104467.
- [8] Q. Wang, Y. Song, X. Zhang, L. Dong, Y. Xi, D. Zeng, Q. Liu, H. Zhang, Z. Zhang, R. Yan, H. Luo Evolution of corrosion prediction models for oil and gas pipelines: From empirical-driven to data-driven, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 146, 2023, Pp. 1-23.
- [9] B. Akhlaghi, H. Mesghali, M. Ehteshami, J. Mohammadpour, F. Salehi, R. Abbassi, Predictive deep learning for pitting corrosion modeling in buried transmission pipelines, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 174, 2023, Pp. 320-327.

- [10] S. Peng, Z. Zhang, E. Liu, W. Liu, W. Qiao, A new hybrid algorithm model for prediction of internal corrosion rate of multiphase pipeline, *Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 85, 2021, Pp.103716.
- [11] X. Li, R. Liu, D. Ma, Y. Bai, Y. Shi, B. Anhouck, Prediction of Chemical Corrosion Rate and Remaining Life of Buried Oil and Gas Pipelines in Changqing Gas Field, *Chemistry*, Vol. 2023, 2023, Pp. 1-8.
- [12] Y. Peng, G. Fu, B. Sun, J. Chen, W. Zhang, M. Ren, H. Zhang, Data-driven collapse strength modeling for screen pipes with internal corrosion defect based on finite element analysis and tree-based machine learning, *Ocean Engineering*, Vol. 279, 2023, Pp.114400.
- [13] M.E.A. Ben Seghier, B. Keshtegar, M. Taleb-Berrouane, R. Abbassi, N.T. Trung, Advanced intelligence frameworks for predicting maximum pitting corrosion depth in oil and gas pipelines, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 147, 2021, Pp. 818–833.
- [14] H. Jia, G. Qiao, P. Ha, Machine learning algorithms in the environmental corrosion evaluation of reinforced concrete structures - A review, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 133, 2022, Pp. 104725.
- [15] M.M.H. Imran, S. Jamaludin, A.F.M. Ayob, A.A.I.M. Ali, S.Z.A.S. Ahmad, M.F.A. Akhbar, M.I.R. Suhrab, N. Zainal, S.M. Norzeli, S.B. Mohamed, Application of artificial intelligence in marine corrosion prediction and detection, *Marine Science and Engineering*, Vol. 11, 2023, Pp. 256.
- [16] J. Pospíchal, V. Kvasnicka, 70th anniversary of publication: Warren McCulloch & Walter Pitts-a logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, in: *Emergent Trends in Robotics and intelligent Systems: Where Is the Role of intelligent Technologies in the Next Generation of Robots?* Springer International Publishing, 2015, pp. 123–136.
- [17] T. Ito, Discovering the computational relevance of brain network organization, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 24 (1), 2020, Pp. 25–38.
- [18] H. Alhumade, H. Rezk, A.M. Nassef, M. Al-Dhaifallah, Fuzzy Logic based-modeling and parameter optimization for improving the corrosion protection of stainless steel 304 by epoxy-graphene composite, *IEEE Access*, Vol. 7, 2019, Pp. 100899–100909.
- [95] J.A. Duenas Santana, J.L. Orozco, D. Furka, S. Furka, Y.C. Boza Matos, D. Febles Lantigua, A. Gonzalez Miranda, M.C. Barrera Gonzalez, A new Fuzzy-Bayesian approach for the determination of failure probability due to thermal radiation in domino effect accidents, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 120, 2021, Pp. 105106.
- [19] W. Xiang, W. Zhou, Integrated pipeline corrosion growth modeling and reliability analysis using dynamic Bayesian network and parameter learning technique, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 16 (8), 2020, Pp. 1161–1176.
- [20] M.M. Khan, A.A. Mokhtar, H. Hussin, A neural based fuzzy logic model to determine corrosion rate for carbon steel subject to corrosion under insulation, *AMM* 789–790, 2015, PP. 526–530.

دریافت نظرات، ایده‌ها، پیشنهادات و انتقادات

ارتباط مستقیم با ریاست انجمن

info@ica.ir

دریافت نظرات، ایده‌ها، پیشنهادات و انتقادات

قطعا بخش بزرگی از پیشرفت و موفقیت انجمن خوردگی ایران مدیون اعضای حقیقی، حقوقی و سایر مخاطبان خود این انجمن است که با حمایت‌ها و ارائه نظرات و پیشنهادات خود انجمن را در انجام رسالت علمی، آموزشی و پژوهشی

یاری می‌نمایند. از شما بزرگواران و عضو خانواده بزرگ انجمن خوردگی ایران تقاضا داریم که هرگونه ایده، پیشنهاد و یا انتقاد خود را در مورد فعالیت و خدمات انجمن را مطرح نموده تا در تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان انجمن مورد توجه قرار گیرد.

شما می‌توانید به‌طور مستقیم پیشنهادات، انتقادات و شکایات خود را جهت بررسی به بازرس انجمن خوردگی ایران ارسال نمایید. برای این منظور لطفاً به بخش تماس با ما در تارنمای اینترنتی انجمن به نشانی www.ica.ir مراجعه نمایید.

مدیریت خوردگی

استفاده از منابع تغذیه کامپیوتر در بالا بردن عمر تجهیزات و پایداری حفاظت کاتدیک خطوط لوله زیر زمینی

عبدالخالق محمدی زاده^{۱*}، مهدی شفیعی^۲، اسماعیل دربندی^۳

^۱ مناطق نفت خیز جنوب، شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران، اداره بازرسی فنی و خوردگی فلزات، واحد عملیات خوردگی

^۲ مناطق نفت خیز جنوب، شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران، اداره بازرسی فنی و خوردگی فلزات، واحد عملیات خوردگی

^۳ مناطق نفت خیز جنوب، شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران، اداره فناوری اطلاعات

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: kmohammadizadeh@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین مواردی که می بایست در مدیریت خوردگی به آن پرداخته شود، کاهش هزینه ها (اقتصادی سازی) می باشد. در این مقاله نسبت به بهینه سازی پاورهای کامپیوتر بلا استفاده (منبع تغذیه) جهت استفاده در حفاظت کاتدیک خطوط لوله زیرزمینی پرداخته شده و پس از نصب تعدادی قطعات الکترونیکی از جمله تایمر و رگولاتور بر روی آن ها، بعنوان جایگزین و یا یدکی (spare) تعدادی از ترانس های حفاظت کاتدیک استفاده گردید. مزیت اصلی استفاده از این پاورها، ارزان بودن، رایپل بسیار کم (با توجه به حساسیت بالای بردهای داخلی کامپیوتر) و در نتیجه خلوص بالای جریان DC و بالا رفتن کیفیت حفاظت کاتدیک و کاهش هزینه ها شامل هزینه های خرید تجهیزات اولیه، هزینه های تعمیر و نگهداری، هزینه های مواد مصرفی از جمله روغن و رطوبت گیر، هزینه های نقل و انتقال و هزینه های ناشی از سرقت تجهیزات می باشد.

واژه های کلیدی: مدیریت خوردگی، تعمیر و نگهداری، حفاظت کاتدیک، اقتصادی سازی، پاور کامپیوتر؛

۱ - مقدمه

طبق مطالعات انجام شده، سالانه بیش از ۲۲۰ میلیارد دلار در اثر خوردگی در آمریکا از دست می رود. این هزینه معادل ۳ تا ۴ درصد تولید ناخالص ملی می باشد. خوردگی اساساً یک مشکل اقتصادی است. بسیار مهم است مهندسان و مدیران از تاثیر اقتصادی تصمیماتشان بر توانایی یک کسب و کار برای دستیابی به اهداف شرکت آگاه باشند. رشته ای که به اندازه گیری چنین تصمیماتی کمک می کند، اقتصاد مهندسی نامیده می شود. موفقیت کسب و کار به استفاده محتاطانه از همه منابع از جمله منابع مالی بستگی دارد [۱].

با استفاده از ۳.۴ درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی (۲۰۱۳)، هزینه جهانی خوردگی را می توان ۲.۵ تریلیون دلار تخمین زد. با استفاده از روش های کنترل خوردگی موجود، تخمین زده می شود که بین ۱۵ تا ۳۵ درصد هزینه خوردگی صرفه جویی می شود، یعنی بین ۳۷۵ تا ۸۷۵ میلیارد دلار سالانه در سطح جهانی. این فصل ابزارهای مالی برای مدیریت خوردگی و رویکردی برای صرفه جویی در هزینه از طریق بهبود مدیریت خوردگی را توضیح می دهد و استدلال هایی برای کاهش هزینه های خوردگی با گنجاندن مدیریت خوردگی در سیستم مدیریت شرکتی سازمان ارائه شده است [۲]. تحقیقات گسترده ای در مورد روش های کنترل خوردگی مورد نیاز است و این باید توسط شرکت ها و کشورهای مربوطه انجام شود. در صورت عدم انجام این کار، خسارتی بیش از آنچه که می توان پیش بینی می شد، به بار خواهد آورد. عواقب شدید خوردگی در تلفات جانی و همچنین ساختمان ها، پل ها و غیره دیده می شود. سازه های مرتفع به دلیل فرسودگی بخش های خاصی از مصالح ساختمانی خود فرو ریخته اند. برخی از کشورهای توسعه یافته در حال حاضر میلیون ها دلار را صرف تحقیقات گسترده در مورد کنترل خوردگی می کنند تا از تلفات جانی و مالی جلوگیری شود [۳].

۲ - هدف تحقیق

هدف از این تحقیق اقتصادی سازی، بالابردن طول عمر ترانس های حفاظت کاتدیک، بالابردن کیفیت و پایداری حفاظت کاتدیک خطوط لوله زیر زمینی می باشد. تعداد زیادی از خطوط لوله وجود دارد که جهت حفاظت کاتدیک آن ها نیاز به ولتاژ (Driving Force) و جریان زیادی نمی باشد و می توان با بهینه سازی پاورهای کامپیوتر بلا استفاده، بعنوان منبع تغذیه از آن ها بعنوان جایگزین یا یدکی (spare) ترانس رکتی فایرهای موجود استفاده نمود.

۳ - دستگاه ها و تجهیزات جانبی مورد نیاز

الف: پاور کامپیوتر (شکل ۱)



شکل ۱. پاور کامپیوتر

مزیت اصلی استفاده از این پاورها، ارزان بودن، رایبل بسیار کم (با توجه به حساسیت بالای بردهای داخلی کامپیوتر) و در نتیجه خلوص بالای جریان مستقیم و بالا رفتن کیفیت حفاظت کاتدیک می باشد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می نمایید تعداد زیادی سیم با رنگ های مختلف خارج گردیده است که با توجه به شکل ۲، رنگ های مختلف وظایف متفاوتی دارند:

- رنگ های نارنجی و مشکی (منفی) برای خروجی ۳.۳ ولت و ۲۱

GP350A-ECO REV3.1

AC INPUT	200-240VAC		3.5A-MAX	50HZ	ACTIVE PFC
DC OUTPUT VOLTAGE	+5V	+3.3V	+12V	-12V	+5V/SB
DC OUTPUT CURRENT	15A	21A	26A	0.3A	2.5A
COMBINED WATTAGE	103W		312W	3.6W	12.5W
TOTAL WATTAGE	350W CONTINUOUS POWER				

شکل ۲. خروجی های جریان و ولتاژ پاور

آمپر در نظر گرفته شده اند.

- رنگ‌های قرمز و مشکی برای خروجی ۵ ولت و ۱۵ آمپر

- رنگ‌های زرد و مشکی برای خروجی ۱۲ ولت و ۲۶ آمپر

- رنگ‌های سبز و مشکی برای راه‌اندازی مادربرد و پاور کامپیوتر

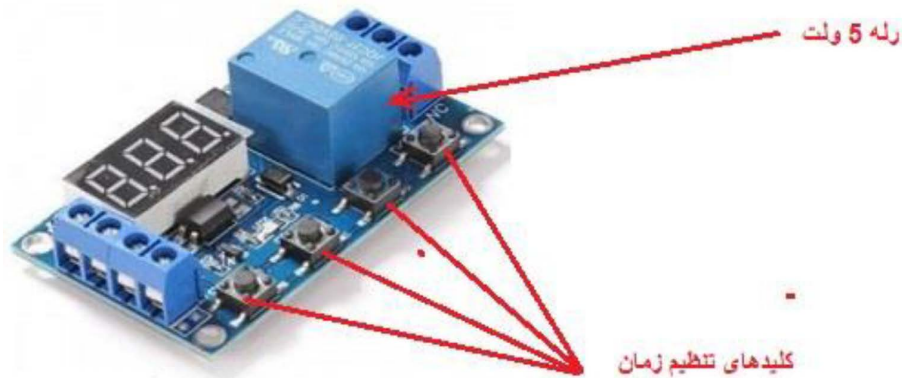
- رنگ‌های بنفش و مشکی برای حالت استندبای پاور با خروجی ۵ ولت

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بیشتر جریان و ولتاژ مربوط

به سیم‌های زرد و مشکی می‌باشند که در خط لوله مورد نظر (۱۲ اینچ نفت) از این گزینه استفاده گردیده است.

ب: تایمر جهت قطع و وصل جریان و ریست کردن آلارم‌ها (شکل ۳)

با توجه به این که بدلیل وجود بعضی از آلارم‌ها، دستگاه خاموش می‌گردید، برای حل این مشکل از ولتاژ استندبای (برای تامین جریان رله) استفاده گردید و هر ۱۵ ساعت یک بار دستگاه به



شکل ۳: تایمر چندکاره (multi-function)



پتانسیومتر ولومی 50 کیلو که چابکترین مولتی ترن در رگولاتور شده است

پتانسیومتر از نوع مولتی ترن

هیت سینک جهت خنک کاری رگولاتور

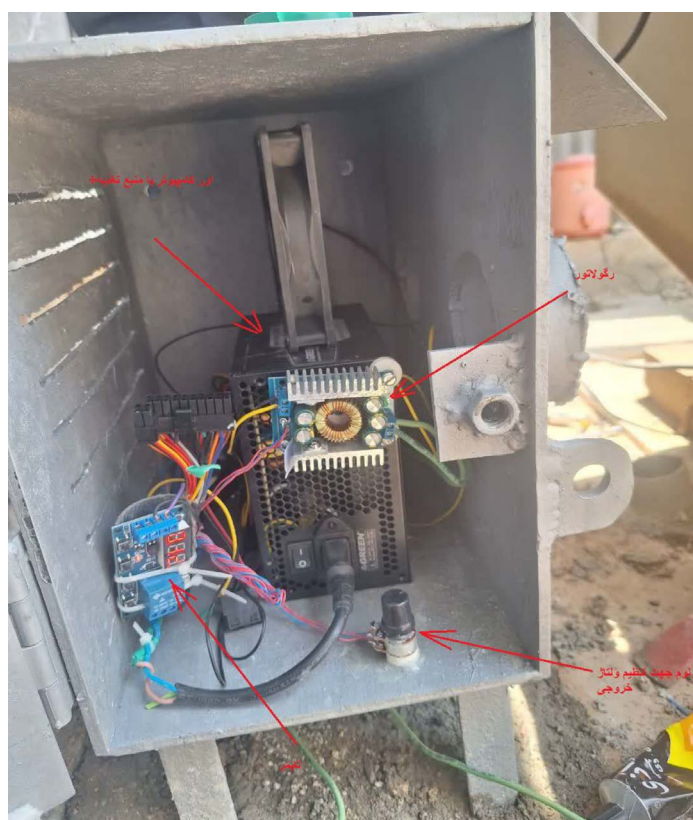
شکل ۴: رگولاتور جهت تنظیم ولتاژ خروجی به همراه تغییر نوع پتانسیومترها

تنظیم نقطه مقابل، از رگولاتور استفاده گردید. با توجه به این که پتانسیومتر اصلی دستگاه براحتی قابل تنظیم جهت نقطه مقابل نبود، پتانسیومتر ولومی ۵۰ کیلو جایگزین گردید.
د: محفظه فلزی جهت محافظت از دستگاه (شکل ۵)
پس از اعمال تغییرات و نصب قطعات جانبی، دستگاه مذکور در محل نصب گردید (شکل ۶).

مدت ۲۰ دقیقه برای ریست کردن و روشن شدن مجدد و همچنین خنک کاری دستگاه استفاده گردید که تنظیمات لازم به کمک کلیدهای ۴ گانه‌ی تایمر انجام گردید.
ج: رگولاتور جهت تنظیم ولتاژ خروجی (شکل ۴)
جهت حفاظت کاتدیک خط مذکور از خروجی ۱۲ ولت دستگاه پاور استفاده گردید که با توجه به نیاز به ولتاژ پایین‌تر جهت



شکل ۵: محفظه دستگاه در کنار ترانس اصلی



شکل ۶: نصب دستگاه در محل پس از اعمال تغییرات

۳- نتایج و بحث

تغذیه نصب شده، مطابق جداول زیر تهیه گردید.

پس از نصب قطعات مورد نیاز و نصب در محل، مقایسه هزینه‌ها و جمع‌آوری داده‌ها در دو حالت استفاده از ترانس رکتی فایر و منبع

الف: مقایسه هزینه‌ها (جدول ۱)
ب: مقایسه داده‌ها (جدول ۲)

جدول ۱. مقایسه هزینه‌ها در دو حالت استفاده از ترانس رکتی فایر و منبع تغذیه

ردیف	هزینه	ترانس رکتی فایر	منبع تغذیه
۱	قیمت دستگاه	حدود ۳۰۰ میلیون تومان	حدود ۶۰۰ هزار تومان
۲	هزینه‌های تعمیر و نگهداری	خیلی زیاد	بسیار جزیی
۳	مواد مصرفی	روغن و سبلیکازل	نیازی ندارد
۴	هزینه‌های ناشی از سرقت	خیلی زیاد	بسیار جزیی
۵	نقل و انتقال	نیاز به جرتقیل و نیروی انسانی	نیازی ندارد

جدول ۲. مقایسه داده‌های ولتاژ و جریان در دو حالت استفاده از ترانس رکتی فایر و منبع تغذیه

نوع داده	ترانس رکتی فایر	منبع تغذیه
ولتاژ DC نقطه مقابل	۱،۱۸	۱،۱۸
ولتاژ AC نقطه مقابل (ناخالصی یا رایپل)	۰،۹	۰
ولتاژ DC دستگاه	۲،۳	۲،۵
ولتاژ AC دستگاه (ناخالصی یا رایپل)	۱،۳	۰
جریان DC دستگاه	۳،۱	۴،۱
جریان AC دستگاه (ناخالصی یا رایپل)	۱،۴	۰

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین موارد مدیریت در روش‌های کنترل خوردگی، بهینه‌سازی منابع مالی (اقتصادی‌سازی) می‌باشد. در تحقیق انجام شده به میزان بسیار زیادی در قیمت تجهیزات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های نقل و انتقال ترانس رکتیفایر و هزینه‌های مواد مصرفی صرفه‌جویی گردید. با این روش مشکلات پایداری حفاظت کاتدیک اعمالی و رایپل‌ها نیز مرتفع می‌گردد. پس از اعمال تغییرات، اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل خط ۱۲ اینچ نفت به طول ۳۸ کیلومتر اندازه‌گیری گردید و اختلاف پتانسیل در تمام طول خط لوله وضعیت مناسبی داشت.

تشکر و قدردانی

از همکاران بخش عملیات خوردگی فلزات، اداره کارگاه مرکزی، اداره فناوری اطلاعات و سرپرست محترم اداره بازرسی فنی و خوردگی فلزات شرکت بهره‌برداری نفت و گاز گچساران بخاطر همکاری در تحقیق انجام شده، تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

- [1] Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, 3rd Ed., 2011.
- [2] Koch, G. (2017). Cost of corrosion. Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies, 3–30.
- [3] O. O. Joseph; S. Banjo; S. A. Afolalu; K. O. Babaremu, AIP Conf. Proc. 2437, 020149 (2022)

اخبار انجمن

● اخبار انجمن

● آموزش

● فهرست کتاب‌های موجود

■ اخبار انجمن

کسب رتبه A توسط انجمن خوردهگی ایران در سال ۱۴۰۲



نتیجه ارزیابی عملکرد انجمن خوردهگی ایران در سال ۱۴۰۲ (ارایه و ارزیابی شده در ۱۴۰۳) توسط وزارت علوم تحقیقات و فناوری - کمیسیون انجمن‌های علمی ایران اعلام شد. در این راستا بر اساس شاخص‌های موجود در ارزیابی عملکرد سالیانه دبیرخانه کمیسیون و شورای انجمن‌های علمی ایران انجمن خوردهگی ایران در گروه‌های تخصصی (فنی و مهندسی به تعداد یکصد انجمن) با عنوان انجمن برتر با رتبه A انتخاب گردید. این موفقیت که حاصل تلاش‌ها و زحمات یک یک همکاران محترم در هیات مدیره‌های دوره ۱۳ و ۱۴ انجمن خوردهگی ایران است را خدمت همکاران و اعضای حقوقی و حقیقی انجمن تبریک عرض می‌نمایم.

تغییر سردبیر مجله علوم و مهندسی خوردهگی



آقای دکتر سعیدرضا اله کرم، سردبیر مجله علمی - پژوهشی علوم و مهندسی خوردهگی شد. پیرو درخواست انجمن خوردهگی ایران مبنی بر تغییر سردبیر نشریه علمی - پژوهشی «علوم و مهندسی خوردهگی» این موضوع از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بررسی و مورد موافقت قرار گرفت. بر این اساس، از این پس فصلنامه با سردبیری «آقای دکتر سعیدرضا اله کرم» منتشر خواهد شد. فصلنامه «علوم و مهندسی خوردهگی» از ابتدای سال ۱۳۹۰ تاکنون تعداد ۴۱ شماره را به چاپ رسانده است. هیات مدیره انجمن از جناب آقای دکتر محمدعلی گل‌عذار، سردبیر سابق نشریه که به دلیل مشغله امکان حضور در سمت سردبیری برای ایشان فراهم نشد، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

دریافت نظرات، ایده‌ها، پیشنهادات و انتقادات

ارتباط مستقیم با ریاست انجمن

info@ica.ir

دریافت نظرات، ایده‌ها، پیشنهادات و انتقادات

قطعا بخش بزرگی از پیشرفت و موفقیت انجمن خوردهگی ایران مدیون اعضای حقیقی، حقوقی و سایر مخاطبان خود این انجمن است که با حمایت‌ها و ارائه نظرات و پیشنهادات خود انجمن را در انجام رسالت علمی، آموزشی و پژوهشی یاری می‌نمایند. از شما بزرگواران و عضو خانواده بزرگ انجمن خوردهگی ایران تقاضا داریم که هرگونه ایده، پیشنهاد و یا انتقاد خود را در مورد فعالیت و خدمات انجمن را مطرح نموده تا در تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان انجمن مورد توجه قرار گیرد. شما می‌توانید به‌طور مستقیم پیشنهادات، انتقادات و شکایات خود را جهت بررسی به بازرس انجمن خوردهگی ایران ارسال نمایید. برای این منظور لطفا به بخش تماس با ما در تارنمای اینترنتی انجمن به نشانی www.ica.ir مراجعه نمایید.

عکس‌های منتخب

مسابقه عکس خوردگی و اهدای جوایز

عکس برتر اول

آقای سید بشیر حیات غیب
و آقای صادق میادزاده

عکس برتر دوم

آقای مهرداد سلطانی

عکس برتر سوم

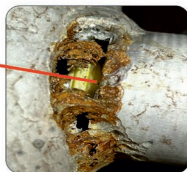
خانم زینب ماهی‌دشتی



جوایز این مسابقه توسط شرکت برناگداز، تولیدکننده آندهای حفاظت کاتدیک و از اعضای حقوقی برجسته انجمن اهدا خواهد شد.

هماهنگی لازم جهت اهدای جوایز توسط انجمن انجام خواهد شد

عکس برتر اول



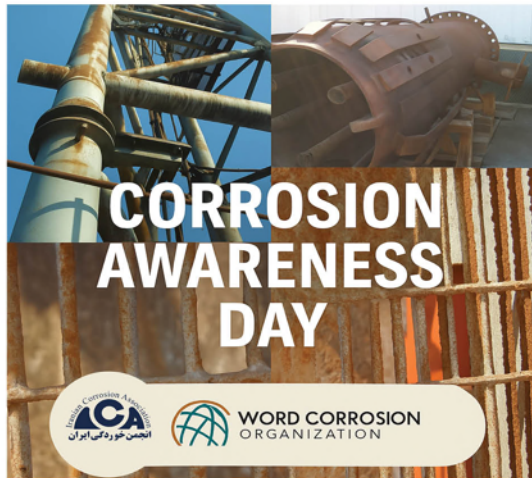
عکس برتر دوم



عکس برتر سوم



روز جهانی آگاهی از خوردگی



۴ اردیبهشت
۱۴۰۴

۲۴ آوریل
۲۰۲۵



خوردگی چالشی جهانی است که زیرساخت‌ها، انرژی، حمل و نقل و سامانه‌های آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اگر کنترل نشود، منجر به خطرات ایمنی جدی، نگرانی‌های زیست محیطی و خسارات مالی فراوان (بیش از ۲٫۵ تریلیون دلار در سال) می‌شود. چند سالی است که به ابتکار سازمان جهانی خوردگی (WCO) بیست و چهارم آوریل به عنوان روز جهانی آگاهی از خوردگی تعیین شده تا اهمیت پیشگیری از خوردگی و نقش آن در ایجاد آینده‌ای امن و پایدارتر را برجسته نماید. هدف از تعیین این روز مطرح کردن پدیده خوردگی در زندگی روزمره و صنایع مختلف است تا عموم مردم و بویژه مسئولان و تصمیم سازان کشورها به اهمیت این پدیده پی برده و در تصمیم‌گیری‌های خود آن را مدنظر قرار دهند.

امسال سازمان جهانی خوردگی با همکاری انجمن حفاظت از مواد و عملکرد (AMPP) و فدراسیون خوردگی اروپا (EFC)، در روز جهانی آگاهی از خوردگی (۲۰۲۵ WCAD) با استفاده از مشارکت متخصصان، محققان و سازمان‌های سراسر جهان تلاشی جمعی برای ترویج بهترین شیوه‌ها و راه‌حل‌های نوآورانه در کنترل خوردگی را ساماندهی می‌کند. ترویج و توسعه فرهنگ پیشگیری از خوردگی وظیفه کلیه متخصصان، نخبگان و دانشمندان علم خوردگی است. از این رو انجمن خوردگی ایران به عنوان یک انجمن علمی شناخته شده در سطح کشور در راستای وظایف خود و به منظور ارتقای فرهنگ پیشگیری از خوردگی در کشور و به منظور پاسداشت این روز ضمن آگاهی رسانی، برنامه‌های متنوعی در نظر گرفته که متعاقباً اطلاع رسانی خواهد شد.

چرا آگاهی از خوردگی مهم است

آگاهی از خوردگی و متعاقب آن انجام اقدامات پیشگیرانه در برابر خوردگی، در بخش‌های مختلف تأثیرگذار است.

تأثیر اقتصادی - مشکلات ناشی از خوردگی سالانه بیش از ۲٫۵ تریلیون دلار به اقتصاد جهانی خسارت وارد می‌کند. پیشگیری فعالانه می‌تواند تا ۳۵ درصد از این هزینه‌ها را از طریق اقدامات موثر مانند استفاده از پوشش‌ها و سامانه‌های نظارتی صرفه جویی کند.

طول عمر زیرساخت‌ها - راهبردهای موثر پیشگیری از خوردگی به طور قابل توجهی طول عمر دارایی‌های حیاتی همچون پل‌ها، خطوط لوله، سکوها و دریایی و تاسیسات تصفیه آب را افزایش و همزمان هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد.

نواوری و پایداری - پیشرفت‌ها در فناوری پوشش‌ها (مانند پوشش‌های خود ترمیم شونده)، سامانه‌های حفاظت کاتدی، بازدارنده‌های سبز تهیه شده از مواد طبیعی و علم مواد همچنان کنترل خوردگی را متحول کرده و تاب آوری را ارتقا می‌دهند.

- به منظور برگزاری این روز عناوین زیر توسط سازمان جهانی خوردگی پیشنهاد شده است:

خوردگی در زندگی روزمره - نمونه‌های واقعی خوردگی از خرابی زیرساخت‌ها گرفته تا تجهیزات قدیمی به نمایش گذاشته شود و درباره اثر آن بحث شود. **#CorrosionInEverydayLife**

آینده بدون خوردگی - بررسی اینکه دنیایی با کمترین خوردگی چگونه می‌تواند باشد. چه پیشرفت‌هایی آینده پیشگیری از خوردگی را شکل می‌دهند؟ چه چالش‌هایی هنوز نیاز به راه حل دارند؟ **#CorrosionFreeFuture**

روز جهانی آگاهی از خوردگی (WCAD) ۲۰۲۵ - افزایش آگاهی با بحث در مورد اهمیت کنترل خوردگی، تأثیر اقتصادی آن و آخرین راهبردهای کاهش خوردگی. دیدگاه منحصر به فرد خود را در مورد پیشگیری از خوردگی، تحقیقات جدید یا بهترین شیوه‌های صنعت به اشتراک بگذارید. **#WCAD2025**

تهیه شده توسط: آقای دکتر محمد نجمی

عناوین دوره‌های آموزش تابستان ۱۴۰۴

(به ترتیب تاریخ برگزاری)

نسخه اولیه - احتمال تغییرات جزئی در تاریخ دوره‌ها می‌باشد



ردیف	عنوان دوره	مدرس / استاد	نحوه برگزاری			تاریخ برگزاری	مدت دوره
			حضور (انجمن)	غیرحضور (آتلاین)	مروار (آتلاین)		
۱	مدیریت خوردگی	آقای دکتر رعایایی	✓	✓	✓	۱ تیر	۱ روز
۲	رنگ آمیزی کشتی‌ها و سازه‌های دریایی در حوض خشک، الزامات و محدودیت‌ها	آقای مهندس بحرانی	✓			۳ و ۴ تیر	۲ روز
۳	بهره‌برداری و تربیت‌مندی سیستم‌های کولینگ تاور به منظور جلوگیری از خوردگی و رسوب در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی	آقای دکتر محمدی مهر	✓	✓	✓	۹ و ۱۰ تیر	۲ روز
۴	خوردگی قطعات جوشکاری شده	آقای دکتر دهکردی	✓	✓	✓	۱۷ و ۱۸ تیر	۲ روز
۵	بازدارنده‌های خوردگی	آقای دکتر عادل‌خانی	✓	✓	✓	۲۳ و ۲۴ تیر	۲ روز
۶	اصول مهندسی خوردگی	آقای دکتر عادل‌خانی	✓	✓	✓	۳۰ و ۳۱ تیر	۲ روز
۷	بازرسی رنگ و پوشش سطح ۱ و ۲	آقای مهندس کتیربها	✓			۲۸ تا ۳۱ تیر	۵ روز
۸	شناخت رنگ‌های صنعتی و سامانه‌های پوششی	آقای مهندس کشفی	✓	✓	✓	۱ و ۲ مرداد	۲ روز
۹	PC-PCR-SPARK GAP	آقای مهندس طاهریان	✓	✓	✓	۶ و ۷ مرداد	۲ روز
۱۰	بازرسی خوردگی	آقای دکتر دهکردی	✓	✓	✓	۱۱ و ۱۲ مرداد	۲ روز
۱۱	رکتیفایر	آقای مهندس تهرانی	✓	✓	✓	۱۳ تا ۱۵ مرداد	۳ روز
۱۲	نظارت بر اجرای رنگ‌های صنعتی	آقای مهندس کشفی	✓	✓	✓	۱۵ تا ۱۶ مرداد	۲ روز
۱۳	رادیوگرافی و تفسیر فیلم (RT & RTI)	آقای مهندس اعرفی	✓	✓	✓	۲۰ تا ۲۲ مرداد	۳ روز
۱۴	بازرسی بر مبنای ریسک (RBI)	آقای مهندس پیرنجم‌الدین	✓	✓	✓	۲۷ تا ۲۹ مرداد	۳ روز
۱۵	حفاظت کاتدی سطح ۱ و ۲	آقای مهندس آبی	✓			۱۵ تا ۱۷ شهریور	۳ روز
۱۶	انتخاب مواد و PMS	آقای مهندس اعرفی	✓	✓	✓	۸ و ۹ شهریور	۲ روز
۱۷	بهره‌برداری و تربیت‌مندی سیستم‌های کولینگ تاور به منظور جلوگیری از خوردگی و رسوب در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی	آقای دکتر محمدی مهر	✓	✓	✓	۱۲ و ۱۳ شهریور	۲ روز
۱۸	پایش خوردگی	آقای دکتر جاویدی	✓	✓	✓	۱۵ تا ۱۸ مرداد	۱۶-۱۴ ساعت
۱۹	مقدماتی انسجام خطوط لوله (PIMS)	آقای مهندس خواص‌فر	✓	✓	✓	۲۲ تا ۲۵ شهریور	۱۶-۱۴ ساعت

دوره‌های استانداردهای API/ASME مربوط به بازرسی حین سرویس، تعمیر و نگهداری

ردیف	موضوع	عنوان دوره	مدرس / استاد	نحوه برگزاری			تاریخ برگزاری	مدت دوره
				حضور (انجمن)	غیرحضور (آتلاین)	مروار (آتلاین)		
۱	بازرسی حین سرویس، تعمیر و تعویض ظروف تحت فشار	API STD 510: Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۷ تا ۱۳ تیر	۳۰ ساعت
۲	بازرسی حین سرویس، تعمیر و تعویض لوله‌های فرایندی	API STD 570: Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۴ تا ۱۰ مرداد	۳۰ ساعت
۳	بازرسی حین سرویس، تعمیر و تعویض مخازن ذخیره	API STD 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۱۸ تا ۲۴ مرداد	۳۰ ساعت
۴	بازرسی کوره‌ها	API RP 573: Inspection of Fired Boilers and Heaters	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۱ تا ۷ شهریور	۱۸ ساعت
۵	تعمیر ظروف تحت فشار و لوله‌های فرایندی حین بهره‌برداری	ASME PCC2: Repair of Pressure Equipment and Piping	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۱۵ تا ۲۱ شهریور	۷۸ ساعت
۶	انجام ارزیابی تجهیزات دارای عیب	API 579/ASME FFS-1: Fitness for service	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۲۵ تا ۳۱ تیر	۴۸ ساعت
۷	ارزیابی خطوط لوله دارای کاهش ضخامت (حین سرویس)	FFS for pipeline (ASME B31G)	آقای مهندس اکبری	✓	✓	✓	۲۶ تا ۳۱ شهریور	۲۴ ساعت

■ برای شرکت‌کنندگان در هر دوره بعد از موفقیت در آزمون گواهی‌نامه معتبر دوزبانه (فارسی و انگلیسی) انجمن خوردگی ایران صادر می‌شود.

■ انجمن خوردگی ایران آمادگی دارد هر یک از دوره‌ها را در محل شرکت‌های متقاضی برگزار نماید.

■ جهت نام‌نویسی و پیش‌ثبت‌نام در هر یک از دوره‌های یاد شده و یا درخواست برگزاری در محل شرکت (تمامی شهرهای کشور) فرم موجود در قسمت تماس با ما را در تارنمای انجمن به نشانی www.ica.ir تکمیل و رزرو نموده تا در اولین فرصت با شما تماس گرفته شود.

■ ۱۰ درصد تخفیف شامل اعضای حقیقی و حقوقی انجمن خوردگی ایران خواهد شد.

جهت اطلاعات بیشتر با شماره تلفن‌های ۸۸۳۴۴۲۸۷-۸ تماس گرفته و یا با نامبر ۸۸۳۴۷۷۴۹ و پست الکترونیکی info@ica.ir مکاتبه نمایید

(برای هر یک از دوره‌ها پیش‌ثبت‌نام انجام شده و در صورت نیاز تاریخ درج شده جایجا خواهد شد)



انشارات انجمن خوردگی ایران

فهرست کتاب‌های موجود در انجمن خوردگی ایران



ردیف	موضوع (الفبا)	نام کتاب	تألیف / ترجمه
۱	آب، فاضلاب، تصفیه و ضدعفونی آب	بررسی روش‌های ضدعفونی آبهای آشامیدنی و صنعتی	مهندس محمدرضا نفری
۲		پمپ و فرایند اصول و کارکرد	مهندس محمدرضا نفری
۳		راهکارهای عیب زدایی در راکتورهای ناپیوسته متوالی	مهندس مهدی سیف‌اللهی، مهندس سمانه رحمانی، مهندس اکرم کاوه
۴		اسمز معکوس	مهندس محمدرضا نفری
۵		بهسازی آب در صنعت	مهندس هادی چهره‌عالم
۶		کاربرد سامانه‌های غشایی در تصفیه فاضلاب	مهندس محمدرضا نفری
۷		تصفیه آب تولیدشده در صنایع نفت و گاز	دکتر منصور فرزام، مهندس یاسین نوروزی، مهندس امین توپچیان
۸		راهنمای علمی روش‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی (دوجلدی)	مهندس محمدرضا نفری
۹		راهنمای کار دستگاه‌های فرایندی (دوجلدی)	مهندس محمدرضا نفری
۱۰		تصفیه آبهای صنعتی به‌ویژه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی	مهندس محمدرضا نفری
۱۱		راهنمای کاربرد آب در صنعت (دوجلدی)	مهندس محمدرضا نفری
۱۲		تصفیه آب تولیدشده در صنایع نفت و گاز	دکتر منصور فرزام، مهندس یاسین نوروزی، مهندس امین توپچیان
۱۳		مبانی تصفیه آب	دکتر محمود پیکری، دکتر ارجمند مهربانی
۱۴	آند فداشونده	جلوگیری از خوردگی فلزات توسط آند فداشونده	مهندس عباس آقاجانی، دکتر احمد ساعتچی
۱۵	انتخاب مواد	انتخاب مواد برای حداقل کردن خوردگی در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی	دکتر احمد ساعتچی، مهندس فاطمه اصغرزاده جاوید، مهندس محسن صمدی خوشخو
۱۶		انتخاب مواد برای کاربرد در دماهای بالا	مهندس آرام اسعدی
۱۷		گزینش مواد در صنعت به‌ویژه در صنایع نفت و تأسیسات وابسته	مهندس محمدرضا نفری
۱۸	اسیدشویی	راهنمای علمی شست‌وشوی شیمیایی و رسوب زدایی سامانه‌های صنعتی به‌ویژه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و نیروگاه‌ها	مهندس محمدرضا نفری
۲۰	بازدارنده‌های خوردگی	اصول و کاربرد بازدارنده‌های خوردگی (سه جلد)	مهندس محمدرضا نفری
۲۱		بازدارنده‌های خوردگی	دکتر هادی عادل‌خانی
۲۲	بازرسی غیرمخرب	اصول آزمون ذرات مغناطیس	دکتر ابراهیم حشمت‌دهکردی
۲۳		آزمون‌های غیرمخرب (روش فراصوتی)	دکتر ابراهیم حشمت‌دهکردی
۲۴		پرتونگاری صنعتی (فنون تصویرسازی)	دکتر ابراهیم حشمت‌دهکردی
۲۶	بازرسی و مدیریت خوردگی	بازرسی، کنترل و مدیریت خوردگی در پالایشگاه‌ها	دکتر ابراهیم حشمت‌دهکردی، مرحوم مهندس رسول سپهرزاده، مهندس مصطفی هدایتی مرزبالی

ردیف	موضوع (الفبا)	نام کتاب	تألیف / ترجمه
۲۷	خنگ های خنک کننده	راهنمای علمی واپاش شیمیایی برج های خنک کننده	مهندس محمدرضا نفری
۲۹	پتروشیمی پلیمر / بسیار	نگرشی تحلیلی بر صنعت پتروشیمی	مهندس محمدحسن پیوندی ثانی
۳۰	پتروشیمی پلیمر / بسیار	تکنولوژی و علم بسیار (دو جلدی)	مهندس محمدرضا نفری
۳۱	پوشش	پوشش های مقاوم به خوردگی جوی در مهندسی سطح	دکتر کریم زنگنه مدار
۳۲	پوشش	پوشش های خودترمیم میکرو / نانوساختار	دکتر سعیدرضا اله کرم، مهندس طاهره ابراهیمی صدرآبادی
۳۳	پوشش های آلی	کنترل خوردگی با استفاده از پوشش های آلی	دکتر مزدک ایزدی، دکتر محمدمهدی هادوی، مهندس مهدی طباطبایی مجد
۳۴	پیکمیت ها	پیکمیت ها (خواص فیزیکی - شیمیایی کاربرد)	مهندس شمس الدین استوار
۳۵	حفاظت کاندی	حفاظت کاندی خطوط لوله مخازن	دکتر نقی شهرابی فراهانی، دکتر محمود علی اف خضرای، مهندس طاهر شهرابی فراهانی
۳۶	حفاظت کاندی	حفاظت کاندی و دستورالعمل های ارزیابی آن	دکتر محمود علی اف خضرای، مهندس علی حیدری قبادی
۳۷	حفاظت کاندی	اصول طراحی حفاظت کاندی	مهندس مسعود روشنی، دکتر محمود علی اف خضرای
۳۸	حفاظت کاندی	حفاظت کاندی شناورها با آندهای فداشونده	مهندس اردشیر پاکزاده، مهندس حسین سرلک
۳۹	خوردگی	اصول و مبانی پایش خوردگی در صنعت	مهندس محمدحسن رستگارزارع
۴۰	خوردگی	کنترل خوردگی سازوکارها، علل و روش های پیشگیرانه	مهندس محمدرضا نفری
۴۱	خوردگی	اصول و مبانی خوردگی	مهندس منوچهر مداحی
۴۲	خوردگی	واژه های خوردگی	دکتر سید محمود سیدرضی
۴۳	خوردگی	کتاب جامع خوردگی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی (دو جلدی)	دکتر محمود علی اف خضرای
۴۴	خوردگی	کتاب جامع خوردگی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی	دکتر محمود علی اف خضرای
۴۵	خوردگی	کنترل خوردگی در صنایع (۳ جلد)	دکتر سید محمود سیدرضی
۴۶	خوردگی	کتاب جامع خوردگی (سه جلدی)	دکتر محمود پاک شیر، مهندس اسما مرادی
۴۷	خوردگی	خوردگی در پالایشگاه ها	مهندس حسین مسگری
۴۸	خوردگی	خوردگی و کنترل خوردگی مقدمه ای بر علم و مهندسی خوردگی	دکتر محمدعلی گلغذار، مهندس حمیدرضا ریاضی، مهندس داود قربانی
۴۹	خوردگی	اصول و کاربرد مهندسی خوردگی	مهندس محمدرضا نفری
۵۰	خوردگی	مجموعه دو جلدی خوردگی راه های عملی پیشگیری و حفاظت	مهندس محمدرضا نفری
۵۱	خوردگی	مجموعه واژه های مهندسی خوردگی	فرهنگستان زبان و ادب فارسی
۵۲	خوردگی الکتروشیمیایی	مبانی خوردگی الکتروشیمیایی	دکتر ایرج مرادی قراتلو، دکتر احمد نورزاد گلی کند
۵۳	خوردگی خطوط لوله	کنترل خوردگی خطوط لوله پی بادی	دکتر نقی شهرابی فراهانی، مهندس اشکان دانش مسلک، دکتر محمود علی اف خضرای
۵۴	خوردگی فولاد	خوردگی فولاد در بتن	مهندس محمدرضا احمدی بشکانی، مهندس صادق دهقان

ردیف	موضوع (الفا)	نام کتاب	تألیف / ترجمه
۵۵	خوردگی	خوردگی میکروبی	دکتر محمدعلی گلغدار، مهندس مجتبی حبیبی‌راد
۵۷	دیگ‌های بخار	راهنمای نالکو برای: تجزیه و تحلیل از کارافتادن دیگ‌های بخار	مهندس سیدحسن رفیعی پور علوی، دکتر آناهیتا شفیعی
۵۹	نقش آب در خوردگی	نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع با تحلیلی از نمونه‌های خوردگی	مرحوم مهندس سید احمد پیشنمازی
۶۰	رنگ و پوشش	کتاب مرجع اطلاعات استاندارد رنگ‌های صنعتی	مهندس مهدی محمدی ثابت
۶۱		مدیریت بازاریابی در صنعت رنگ	مهندس سید محمود کثیریها، مهندس مهدی حسین‌زاده اردکانی
۶۲		استانداردها، آماده‌سازی سطوح و اعمال پوشش‌های حفاظتی	مهندس سید محمود کثیریها
۶۳		اصول رنگ‌آمیزی صنعتی	مهندس سارا حق‌طلب، دکتر نرگس اسماعیلی، مهندس امیر اعلم
۶۴		مفاهیم کاربردی در فناوری رنگ و پوشش	مهندس سید محمود کثیریها
۶۵		هوازدگی رنگ‌ها و پوشش‌ها	مهندس سید محمود کثیریها، دکتر فرشته رضایی
۶۶	رژین	علوم و تکنولوژی رنگ رزین‌ها	مهندس حمید رقمی
۶۷	یون‌زدایی	یون‌زدایی از آب و فرایندهای شیمیایی با استفاده از رزین‌های تعویض یونی	مهندس نرگس اسماعیلی، مهندس فرهاد عبدالله فریدنی
۶۸	پیمایی واکس	فرایند تبدیل گاز به مایع و سنتز فشر - ترویش	مهندس بیتا مهرروی
۶۹	شناسایی فلزات	شناسایی سریع و غیرتخریبی فلزات با استفاده از آزمایش قطره	مهندس مهدی اعترازی، دکتر محمدرضا باطنی، مهندس مجید خانقی
۷۰	سختی و سنجش فلزات	عملیات حرارتی و مهندسی سطح	دکتر محمدعلی گلغدار
۷۱	مدیریت خوردگی	مدیریت خوردگی در صنعت نفت و گاز	دکتر عماد رعایایی، مهندس محمد حسن‌زاده
۷۲	شیمی سطح	شیمی سطح فرایندهای خوردگی آبی	مهندس امیرعلی فرمانی
جهت کسب اطلاعات بیشتر در خصوص تهیه کتاب با انجمن خوردگی ایران - بخش انتشارات، تماس حاصل نمایید. شماره تلفن: ۸ - ۸۷ ۴۲ ۳۴ ۸۸، داخلی ۲ و شماره همراه / واتساپ ۷۳۶۲ ۲۵۳ ۰۹۲۱ فهرست موجود در هر شماره از نشریه بروزرسانی می‌شود.			

دانشگاه مازندران با همکاری انجمن شیمی ایران برگزار می‌کند



انجمن شیمی ایران
دانشگاه مازندران



هشتمین کنفرانس شیمی کاربردی انجمن شیمی ایران

8th
IACC

۱۳-۱۲ شهریور ۱۴۰۴

3-4 September 2025

محورهای کنفرانس:

نفت، گاز و پتروشیمی، پلیمر و صنایع پلیمری، رنگ و رزن، شیمی صنایع معدنی، شیمی و صنایع دارویی، کاربرد نانو فناوری در صنایع شیمیایی، تصفیه آب و پساب های صنعتی، شیمی سبز و حفاظت از محیط زیست، کاتالیزورها و فوتوکاتالیزورها، شیمی ترکیبات طبیعی و معطر، شیمی کودها و آفت کش ها، الکتروشیمی کاربردی و کنترل خوردگی فلزات، باتری ها و پیل های سوختی، حسگرهای شیمیایی، مدل سازی و بهینه سازی فرآیندهای شیمیایی، جداسازی و فرآیندهای غشایی، انرژی های تجدید پذیر، بازیافت منابع، ایمنی در آزمایشگاه و صنایع شیمیایی، هوش مصنوعی در شیمی کاربردی

تلفن: ۰۱۱-۳۵۳۰۲۳۹۷



دبیرخانه: مازندران، بابلسر، پردیس دانشگاه مازندران، دانشکده شیمی



وبسایت: iacc8.conf.umz.ac.ir



پست الکترونیک: iacc@umz.ac.ir





برگزار کننده:



بیست و دومین نمایشگاه بین المللی متالورژی

ایران متافو

The 22th INTERNATIONAL EXHIBITION OF
IRAN METAFO

STEELEXP • NOFEREXP • THERMEXP • MINEXP •

فولاد - صنایع معدنی - فلزات غیر آهنی (مس، آلومینیوم، روی، ...)
ریخته گری - لوله و پروفیل - قالب سازی - ماشین کاری - آهنگری
نسوزها - فروآلیاژها - کوره های صنعتی و عملیات حرارتی

۲۹ آبان - ۲ آذر ۱۴۰۴

محل دائمی نمایشگاههای بین المللی تهران

Tehran International Permanent Fairground 20 - 23 Nov, 2025

تلفن : ۰۲۱ ۸۸۲۰ ۳۰۲۰



تلفن : ۰۲۱ ۸۸۲۰ ۳۰۲۰

www.iranmetafo.com sales@iranmetafo.com



انجمن مهندسی دریایی ایران



دانشگاه صنعتی شریف

نهمین همایش بین المللی

صنایع فراساحل

۲۳ و ۲۴ مهرماه ۱۴۰۴

تهران، دانشگاه صنعتی شریف

9thINTERNATIONAL
OFFSHORE INDUSTRIES
CONFERENCEمهمت ارسال چکیده مقاله
۳۱ فروردین ۱۴۰۴

TEHRAN, SHARIF UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Oct/15,16/2025

(کاربرد هوش مصنوعی در صنایع فراساحل)

ویژه های همایش

- مهندس برگزیده
- پایان نامه ی برگزیده
- دانشجوی برگزیده
- پانل های تخصصی
- کارگاه های آموزشی
- ایده پردازی انرژی های تجدید پذیر
- نمایشگاه ارتباط با صنعت
- جشنواره ایده ها و اختراعات دریایی و فراساحلی

محور های همایش

- ژئو تکنیک دریا
- شرایط محیطی دریا
- سازه های فراساحل
- هیدرو دینامیک فراساحل
- اقتصاد در حوزه فراساحل
- انرژی های تجدید پذیر دریایی
- ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- فناوری های نوین در صنایع فراساحل
- مدیریت و برنامه ریزی در صنایع فراساحل

مسابقات

- ◀ مسابقه عکس
- ◀ مسابقه جکت ماکارونی



دبیرخانه: تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مکانیک | تلفکس: ۰۲۱-۶۶۱۶۵۶۹۶

www.OICIRAN.ir

Info@OICIRAN.ir

تبلیغات در انجمن خوردگی ایران

نرخ نامه آگهی در انجمن خوردگی ایران

انجمن خوردگی ایران با ۳۱ سال سابقه در زمینه ارتقاء سطح دانش و مهندسی خوردگی، تلاش برای حفظ سازه‌ها، تأسیسات و زیرساخت‌های صنعتی و غیرصنعتی در مقابل خوردگی، جلوگیری از هدررفت میلیاردها تومان سرمایه ملی و همچنین به منظور کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از خوردگی، جایگاه پایدار و یگانه‌ای در بین محققان، کارشناسان، دانشجویان، علاقمندان به مباحث خوردگی و اعضای حقوقی و حقیقی خود داشته و دارد و معمولاً مخاطبان خاص و بی‌شماری اخبار و اطلاع‌رسانی‌های انجمن را رصد و پایش می‌کنند.

انجمن خوردگی ایران نظر به حمایت از تولید ملی و در راستای کمک به گسترش فعالیت‌های علمی و اقتصادی اعضاء و تمام جامعه حرفه‌ای شاغل در حوزه خوردگی و مسائل مرتبط و نیز اشاعه فرهنگ حرفه‌ای‌گری، بخش بازرگانی انجمن خوردگی ایران اقدام به فراخوان درج آگهی تبلیغاتی برای معرفی کالا، خدمات و کسب و کار شما به صورت دیجیتال و در غالب خبرنامه الکترونیکی خوردگی، تارنمای رسمی انجمن خوردگی ایران، نشریه دیجیتالی زنگ و تبلیغات در شبکه‌های اجتماعی می‌نماید.

در این راستا نرخ‌نامه آگهی در انجمن خوردگی ایران به شرح زیر اعلام می‌گردد.

خبرنامه الکترونیکی خوردگی	۱۰/۰ × ۱/۸ cm یک کادر استاندارد	۱۰/۰ × ۳/۶ cm دو کادر استاندارد	۱۰/۰ × ۴/۵ cm سه کادر استاندارد	۱۰/۰ × ۱۰/۸ cm شش کادر استاندارد
یک شماره	۲۵۰,۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰	۷۵۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
دو شماره	۴۵۰,۰۰۰	۹۰۰,۰۰۰	۱,۲۵۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰
سه شماره	۶۰۰,۰۰۰	۱,۲۰۰,۰۰۰	۱,۷۰۰,۰۰۰	۱,۷۵۰,۰۰۰
دوازده شماره	۸۰۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۲۵۰,۰۰۰

تارنمای انجمن خوردگی ایران	عضو	غیر عضو
یک ماه	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰
سه ماه	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰
شش ماه	۳,۰۰۰,۰۰۰	۳,۵۰۰,۰۰۰
دوازده ماه	۶,۰۰۰,۰۰۰	۷,۵۰۰,۰۰۰

نشریه دیجیتالی زنگ	عضو	غیر عضو
یک شماره	۲,۵۰۰,۰۰۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
دو شماره	۵,۰۰۰,۰۰۰	۵,۵۰۰,۰۰۰
سه شماره	۷,۵۰۰,۰۰۰	۸,۰۰۰,۰۰۰
چهار شماره	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۱,۰۰۰,۰۰۰

توجه:

- قیمت‌ها به تومان می‌باشند،
- طراحی با گرافیک سبک توسط انجمن انجام می‌شود و در صورت نیاز به طراحی بیشتر، هزینه جداگانه محاسبه می‌شود،
- طرح‌های ارسالی باید متناسب با نوع درخواست باشد که در مذاکرات فی‌مابین مطرح می‌شوند،
- ممکن است درخواست شما در قالب نرخ‌نامه نباشد لذا امکان ثبت تبلیغ در ابعادی به جزء جدول‌های بالا نیز مهیا می‌باشد، که در این خصوص کارشناسان انجمن با شما همراه خواهند بود،
- تبلیغات در شبکه‌های اجتماعی در دست بررسی می‌باشد و متعاقباً اطلاع‌رسانی خواهد شد،
- آگهی‌های مندرج در نشریه دیجیتالی زنگ با توجه به محل قرارگیری و ترتیب صفحات متغیر و قابل مذاکره می‌باشند.

جهت کسب اطلاعات بیشتر لطفاً با شماره تلفن‌های ۸ - ۸۸۳۴۴۲۸۷

و یا آدرس الکترونیکی info@ica.ir ارتباط برقرار بفرمایید

Iranian Corrosion Association at a Glance

History: Founded in 1993, Iranian Corrosion Association (ICA) aimed at the propagation of metals corrosion and protection significance and has gathered corrosion scientists and engineers. It holds technical congresses, delivers one-day technical seminars and presents specific courses to improve public knowledge about this natural phenomenon. Today, the number of ICA's individual members reaches 4500 and that of corporate members exceeds 250. All researchers, students, professionals, workmen, technicians and everyone who deals with or is interested in the field of corrosion are welcomed to join this scientific community.

Goals: ICA on its way to acquire the bright depicted panorama tries to:

- * establish a reciprocal correlation with the Ministry of Science, Researches, and Technology as well as universities and industries
- * make an educational connection between the variety of industries coping with corrosion problems
- * set educational meetings, technical workshops, and scientific seminars
- * publish magazine, books, and proceedings
- * hold annual national corrosion congresses and accommodating international corrosion congresses.

Publications: Zang magazine (magazine of rust), first published in summer 2000, is the scientific, promotive and educational corrosion magazine published by ICA and has been going on quarterly since then. It prepares an opportune medium for researchers, artisans and university professors to contact each other and share the results of their experiences. From the beginning of 2012, ICA was also granted the permission to publish the sole corrosion-related scientific-research journal in the country. ICA publication has also published More Than 90 books in the field of corrosion and several congress proceedings during its short life span.

Educational Activities: As the education is a vital prerequisite to any other activity, ICA has planned to enhance the general and professional knowledge of corrosion among industries through organization of educational courses including: fundamentals of corrosion, mechanical aspects of corrosion, corrosion in cooling towers, microbiologically-induced corrosion, corrosion in weldments, failure analysis, technical inspection and corrosion control, corrosion inhibitors, cathodic and anodic protection, corrosion standards, internal and external corrosion of pipelines, paints and corrosion in oil & gas industries, material selection, Coating & etc.

National Corrosion Congress: National Corrosion Congresses have been held every other year ever since 1988 and are planned to be held annually since last year. ICA has honorably managed to deliver specific seminars and exhibit technical fairs besides such congresses and has made a discussion bed for university professors and experts.

The 19th National Corrosion Congress was held on June, 2023 & 22nd National Congress and the 2nd International Corrosion Congress was held on September, 2024.

Committees: ICA has recently organized two specific committees, one engaging in the field of suggestion and approval of suitable Persian words for corrosion-related terms, and the other cooperating with governmental parties to produce or translate corrosion-related standards.

In The Name of god

ZANG

License Holder: Iranian Corrosion Association (ICA)

Managing Director: E. Roayaei (Ph.D)

Editor-in-Chief: A. R. Bahrani (M.Sc)

Editorial Bord (In Persianal phabetical order):

H. Adelkhani (Ph.D)

M. Ehteshamzadeh (Ph.D)

M. A. Golozar (Ph.D)

A. Hatami Monfared (M.Sc)

K. Jafarzadeh (Ph.D)

S. M. Kasiriha (M.Sc)

M. Najmi (M.Sc)

R. Imanian (M.Sc)

A. Masoudi (Ph.D)

Executive colleagues:

Ica: H. Abassian (Design and layout), Z. Asef,

A. Karami

Students: Mohsen Jalali, Ahmad Reza Joukar

Publisher:

Iranian Corrosion Association, ICA

ZANG is a Persian word having different meaning, the first of which is an equivalent for "Rust", while others are equivalents for "Bell" and "to ring a bell, to warn". The word Zang seems to best clarify the objectives of the journal, which is mainly warning about the consequences of corrosion and rusting.

ZANG, the scientific, educational, promotive journal of Iranian corrosion Association (ICA) is quarterly published with the aim of the enhancement of the corrosion knowledge of those engaged in metal corrosion and protection, creating a dependable information database regarding internal & external corrosion event, provoking the corrosion students to set to research work as well as acting as a connection bridge between ICA & its members. Quotation and application of ZANG written material elsewhere is allowable only while expressing the reference.

The result of papers and analyses are not necessarily consistent with ZANG managers' viewpoints.

ZANG is free to edit & correct the received written material and will not return them. ZANG also highly welcomes and appreciates the readers' progressive opinions.

Iranian Corrosion Association

Unit 3, No.11, Oshana Alley.,

Forsat St., Ferdowsi Sq., Tehran, Iran

Tel: +982188827334, 88344287-8

Fax: +982188347749, 88827334

P.O.BOX: 15815-3411

Website: www.ica.ir

Email: info@ica.ir

Price: Free digital version

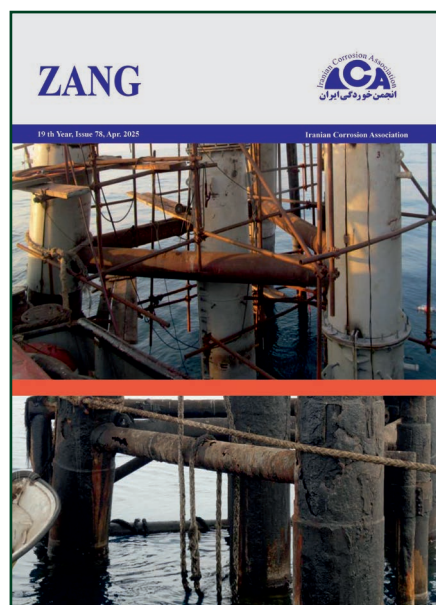
ZANG

The Scientific, Educational, Promotive Quarterly

Journal of Iranian Corrosion Association (ICA)

19th Year, Issue 78

June. 2025



Content

Editorial	2
Interview	4
Articl	
Increase of Ultraviolet Radiation Resistance in Epoxy Coating Using Carbon Black Microparticles	8
A Review of Chromium-Free Conversion Coatings for Improving Corrosion Resistance of Metal Surfaces	16
Investigation of Degradation Mechanisms of Coated and Uncoated Forced Draft Fan Blades in Power Plant Boiler Units	30
The Word of Corrosion	
Corrosion Words	44
Corrosion Books Presentation	45
Corrosion Internet Sites	46
Tutorial	
Artificial intelligence	52
Corrosion management	62
Association News	
News ICA	68
Training	71
Book List	72
Related Events	75
Advertisement Price List	78

ZANG



19 th Year, Issue 78, Apr. 2025

Iranian Corrosion Association

