مطالعه موردی آراد

کنترل خوردگی مخازن استریفیکیشن در شرایط دمای بالا و تماس مداوم با اسید سولفوریک

از سوراخ‌شدن هفتگی مخازن تا توسعه و اعتبارسنجی صنعتی یک راهکار کنترل خوردگی

کارفرما :پتروماد تبریز

حوزه تخصصی :خوردگی صنعتی، حفاظت از تجهیزات فرآیندی و مهندسی مواد

موضوع پروژه :بررسی و کنترل خوردگی مخازن استریفیکیشن ساخته‌شده از فولاد زنگ‌نزن L316

شرایط فرآیند :اسید سولفوریک ۶۰ درصد، دمای عملیاتی حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد

راهکار منتخب :استفاده از ممانعت‌کننده خوردگی بر پایه یون مس

اعتبارسنجی :آزمایشگاهی و سپس آزمون در مقیاس صنعتی

سابقه استفاده از راهکار :حدود ۱۵ سال، بر اساس اطلاعات ارائه‌شده از پروژه

خلاصه مدیریتی

در بسیاری از واحدهای صنعتی، استفاده از فولاد زنگ‌نزن به‌عنوان راهکاری برای مقابله با خوردگی، تصمیمی متداول است. بااین‌حال، مقاومت خوردگی یک ماده ویژگی مطلقی نیست که مستقل از شرایط محیطی بتوان درباره آن قضاوت کرد. ترکیب شیمیایی محیط، دما، غلظت مواد، شرایط جریان و تماس، و ماهیت فرآیند می‌توانند عملکرد واقعی ماده را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهند.

در کارخانه پتروماد تبریز، مخازن استریفیکیشن ساخته‌شده از فولاد زنگ‌نزن کم‌کربن گرید316L در تماس مداوم با اسید سولفوریک ۶۰ درصد و در دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد کار می‌کردند. با وجود استفاده از این فولاد زنگ‌نزن، دیواره مخازن به‌صورت مکرر دچار سوراخ‌شدگی می‌شد؛ به‌طوری‌که این مشکل تقریباً هر هفته تکرار می‌شد و تعمیرات پی‌درپی را ضروری می‌کرد.

این وضعیت صرفاً یک مسئله مربوط به انتخاب ماده نبود؛ بلکه یک چالش عملیاتی و اقتصادی نیز به شمار می‌رفت. تغییر جنس مخازن یا استفاده از پوشش‌های خاص داخلی، با توجه به فعال‌بودن کارخانه و محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی، گزینه‌های مناسبی برای اجرا تشخیص داده نشدند. در مقابل، حفاظت آندی

نیز به دلیل هزینه بالا و پیوستگی مجموعه تجهیزات، شامل تعداد زیادی راکتور و خطوط لوله فولادی زنگ‌نزن، با محدودیت‌هایی جدی مواجه بود.

در این شرایط، استفاده از ممانعت‌کننده‌های خوردگی به‌عنوان مسیر اصلی بررسی انتخاب شد. پس از بررسی‌های شیمیایی و آزمایشگاهی در شرایط مشابه با فرآیند واقعی، ممانعت‌کننده‌های بر پایه یون مس عملکرد بسیار مطلوبی نشان دادند.

در ادامه، راهکار منتخب با استفاده از ۲۰ نمونه فولاد زنگ‌نزن با سطح پرداخت آینه‌ای، در شرایط واقعی کارخانه و طی یک هفته تولید مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از پایان آزمون، نمونه‌ها از مخزن خارج شدند. بر اساس مشاهدات گزارش‌شده، کاهش وزن یا رسوب قابل مشاهده‌ای روی نمونه‌ها مشاهده نشد و سطوح آن‌ها ظاهر آینه‌ای اولیه خود را حفظ کرده بودند.

اهمیت این تجربه تنها در نتیجه موفق یک آزمون صنعتی نیست. طبق اطلاعات پروژه، کارخانه پس از حدود ۱۵ سال همچنان از همین روش در فرآیند تولید استفاده می‌کند؛ موضوعی که نشان‌دهنده تداوم کاربرد عملی راهکار انتخاب‌شده است.

این مطالعه موردی، نمونه‌ای از رویکرد آراد در حل مسائل صنعتی است: شناخت محدودیت‌های واقعی، ارزیابی گزینه‌های موجود، انتخاب راهکاری متناسب با شرایط کارخانه و اعتبارسنجی آن پیش از اتکا به راهکار در فرآیند تولید.

---

۱ .مقدمه: استریفیکیشن و نقش راکتورها در صنایع شیمیایی

۱.۱ .فرآیند استریفیکیشن چیست؟

استریفیکیشن یا استری‌سازی، به‌طور کلی به گروهی از واکنش‌های شیمیایی گفته می‌شود که طی آن‌ها یک استر تشکیل می‌شود. یکی از مسیرهای متداول این فرآیند، واکنش میان یک اسید کربوکسیلیک و یک الکل است که معمولاً با تشکیل استر و آب همراه می‌شود.

استرها در صنایع شیمیایی، تولید مواد واسطه، حلال‌ها، رزین‌ها، مواد پلیمری و سایر محصولات صنعتی کاربرد دارند. نوع مواد اولیه، مسیر واکنش و شرایط فرآیند به محصول نهایی و فناوری مورد استفاده وابسته است.

در برخی فرآیندهای استریفیکیشن، اسیدها نقش واکنش‌دهنده، کاتالیزور یا بخشی از محیط فرآیند را ایفا می‌کنند. بنابراین، هنگام بررسی تجهیزات مورد استفاده در چنین واحدهایی، باید میان نقش شیمیایی اسید در واکنش و اثر خورندگی محیط بر مواد سازنده تجهیزات تمایز قائل شد.

در پروژه حاضر، وجود اسید سولفوریک با غلظت ۶۰ درصد و دمای عملیاتی حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، از مهم‌ترین مشخصات محیطی مرتبط با مسئله خوردگی بود.

۱.۲ .راکتورهای استریفیکیشن و شرایط کاری آن‌ها

راکتور، یکی از تجهیزات اصلی در بسیاری از فرآیندهای شیمیایی است. این تجهیز محیط لازم برای انجام واکنش را فراهم می‌کند و بسته به طراحی فرآیند، ممکن است وظایفی مانند اختلاط مواد، کنترل دما، فراهم‌کردن زمان ماند مناسب و مدیریت شرایط واکنش را بر عهده داشته باشد.

انتخاب جنس راکتور باید بر اساس مجموعه‌ای از الزامات صورت گیرد؛ از جمله:

- ترکیب شیمیایی مواد داخل راکتور و محصولات واکنش
- دما و فشار عملیاتی
- غلظت و ماهیت مواد خورنده
- مدت تماس محیط با دیواره
- شرایط جریان، اختلاط و انتقال حرارت
- الزامات ایمنی، قابلیت اطمینان و عمر مورد انتظار تجهیز

این عوامل در کنار یکدیگر تعیین می‌کنند که یک ماده مشخص تا چه اندازه برای کاربرد موردنظر مناسب است. در تجهیزاتی که در دمای بالا و در تماس مداوم با محیط‌های خورنده کار می‌کنند، انتخاب ماده صرفاً بر اساس نام تجاری یا دسته‌بندی عمومی آن کافی نیست. عملکرد واقعی ماده باید با توجه به شرایط دقیق فرآیند بررسی شود.

۱.۳ .چرا انتخاب فولاد زنگ‌نزن همیشه به معنای حذف خوردگی نیست؟

فولادهای زنگ‌نزن به دلیل توانایی تشکیل لایه محافظ سطحی، در بسیاری از محیط‌های صنعتی مقاومت خوردگی مناسبی دارند. بااین‌حال، این مقاومت به ترکیب آلیاژ و شرایط محیط وابسته است.

فولاد زنگ‌نزن 316Lدر بسیاری از کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود، اما مقاومت آن در برابر اسید سولفوریک به غلظت اسید، دما و سایر شرایط محیط بستگی دارد. در بعضی شرایط، سرعت خوردگی می‌تواند به اندازه‌ای افزایش یابد که استفاده از این فولاد بدون حفاظت یا تغییر راهکار، پاسخ‌گوی الزامات عملیاتی نباشد.

به همین دلیل، مشاهده خوردگی شدید در یک تجهیز ساخته‌شده از فولاد زنگ‌نزن الزاماً به معنای نقص ساخت یا کیفیت نامناسب ماده نیست؛ بلکه ممکن است نشان‌دهنده ناسازگاری میان ماده انتخاب‌شده و شرایط واقعی سرویس باشد.

در مهندسی خوردگی، معیار نهایی، عملکرد ماده در محیط واقعی است؛ نه صرفاً عنوان یا رده آلیاژی آن.

این اصل، مبنای بررسی مسئله مخازن استریفیکیشن در پروژه پتروماد تبریز قرار گرفت.

---

۲ .شرح مسئله صنعتی

۲.۱ .مخازن استریفیکیشن در پتروماد تبریز

مخازن مورد بررسی در کارخانه پتروماد تبریز از فولاد زنگ‌نزن کم‌کربن گرید 316Lساخته شده بودند. این مخازن در شرایط عملیاتی شامل اسید سولفوریک ۶۰ درصد و دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت می‌کردند.

با وجود استفاده از فولاد زنگ‌نزن، دیواره مخازن به‌صورت مکرر دچار سوراخ‌شدگی می‌شد. فاصله زمانی میان خرابی‌ها تقریباً یک هفته بود؛ بنابراین، مشکل به یک رخداد اتفاقی یا خرابی محدود تبدیل نشده بود، بلکه به مسئله‌ای تکرارشونده در بهره‌برداری تبدیل شده بود.

تکرار سوراخ‌شدگی دیواره، نیاز به تعمیرات مداوم را ایجاد می‌کرد و پایداری عملکرد تجهیز را تحت تأثیر قرار می‌داد.

۲.۲ .پیامدهای تکرار خرابی

هنگامی که یک مخزن فرآیندی به‌صورت مکرر دچار سوراخ‌شدگی می‌شود، مسئله از محدوده تعمیر موضعی فراتر می‌رود. حتی اگر بتوان هر بار ناحیه آسیب‌دیده را تعمیر کرد، تداوم خرابی به معنای آن است که علت اصلی مسئله همچنان باقی مانده است.
در چنین شرایطی، تمرکز صرف بر ترمیم محل سوراخ‌شدگی، بدون کنترل عامل ایجادکننده آن، نمی‌تواند راهکاری پایدار برای مسئله باشد.
از سوی دیگر، تغییر اساسی در تجهیزات موجود نیز لزوماً ساده نیست. مخازن و راکتورها بخشی از یک مجموعه فرآیندی هستند و هرگونه تغییر در جنس، ساختار یا پوشش آن‌ها باید با الزامات عملیاتی و اقتصادی کارخانه سازگار باشد.

بنابراین، مسئله اصلی پروژه را می‌توان چنین تعریف کرد:

چگونه می‌توان خوردگی شدید دیواره مخازن استریفیکیشن را در شرایط عملیاتی موجود کنترل کرد، بدون آنکه نیاز به تغییر اساسی در تجهیزات فعال کارخانه باشد؟

این پرسش، مسیر بررسی گزینه‌های مهندسی را مشخص کرد.

---

۳ .بررسی شرایط و محدودیت‌های پروژه

۳.۱ .شرایط محیطی مؤثر بر خوردگی

سه مشخصه اصلی در تعریف مسئله اهمیت داشتند:

پارامتر	وضعیت گزارش‌شده
جنس مخزن	فولاد زنگ‌نزن کم‌کربن L316
محیط خورنده	اسید سولفوریک با غلظت ۶۰ درصد
دمای عملیاتی	حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد
وضعیت خرابی	سوراخ‌شدگی مکرر دیواره
فاصله تقریبی تکرار خرابی	حدود یک هفته

ترکیب دمای بالا و تماس مداوم با اسید، شرایطی ایجاد کرده بود که مقاومت خوردگی فولاد مورد استفاده برای سرویس واقعی کافی نبود.

بااین‌حال، برای تعیین دقیق مکانیزم تخریب، بررسی‌هایی مانند مطالعه مورفولوژی سطح، محل شروع سوراخ‌شدگی، وضعیت رسوبات احتمالی و سایر شواهد فنی می‌توانند اهمیت داشته باشند. در اطلاعات موجود این پروژه، نتیجه قطعی چنین بررسی‌هایی ثبت نشده است؛ بنابراین، مکانیزم دقیق خوردگی در این گزارش به‌عنوان یک تشخیص تأییدشده معرفی نمی‌شود.

۳.۲ .محدودیت تغییر جنس مخزن

یکی از گزینه‌های اولیه برای مقابله با خوردگی، تغییر جنس مخزن و استفاده از ماده‌ای با مقاومت بیشتر در برابر محیط فرآیند بود.

بااین‌حال، کارخانه در حال فعالیت بود و جایگزینی مخازن موجود به معنای انجام تغییراتی اساسی در یک سیستم صنعتی فعال محسوب می‌شد. بررسی‌های پروژه نشان داد که این گزینه، با توجه به محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی، عملاً قابل اجرا نبود.

۳.۳ .محدودیت استفاده از پوشش‌های داخلی

استفاده از پوشش‌های مقاوم به خوردگی نیز می‌تواند در بعضی کاربردها یک گزینه مهندسی باشد. بااین‌حال، مناسب‌بودن پوشش به مقاومت شیمیایی و حرارتی آن، شرایط سطح زیرلایه، چسبندگی، قابلیت اجرا و الزامات تعمیر و نگهداری وابسته است.

در این پروژه، اجرای پوشش خاص داخل مخازن نیز به دلیل محدودیت‌های عملیاتی و اقتصادی کارخانه، گزینه مناسبی تشخیص داده نشد.

۳.۴ .محدودیت حفاظت آندی در یک سیستم پیوسته

حفاظت آندی، در کاربردهای مناسب و با طراحی تخصصی، می‌تواند برای کنترل خوردگی بعضی فلزات در محیط‌های مشخص به کار رود. بااین‌حال، استفاده از این روش به سازگاری رفتار الکتروشیمیایی ماده و محیط، امکان کنترل دقیق شرایط و طراحی مناسب سامانه وابسته است.

در کارخانه پتروماد تبریز، مجموعه تجهیزات تنها به یک مخزن محدود نبود و تعداد زیادی راکتور و خطوط لوله فولادی زنگ‌نزن، بخشی از سیستم به‌هم‌پیوسته فرآیند را تشکیل می‌دادند.

بر اساس بررسی‌های پروژه، هزینه بالای حفاظت آندی و پیچیدگی‌های مرتبط با پیوستگی این مجموعه، اجرای آن را از نظر اقتصادی و عملیاتی نامناسب می‌کرد.

در نتیجه، حفاظت آندی نیز به‌عنوان راهکار اصلی کنار گذاشته شد.

---

۴ .انتخاب مسیر مهندسی: استفاده از ممانعت‌کننده‌های خوردگی

پس از بررسی محدودیت‌های تغییر جنس مخزن، پوشش‌های داخلی و حفاظت آندی، مسیر اصلی پروژه به سمت استفاده از ممانعت‌کننده‌های خوردگی یا *Corrosion Inhibitors* هدایت شد.

ممانعت‌کننده‌های خوردگی موادی هستند که در صورت سازگاری با محیط و شرایط مناسب مصرف، می‌توانند سرعت خوردگی فلز را کاهش دهند. عملکرد آن‌ها به ماهیت شیمیایی ماده، غلظت مصرف، دما، ترکیب محیط و سازوکار حفاظت وابسته است.

مزیت مهم این مسیر برای پروژه حاضر، امکان بررسی آزمایشگاهی گزینه‌های مختلف بدون نیاز به تغییر اساسی در ساختار مخازن موجود بود.

بااین‌حال، انتخاب یک ممانعت‌کننده برای فرآیند استریفیکیشن تنها به توانایی آن در کاهش خوردگی محدود نمی‌شد. ماده انتخابی باید از نظر شیمیایی نیز با فرآیند سازگار می‌بود و تداخل نامطلوبی با واکنش‌ها یا کیفیت محصول ایجاد نمی‌کرد.

بنابراین، دو معیار اصلی در انتخاب گزینه‌ها مورد توجه قرار گرفتند:

۱ .توانایی کاهش خوردگی فولاد در شرایط عملیاتی موردنظر.

۲ .سازگاری شیمیایی با فرآیند استریفیکیشن و پرهیز از ایجاد اثر نامطلوب بر فرآیند تولید.

این رویکرد باعث شد بررسی‌ها به‌جای انتخاب یک ماده صرفاً بر اساس ادعای عمومی مقاومت خوردگی، بر ارزیابی عملکرد آن در شرایط نزدیک به کاربرد واقعی متمرکز شوند.

---

۵ .طراحی و اجرای آزمایش‌های آزمایشگاهی

۵.۱ .بازسازی شرایط واقعی در آزمایشگاه

برای آنکه نتایج آزمایشگاهی قابلیت استفاده در تصمیم‌گیری صنعتی داشته باشند، لازم بود شرایط آزمایش تا حد امکان به شرایط واقعی مخازن نزدیک باشد.

در این مرحله، آزمایش‌ها با استفاده از اسید سولفوریک با غلظت مشابه، دمای نزدیک به دمای عملیاتی و فولاد زنگ‌نزن هم‌جنس با ماده مورد استفاده در مخازن انجام شدند.

استفاده از فولاد هم‌جنس اهمیت داشت؛ زیرا عملکرد ممانعت‌کننده باید در برابر ماده‌ای ارزیابی می‌شد که واقعاً در کارخانه با مشکل خوردگی مواجه بود.

به این ترتیب، مسیر ارزیابی از شرایط عمومی و فرضی فاصله گرفت و به مسئله مشخص پروژه نزدیک شد.

۵.۲ .انتخاب و غربالگری ممانعت‌کننده‌ها

بر اساس بررسی‌های شیمیایی اولیه، مجموعه‌ای از ممانعت‌کننده‌های بالقوه انتخاب و ارزیابی شدند.

در این مرحله، تنها کاهش خوردگی اهمیت نداشت. سازگاری مواد با فرآیند استریفیکیشن نیز باید مورد توجه قرار می‌گرفت تا انتخاب نهایی موجب ایجاد مسئله‌ای جدید در تولید نشود.

این ملاحظه در فرآیندهای شیمیایی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا افزودن یک ماده برای کنترل خوردگی، در صورتی که با واکنش اصلی یا مشخصات محصول تداخل ایجاد کند، نمی‌تواند به‌تنهایی یک راهکار موفق محسوب شود.

بنابراین، ارزیابی گزینه‌ها بر مبنای ترکیبی از عملکرد مورد انتظار در کنترل خوردگی و سازگاری با فرآیند انجام شد.

۵.۳ .نتیجه بررسی‌های آزمایشگاهی

بررسی‌های آزمایشگاهی نشان دادند که ممانعت‌کننده‌های بر پایه یون مس، در شرایط مورد آزمایش عملکرد بسیار مطلوبی داشتند.

این نتیجه، مبنای انتخاب مسیر بعدی پروژه شد؛ اما پیش از اتکا به راهکار در شرایط واقعی کارخانه، لازم بود عملکرد آن در مقیاس صنعتی نیز بررسی شود.

این مرحله از پروژه اهمیت تعیین‌کننده‌ای داشت: نتیجه آزمایشگاهی، گزینه امیدوارکننده را مشخص کرده بود، ولی اعتبارسنجی نهایی باید در محیط واقعی تولید انجام می‌شد.

بر اساس نتایج آزمایشگاهی، ممانعت‌کننده‌های بر پایه یون مس برای آزمون صنعتی انتخاب شدند.

ترکیب دقیق، نام تجاری، مقدار مصرف و دستورالعمل اختصاصی افزودن ممانعت‌کننده در این گزارش منتشر نمی‌شوند.

۶ .اعتبارسنجی در مقیاس صنعتی

۶.۱ .هدف آزمون صنعتی

پس از دستیابی به نتایج مطلوب در آزمایشگاه، مرحله بعد بررسی عملکرد راهکار در شرایط واقعی کارخانه بود.

هدف این بود که مشخص شود آیا ممانعت‌کننده منتخب، در کنار حفظ شرایط عملیاتی فرآیند، می‌تواند شواهد خوردگی مشاهده‌شده در فولاد را به‌طور مؤثر کاهش دهد یا خیر.

آزمون صنعتی این امکان را فراهم می‌کرد که راهکار منتخب نه‌فقط در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی، بلکه در محیط واقعی تولید ارزیابی شود.

۶.۲ .آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام آزمون، ۲۰ نمونه از فولاد زنگ‌نزن هم‌جنس با جنس مخازن انتخاب شدند.

سطح تمامی نمونه‌ها تا رسیدن به پرداخت آینه‌ای آماده‌سازی شد. این کار باعث شد وضعیت اولیه سطح نمونه‌ها مشخص و امکان مشاهده تغییرات ظاهری پس از قرارگیری در محیط فرآیند فراهم شود.

سپس نمونه‌ها در مخزن استریفیکیشن قرار گرفتند تا در شرایط واقعی فرآیند قرار بگیرند.

در این مرحله، هدف بررسی رفتار نمونه‌های فولادی در محیط عملیاتی بود؛ محیطی که پیش‌تر باعث سوراخ‌شدن مکرر دیواره مخازن شده بود.

۶.۳ .اجرای آزمون در حین تولید

پس از نصب نمونه‌ها، تولید به مدت یک هفته ادامه یافت.

در طول این دوره، مطابق دستورالعمل تعیین‌شده برای پروژه، مقدار مشخصی از ممانعت‌کننده هنگام شارژ اسید به سیستم اضافه می‌شد.

جزئیات مقدار مصرف و دستورالعمل افزودن، بخشی از اطلاعات اختصاصی پروژه هستند و در این گزارش ارائه نمی‌شوند.

با پایان یک هفته تولید، زمان ارزیابی نمونه‌ها فرا رسید.

۶.۴ .بازدید از کارخانه و بررسی نتایج

پس از پایان دوره آزمون، برای بررسی نتیجه به کارخانه مراجعه شد. مخزن تخلیه شد و نمونه‌های فولادی از داخل آن خارج شدند تا وضعیت سطح آن‌ها بررسی شود.

نتیجه مشاهده‌شده بسیار مطلوب بود.

بر اساس گزارش پروژه، نه‌تنها هیچ نشانه قابل مشاهده‌ای از کاهش وزن نمونه‌ها مشاهده نشد، بلکه رسوب قابل مشاهده‌ای نیز روی سطوح فولادی تشکیل نشده بود.

نکته قابل توجه این بود که نمونه‌ها ظاهر آینه‌ای اولیه خود را حفظ کرده بودند؛ درحالی‌که جنس این نمونه‌ها همان فولادی بود که دیواره مخازن ساخته‌شده از آن پیش‌تر به‌صورت مکرر دچار سوراخ‌شدگی می‌شد.

این نتیجه، تفاوت مهمی را میان عملکرد ماده در شرایط بدون راهکار کنترلی و عملکرد آن در شرایط استفاده از ممانعت‌کننده منتخب نشان می‌داد.

بااین‌حال، باید توجه داشت که حفظ ظاهر آینه‌ای و مشاهده‌نشدن کاهش وزن یا رسوب، شواهدی از عملکرد مطلوب در آزمون هستند؛ اما به‌تنهایی جایگزین اندازه‌گیری کمی نرخ خوردگی یا بررسی‌های دقیق‌تر سطح و ریزساختار نمی‌شوند. اطلاعات موجود پروژه، همین مشاهدات صنعتی را به‌عنوان نتیجه آزمون ثبت کرده‌اند.

---

۷ .نتیجه پروژه و تداوم استفاده صنعتی

۷.۱ .عبور از یک خرابی تکرارشونده به راهکاری قابل استفاده

پروژه مخازن استریفیکیشن با یک مسئله مشخص آغاز شده بود: سوراخ‌شدن مکرر دیواره مخازن فولادی زنگ‌نزن در فاصله زمانی حدود یک هفته.

تغییر جنس مخزن، اجرای پوشش داخلی و حفاظت آندی، با توجه به شرایط واقعی کارخانه، محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی مناسبی برای اجرا نداشتند.

در مقابل، استفاده از ممانعت‌کننده‌های خوردگی امکان داد راهکاری بدون تغییر اساسی در ساختار تجهیزات موجود بررسی شود.

پس از غربالگری آزمایشگاهی، گزینه‌های بر پایه یون مس برای آزمون صنعتی انتخاب شدند. نتیجه آزمون یک‌هفته‌ای نیز از نظر مشاهدات سطحی بسیار مطلوب بود: نمونه‌ها بدون کاهش وزن قابل مشاهده و بدون تشکیل رسوب قابل مشاهده، ظاهر آینه‌ای اولیه خود را حفظ کرده بودند.

۷.۲ .سابقه حدود ۱۵ سال استفاده از راهکار

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده از پروژه، کارخانه پتروماد تبریز پس از حدود ۱۵ سال همچنان از همین روش در فرآیند تولید استفاده می‌کند.

این سابقه، بخش مهمی از ارزش عملی پروژه است؛ زیرا نشان می‌دهد راهکار منتخب صرفاً در محدوده یک آزمایش کوتاه‌مدت باقی نمانده و در فرآیند واقعی کارخانه به استفاده خود ادامه داده است.

البته تداوم استفاده از یک روش به‌تنهایی به معنای اثبات مستقل تمام جنبه‌های عملکرد آن نیست؛ بااین‌حال، برای یک مطالعه موردی صنعتی، سابقه طولانی استفاده، شاهد مهمی از پذیرش و کاربردپذیری راهکار به شمار می‌رود.

۷.۳ .ارزش مهندسی پروژه

اهمیت این پروژه را نمی‌توان تنها در انتخاب یک ممانعت‌کننده خلاصه کرد.

ارزش اصلی آن در مسیری بود که از شناخت مسئله تا انتخاب، آزمایش و اجرای راهکار طی شد:

- مسئله ابتدا بر اساس خرابی تکرارشونده و شرایط واقعی سرویس تعریف شد.
- گزینه‌های مختلف با توجه به محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی کارخانه بررسی شدند.
- مسیر ممانعت‌کننده‌ها برای ارزیابی بیشتر انتخاب شد.
- گزینه‌های مناسب در شرایط آزمایشگاهی مشابه فرآیند بررسی شدند.
- راهکار منتخب با ۲۰ نمونه فولاد زنگ‌نزن در مقیاس صنعتی مورد آزمون قرار گرفت.
- نتایج مشاهده‌شده پس از یک هفته تولید، مبنای استفاده از راهکار قرار گرفتند.
- طبق اطلاعات پروژه، استفاده از روش برای حدود ۱۵ سال ادامه یافته است.

این مسیر نشان می‌دهد که حل مسائل خوردگی صنعتی همیشه به معنای تعویض ماده یا تغییر اساسی تجهیزات نیست. در بعضی شرایط، شناخت درست مسئله و ارزیابی یک راهکار سازگار با محیط و محدودیت‌های کارخانه می‌تواند مسیر عملی‌تری برای کنترل مشکل فراهم کند.

---

۸ .جمع‌بندی

پروژه مخازن استریفیکیشن پتروماد تبریز، نمونه‌ای از مواجهه با یک مسئله پیچیده خوردگی در شرایط واقعی صنعت بود.

مخازن فولادی زنگ‌نزن 316 Lدر تماس مداوم با اسید سولفوریک ۶۰ درصد و در دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد کار می‌کردند و دیواره آن‌ها تقریباً هر هفته دچار سوراخ‌شدگی می‌شد.

محدودیت‌های عملیاتی و اقتصادی، امکان تغییر جنس مخازن یا اجرای برخی روش‌های حفاظت را محدود کرده بود. در نتیجه، ممانعت‌کننده‌های خوردگی به‌عنوان مسیر اصلی بررسی انتخاب شدند.

پس از بررسی آزمایشگاهی، ممانعت‌کننده‌های بر پایه یون مس برای آزمون صنعتی انتخاب شدند. در آزمون یک‌هفته‌ای با ۲۰ نمونه فولاد زنگ‌نزن با پرداخت آینه‌ای، کاهش وزن یا رسوب قابل مشاهده‌ای گزارش نشد و نمونه‌ها ظاهر اولیه خود را حفظ کردند.

بر اساس اطلاعات پروژه، کارخانه پس از حدود ۱۵ سال همچنان از این روش استفاده می‌کند.

این تجربه، اهمیت شناخت شرایط واقعی، مقایسه راهکارها، اعتبارسنجی صنعتی و انتخاب راهکاری متناسب با محدودیت‌های اجرایی را در حل مسائل خوردگی نشان می‌دهد.

رویکرد آراد

در آراد، هدف صرفاً پیشنهاد یک ماده یا فرآیند نیست. هدف، شناخت مسئله واقعی، بررسی گزینه‌های قابل اجرا و رسیدن به راهکاری است که با نیاز فنی و شرایط عملیاتی پروژه سازگار باشد.

مسئله ← شواهد ← ارزیابی گزینه‌ها ← آزمون ← راهکار قابل استفاده

این همان مسیری است که در پروژه مخازن استریفیکیشن برای مقابله با خرابی تکرارشونده دنبال شد.

اطلاعات فنی محرمانه

برای حفظ محرمانگی اطلاعات پروژه، نام تجاری و ترکیب دقیق ممانعت‌کننده، مقدار مصرف، دستورالعمل افزودن و سایر پارامترهای اختصاصی فرآیند در این گزارش درج نشده‌اند.

همچنین، این گزارش بر اطلاعات عملیاتی و مشاهدات ارائه‌شده از پروژه متکی است و شامل داده‌های کمی تأییدنشده درباره نرخ خوردگی، کاهش ضخامت، سرعت خوردگی یا میزان صرفه‌جویی اقتصادی نیست.