

مدیریت بازدارنده‌های خوردگی در میادین منتخب شرکت ملی نفت ایران

جابر نشاطی^۱، مریم حسینی علی آبادی^{۲*}، حبیب‌اله روانشید^۳، ستاره امیرپور^۴، حسین رحیمی مفرد^۵

۱-دانشیار، پردیس انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲-استادیار، پژوهشکده حفاظت صنعتی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳-دانشکده متالورژی-دانشگاه تهران

۴-دانشکده متالورژی-دانشگاه صنعتی شریف

۵-مربی، پژوهشکده حفاظت صنعتی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: hoseinima@ripi.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

فعالیت‌های گسترده‌ای در زمینه بازدارنده‌های خوردگی در تاسیسات مربوط به صنایع نفت و گاز ایران، توسط کارشناسان خبره این حوزه انجام می‌پذیرد که این اقدامات توانسته است موجب حفظ سرمایه‌های ملی در این صنایع شود. هدف اصلی از پیاده‌سازی نظام مدیریت خوردگی، سامان‌دهی فرآیندهای مرتبط با مهندسی خوردگی است، به گونه‌ای که در درازمدت و با بهبود مستمر شرایط، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از خوردگی کاهش یابد. یکی از موارد اصلی در کنترل و کاهش سرعت خوردگی و هزینه‌های ناشی از آن استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است که به انحاء مختلف در صنایع نفت و گاز مصرف می‌شود. در این پژوهش با استفاده از آخرین اطلاعات روز دنیا در زمینه انتخاب، مصرف و پایش بازدارنده‌های خوردگی، پرسش‌نامه‌هایی تهیه و جهت بررسی وضعیت موارد مذکور در میادین منتخب شرکت ملی نفت ایران توزیع گردید. بر اساس نتایج حاصله از پرسشنامه‌های تکمیلی و به روزترین پارامترهای مرتبط در زمینه مدیریت بازدارنده‌های خوردگی، هشت پارامتر جهت پایش وضعیت استفاده از بازدارنده‌های خوردگی معرفی شدند. این پارامترها در میادین مختلف شرکت ملی نفت ایران اندازه‌گیری شده و بر مبنای فاکتورهای مرتبط امتیازدهی شدند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص گردید که تامین به موقع مواد شیمیایی و سیستم‌های تزریق عمده‌ترین معضل موجود در زمینه استفاده از بازدارنده‌های خوردگی هستند. در راستای حل معضلات موجود پیشنهاداتی ارائه گردید.

کلیدواژه: خوردگی، بازدارنده، مدیریت خوردگی، بررسی میدانی

Management of corrosion inhibitors in selected fields of the National Iranian Oil Company

J. Neshati¹, M. Hosseini Aliabadi^{2*}, H. Ravanshid³, S. Amirpoor⁴, H. Rahimi Mofrad⁵

1. Associate Professor, Corrosion Department, Research Institute of Petroleum Industry
2. Assistant Professor, Corrosion Department, Research Institute of Petroleum Industry
3. Metallurgy Department, Tehran University
4. Metallurgy Department, Sharif University
5. Corrosion Department, Research Institute of Petroleum Industry

* Corresponding Author: hoseinima@ripi.ir

Submission: 2021,02,09

Acceptance: 2021,09,26

Abstract

Extensive activities about corrosion inhibitors in facilities related to Iran's oil and gas industry are carried out by experts in this field, which have been able to preserve national capital in these industries. The main purpose of implementing a corrosion management system is to organize the processes related to corrosion engineering, so that in the long run and with continuous improvement of conditions, the direct and indirect costs of corrosion are reduced. One of the main factors in controlling and reducing the rate of corrosion and its costs is the use of corrosion inhibitors, which are used in various ways in the oil and gas industry. In this study, using the latest information in the field of selection, consumption and monitoring of corrosion inhibitors, questionnaires were prepared and distributed in the selected fields of the National Iranian Oil Company (NIOC). Based on the results of supplementary questionnaires and the most up-to-date relevant parameters in the field of management of corrosion inhibitors, eight parameters were introduced to monitor the use of corrosion inhibitors. These parameters were measured in selected fields of NIOC. Results showed that timely supply of chemicals and injection systems are the main problem in the use of corrosion inhibitors. Suggestions were made to solve the existing problems.

Keywords: Corrosion, Inhibitor, Corrosion Management, Field study

۱- مقدمه

در شرایط کنونی که اولویت‌های ملی و جهانی بر روی "انرژی، محیط‌زیست و بهینه‌سازی مصرف" متمرکز گشته است، موضوع کنترل و کاهش هرچه بیشتر خسارات و هزینه‌های ناشی از خوردگی در تجهیزات و واحدهای صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. عملی ساختن این اقدامات مستلزم داشتن برنامه‌ریزی استراتژیک و تدوین یک سند راهبردی است. با توجه به سرمایه‌گذاری کلان کشور در صنعت نفت و گاز و گسترش روزافزون تأسیسات و واحدهای عملیاتی اعم از صنایع بالادستی و پایین‌دستی آن، اهمیت کنترل و کاهش هزینه‌های خوردگی و در نهایت لزوم انجام مدیریت خوردگی کاملاً آشکار می‌گردد. به‌طور کلی هدف از مدیریت خوردگی، شناسایی فرصت‌ها و تهدیدها، تعیین و شناسایی نقاط ضعف و قدرت، تعیین اهداف و راهبردها و برنامه‌ریزی جهت تحقق آن‌ها برای بهبود شرایط پایش و کنترل خوردگی است که موجب افزایش عمر مفید سازه‌ها و تجهیزات، کاهش هزینه‌های خوردگی و نهایتاً افزایش تولید را فراهم می‌آورد [۱].

خوردگی در صنایع نفت و گاز به دو صورت مرطوب و خشک اتفاق می‌افتد. خوردگی مرطوب در دماهای پائین (مثلاً زیر نقطه جوش یا نقطه شبنم آب) در حضور یک فاز آبی اتفاق می‌افتد و خوردگی خشک در دماهای بالا و در غیاب فاز آبی رخ می‌دهد. خوردگی مرطوب تحت تأثیر فشار، دما و ترکیبات آبی، گازها و فازهای نفتی قرار دارد. در واحدهای پالایشگاهی و پتروشیمی، مقدار آب کم است اما سرعت خوردگی بالا بوده و به‌صورت موضعی اتفاق می‌افتد. خوردگی حتی در حضور مقدار جزئی آب می‌تواند رخ دهد.

از آنجایی که مدیریت خوردگی چرخه‌ای از سه نوع فعالیت بازبینی، پایش منظم و سنجش کارایی می‌باشد، لازم است کارایی فعالیت‌های صورت پذیرفته در این سامانه در بازه‌های زمانی منظم مورد ارزیابی قرار گیرد که این خود مستلزم انتخاب شاخص‌های کلیدی عملکردی مناسب می‌باشد.

روش‌های اصلی کاهش تهدیدات خوردگی شامل سه بخش مدیریت عملیات شیمیایی، کاهش خوردگی با پوشش‌ها و کاهش خوردگی با حفاظت می‌باشد. برای جلوگیری از خوردگی داخلی، مواد شیمیایی متعددی نظیر اکسیژن‌زدا، بازدارنده خوردگی، رسوب زدا، بیوساید و ضدکف به مقادیر مختلفی وارد سامانه می‌شود. برای داشتن یک بازدارنده خوردگی با عملکرد موفق بایستی کلیه فرایندهای مربوطه مدیریتی مانند برنامه تأیید اعتبار، رویکرد اعتبارسنجی، اعتبار سنجی، ارتباط محدوده عملیات و استقرار فعالیت‌های عملیاتی مورد نیاز و نظارت، مورد بررسی قرار گیرند [۲].

بازدارنده‌های خوردگی مواد شیمیایی هستند که به یک سیال اضافه می‌شوند تا سرعت خوردگی را کمتر نمایند تا بدین‌وسیله عمر مفید سرویس را افزایش دهند. استفاده از بازدارنده‌های خوردگی مؤثرترین روش جهت جلوگیری و یا کنترل خوردگی است زیرا این روش اجازه استفاده از فلزات کم‌ارزش برای یک محیط خورنده را امکان‌پذیر می‌سازد.

بازدارنده‌هایی که در میادین نفت و گاز استفاده می‌شوند عمدتاً ترکیبات آلی هستند که با غلظت کمتر از یک‌دهم درصد مورد استفاده قرار می‌گیرند. آن‌ها عمدتاً جزو بازدارنده‌های مخلوط هستند که با جذب روی سطح فولاد از انجام واکنش‌های کاتدی و آنودی جلوگیری می‌کنند. البته برخی از آن‌ها هم ممکن است به‌صورت آنودی سطح فولاد را پلاریزه کنند. بازدارنده‌ها عمدتاً جایگزین مولکول‌های آب در سطح فلز شده و تشکیل فیلم می‌دهند [۳].

بازدارنده‌ها بایستی بر اساس شرایط عملیاتی، شیمی سیال، دما و جریان سیال انتخاب شوند. علاوه بر این بازدارنده باید با سایر شرایط عملیات و شیمی سیال سازگاری داشته باشد.

مطالعه میدانی به‌عنوان یک روش کیفی جمع‌آوری داده‌ها با هدف مشاهده، تعامل و درک رویدادها که در محیط طبیعی (اصلی) وجود دارند، تعریف می‌شود. گرچه مطالعات میدانی اغلب به‌عنوان تحقیق کیفی شناخته می‌شوند ولیکن اغلب شامل چندین مرحله مطالعات کمی هستند. گام‌های

اساسی برای مدیریت یک تحقیق میدانی عبارت است از: چپش گروه تحقیق، انتخاب نمونه مورد مطالعه، انتخاب روش جمع‌آوری داده، بازدید میدانی، تفسیر داده‌ها و اشتراک گذاری نتایج. پس از تفسیر نتایج داده‌ها، نتایج آن باید با ذینفعان تحقیق به اشتراک گذاشته شود، زیرا نتایج حاصله می‌تواند منجر به شکل‌گیری تصمیمات جدید در اجرا فرآیندها گردد.

این مقاله خروجی یک بررسی میدانی از چگونگی وضعیت استفاده از بازدارنده‌های خوردگی در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز است. هدف از اجرای این بررسی مدیریت مصرف بازدارنده‌ها در این میادین با نیل به هدف اصلی که همان اجرای نظام مدیریت خوردگی است، می‌باشد. در این بررسی ۷ میدان اصلی نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا برای بررسی اطلاعات مشکلات مصرف مواد شیمیایی و سیستم‌های تزریق بر اساس اسناد معتبر بین‌المللی پرسشنامه‌ها و جداولی تدوین و بر اساس مطالعات میدانی تکمیل گردید. در نهایت با استفاده از اطلاعات و داده‌های جمع‌آوری شده، وضعیت مصرف بازدارنده‌های خوردگی در میادین نفت و گاز ایران به صورت کمی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۲- بحث و بررسی

اطلاعات میدانی به دو روش آماری و محتوایی به صورت تک‌تک و هم به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل آماری بر روی اطلاعات حاصل، سعی شد معیار و شاخص‌هایی برای هر کدام از پارامترها مؤثر در خوردگی در نظر گرفته شود تا بتوان یک ارزیابی کلی از وضعیت مواد بازدارنده و سیستم‌های تزریق برای میادین ارائه نمود. این پارامترها عبارتند از:

۲-۱- ارزیابی عملکرد خواص آزمایشگاهی بازدارنده

هدف از کارهای آزمایشگاهی، بررسی عملکرد بازدارنده‌های کاندیدا در شرایط کنترل شده آزمایشگاه است. بررسی‌های آزمایشگاهی در واقع یک نوع انتخاب

اولیه بازدارنده‌های کاندیدا محسوب می‌شود که برای ارزیابی‌های پایلوتی و میدانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فاکتورهای مهم در بررسی عملکرد آزمایشگاهی عبارتند از:

- ✓ سرعت خوردگی در محیط حاوی بازدارنده
- ✓ غلظت بهینه بازدارنده
- ✓ پایداری و مقاومت فیلم بازدارنده
- ✓ رفتار تسهیم بازدارنده (تقسیم بازدارنده در محیط آبی و آلی)
- ✓ عملکرد بازدارنده در شرایط جریانی حاد
- ✓ سازگاری بازدارنده‌ها با مواد شیمیایی مصرفی دیگر

در آزمایشگاه ابتدا خواص فیزیکی و شیمیایی بازدارنده و سپس بررسی‌های عملکردی بازدارنده نظیر آزمایش موتور چرخان، مقاومت پلاریزاسیون خطی، تافلی و در صورت نیاز سایر روشهای پیشرفته نظیر امپدانس و نویز الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در شرایط تحت فشار بالا می‌توان از اتوکلاو و یا آزمایشهای جریانی نظیر سیلندر چرخان، آزمایش جت و فللولوپ استفاده نمود. ده تست اصلی و متداولی که برای ارزیابی بازدارنده‌ها انجام می‌گیرد در جدول ۱ ارائه شده است و به هریک ۱۰ امتیاز تخصیص داده شد. با انجام آزمایشهای بیشتر در ارزیابی عملکرد بازدارنده امتیاز بیشتری کسب خواهد شد. کسب امتیاز ۱۰۰ نشاندهنده وضعیت مطلوب است.

۲-۲- عملکرد بازدارنده

برخی از آزمایشات طراحی و اجرا شده در قسمت قبل، نظیر آزمایش موتور چرخان، مقاومت پلاریزاسیون خطی و اندازه‌گیری تافلی، به منظور بررسی عملکرد بازدارنده است. عملکرد بازدارنده بر حسب میزان بهره‌وری و یا راندمان سنجیده می‌شود. منظور از بهره‌وری میزان تاثیر بازدارنده بر کاهش سرعت خوردگی و یا کنترل آن است. در این آزمایش‌ها سرعت خوردگی قبل و بعد از افزودن بازدارنده

بازدارنده‌ها باید بالاتر از حداقل غلظت مشخص شده مورد استفاده قرار بگیرند.

جدول ۲- امتیازدهی عملکرد بازدارنده

امتیاز	درصد بازدارندگی (راندمان)	ردیف
۱۰۰	$Ra > 95$	۱
۹۰	$90 < Ra \leq 95$	۲
۸۰	$80 < Ra < 90$	۳
۷۰	$Ra < 80$	۴

چنانچه نرخ تزریقی بازدارنده کمتر از میزان بهینه باشد کل سطح توسط بازدارنده پوشش داده نشده راندمان بازدارندگی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر عدم پوشش‌دهی کل سطح موجب ایجاد مناطق آندی و کاتدی در سطح نمونه شده و باعث افزایش نرخ خوردگی موضعی می‌گردد. کارایی بازدارنده با افزایش غلظت بیشتر شده تا سطح اشباع گردد، یعنی مولکول‌های بازدارنده بر روی تمام محل‌های موجود جذب شده است. بنابراین، هر قدر پیوند جذبی قوی‌تر باشد، نیاز به غلظت کمتر بازدارنده در محلول بوده تا پوشش سطح انجام گردد و البته پاسخ آن به نوع بازدارنده مورد استفاده بستگی دارد. افزایش نرخ تزریق سبب افزایش هزینه‌ها می‌گردد و از آنجایی که بازدارنده‌های تشکیل دهنده فیلم حاوی سورفکتانت هستند که خاصیت امولسیون کننده دارند در نتیجه تأثیر منفی بازدارنده‌های خوردگی به‌خصوص در زمان تزریق دوز اضافی بر عملکرد جداکننده‌ها رایج است. اتصال چند چاه به یک خط لوله مشترک ممکن است منجر به تشدید تأثیر بازدارنده‌ها بر جداکننده‌ها شود.

همچنین در بعضی موارد ممکن است باعث مشکلات عملیاتی مانند امولسیون پایدار که منجر به مشکلات

جدول ۱- امتیازدهی عملکرد آزمایشگاهی بازدارنده

امتیاز	جدول ۱- امتیازدهی عملکرد آزمایشگاهی بازدارنده پارامتر
۱۰	حلالیت
۱۰	کف
۱۰	امولسیون
۱۰	نقطه اشتعال
۱۰	نقطه ریزش
۱۰	سازگاری
۱۰	پایداری حرارتی
۱۰	LPR & Tafel curves
۱۰	Wheel test
۱۰	Flow Loop & others

به سیستم مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. طبق تعریف بهره‌وری یا راندمان یک بازدارنده از فرمول زیر محاسبه می‌شود [۴]:

$$Ra = \frac{I_0 - I}{I_0} \times 100$$

در این رابطه Ra راندمان، I_0 و I به ترتیب، شدت جریان خوردگی قبل و بعد از استفاده از بازدارنده است. بر اساس ارزیابی آزمایشگاهی برای درصد محافظت و راندمان (Ra) امتیازبندی به صورت جدول ۲ در نظر گرفته شد.

۲-۳ - غلظت مناسب بازدارنده

بازدارنده‌های خوردگی معمولاً توسط شرکت‌های سازنده به صورت غلیظ تهیه می‌شوند و در میادین توسط حلال‌های مختلف نظیر نفت خام، میعانات، آب، الکل، گازوئیل و غیره رقیق می‌شوند تا با غلظت مورد نظر مورد استفاده قرار گیرند. تزریق یک بازدارنده مناسب خوردگی در محل مناسب و دوز بهینه می‌تواند در کاهش میزان خوردگی بسیار مؤثر باشد. برای دستیابی به یک بازدارندگی مطلوب،

۲-۴- اندازه‌گیری نرخ خوردگی میدانی

در استاندارد NACE RPO775 نرخ‌های خوردگی به چهار دسته تقسیم‌بندی شده است که برای نرخ‌های خوردگی کمتر از ۱ mpy شرایط خوردگی عالی و برای نرخ خوردگی بالاتر از ۱۰ mpy شرایط بحرانی در نظر گرفته شده‌است، ولی برای امتیازدهی عملکرد میدانی بازدارنده‌ها شرایط سخت‌تری پیشنهاد می‌گردد تا ریسک شکست‌های ناشی از خوردگی به حداقل برسد. در جدول ۵ امتیازدهی بر اساس نرخ خوردگی میدانی در نظر گرفته شد.

جدول ۵- امتیازدهی بر اساس نرخ خوردگی میدانی

امتیاز	نرخ خوردگی (C.R)
۱۰۰	$C.R < 0.5$
۹۰	$0.5 < C.R < 1$
۸۵	$1 < C.R < 2$
۸۰	$2 < C.R < 5$
۷۰	$C.R > 5$

۲-۵- اندازه‌گیری باقیمانده بازدارنده در میدان

برای اطمینان از عملکرد مناسب بازدارنده، نیاز به اندازه‌گیری باقیمانده بازدارنده در سیال خورنده است زیرا مصرف کم یا زیاد بازدارنده می‌تواند آثار تخریبی جبران‌ناپذیری روی عمر تجهیزات بگذارد. بنابراین اندازه‌گیری باقیمانده بازدارنده اهمیت زیادی دارد. تعیین دقیق بازدارنده خوردگی باقیمانده در سیال‌های تولید شده برای مقاصد پایش مفید است ولی یک چالش فنی است. مقدار باقیمانده بازدارنده اغلب در غیاب دیگر اندازه‌گیری‌های مستقیم خوردگی یا عملکردی آن صورت می‌گیرد. آنالیز میزان باقی‌مانده بازدارنده در انتهای خط می‌تواند نشان‌دهنده میزان بازدارنده کافی مورد استفاده باشد. با اینکه داده‌های کاهش وزن صحیح یا پایش‌های الکتروشیمیایی همیشه ارجح و کاربردی‌تر هستند [۸ و ۹].

جداسازی روغن / آب می‌شود، گردد [۵-۶]. در جدول ۳ حدود غلظت‌های مصرفی بازدارنده‌ها داده شده است [۷]. بر این اساس جدول ۴ برای امتیازدهی در خصوص غلظت مناسب بازدارنده پیشنهاد شد. لازم به ذکر است با توجه به آثار تخریبی بیشتر مصرف کم مواد بازدارنده امتیاز کمتری برای آن در نظر گرفته شد.

جدول ۳- غلظت‌های میدانی بازدارنده‌های خوردگی [۷]

موقعیت	دوز بازدارنده خوردگی براساس جریان کل (ppm)
چاه نفت	20-50
تولید گاز	10-20 Lm ⁻³ of gas (100 based on total water)
Infield oil line	20-50 (100-300 in high velocity water)
خطوط کوتاه انتقال نفت	15
خطوط بلند انتقال نفت	30
خط بلند انتقال گاز	2 pint/MMSCF (million standard cubic feet)
چاه‌های گاز عمیق (شرایط حاد)	2000
H ₂ S 50% خط گاز (شرایط حاد)	1000
V.High velocity, High water oil line (شرایط حاد)	300>

جدول ۴- امتیازدهی غلظت مناسب بازدارنده

امتیاز	غلظت مناسب
۱۰۰	بله
۵۰	غلظت کم
۷۵	غلظت بالا
	خیر

- اندازه‌گیری مقدار آهن (آنالیز شیمیایی منظم و پایش روندها)
- کوپن‌های خوردگی (کاهش وزن و شناسایی حفره/رسوب/بیوفیلم)
- قراردادن پروب (مقاومت الکترونیکی و روش‌های الکتروشیمیایی پیشرفته مثل مقاومت پلاریزاسیون خطی، امپدانس، نويزالکتروشیمیایی و کوپل گالوانیک)
- استفاده از انواع پروب‌های هیدروژن
- روش نشان میدانی^۱
- روش اولتراسونیک
- پروب‌های سایش / شن
- روش‌های رادیوشیمی

در منابع مختلف این روش‌ها توضیح داده شده‌اند [۱۲و۱۱]. مکان‌هایی که عمدتاً پروب‌ها قرار می‌گیرند عبارتند از: نواحی با توربلانسی بالا، نواحی با جریان کم (شامل نقاط سکن و مرده)، نقاطی با بالاترین دما، ورودی و خروجی خطوط، کف و سل‌ها و ساعت ۶ در خطوط لوله، ترین‌های جداسازی ویژه و لوله‌کاری^۲ در واحد فرآیندی. هر کدام از روش‌های پایش هم مزایا و معایبی دارند به‌عنوان مثال روش کوپن گذاری میزان آثار و نرخ خوردگی متوسط را اندازه‌گیری می‌کند ولی زمان طولانی اندازه‌گیری عیب این روش محسوب می‌شود. بنابراین در کنار آن روش‌های اندازه‌گیری نرخ خوردگی لحظه‌ای مثل مقاومت پلاریزاسیون (LPR) هم پیشنهاد می‌شود، البته در محیط‌ترش استفاده از روش LPR به علت تشکیل لایه هادی سولفید آهن FeS پیشنهاد نمی‌شود. بجای آن می‌توان از روش‌های مقاومت الکتریکی (ER) یا پروب هیدروژن (HP) استفاده کرد. اخیراً روش نويز الکتروشیمیایی و سایر روش‌ها نیز برای پایش خوردگی پیشنهاد شده‌اند. بنابراین هر چه تعداد روش‌های پایش در میدان بیشتر استفاده شود

وسيله يك می‌تواند خوردگی بازدارنده باقیمانده غلظت لوله‌ها باشد. از خوردگی داخل حفاظت برای آسان پایش باید باقیمانده غلظت و مابین عملکرد رابطه یک هرچند کافی محافظت برای باقیمانده حداقل غلظت و گردد استنتاج لوله‌ها محافظت غلظت برای حداقل این شود اندازه گیری طریق بازدارنده از که دارد مکانیسمی به بستگی خوردگی از و حلالیت خواص شناخت می‌کند ایجاد محافظت آن و پایش برای باقیمانده آنالیز از استفاده در تسهیم‌پذیری مهم است مطمئن خوردگی بازدارندگی یک از اطمینان [۱۰]. با توجه به مسائل فوق امتیازدهی بر اساس جدول ۶ برای باقیمانده بازدارنده‌ها در نظر گرفته شد.

جدول ۶- امتیازدهی بر اساس باقیمانده بازدارنده

اندازه‌گیری باقیمانده بازدارنده	امتیاز
بله	۱۰۰
خیر	۵۰

۲-۶- تعداد روش پایش

پایش خوردگی بازدارنده آخرین مرحله برای ارزیابی بازدارنده محسوب می‌شود زیرا در بررسی‌های آزمایشگاهی و پایلوتی امکان شبیه‌سازی کامل شرایط میدانی وجود ندارد. بنابراین با استفاده از روش‌های پایش می‌توان ریسک ناشی از کاربرد بازدارنده‌ها را به حداقل رساند. پایش خوردگی نشان می‌دهد که آیا خوردگی در سیستم کنترل می‌شود. در صورتی که سرعت خوردگی مطلوب نباشد بایستی تمهیدات مختلف برای کنترل خوردگی، نظیر تعمیر تجهیز تزریق، تغییر دستورالعمل‌های عملیاتی، تغییر میزان تزریق و یا تغییر نوع بازدارنده استفاده شوند. روش‌های معمول پایش خوردگی عبارتند از:

^۲. Pipe work

^۱. Field Signature Method / FSM

ریسک شکست کاهش می‌یابد. بر این اساس جدول ۷ برای امتیازدهی پیشنهاد شد.

جدول ۷- امتیازدهی روش‌های پایش

امتیاز	تعداد روش‌های پایش
۱۰۰	۳
۸۰	۲
۶۰	۱
۵۰	بدون پایش

۲-۷- تأمین به موقع مواد شیمیایی

تدارک یک کالا مانند بازدارنده‌های خوردگی جهت استفاده در یک سیستم، شامل مهندسی خرید، خرید کالا و خدمات سیستم می‌باشد و خرید عبارت است از «تهیه، تدارک و اکتساب کالا و خدمات مورد نیاز، با کیفیت مطلوب و قیمت مناسب، در زمان مناسب و از منبع مورد اطمینان در ازای پرداخت ارزش آن». مناسب بودن کالا یا خدمات نیز عبارت است از منطبق بودن آن کالا یا خدمات با خواسته‌های مشتری. تحقق این موارد مستلزم به کارگیری یک سیستم خرید و تدارکات کارآمد، جامع، منظم، سیستماتیک و یکپارچه دربرگیرنده کلیه فرایندهای تدارکات سیستم می‌باشد. به طور کلی فرآیند تأمین بازدارنده خوردگی جهت استفاده در یک شرکت از زیر فرآیندهای مختلفی تشکیل گردیده است. مهم‌ترین این زیر فرآیندها، فرآیند انتخاب بازدارنده مورد صلاحیت و فرآیند بررسی صلاحیت شرکت‌های سازنده مواد شیمیایی می‌باشد. از آنجایی که این فرآیند، بالاخص در مورد تأمین کنندگان و یا محصولات جدید فرآیندی زمانبر است، لازم است تا سیستم تأمین کالا به نحوی برنامه‌ریزی نماید که مواد شیمیایی مورد نیاز همواره در دسترس باشد. تأمین به موقع مواد شیمیایی و انبارداری به میزان لازم موضوع مهمی در حفاظت تجهیزات محسوب می‌شود. اگر تجهیزات مدتی بدون تزریق مواد

شیمیایی کار کنند می‌توانند برحسب شرایط فرآیندی آثار تخریبی جبران‌ناپذیری روی سیستم بگذارند. بنابراین امتیازدهی این موضوع به صورت جدول ۸ در نظر گرفته شد.

۲-۸- سیستم تزریق مواد شیمیایی

مواد بازدارنده خوردگی توسط سیستم‌های تزریق به مناطقی که در معرض خوردگی قرار دارند، تزریق می‌شوند. روش تزریق شیمیایی بستگی زیادی به کاربرد مورد نظر (درون چاهی، خطوط انتقال و تأسیسات فرآیندی) و موقعیت درون ساحلی یا فراساحلی دارد.

در فرآیندهای فراساحلی، به طور کلی مواد شیمیایی به ظروف نگهداری واسطه^۱ (IBC) منتقل شده و سپس به مخازن اصلی نگهداری منتقل می‌گردد. همچنین ظروف واسطه نگهداری نیز ممکن است در سیستم‌های تزریق کوچک به عنوان مخازن ذخیره اصلی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ممکن

جدول ۸- امتیازدهی تأمین به موقع مواد شیمیایی

امتیاز	کارکرد سیستم با مواد بازدارنده
۱۰۰	سیستم در طول یک سال همیشه با تزریق بازدارنده کار کرده است
۷۵	سیستم در طول سال کمتر از یک ماه بدون بازدارنده کار کرده است
۵۰	سیستم در طول سال بین یک تا سه ماه بدون بازدارنده کار کرده است
۲۵	سیستم در طول سال بیش از سه ماه بدون بازدارنده کار کرده است

است در مقادیر کمتر مواد شیمیایی توسط مخازن قابل حمل و یا بشکه‌ها حمل گردد.

^۱. Intermediant bulk container

جدول ۹- امتیازدهی عملکرد سیستم تزریق

سیستم تزریق	امتیاز
خوب	۱۰۰
متوسط	۷۵
ضعیف	۵۰

۳- تحلیل و بررسی نتایج میدانی

با توجه به پایش های آماری انجام شده برای هر میدان می توان شکل کلی وضعیت بازاریابی خوردگی را در شرکت ملی نفت بصورت شکل ۱ نشان داد. براساس این شکل تامین به موقع مواد شیمیایی، سیستم تزریق مشکلات اصلی بازاریابی خوردگی در میادین مورد مطالعه شرکت ملی نفت محسوب می شود.

بررسی سوابق میدانی نشان داد در انتخاب و بکار گیری بازاریابی خوردگی ایرادات مختلفی وجود دارد که در صورت اصلاح آن می توان از هزینه مستقیم و هزینه های غیرمستقیم ناشی از مصرف مواد شیمیایی کاست. به اهم این موارد در زیر اشاره می شود:

۱- اکثر شرکت ها دستورالعمل فنی برای ارزیابی بازاریابی خوردگی قبل از مصرف دارند. برخی از آن ها نیاز به بازنگری دارد در برخی موارد خواص فیزیکی و شیمیایی به طور کامل چک نمی شود. یا سازگاری مواد شیمیایی با همدیگر تحت بررسی قرار نمی گیرد. برخی مواقع آزمایش های خوردگی کامل نیست و فقط به ارزیابی مقاومت پلاریزاسیون خطی و اندازه گیری سرعت خوردگی لحظه ای اکتفا می شود در صورتیکه کافی نیست و بایستی در ارزیابی ها بررسی کاهش وزن با روش موتور چرخان هم صورت گیرد تا سرعت خوردگی متوسط و آثار خوردگی موضعی نظیر حفره زایی و تاول چک شود (گاهی اوقات هم برعکس است). در جاهایی که مانند سیستم های دو یا چند فاز به خاطر حضور گازهای کربن دی اکسید و هیدروژن سولفید شرایط خوردگی سیال

در صورت نیاز مواد شیمیایی رقیق و مخلوط می شود. جریان مواد شیمیایی قبل از انتقال به پمپ های تزریق اندازه گیری می گردد. پمپ های تزریق، مواد شیمیایی را به طور مداوم یا متناوب وارد سیستم فرآیندی می کنند. برای اندازه گیری میزان دوز ارسال شده به هر نقطه تزریق، تجهیزات کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین سیستم های کنترل نرخ تزریق مواد شیمیایی جهت تزریق مواد شیمیایی در نقاط مختلف یا با نرخ های متفاوت مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم ها قادر خواهند بود نرخ تزریق مواد شیمیایی را در نقاط مختلف تنظیم نماید.

سیستم های تزریق معمولاً شامل تجهیزات زیر است:

- ✓ تانک ذخیره
 - ✓ تانک مخلوط کننده و رقیق کردن بازاریابی
 - ✓ پمپ تزریق و خطوط اتصال
 - ✓ پورت های تزریق، quillها و اتصالات
 - ✓ تجهیزات کنترلی
 - ✓ بازاریابی ثانویه جهت جلوگیری از نشتی [۱۵-۱۳]
- اشکالات ناشی از سیستم های تزریق نظیر عدم استفاده از نازل یا عدم تزریق مناسب توسط پمپ و از کارافتادگی آن می تواند منجر به شکست های برنامه ریزی نشده در سیستم ها شود. به عنوان مثال عدم استفاده از نازل مناسب می تواند منجر به عدم پخش مناسب بازاریابی و خوردگی شدید در محل تزریق شود سیستم های تزریق میبایست جهت اطمینان از عملکرد مناسب و تزریق بهینه پایش شوند. اگر اثرات مضر سریع و غیرقابل برگشت باشد، نظارت باید به صورت آنالین و خودکار انجام شود. اگر تأثیرات در طولانی مدت صورت بگیرد یا قابل برگشت باشد، نظارت با نمونه گیری معمول انجام می شود. نمونه گیری دستی باید از نظارت خودکار نیز پشتیبانی کند. بر این اساس جدول ۹ برای امتیازدهی عملکرد سیستم های تزریق در نظر گرفته شد. میزان عملکرد سیستم تزریق بر اساس عملکرد پمپ تعریف شده است.

شدید است علاوه بر بررسی‌های آزمایشگاهی نیاز به بررسی‌های پایلوتی می‌باشد که تاکنون در کشور انجام نشده است. در خطوط جریانی و زیردریا و میادینی که تولید شن و ماسه دارند این مسئله اهمیت بسیار زیادی دارد.

۲- بسیاری از شرکت‌ها دستورالعمل فرآیندی برای انتخاب بازدارنده خوردگی ندارند این موضوع می‌تواند مدیریت خوردگی را در آینده با چالش روبرو کند.

۳- در برخی شرکت‌ها ارزیابی بازدارنده خوردگی توسط شرکت‌های تأمین‌کننده انجام می‌شود بهتر است جهت صحت سنجی در کنار این کار ارزیابی توسط مراکز علمی و پژوهشگاه‌های معتبر صورت گیرد.

۴- برخی شرکت‌ها از ابتدای احداث کارخانه فقط از یک نوع بازدارنده استفاده می‌کنند که پیشنهاد می‌شود گزینه‌های دیگری هم مورد بررسی قرار گیرند تا در صورت نیاز فنی یا اقتصادی جایگزین ماده مصرفی فعلی شود.

۵- در برخی شرکت‌ها دو یا سه ماه تا چند سال سیستم بدون تزریق بازدارنده کار می‌کند که این قضیه می‌تواند آثار جبران‌ناپذیری بر روی تجهیزات بگذارد بایستی با برنامه‌ریزی درست و تأمین به موقع مواد شیمیایی لازم مانع این کار شد.

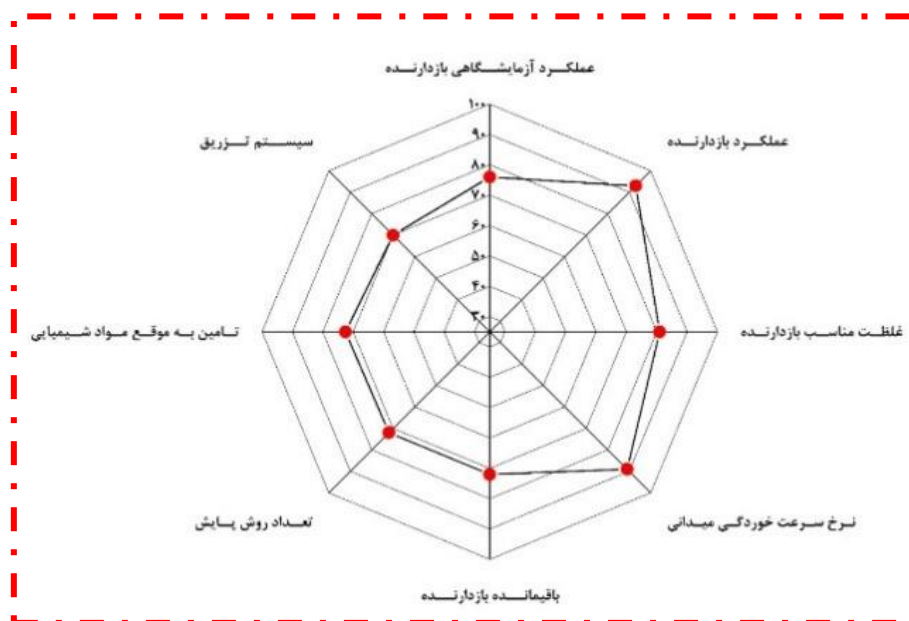
۶- استفاده از سیستم‌های تزریق نامناسب می‌تواند آثار تخریبی شدیدی روی تجهیزات بگذارد زیرا علاوه بر توزیع

نامناسب مواد بازدارنده باعث خوردگی شدید در نقاط تزریق می‌شود.

۷- کاربرد غلظت مناسبی از بازدارنده یکی از پارامترهای مهم است که می‌تواند عمر تجهیزات تا طول عمر موردنظر را تضمین نماید. از طرفی رفتار برخی بازدارنده‌ها در خارج از غلظت بهینه می‌تواند شرایط خوردگی را تشدید نماید. علاوه بر این برای کنترل دقیق غلظت بازدارنده بایستی مقدار باقیمانده آن در سیال مورد پایش قرار گیرد تا در صورت کاهش غلظت تزریق مناسبی صورت گیرد.

۸- با توجه به مزایا و معایب هر کدام از روش‌های پایش خوردگی پیشنهاد می‌شود حداقل از سه روش برای پایش خوردگی مناسب استفاده شود. ضمناً تعیین تنها نرخ خوردگی برای پایش کفایت نمی‌کند بایستی به آثار خوردگی نظیر خوردگی موضعی و رسوب گذاری هم توجه داشت.

۹- در برخی میادین مواد شیمیایی از شرکت‌های مختلف تأمین می‌شود. پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از یک شرکت این مواد تهیه شود، در غیراینصورت بررسی سازگاری مواد ضروری است.



شکل ۱- وضعیت کلی مصرف بازدارنده تمام میادین

نتیجه گیری

جهت حفاظت از تاسیسات نفتی، حفظ یک پارچگی سیستم و افزایش عمر آنها، مدیریت مواد شیمیایی مرتبط مخصوصاً بازدارنده‌های خوردگی اهمیت حیاتی دارد. با معرفی ۸ پارامتر کلیدی که در این مقاله ارائه شد می‌توان عملکرد مواد شیمیایی و سیستم‌های تزریق را مورد بررسی قرار داد و اشکالات مربوط به هر کدام را در طول بهره‌برداری مرتفع نمود. عدم توجه به هریک از این پارامترها خسارات جبران ناپذیری بر سیستم‌های فرایندی خواهد گذاشت. نتایج این کار تحقیقاتی نشان داد در میادین منتخب مهمترین مشکل تامین بموقع مواد شیمیایی و عملکرد نامناسب سیستم‌های تزریق است که بایستی رفع این دو مشکل در اولویت کاری شرکت ملی نفت ایران قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این کار تحقیقاتی با حمایت فنی و مالی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران انجام شده است. به این ترتیب نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت مذکور اعلام میدارند.

مراجع

[۱] "طرح پژوهشی تدوین نظام بومی مدیریت خوردگی و پیاده‌سازی آن در شرکت ملی گاز ایران" پژوهشگاه صنعت نفت-گروه پژوهشی خوردگی فلزات، ۱۳۹۶.

[2]. Ifezue, D., and F. H. Tobins. "**Root Cause Failure Analysis and Mitigation of Corrosion in Seawater Injection Piping.**" Journal of Failure Analysis and Prevention 16, no. 2, 2016

[3] Zhao, X., Chen, C., Yu, H., and Chen, Q. **Evaluation and mechanism of corrosion inhibition performance of new corrosion inhibitor.** In: Corrosion 2018, NACE-11029. Houston, United States: NACE International . 2018

[۴] جابر نشاطی، ناصر اسماعیلی، اصول و کاربرد بازدارنده‌ها و پایش در مهندسی خوردگی، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، صفحه ۹۴، ۱۳۹۸

[5]. Hedges, Bill, Dominic Paisley, and Richard C. Woollam. **The corrosion inhibitor availability model.** In CORROSION 2000. NACE International, 2000, 1-5.

[6]. Mackenzie, C. D., Rowley-Williams, S., Rowe, M., Wilson, C. L., Achour, M. H., Joosten, M. W., & Blumer, D. **A Novel and Rapid System to Analyze Brines for the Optimum Functional Dose of Corrosion Inhibitor.** In CORROSION 2011. NACE International, 1-3.

[7] Dong, X., Liu, H., Chen, Z., Wu, K., Lu, N., & Zhang, Q. **Enhanced oil recovery techniques for heavy oil and oilsands reservoirs after steam injection.** Applied energy, (2019), 239, 1190-1211.

[8] Zhou, X., & Jepson, W. P. "**Corrosion in three-phase oil/water/gas slug flow in horizontal pipes**" (No. CONF-940222-). NACE International, Houston, TX (United States), 1994

[9] Dariva, C. G., & Galio, A. F. **Corrosion inhibitors-principles, mechanisms and applications.** Developments in corrosion protection, 2014 16, 365-378.

[۱۰]. عادل خانی مهدی، "پیامد و هزینه های پدیده خوردگی"، مجله ترویج علم، سال چهارم، شماره پنجم پاییز و زمستان. ۱۳۹۲

[11] Saji, V. S., & Umoren, S. A. (Eds.). **Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry.** Germany, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2020, 66-72

[12] NACE SP0499 (latest revision). *Corrosion control and monitoring in seawater injection systems*. NACE Int., Houston, 2012, 3-8.

[13] Palmer, J. W., Hedges, W., & Dawson, J. L. (Eds.) *A Working Party Report on the Use of Corrosion Inhibitors in Oil and Gas Production*, 2004 (Vol. 840). Routledge

[14] *Guidelines for injection of corrosion inhibitor in oil and gas production systems* Energy institute, First Edition, London, 2018

[15] *Chemical Injection Facilities*, DEP 31.01.10.10.Gen, Shell, April 2013