



## مدیریت خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن در صنایع نفت و گاز

هادی ابراهیم فتح آبادی\* مدیریت برنامه ریزی تلفیقی شرکت ملی نفت ایران

چکیده

خوردگی یکی از معضلات اساسی صنایع مختلف و از جمله صنعت نفت و گاز است. هر ساله مبالغ هنگفتی (۵ درصد تولید ناخالص ملی) بابت خسارات ناشی از خوردگی هدر می‌رود. مدیریت اثربخش خوردگی می‌تواند به بهترین شیوه ممکن میزان خوردگی را به حداقل رسانده و این پدیده را کنترل کند. این مقاله تلاش می‌کند تا با ارائه یک مدل مدیریت خوردگی برای گاز سولفید هیدروژن، نمونه‌ای از چارچوب سیستماتیک مدیریت خوردگی را برای انواع مختلف مواد خورنده بیان نماید. تبیین خطی مشی‌ها و استراتژی‌ها، سازماندهی، برنامه‌ریزی و ارزیابی ریسک، اجرا و آنالیز، پایش و اندازه‌گیری عملکرد، بازنگری روش اجرایی و ممیزی، عناصر اصلی سیستم مدیریت خوردگی را تشکیل می‌دهند.

واژگان کلیدی: مدیریت، خوردگی، سولفید هیدروژن، نفت و گاز

### مقدمه

خوردگی در صنایع مختلف از جمله در صنایع نفت و گاز، هر ساله مبالغ سنگینی را جهت تعویض و یا تعمیر وسایل و ماشین‌آلات تحمیل می‌کند. سالانه ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها بر اثر خوردگی هدر می‌رود که از این ۵ درصد، حدود یک پنجم آن در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی رخ می‌دهد [۱].

یکی از انواع خوردگی در صنایع نفت و گاز، خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن است. بسیاری از تأسیسات نفت و گاز از جنس فولاد کربنی بوده و به خوردگی با گاز سولفید هیدروژن حساس هستند. سولفید هیدروژن باعث بروز انواع

خوردگی در این فولادها می‌شود [۲].

آمارها نشان می‌دهد که حدود ۷۴ درصد از کارافتادگی‌های تأسیسات نفت و گاز و پتروشیمی در اثر ترک خوردگی سولفیدی بوده است (شکل ۱- [۴]). بنابراین، مدیریت خوردگی ناشی از سولفید هیدروژن از اهمیت خاصی برخوردار است. سولفید هیدروژن ممکن است از همان ابتدای تولید در مخازن نفتی و گازی موجود باشد و یا با فعالیت‌های باکتریایی (باکتری‌های غیرهوازی) در حین بهره‌برداری تولید گردد. در بخش پایین دست نیز سولفید هیدروژن ممکن است در حین فرآورش و یا ذخیره تولید شود [۵].

جهت مدیریت خوردگی موفق، چارچوب اجرایی شکل ۲- باید پیاده‌سازی گردد. پیاده‌سازی مدیریت اثربخش خوردگی در صنایع نفت و گاز، نتایج زیر را دربر خواهد داشت:

- اهداف ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی را برآورده خواهد کرد.
- آسیب‌های ایمنی و زیست‌محیطی ناشی از نشتی‌ها و از کارافتادگی‌ها به حداقل می‌رسد.
- بازدهی تأسیسات را افزایش خواهد داد.
- کاهش هزینه‌های تولید و تعمیرات را به دنبال خواهد داشت.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (hadifathabadi@yahoo.com)

شرایط محیط کاری را بهبود می بخشد [۶ و ۵].

### ۱- مکانیزم های خوردگی سولفید هیدروژن

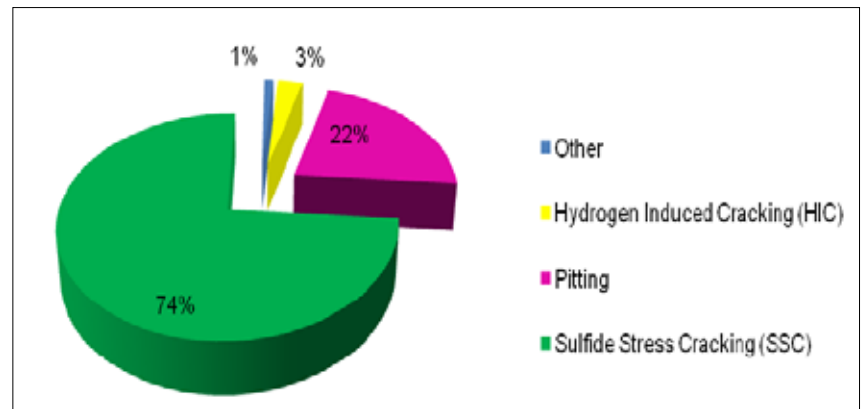
سولفید هیدروژن در محدوده دماها و فشارهای مورد استفاده در سیستم های بهره برداری نفت و گاز، گازی تقریباً پایدار است، اگرچه در حضور اکسیدکننده های قوی همچون  $O_2$  و  $Fe^{3+}$  می تواند به گوگرد عنصری تبدیل گردد که معمولاً این پدیده

در خطوط لوله گاز با فشار بالا و یا تأسیسات ذخیره اتفاق می افتد. سولفید هیدروژن در غلظت های بالاتر از ۸۰ درصد نیز در برخی از مخازن نفت و گاز دیده می شود [۳].

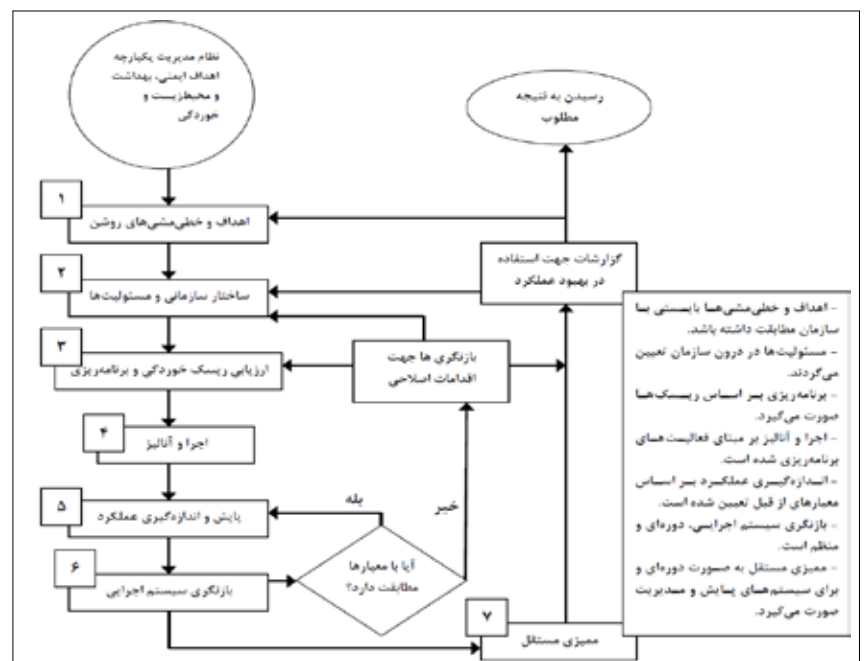
این گاز، اسیدی است و به آسانی در آب، در دماها و فشارهای تولیدی مختلف حل شده، محلول های الکترولیتی اسیدی که خوردگی بالایی را برای فلزات و آلیاژها به همراه دارند، تشکیل خواهد داد. خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن اساساً ماهیت

الکتروشیمیایی دارد [۲]. واکنش بین گاز سولفید هیدروژن و آهن باعث به وجود آمدن فیلم سیاه رنگ سولفید آهن می گردد. میزان فیلم تشکیل شده، نقش بسیار موثری در تعیین سرعت خوردگی دارد [۷-۱۰]. در pH بین ۳ تا ۵، این فیلم محافظ است و در pH کمتر از ۲، این لایه حل می گردد. افزایش غلظت  $H_2S$ ، در تشکیل فیلم موثر است. اگر  $H_2S$  به عنوان تنها عامل خوردنده در محیط در کنار آب قرار گیرد، فرآیند خوردگی می تواند در اشکال مختلفی همچون تاول های ریز هیدروژنی یا خوردگی حفره ای و یا ترک دار شدن ظاهر گردد. هنگامی که فولاد در تماس با آب حاوی  $H_2S$  قرار می گیرد، خورده شده و در سطح آن، هیدروژن تولید می شود. خوردگی فولاد در محیط ترش مطابق با واکنش های ذکر شده در شکل ۳ رخ می دهد.

سولفید هیدروژن از ترکیب اتم های هیدروژن و تشکیل هیدروژن مولکولی جلوگیری می کند و موجب جذب اتم های هیدروژن به درون فولاد می شود. در دماهای پایین ( $T < 200$  درجه سانتیگراد)، این اتم ها می توانند در عیوب موجود در ساختارهای فلزی تجمع یابند. تخریب های ناشی از هیدروژن مرطوب شامل تاول هیدروژنی و ترک های ناشی از  $H_2S$  است. در صورت وجود ناخالصی های سولفید منگنز، اتم هیدروژن می تواند در فولاد نفوذ کرده و با تجمع در پشت ناخالصی ها، تشکیل مولکول هیدروژن دهد. با ادامه تولید هیدروژن مولکولی، تاول هیدروژنی تولید می شود. تاول ها معمولاً موازی سطح و در یک سوم ضخامت دیواره و نزدیک سطح در معرض سیال فرایندی قرار دارند. تاول های هیدروژنی نزدیک سطح



شکل ۱ | سهم انواع مختلف خوردگی در ازکار افتادگی تأسیسات نفت، گاز و پتروشیمی



شکل ۲ | چارچوب اجرایی مدیریت خوردگی



## ۲- خطی مشی و استراتژی

خطی مشی های ایمنی، زیست محیطی و اقتصادی در انتخاب استراتژی های کاهش، پایش و بازرسی خوردگی تأثیرگذار است. استراتژی های کاهش خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن شامل موارد زیر است:

الف- استفاده از مواد مقاوم مانند فولادهای ماتریسی آستنیتی Cr-Ni یا آلیاژهای بالا تر (پرآلیاژ) <sup>۵</sup>، اگرچه موارد لازم برای تولید ترکیبات مورد نظر این آلیاژها جهت استفاده در محیط گاز ترش باید رعایت گردد. استفاده موثر از مواد مقاوم در برابر خوردگی به کنترل شرایط فرآیندی نیز وابسته است.

ب- استفاده از فولادهای آلیاژ پایین (کم آلیاژ) با محدوده مجاز خوردگی مشخص

ج- استفاده از فولادهای آلیاژ پایین به همراه استفاده از ممانعت کننده های خوردگی (CI) <sup>۶</sup>

د- استفاده از فولادهای دوفازی

ه- استفاده از مواد غیرفلزی

و- زدایش آب از گاز مثلاً با فرآیند خشک کردن گاز

ز- فرآیندهای شیرین سازی سیالات مانند فرآورش با آمین

استراتژی های پایش/بازرسی شامل موارد زیر است:

الف- پایش پارامترهای فرآیندی مانند دما، فشار و نقطه شبنم

ب- اندازه گیری خوردگی مانند اندازه گیری به وسیله کوپن ها و پروب های درون خطی

ج- اندازه گیری فلز از دست رفته، مانند انجام آزمایش های غیر مخرب (NDT) <sup>۷</sup> و

بازرسی خطوط لوله به صورت پیوسته (OLI) <sup>۸</sup>

استراتژی مناسب باید در مرحله طراحی

هنگامی که به یک عیب ساختاری و یا حفره می رسند، در آن قسمت تجمع یافته و تشکیل هیدروژن مولکولی می دهند. در این حالت، فشار، در نقطه تجمع بالا می رود. با افزایش فشار، تنش در این نقاط زیاد شده و ترک به وجود می آید که به این ترک ها، ترک های القایی هیدروژن (HIC) می گویند.

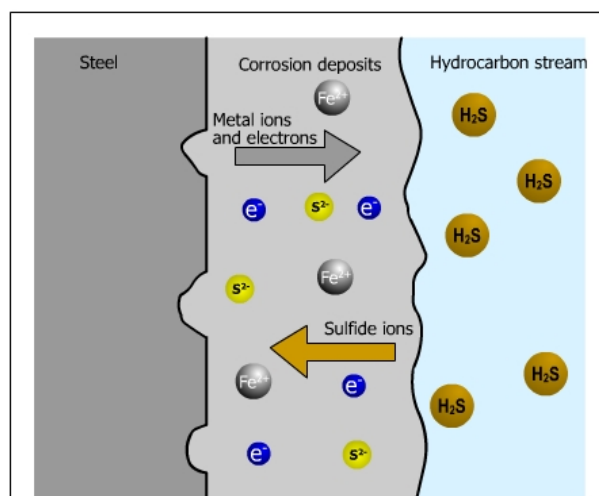
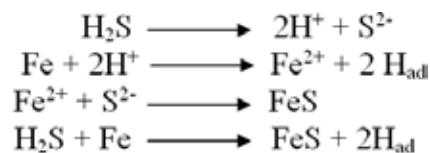
ترک های SOHIC ترکیبی از HIC و SSC هستند که به صورت ترک های کوچکی تقریباً عمود بر تنش (اعمالی یا باقیمانده) بوده و پلکانی شکل هستند. این ترک ها در فلز پایه نزدیک HAZ <sup>۴</sup> (منطقه متأثر از حرارت-قسمتی از فلز جوش است که در آن اگرچه فلز پایه ذوب نشده است اما ساختار و دانه بندی آن در اثر حرارت ناشی از جوشکاری تغییر یافته است) و یا در خود HAZ اتفاق می افتد.

در فولادهای با استحکام پایین معمولاً به صورت بادکردگی سطحی قابل مشاهده هستند (شکل-۴).

ترک های خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن در ۳ نوع، ترک های تنشی سولفیدی (SSC) <sup>۱</sup>، ترک های القایی هیدروژن (HIC) <sup>۲</sup> و ترکیب این دو نوع یعنی، ترک های تنشی القایی هیدروژن در جهت مشخص (SOHIC) <sup>۳</sup> رخ می دهد (شکل-۵).

ترک های تنشی سولفیدی (SSC)، در نتیجه ترکیب تنش های کششی (باقیمانده یا اعمالی) و خوردگی در حضور آب و H<sub>2</sub>S رخ می دهد. این نوع ترک ها به دلیل تردی فلز، که ناشی از نفوذ هیدروژن های اتمی تولید شده در طی فرآیند خوردگی است، به وجود می آید.

اتم های هیدروژن تولید شده در واکنش خوردگی که به داخل فلز نفوذ کرده اند،



Mechanism of sulfide stress corrosion cracking.

مشخص گردد، زیرا در بسیاری از موارد، اصلاح تأسیسات پس از استفاده از آن‌ها، بسیار گران و یا غیرممکن است.

### ۳- سازماندهی

افراد ذیربط در مقابله با پدیده خوردگی عبارتند از:

الف- کارشناسان مواد و خوردگی

ب- کارشناسان شیمی و تولیدکنندگان

مواد شیمیایی

ج- تیم‌های عملیاتی تأسیسات

د- پیمانکاران انجام آزمایش‌های

غیرمخرب و مهندسين بازرسی فنی

ه- مهندسين خطوط لوله و پیمانکاران

بازرسی پیوسته خطوط لوله

و- کارشناسان محیط زیست و ایمنی

گروه‌های "الف" و "ب"، ارزیابی،

برنامه‌ریزی و آنالیز داده‌ها و گروه "ج"،

اجرای اقدامات کاهش‌ی را به‌عهده خواهند

داشت. گروه "د" و "ه"، میزان فلز از دست

رفته را اندازه‌گیری می‌کنند و گروه "و" در

کلیه مراحل، مسائل ایمنی و زیست‌محیطی

را کنترل خواهند کرد.

فعالیت‌های ارتباطی در حفظ و افزایش

کارایی و ایمنی فرایند، بسیار موثر است و

می‌تواند اثرات تغییرات انجام شده بر میزان

خوردگی و بهبود شرایط عملیاتی را نشان دهد.

سازمان‌ها باید هرگونه خطرات ناشی از

غلظت‌های مختلف  $H_2S$  که در زمان‌های

مختلف ممکن است بر فرآیند تولید اثر

گذار باشد را گزارش کنند. آگاهی و

به‌کاربردن کدها و استانداردهای مرتبط با

$H_2S$  مانند:

TEXAS RULE 36, ANCI/NACE R0175,

IOS 15156-1, EFC PN 17 و API

اغلب موارد اجباری است.

### ۴- برنامه‌ریزی و ارزیابی ریسک ناشی از

#### خوردگی

یک ارزیابی ریسک (CRA) باید

تمامی شواهد خوردگی ناشی از  $H_2S$  و

تهدیدات ناشی از آن را در خوردگی و

پدیده ترک‌دار شدن در نظر بگیرد. بیشتر

ارزیابی‌های خوردگی ناشی از  $H_2S$ ، بر

روی مکانیزم ترک‌دار شدن سولفیدی

در دمای پایین تمرکز داشته و تاکنون

هیچ صنعتی، مدلی برای ارزیابی میزان

خوردگی عمومی و حفره‌ای ناشی از  $H_2S$

در فولادهای C-Mn ارائه نکرده است.

همچنین، اثر  $H_2S$  در ترک‌دار شدن در

دمای بالا باید در نظر گرفته شود. علاوه بر

آن، باید دانست که  $H_2S$  معمولاً به‌تنهایی

اثرات خوردگی شدیدی نخواهد داشت،

اما در کنار عواملی چون آب همراه و

دیگر خوردنده‌ها مانند باکتری‌ها و  $CO_2$ ، این

اثرات شدت می‌یابد.

سولفید آهن در اشکال مشخصی می‌تواند

رسانای الکتریکی باشد و استیو کیومتری

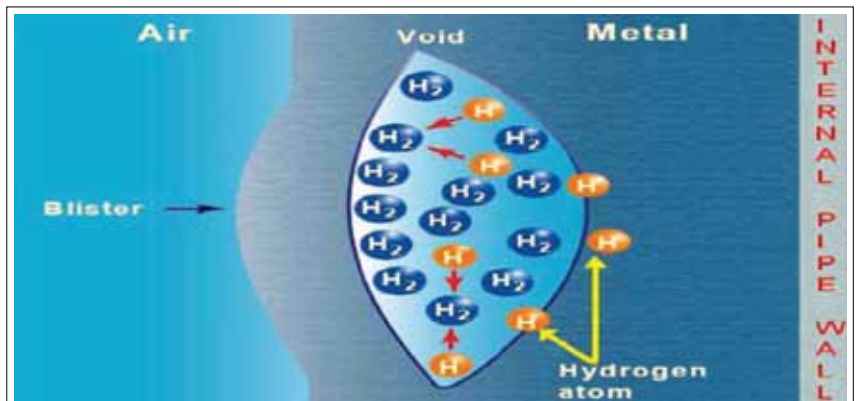
محیط (ارتباط کمی مواد در محیط) را

برهم زند. شواهد نشان داده است، سولفید

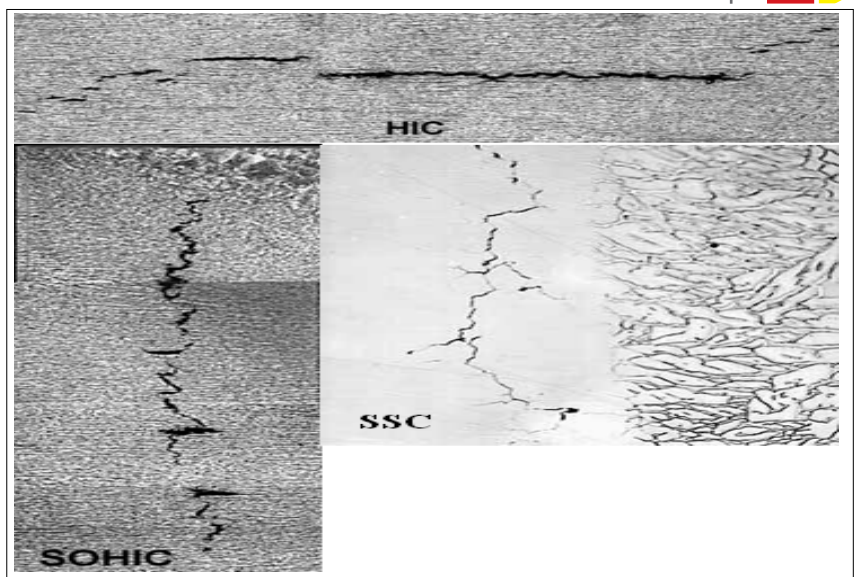
آهن که حاصل پدیده خوردگی است، در

مسواری به‌عنوان محافظ فولاد عمل می‌کند.

گزارش‌هایی در رابطه با فولادهای آلیاژ



شکل ۴ | شماتیک ایجاد تاول‌های هیدروژنی



شکل ۵ | انواع ترک‌های ناشی از خوردگی گاز سولفید هیدروژن

پایین که در محیط‌های با غلظت  $H_2S$  بالا توسط رسوبات سولفید آهن (یا رسوبات ترکیبی آن) محافظت شده، وجود دارد [۷-۹]. غلظت‌های پایین  $H_2S$  در حضور  $CO_2$  باعث کاهش میزان خوردگی خواهد شد که به علت محصولات خاص خوردگی به خصوص  $FeS$  و  $FeS_2$  است.

اندازه‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌های ناشی از خوردگی  $H_2S$  ممکن است نتایج متفاوتی را دربرداشته باشد. برای مثال اظهار نظر برای اطمینان جهت تشکیل نشدن زنگ‌های سولفید آهن (یا ترکیبات آن) جهت حفاظت از خواص فلزات حساس، تنها با اطلاع دقیق از شرایط عملیاتی در طولانی مدت امکان پذیر است.

تنها زمانی می‌توان نسبت به محافظت از فلزات در مقابل خوردگی ناشی از رسوبات اطمینان نمود که مشخص شود این رسوبات پایدار بوده و در شرایط عملیاتی متفاوت، از بین نمی‌روند، در غیر این صورت، خوردگی‌های موضعی شدید اتفاق خواهد افتاد.

در برنامه استراتژیک مدیریت خوردگی، تهدید ناشی از خوردگی  $H_2S$  معمولاً این عنوان را شامل می‌شود:

الف- روش‌های کاهش یا حذف خوردگی

ب- اهداف اجرایی

ج- روش‌های پایش منظم

د- واکنش‌های سریع پیشگیرانه یا اصلاحی

ه- مسئولیت‌های سازمانی برای کاهش، پایش و واکنش‌های سریع

برنامه استراتژیک مدیریت خوردگی ممکن است بخشی از برنامه مدیریت یکپارچه باشد.

فعالیت‌های برنامه‌ریزی تاکتیکی، نتایج زیر را دربر خواهد داشت:

الف- تدوین دستورالعمل‌های عملیاتی مانند محدودیت پارامترهای فرآیندی و میزان

تزریق بازدارنده‌های خوردگی

ب- تأمین تجهیزات و جمع‌آوری اطلاعات از طریق مستندات و تاریخچه داده‌ها  
ج- مشخص شدن عناصر اصلی بازرسی بر مبنای ریسک

د- فعالیت‌های منظم برنامه‌ریزی شده جهت نگهداری، مانند فعالیت‌های بازرسی، خدمات پایش خوردگی، نمونه‌گیری و آنالیز شیمیایی

ه- مشخص شدن بسته‌های کاری بازرسی و پایش خوردگی، مشخص شدن مسئولیت‌ها، هماهنگی‌ها، روش‌ها، محدوده کار و نیازهای گزارش دهی برنامه‌های تاکتیکی ممکن است با دیگر فعالیت‌های مقابله با خوردگی همپوشانی داشته باشد.

## ۵- اجرا و آنالیز

اجرا باید براساس برنامه‌ریزی باشد. بازرسی چشمی درون خطوط لوله در مشخص کردن الگوهای خوردگی ناشی از  $H_2S$  موثر خواهد بود.

داده‌های مربوط به خوردگی  $H_2S$ ، از طریق روش‌های مختلف جمع‌آوری می‌شود:

الف- پارامترهای فرآیندی، داده‌های پایش خوردگی و برخی اوقات داده‌های تزریق مواد ضد خوردگی، به صورت همزمان با عملیات جمع‌آوری می‌شود. آنالیزهای شیمیایی و نتایج حاصل از بررسی کوپن‌های خوردگی نیز در گزارش‌ها ثبت می‌شود.

ب- داده‌های حاصل از بازرسی، معمولاً در گزارش‌هایی منظم، جمع‌آوری شده و داده‌های مربوط به ضخامت دیواره‌ها که با آزمایش‌های غیرمخرب اندازه‌گیری شده نیز، قابل دسترسی است.

داده‌های مربوط به مدیریت خوردگی  $H_2S$  در دو مرحله آنالیز می‌شود:

الف- مقایسه اولیه عملکرد با برنامه

برای مشخص کردن نیاز به اقدام فوری اصلاحی (برای مثال از سرگیری تزریق مواد ضد خوردگی یا تغییر سرعت تزریق و یا تغییر برخی از شرایط عملیاتی در صورت امکان)  
ب- آنالیز کلیه داده‌ها که معمولاً توسط مهندسان خوردگی و برای اطمینان از رسیدن به اهداف برنامه استراتژیک و ارزیابی ریسک خوردگی و در صورت نیاز اصلاح برنامه‌های تاکتیکی، انجام می‌شود.

برخی اوقات، داده‌ها می‌تواند بر مبنای زمان ترسیم گردد تا اثرات اقدامات اصلاحی در کاهش میزان خوردگی، محسوس تر باشد. آنالیزهای آماری نیز می‌تواند دقت داده‌های آزمایش‌های غیرمخرب را بهبود بخشد.

## ۶- پایش و اندازه‌گیری عملکرد

اقدامات زیر می‌تواند به عنوان شاخص‌های پیش‌گیرانه مورد توجه قرار گیرد:

الف- مقادیر تزریق مواد ضد خوردگی و مقایسه آن با برنامه

ب- اندازه‌گیری‌های پیوسته پارامترهای فرآیندی (مانند اندازه‌گیری میزان آب در فرآیند)

ج- فعالیت‌های بازرسی و مقایسه آن با برنامه

اقدامات زیر به عنوان شاخص‌های اصلاحی مورد توجه است:

الف- توالی نشستی‌های خوردگی حاصل از  $H_2S$

ب- کاهش ضخامت دیواره به کمتر از میزان مجاز

ج- نتایج پایش خوردگی بر مبنای اقدامات انجام گرفته با توجه به مقادیر مجاز

## ۷- بازنگری روش اجرایی

در بازنگری روش عملکرد، باید به



صنایع نفت و گاز تحمیل می‌کند و این موضوع اهمیت مدیریت خوردگی را افزایش داده است. از آنجایی که خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن، آمار بالایی از، از کارافتادگی تأسیسات نفت و گاز را به خود اختصاص داده، اهمیت مدیریت آن را دوچندان کرده است. چارچوب مدیریتی ارائه شده در این مقاله می‌تواند در رابطه با خوردگی دیگر مواد خورنده در محیط‌های مختلف از جمله: خوردگی ناشی از CO<sub>2</sub>، خوردگی ناشی از O<sub>2</sub>، خوردگی میکروبی و... به کار گرفته شود و یا می‌توان با نگاهی جامع‌تر، کلیه عوامل خورنده در محیط را شناسایی کرده و با مشخص نمودن خطی‌مشی‌ها و استراتژی‌های موثر، براساس چارچوب مدیریتی ارائه شده، مدیریت جامع خوردگی اثربخشی را اجرا نمود. ■

مستقل جهت بررسی و مقایسه نیازهای سیستم مدیریت خوردگی و اقداماتی که در رابطه با آن صورت گرفته است، با اهداف برنامه‌ریزی شده صورت می‌گیرد. در این ممیزی، کلیه اقدامات اصلاحی جهت مدیریت انواع خوردگی‌های حاصل از H<sub>2</sub>S باید مورد ممیزی قرار گیرد.

ممیزی‌ها بر اساس برنامه‌ریزی و با استفاده از چک‌لیست‌های تدوین شده انجام می‌گیرد و کلیه اقدامات سازمانی و پیمانکاری، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. گزارش‌های ممیزی باید جهت اقدامات اصلاحی در اختیار تیم مدیریت خوردگی قرار گیرد.

#### نتیجه‌گیری

هر ساله پدیده خوردگی هزینه‌های زیادی را به صنایع مختلف از جمله به

موارد زیر توجه نمود:  
الف- بازنگری سالیانه (یا در صورت امکان، فصلی) نتایج حاصل از اقدامات اصلاحی، پایش و بازرسی؛ اگر نتایج طبق برنامه مورد نظر نبوده است، اقدامات اصلاحی مجدد باید در نظر گرفته شود.

ب- بازنگری روش‌های اجرایی، به‌خصوص ارزیابی شاخص‌های پیشگیرانه و شاخص‌های اصلاحی؛ اگر نتایج قابل قبول نیستند، اقدامات اصلاحی در استراتژی، سازمان‌دهی و برنامه‌ریزی باید صورت پذیرد.

ج- آنالیز دقیق علل از کارافتادگی‌های ناشی از خوردگی H<sub>2</sub>S یا مدیریت حوادث با ارائه پیشنهادها و اقدامات اصلاحی مناسب

#### ۸- ممیزی

به‌طور کلی، ممیزی توسط سازمان‌هایی

#### پانویس‌ها

- 1 Sulfide Stress Cracking (SSC)
- 2 Hydrogen Induced Cracking (HIC)
- 3 Stress Orientated Hydrogen Induced Cracking (SOHIC)
- 4 Heat Affected Zone (HAZ)

۵ فولادهایی که جمع درصد وزنی عناصر آلیاژی موجود در آن (به‌غیر از کربن) بیشتر از ۴ درصد (بر اساس نظریات اسمیت و هاشمی) یا بیشتر از ۸ درصد (بر اساس نظر

دگار مو) باشد، فولادهای پر آلیاژ یا فولادهای آلیاژ بالا نامیده می‌شوند و اگر جمع درصد وزنی عناصر آلیاژی موجود، کمتر از این مقادیر باشد، فولاد کم آلیاژ یا آلیاژ پایین نامیده می‌شود.

- 6 Corrosion Inhibitors (CI)
- 7 Non-Destructive Testing (NDT)
- 8 On-line Inspection (OLI)
- 9 Corrosion Risk Assessment (CRA)

#### منابع

- shore oil and gas processing, 2001
- [7] Wei Sun, Srdjan Nestic, A mechanistic model of H<sub>2</sub>S corrosion of mild steel, NACE, 2007
  - [8] J. Szyprowski, "Methods of Investigation on Hydrogen Sulfide Corrosion of Steel and Its Inhibitors", Corrosion (NACE), 59(1)(2003), pp. 68-81.
  - [9] Sun W and Nestic S, A Mechanistic Model of H<sub>2</sub>S Corrosion of Mild Steel. NACE Corrosion, 2007 (Paper No.07655).
  - [10] NACE MR0175/ISO 15156-1: Petroleum and natural gas industries – materials for use in H<sub>2</sub>S - containing environments in Oil and Gas Production – Part 1: General principle for selection of cracking resistant materials, International Standards Organization.
  - [۱] صمیمی ا، بررسی اثرات مخرب خوردگی در مخازن و خطوط انتقال نفت و گاز، ۱۳۸۸
  - [۲] نشاطی ج، ترک‌های ناشی از سولفید هیدروژن مرطوب، خبرنامه انجمن خوردگی ایران، شماره ۱۲، مهر ۱۳۹۰
  - [۳] ربانی ا، سولفید هیدروژن و مخازن نفت و گاز ترش، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۹
  - [4] Petr JONSTA, Jaroslav SOJKA, Karel MATOCHA, Katerina KONECNA, Zdenek JONSTA, Evaluation of duplex steel resistance to sulphide stress cracking using tensile test and four-point bending test, 23. - 25. 5. 2012, Brno, Czech Republic, EU
  - [5] Guidance for corrosion management in oil and gas production and processing, 2008, Energy Institute, London
  - [6] Capcis Limited, Review of corrosion management for off-