Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Materials selection and corrosion control for oil and gas production systems

صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- انتخاب مواد و کنترل خوردگی برای سامانه های تولید نفت و گاز

ویرایش اول

بهمن ۱۴۰۱

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ با شماره (INSO 23209) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردها و ضوابط فنی
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات محیط زیستی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت محیط زیستی، آزمونگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌رده سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و درصورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- انتخاب مواد و کنترل خوردگی برای سامانه‌های تولید نفت و گاز»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
معصومی، محسن (دکتری مهندسی پلیمر)	کمیته فنی متناظر INSO/TC 138
دبیر:	
سنگ‌سفیدی، لاله (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آریانسب، فضه (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد
پاشا، امیر (دکتری مهندسی و علم مواد)	پژوهشگاه صنعت نفت
جلالوندی، امیر (کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک)	شرکت پتروشیمی کرمانشاه
جلایی، علی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد)	شرکت نفت و گاز پارس
حسینی، سیدروح الله (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسین مشاور سازه
حقیری، علی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد فلزی)	شرکت پتروشیمی خلیج فارس- تندگویان

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
خالقی مقدم، ماهرو (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
خسروشاهی، محمدرضا (کارشناسی مهندسی پلیمر- صنایع پلیمر)	شرکت بهشت کویر آریانا
دادجو، صادق (کارشناسی مهندسی مکانیک- طراحی جامدات)	شرکت صنایع پتروشیمی کرمانشاه
رستگار زارع، محمدحسن (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران
زارعیان، شایان (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- جوشکاری)	شرکت پالایش نفت کاوان
زبردست، مهرشاد (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- جوشکاری)	شرکت نفت فلات قاره ایران
زمانی، رحیم (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پتروشیمی)	شرکت پالایش نفت اصفهان
سیدریحانی، سید مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی)	شرکت پالایش نفت تبریز
صالحی، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)	شرکت مهندسین مشاور ناموران
صداقت، علی (دکتری مهندسی مواد- سرامیک)	پژوهشگاه مواد و انرژی
عموری، موسی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- صنایع رنگ)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
عیسی پور کوشالی، سهیل (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی فلزات)	شرکت نفت و گاز پارس

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
غفوری یزدی، سید حسین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب
غلامی، آذر (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد فلزی)	شرکت ملی پخش فراورده های نفتی ایران
فائزی علی‌وند، رضا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسی و توسعه نفت
فولادی، محمد (کارشناسی ارشد انتخاب و شناسایی مواد)	شرکت نارگان
قربانی، رضا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی
کوشکی، عظیم (کارشناسی ارشد مهندسی بازرسی فنی)	معاونت مهندسی وزارت نفت- اداره کل فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح ها
متشکر، ابوالفضل (دکتری مهندسی مواد)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
مطلوب، خشایار (کارشناسی مهندسی مواد- شکل‌دهی فلزات)	شرکت مشاوره مهندسی کاوشیار پژوهان
معینیان، محمدصادق (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی)	شرکت پالایش نفت تهران
مهدی‌فر، مجید (کارشناسی مهندسی شیمی- پالایش)	شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران
ناصحی اسکویی، محمدرضا (کارشناسی مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی)	شرکت مهندسی و توسعه نفت
همتی کیا، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- انتخاب و شناسایی مواد)	شرکت مهندسی پتروگاز جهان

ویراستار:

ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	ط
مقدمه	ی
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف و کوته‌نوشت‌ها	۲
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف	۲
۳-۲ کوته‌نوشت‌ها	۸
۴ اطلاعات طراحی برای انتخاب مواد	۹
۵ گزارش انتخاب مواد	۱۰
۶ راهنماهای عمومی برای ارزیابی‌های خوردگی و انتخاب مواد	۱۱
۶-۱ کلیات	۱۱
۶-۲ خوردگی داخلی در تولید و فراورش نفت و گاز	۱۲
۶-۳ خوردگی داخلی در سامانه‌های تزریق	۱۹
۶-۴ خوردگی داخلی در سامانه‌های سرویس جانبی	۲۰
۶-۵ سایش فرسایشی ماسه‌ای	۲۰
۶-۶ خوردگی بیرونی	۲۱
۶-۷ مواد پلیمری	۲۳
۶-۸ پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه	۲۴
۶-۹ خواص مکانیکی و محدودیت‌های استفاده از مواد	۲۴
۷ انتخاب مواد برای کاربردها و سامانه‌های خاص	۲۶
۷-۱ کلیات	۲۶
۷-۲ سامانه‌های تولید و فراورش نفت و گاز	۲۶
۷-۳ سامانه‌های تزریق	۲۹
۷-۴ سامانه‌های سرویس جانبی	۳۱
۷-۵ خطوط لوله و خطوط جریانی	۳۶
۷-۶ سایر سامانه‌ها	۳۷

عنوان **صفحه**

۸ کنترل خوردگی ۳۹
۸-۱ عملیات شیمیایی ۳۹
۸-۲ حد مجاز خوردگی داخلی ۴۰
۸-۳ انتخاب پوشش‌های داخلی و بیرونی ۴۲
۸-۴ حفاظت بیرونی ناحیه پاشش ۴۲
۸-۵ حفاظت کاتدی ۴۳
۸-۶ حفاظت خوردگی فضاهای بسته ۴۴
۸-۷ اتصال مواد نامشابه ۴۴
۸-۸ مواد درزگیری ۴۶
۸-۹ بست‌ها ۴۶
۸-۱۰ روکش جوشی ۴۷
۸-۱۱ خوردگی ترجیحی جوش ۴۸
۸-۱۲ مدیریت خوردگی ۴۸
۸-۱۳ ملاحظات سرعت سیال برای کنترل خوردگی ۴۸
۹ صلاحیت‌سنجی مواد و تولیدکنندگان/سازندگان ۴۹
۹-۱ صلاحیت‌سنجی مواد ۴۹
۹-۲ صلاحیت‌سنجی تولیدکننده ۵۰
۹-۳ برنامه‌های آشنایی برای پیمانکاران ساخت ۵۰
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) مبنای طراحی برای سامانه‌های هیدروکربنی ۵۲
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) پایش خوردگی ۵۴
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای میادین نفتی ۵۶
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) برخی از متداول‌ترین استانداردهای پوشش بیرونی خطوط لوله فولادی ۵۸
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) تغییرات اِعمال‌شده در این استاندارد بر اساس الزامات فنی ارائه‌شده در استانداردهای IPS ۵۹
کتاب‌نامه ۶۱

پیش‌گفتار

استاندارد «صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- انتخاب مواد و کنترل خوردگی برای سامانه‌های تولید نفت و گاز» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست و شصت و دومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد تجهیزات و فرآورده‌های نفتی مورخ ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به شرح زیر است:

1- ISO 21457: 2010, Petroleum, petrochemical and natural gas industries- Materials selection and corrosion control for oil and gas production systems

2- IPS-C-TP-742: 1997, Corrosion consideration during fabrication and installation

3- IPS-E-TP-740: 2006, Engineering standard for corrosion consideration in material selection

4- IPS-M-TP-800: 2020, Petroleum, petrochemical and natural gas industries- Materials selection and corrosion control for oil and gas production systems

مقدمه

تهیه راهنماهای کاربردی و معتبر برای انتخاب مواد، ابزاری را برای تامین عملکرد بلندمدت مواد فراهم می‌کند؛ طوری‌که حداقل الزامات گستره وسیعی از کاربران نهایی در صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی برآورده شود. علاوه بر این، با استفاده از این راهنماها، سازندگان/تامین‌کنندگان محصول قادر به توسعه، تولید و تامین تجهیز پیش‌ساخته[1] طبق این الزامات نیز هستند.

ارزیابی ساختاریافته مواد مورد استفاده برای سیالات مختلف، در پروژه‌های تولید نفت و گاز به‌کار برده می‌شود. بنابراین، هدف اصلی این استاندارد، ارائه الزامات عمومی همراه با راهنماها به‌منظور انتخاب مواد برای سامانه‌ها و اجزا با توجه به سیالات منتقل‌شده و محیط بیرونی است.

مسئولیت تهیه مدارک پروژه با توجه به اجرای الزامات و راهنماهای این استاندارد و تعیین شرایط طراحی برای انتخاب مواد، به عهده کاربر نهایی است. علاوه بر کاربر نهایی، سازمان مسئول تأسیسات یا طراحی تجهیزات یا هر دو، نیز به‌عنوان مسئول انتخاب مواد در نظر گرفته می‌شود.

هدف از تدوین این استاندارد، تامین فرایندی ساختاریافته برای سازمان‌های مسئول به‌منظور انتخاب مواد به‌شیوه‌ای منسجم[2] به‌عنوان بخشی از کار مهندسی و براساس مبنای طراحی تاسیساتی خاص است. مخاطب اصلی این استاندارد، شرکت‌های نفتی و پیمانکاران مهندسی هستند.

برای کاربردهای خاص، ممکن است الزاماتی بیشتر یا متفاوت نسبت به الزامات این استاندارد مورد نیاز باشد. این استاندارد سازندگان/تامین‌کنندگان را از ارائه یا کاربر نهایی را از پذیرش تجهیزات یا راه حل‌های مهندسی جایگزین برای کاربردهای خاص منع نمی‌کند. این موضوع به‌ویژه در مورد فناوری‌های نوآورانه یا در حال توسعه صدق می‌کند. همچنین کاربر نهایی می‌تواند بسته به شرایط سرویس پروژه، علاوه بر مراجع و استانداردهای ارجاع‌شده در این استاندارد، از سایر استانداردهای مرتبط استفاده کند. در مواردی‌که جایگزین ارائه می‌شود، توصیه می‌شود که سازنده/تامین‌کننده هرگونه تغییر نسبت به این استاندارد را شناسایی کرده و جزئیات آن را ارائه دهد.

1- Off-the-shelf
2- Consistent manner

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- انتخاب مواد و کنترل خوردگی برای سامانه‌های تولید نفت و گاز

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین مکانیسم‌های خوردگی و پارامترهای ارزیابی انتخاب مواد برای خطوط لوله، لوله‌کشی و تجهیزات مربوط به انتقال و فراورش تولید هیدروکربن‌ها، شامل سامانه‌های سرویس جانبی[۱] و تزریق است. این موارد، از تجهیزات سر چاهی[۲] تا خطوط لوله برای محصولات پایدارشده[۳] را در بر می‌گیرد. این استاندارد برای اجزای درون‌چاهی[۴] کاربرد ندارد.

در این استاندارد برای موارد زیر نیز راهنمایی ارائه می‌شود:

— ارزیابی‌های خوردگی؛

— انتخاب مواد برای کاربردهای خاص، یا سامانه‌ها، یا هر دو؛

— محدودیت‌های عملکرد برای مواد خاص؛

— کنترل خوردگی.

این استاندارد به موادی ارجاع می‌دهد که عموماً در دسترس بوده و دارای خواص مشخص و مستند هستند. هم‌چنین، این استاندارد ارزیابی و صلاحیت‌سنجی سایر مواد را به‌منظور استفاده مجاز می‌داند.

یادآوری ۱- برای اطلاعات تکمیلی درخصوص مشخصات مواد سامانه‌های لوله‌کشی و خطوط لوله، به استاندارد ملی ۲۲۹۷۴[25] مراجعه شود.

این استاندارد، الزامات تفصیلی مواد یا راهنماهای تولید و آزمون تجهیزات را ارائه نمی‌دهد. این نوع اطلاعات را می‌توان در استانداردهای خاص محصول و تولید یافت.

یادآوری ۲- برای اطلاعات تکمیلی در خصوص مکانیسم‌های خوردگی، روش‌های کنترل خوردگی و راهنمایی‌های انتخاب مواد در صنایع پایین‌دستی مانند پالایشگاه ها، به API RP 571 [26] مراجعه شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

1- Utility
2- Well head
3- Stabilized
4- Downhole

درصورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 15156-1 [1], Petroleum and natural gas industries- Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production- Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۲۲۶: سال ۱۳۹۸، صنایع نفت و گاز طبیعی- مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن (H_2S) در تولید نفت و گاز- قسمت ۱: اصول کلی انتخاب مواد مقاوم به ترک‌خوردگی، با استفاده از استاندارد ISO 15156-1:2015 تدوین شده است.

2-2 ISO 15156-2 [1], Petroleum and natural gas industries- Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production- Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۹۲۲۶: سال ۱۳۹۸، صنایع نفت و گاز طبیعی- مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن (H_2S) در تولید نفت و گاز- قسمت ۲: فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ مقاوم به ترک‌خوردگی و چدن‌ها، با استفاده از استاندارد ISO 15156-2:2015 تدوین شده است.

2-3 ISO 15156-3 [1], Petroleum and natural gas industries- Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production- Part 3: Cracking-resistant CRAs (corrosion-resistant alloys) and other alloys

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۹۲۲۶: سال ۱۳۹۸، صنایع نفت و گاز طبیعی- مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن (H_2S) در تولید نفت و گاز- قسمت ۳: CRA ها (آلیاژهای مقاوم به خوردگی) و سایر آلیاژهای مقاوم به ترک‌خوردگی، با استفاده از استاندارد ISO 15156-3:2015 تدوین شده است.

2-4 ISO 14692 (all parts), Petroleum and natural gas - Glass-reinforced plastics (GRP) piping

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۲۲۸۲۹، صنایع نفت و گاز طبیعی- خطوط لوله و سامانه‌های لوله‌کشی پلاستیکی تقویت‌شده با الیاف شیشه (GRP)، با استفاده از برخی قسمت‌های استاندارد ISO 14692 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف و کوته‌نوشت‌ها

۳-۱ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات با تعاریف زیر به‌کار می‌رود[۱].

۱- مجموعه استاندارد ISO 15156 به‌وسیله NACE با عنوان NACE MR0175/ISO 15156 به‌صورت معادل پذیرفته شده است.

۳-۱-۱

آب سفره زیرزمینی

aquifer water

آب حاصل از یک لایه زیرزمینی از سنگ نفوذپذیر یا مصالح مستحکم‌نشده[۲] آب‌دار است.

۳-۱-۲

فولاد کربنی

carbon steel

آلیاژ کربن و آهن حاوی تا ٪ ۲ جرمی کربن و تا ٪ ۱٫۶۵جرمی منگنز و مقادیر باقیمانده از سایر عناصر، به غیر از عناصری که در مقادیری خاص به‌منظور اکسیدزدایی (معمولاً سیلیکون و/یا آلومینیم) عمداً اضافه شده است.

یادآوری- فولادهای کربنی مورد استفاده در صنعت نفت معمولا حاوی کمتر از ٪ ۰٫۸ جرمی کربن هستند.

[منبع: اصطلاح وتعریف 3.3 استاندارد ISO 15156-1:2009]

۳-۱-۳

آلیاژ مقاوم به خوردگی

corrosion-resistant alloy

آلیاژ مقاوم به خوردگی عمومی و موضعی ناشی از محیط‌های نفتی که برای فولادهای کربنی خورنده هستند.

۳-۱-۴

کاربر نهایی

end user

مالک یا سازمان مسئول بهره‌برداری از تجهیز/تأسیسات است.

۳-۱-۵

فولاد خوش‌تراش

free-machining steel

فولادی که برای بهبود قابلیت ماشین‌کاری، عناصری مانند گوگرد، سلنیم یا سرب، آگاهانه به ترکیب آن اضافه شده‌اند.

۳-۱-۶

فوگاسیته

fugacity

۲- اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای ISO و IEC در وب‌گاه‌های http://www. iso.org/obp و http://www.electropedia.org/ قابل دسترس است.

1- Unconsolidated materials

فشار جزئی غیر ایده‌آل که یک جزء هنگام تعادل با مخلوط مایع، در فاز بخار دارد.

یادآوری- ضریب فوگاسیته به دما و فشار کل بستگی دارد.

۳-۱-۷

پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه

glass fibre reinforced plastic

مواد کامپوزیت ساخته‌شده از رزین ترموست که با الیاف شیشه تقویت شده است.

۳-۱-۸

ترک‌خوردن هیدروژنی
HIC

hydrogen-induced cracking

نوعی ترک‌خوردن صفحه‌ای در فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ است و هنگامی رخ می‌دهد که هیدروژن‌های اتمی به درون فولاد نفوذ کرده و سپس در محل تله‌ها[1] به هم می‌پیوندند؛ تا هیدروژن مولکولی ایجاد شود.

یادآوری- این نوع ترک‌خوردن، ناشی از تحت فشار قرارگرفتن محل‌های تله توسط هیدروژن است. برای ایجاد ترک‌های هیدروژنی، هیچ تنش خارجی مورد نیاز نیست. محل‌های تله با قابلیت ایجاد HIC معمولاً در فولادهایی با ناخالصی زیاد یافت می‌شوند که دارای چگالی بالایی از آخال‌های صفحه‌ای و/یا نواحی غیر عادیِ ریز ساختار[2] (برای مثال نواری‌شدن[3]) ناشی از جدایش ناخالصی و عناصر آلیاژی در فولاد باشند. این شکل از ترک‌خوردن، مربوط به جوشکاری نیست.

[منبع: اصطلاح و تعریف 3.12 استاندارد ISO 15156-1:2009]

۳-۱-۹

ترک‌خوردن تنشی هیدروژنی
HSC

hydrogen stress cracking

این نوع ترک‌خوردن ناشی از وجود هیدروژن در فلز و تنش کششی (پسماند و/یا اعمالی) است.

یادآوری- HSC همچنین می‌تواند ترک‌خوردن فلزاتی را توصیف کند که به SSC حساس نیستند؛ اما اگر به‌عنوان کاتد با فلز دیگری که به‌عنوان آند به‌طور فعال در حال خوردگی است، از نظر گالوانیکی زوج شوند، می‌توانند به‌وسیله هیدروژن تُرد شوند. اصطلاح «HSC گالوانیکی» برای این مکانیسم ترک‌خوردن استفاده می‌شود.

[منبع: اصطلاح وتعریف 3.13 استاندارد ISO 15156-1:2009]

۳-۱-۱۰

تُردی فلز مایع

liquid metal embrittlement

1- Trap sites
2- Anomalous microstructure
3- Banding

شکلی از ترک‌خوردن که ناشی از تماس برخی از فلزات مایع با آلیاژهای خاص است.

۳-۱-۱۱

فولاد کم‌آلیاژ

low alloy steel

فولادهایی که مقدار کل عناصر آلیاژی آن‌ها کمتر از ٪ ۵ جرمی، اما بیشتر از مقدار مشخص‌شده برای فولاد کربنی است.

مثال: AISI 4130؛ AISI 8630؛ ASTM A182 Grade F22 [17].

۳-۱-۱۲

تولیدکننده

manufacturer

شرکتی که مسئول تولید محصول مطابق با الزامات سفارش یا خواص تعیین‌شده در مشخصات مرجع محصول، یا هر دو است.

۳-۱-۱۳

جو دریایی

marine atmosphere

جو بر فراز دریا و نزدیک آن است.

یادآوری- جو دریایی بسته به توپوگرافی[1] و جهت غالب باد، تا مسافتی معین در داخل خشکی امتداد می‌یابد. جو دریایی به‌شدت آلوده به ذرات معلق نمک دریا در هوا (به‌طور عمده کلریدها) است.

[منبع: اصطلاح و تعریف 3.7.4 استاندارد ISO 12944-2: 1998 [4]]

۳-۱-۱۴

حداکثر دمای عملیاتی

maximum operating temperature

حداکثر دمایی که یک جزء حین کار، حتی هنگام انحراف از عملیات عادی (مانند راه‌اندازی/خاموش‌شدن)، درمعرض آن قرار می‌گیرد.

۳-۱-۱۵

ساحلی

خشکی

onshore

1- Topography

ناحیه خشکی (غیر دریایی) با جوی بدون کلرید است.

۳-۱-۱۶

دمای عملیاتی

operating temperature

دمایی که یک جزء حین کار عادی درمعرض آن قرار می‌گیرد.

۳-۱-۱۷

تثبیت pH

pH stabilization

افزایش pH با افزودن یک ماده شیمیایی مناسب به‌منظور کاهش خوردگی CO_2 در سامانه‌های هیدروکربنی حاوی آب میعان‌شده است.

۳-۱-۱۸

عدد معادل مقاومت به حفره‌دارشدن

PREN

F_{PREN}

pitting resistance equivalent number

عددی است که به‌منظور نشان‌دادن و پیش‌بینی مقاومت فولاد زنگ‌نزن به حفره‌دارشدن، بر اساس نسبت‌های Cr، Mo، W و N در ترکیب شیمیایی آلیاژ به‌کار می‌رود.

یادآوری ۱- برای مقاصد این استاندارد، F_{PREN} از معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$F_{\mathrm{PREN}} = w_{\mathrm{Cr}} + 3{,}3(w_{\mathrm{Mo}} + 0{,}5w_{\mathrm{W}}) + 16w_{\mathrm{N}} \qquad (۱)$$

که در آن:

w_{Cr} درصد (جرمی) کروم در آلیاژ است؛

w_{Mo} درصد (جرمی) مولیبدن در آلیاژ است؛

w_{W} درصد (جرمی) تنگستن در آلیاژ است؛

w_{N} درصد (جرمی) نیتروژن در آلیاژ است.

یادآوری ۲- تعریف برگرفته از اصطلاح و تعریف 3.10 در استاندارد ISO 15156-1:2009 و اصطلاح و تعریف 3.6 در استاندارد ISO 15156-3:2009 است.

۳-۱-۱۹

نوع 13Cr

type 13Cr

آلیاژهای فولاد زنگ‌نزنِ مارتنزیتی که به‌طور اسمی ٪ ۱۳ جرمی Cr دارد.

مثال: UNS S41000؛ UNS S41500.

۳-۱-۲۰

نوع 316

type 316

آلیاژهای فولاد زنگ‌نزنِ آستنیتی از نوع UNS S31600/S31603 است.

۳-۱-۲۱

نوع 6Mo

type 6Mo

آلیاژهای فولاد زنگ‌نزنِ آستنیتی با PREN ≥ 40 و مقدار اسمی ٪ ۶ جرمی Mo و آلیاژهای نیکل با مقدار Mo در گستره ٪ ۶ تا ٪ ۸ جرمی است.

مثال: UNS S31254؛ UNS N08367؛ UNS N08926.

۳-۱-۲۲

نوع 22Cr دوفازی

type 22Cr duplex

آلیاژهای فولاد زنگ‌نزنِ فریتی/آستنیتی با 40 ≤ PREN ≤ 30 و جرمی ٪ ۲٫۰ ≤ Mo است.

مثال: UNS S31803؛ UNS S32205.

۳-۱-۲۳

نوع 25Cr دوفازی

type 25Cr duplex

آلیاژهای فولاد زنگ‌نزنِ فریتی/آستنیتی با 45 ≤ PREN ≤ 40 است.

مثال: UNS S32750؛ UNS S32760.

۳-۱-۲۴

ترک‌خوردن خوردگی تنشی
SCC

stress corrosion cracking

ترک‌خوردن فلز که شامل فرایندهای آندی خوردگی موضعی و تنش کششی (پسماند و/یا اِعمالی) است.

یادآوری ۱- پارامترهای موثر بر حساسیت به SCC شامل دما، pH، کلریدها، اکسیژن محلول، H_2S و CO_2 است.

یادآوری ۲- تعریف متفاوت از تعریف 3.21 در استاندارد ISO 15156-1:2009 است، زیرا شامل محیط‌های بیرونی است.

۳-۱-۲۵

ترک‌خوردن تنشی سولفیدی
SSC

sulfide stress cracking

ترک‌خوردن فلز که شامل خوردگی و تنش کششی (پسماند و/یا اعمالی) در حضور آب و H_2S است.

یادآوری- SSC، شکلی از ترک‌خوردن تنشی هیدروژنی (HSC) است که دربرگیرنده تُردی فلز توسط هیدروژن اتمی تولیدشده به‌وسیله خوردگی اسیدی روی سطح فلز می‌شود. جذب هیدروژن در حضور سولفیدها افزایش می‌یابد. هیدروژن اتمی می‌تواند در فلز نفوذ کرده، انعطاف‌پذیری را کاهش داده و حساسیت به ترک‌خوردن را افزایش دهد. مواد فلزی با استحکام بالا و مناطق جوش سخت مستعد SSC هستند.

[منبع: اصطلاح و تعریف 3.23 استاندارد ISO 15156-1]

۳-۲ کوته‌نوشت‌ها

کوته‌نوشت	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
AFFF	کف‌های تشکیل‌دهنده فیلم آبی	aqueous film-forming foams
API	موسسه نفت آمریکا	American Petroleum Institute
ASCC	ترک‌خوردن خوردگی تنشی قلیایی	alkaline stress corrosion cracking
ASME	انجمن مهندسین مکانیک آمریکا	American Society of Mechanical Engineers
CP	حفاظت کاتدی	cathodic protection
CA	حد مجاز خوردگی	corrosion allowance
CR	نرخ خوردگی	corrosion rate
CRA	آلیاژ مقاوم به خوردگی	corrosion-resistant alloy
CUI	خوردگی زیر عایق	corrosion under insulation
DL	طول عمر طراحی	design life
GRP	پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه	glass-fibre-reinforced plastic
HAZ	ناحیه متاثر از گرما	heat-affected zone
HB	سختی برینل	Brinell hardness
HDG	گالوانیزه به روش غوطه‌وری گرم	hot-dip galvanized
HIC	ترک‌خوردن هیدروژنی	hydrogen-induced cracking
HRC	سختی راکول مقیاس C	Rockwell hardness C scale
HSC	ترک‌خوردن تنشی هیدروژنی	hydrogen stress cracking
HVAC	گرمایش/سرمایش و تهویه مطبوع	heating-ventilation-air conditioning

کوته‌نوشت	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
MEG	مونو اتیلن گلیکول	monoethylene glycol
MIC	خوردگی میکروبیولوژیکی	microbiologically induced corrosion
PE	پلی‌اتیلن	Polyethylene
PP	پلی‌پروپیلن	Polypropylene
PREN	عدد معادل مقاومت به حفره‌دارشدن	pitting resistance equivalent number
PTFE	پلی تترا فلوئورواتیلن	Polytetrafluoroethylene
PVC	پلی وینیل‌کلرید	polyvinyl chloride
SCC	ترک‌خوردن خوردگی تنشی	stress corrosion cracking
SMYS	حداقل استحکام تسلیم مشخص‌شده	specified minimum yield strength
SS	فولاد زنگ‌نزن	stainless steel
SSC	ترک‌خوردن تنشی سولفیدی	sulfide stress cracking
SWC	ترک‌خوردن پلکانی	step-wise cracking
TEG	تری اتیلن گلیکول	triethylene glycol
UNS	سامانه یکپارچه شماره‌گذاری (برای آلیاژها)	unified numbering system (for alloys)
WHRU	واحدهای بازیابی گرمای اتلافی	Waste heat recovery units

۴ اطلاعات طراحی برای انتخاب مواد

این استاندارد راهنماهای انتخاب مواد برای تأسیسات تولید نفت و گاز را ارائه می‌دهد. برای اینکه پیمانکار بتواند انتخاب مواد برای تأسیسات را انجام دهد، کاربر نهایی باید حداقل اطلاعات مشخص‌شده در جدول ۱ را در زمان استعلام و قرارداد ارائه دهد.

جدول ۱- اطلاعات طراحی برای انتخاب مواد

اطلاعات مورد نیاز	زیربند
مبنای طراحی پروژه، براساس پیوست الف	۱-۶
مدل پیش‌بینی خوردگی	۱-۲-۶ و ۲-۲-۶-۲
تغییرات آینده در مقدار H_2S مخزن زیرزمینی[1]	۴-۲-۲-۶
روش یا مدل محاسبهٔ pH آب تولیدی[2]	۲-۳-۲-۶
آنالیز آب سازند	۲-۳-۲-۶
مقدار جیوه در سیالات یا گاز تولیدی	۸-۳-۲-۶
مقدار اکسیژن موجود در آب دریای هوازدایی‌شده برای تزریق	۳-۶
مدل پیش‌بینی سایش فرسایشی[3]	۵-۶
محدودیت‌های دمایی برای استفاده از فولادهای زنگ‌نزن در جو دریایی	۲-۶-۶، جدول ۳
انطباق با DNV-RP-F112 [18] برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی[4] تحت حفاظت کاتدی	۴-۶-۶
محدودیت‌ها در خواص مکانیکی و استفاده از مواد	۹-۶
محدودیت‌های دمایی برای مواد غیر فلزی	۲-۴-۷، جدول ۹
الزامات زیست‌محیطی در مورد استفاده از بازدارنده‌های خوردگی	۱-۸
مدلی برای تخلیه بازدارنده، روش‌های آزمون بازدارندگی خوردگی و معیارهای پذیرش	۱-۸
استفاده از پوشش‌های بیرونی به‌منظور افزایش حداکثر دما برای فولاد زنگ‌نزن (SS)	۳-۸
تعیین استاندارد مربوط به طراحی حفاظت کاتدی (CP)	۱-۵-۸
محدودیت استحکام و سختی بست‌ها[5] در جو دریایی	۹-۸

1- Reservoir
2- Produced water
3- Erosion
4- Duplex
5- Fasteners

۵ گزارش انتخاب مواد

ارزیابی‌های خوردگی و انتخاب مواد، برای استفاده بعدی در پروژه و عملیات بهره‌برداری باید در قالب گزارش مستندسازی شوند.

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

— شرح مختصر پروژه و تاسیسات مورد انتظار، برای مثال جانمایی میدانی، دوری مکان پروژه، تاسیسات دارای نیروی انسانی در مقابل تاسیسات بدون نیروی انسانی و غیره؛

— داده‌های ورودی طراحی مربوط به مواد برای شرایط عملیاتی در طول عمر طراحی تاسیسات، برای مثال، دماها (شامل نقطه شبنم[1])، فشارها، ترکیب سیال، تولید ماسه و غیره (به پیوست **الف** مراجعه شود)؛

— ارزیابی‌های خوردگی و انتخاب مواد؛

— الزامات کارایی و فراهمی بازدارنده‌های[2] خوردگی در سامانه؛

— الزامات کنترل خوردگی، برای مثال CP و پوشش‌ها؛

— الزامات پایش خوردگی؛

— شناسایی عدم قطعیت‌ها از نظر مواد، کاربرد جدید برای مواد، استفاده از گریدهای جدید؛

— نیاز به آزمون صلاحیت‌سنجی مواد.

۶ الزامات عمومی برای ارزیابی‌های خوردگی و انتخاب مواد

۶-۱ کلیات

فرایند انتخاب مواد باید تمامی الزامات قانونی و نظارتی را در نظر بگیرد. معیارهای طراحی پروژه، مانند طول عمر طراحی، فلسفه بازرسی و نگهداری، شاخص‌های ایمنی و زیست‌محیطی، قابلیت اطمینان عملیاتی و الزامات خاص پروژه، باید در نظر گرفته شوند.

به‌طور کلی، انتخاب مواد باید به‌صورت دقیق انجام شود تا قابلیت اطمینان عملیاتی در طول عمر طراحی تضمین شود. برای تأسیسات فراساحلی و به‌ویژه زیر دریا، دسترسی به‌منظور نگهداری و تعمیر می‌تواند محدود و پرهزینه باشد و باید در طراحی به‌دقت مورد توجه قرار گیرد.

به‌طور معمول انتخاب مواد باید بر اساس ارزیابی خوردگی و سایش فرسایشی باشد که در زیر بندهای زیر توضیح داده شده است. تمام محیط‌های داخلی و بیرونی باید برای کل عمر طراحی در نظر گرفته شوند. این موضوع باید شامل مراحل حمل و نقل، انبارش، نصب، آزمون و نگهداشت قبل از سرویس[3] نیز باشد. مکانیسم‌های تخریب مانند خستگی، خستگی خوردگی، سایش[4] و کَندگی[5]، که به‌طور اختصاصی در این استاندارد پوشش داده نشده‌اند، باید برای اجزای مربوط و شرایط طراحی در نظر گرفته شوند.

خواص مکانیکی و محدودیت‌های استفاده برای گریدهای[6] مختلف مواد باید با الزامات کد طراحی مربوط و راهنماهای داده‌شده در زیربند ۶-۹ انطباق داشته باشد. برای اطمینان از یک ساخت اثربخش، باید جوش‌پذیری مواد نیز در نظر گرفته شود.

1- Dew point
2- Inhibitor availability
3- Preservation
4- Wear
5- Galling
6- Grades

هزینه و در دسترس‌بودن مواد تأثیر قابل توجهی در انتخاب مواد دارد و باید ارزیابی‌هایی برای پشتیبانی از انتخاب نهایی انجام شود.

یادآوری- درصورت نیاز به ارزیابی هزینه چرخه عمر، استاندارد ISO 15663-2 [11] روشی را در این زمینه ارائه می‌کند.

۶-۲ خوردگی داخلی در تولید و فراورش نفت و گاز

۶-۲-۱ ارزیابی خوردگی

برای تعیین اثر خورندگی عمومی سیالات داخلی بر مواد تحت بررسی، ارزیابی خوردگی باید انجام شود. مکانیسم‌های خوردگی و پارامترهای طراحی فرایند مشخص‌شده در زیربندهای ۶-۲-۲ و ۶-۲-۳ باید در نظر گرفته شوند.

ارزیابی خوردگی باید بر اساس یک مدل پیش‌بینی خوردگی، آزمون مربوط یا داده‌های خوردگی میدانی مورد توافق با کاربر نهایی باشد. خوردگی عمومی و موضعی فولاد کربنی در طول زمان رخ می‌دهد و نرخ خوردگی مورد انتظار تحت شرایط عملیاتی باید محاسبه شود.

مدل پیش‌بینی خوردگی باید مورد تایید کاربر نهایی باشد. هر یک از مدل‌های پیش‌بینی خوردگی باید فقط در دامنه کاربرد مجاز تعریف‌شده استفاده شوند. توصیه می‌شود که در صورت امکان حداقل از دو مدل پیش‌بینی خوردگی متفاوت استفاده شده تا امکان مقایسه و نتیجه‌گیری بهتر حاصل شود.

به‌منظور مقایسه نتایج مدل‌های پیش‌بینی خوردگی توصیه می‌شود که از حداقل دو نرم‌افزار پیش‌بینی خوردگی (مانند ECE و Predict) استفاده شود. همچنین ضروری است که داده‌های ورودی و خروجی نرم‌افزارها، گزارش شوند. استفاده از محاسبات دستی به‌دلیل عدم امکان صحه‌گذاری توصیه نمی‌شود.

با توجه به عدم قطعیت نتایج مدل‌های پیش‌بینی خوردگی، همواره باید داوری مهندسی بر اساس تجارب و نتایج سرویس‌های مشابه نیز در کنار مدل‌های پیش‌بینی خوردگی در نظر گرفته شود.

یادآوری- برای آگاهی از مدل‌های پیش‌بینی خوردگی، به NACE SP0110 [27] و NACE Publication 21413 [28] مراجعه شود.

۶-۲-۲ مکانیسم‌های خوردگی

۶-۲-۲-۱ کلیات

برای سامانه‌های هیدروکربنی مرطوب ساخته‌شده از فولاد کربنی یا آلیاژ مقاوم به خوردگی (CRA)، مکانیسم‌های خوردگی ارائه‌شده در جدول ۲ باید ارزیابی شود.

جدول ۲- مواد مستعد مکانیسم‌های خوردگی داخلی در سامانه‌های هیدروکربنی

مکانیسم خوردگی	فولاد کربنی و کم‌آلیاژ	CRA
خوردگی ناشی از H_2S و CO_2	بله	بله[الف]
MIC	بله	بله
SSC/SCC ناشی از H_2S	بله	بله
HIC/SWC	بله	خیر
ASCC	بله	خیر
SSC بدون H_2S	خیر	بله

[الف] وجود H_2S همراه با CO_2 می‌تواند منجر به حملات موضعی به CRA ها نیز شود. پارامترهای بحرانی شامل دما، مقدار کلرید، pH و فشار جزئی H_2S است. هیچ حد پذیرش کلی وجود ندارد و حد پذیرش‌ها بسته به نوع CRA تغییر می‌کنند.

۶-۲-۲-۲ خوردگی ناشی از CO_2 و H_2S

خوردگی CO_2 یکی از رایج‌ترین مکانیسم‌های خوردگی است که در سامانه‌های تولید و فراورش نفت و گاز روی فولادهای کربنی رخ می‌دهد. مهم‌ترین پارامترهای خوردگی ناشی از CO_2 شامل دما، فشار جزئی CO_2، pH، مقدار اسیدهای آلی و شرایط جریان[1] است. چندین مدل برای پیش‌بینی خوردگی ناشی از CO_2 روی فولاد کربنی موجود است، و مدل مورد استفاده باید با توافق کاربر نهایی باشد.

وجود H_2S همراه با CO_2 بر خوردگی فولاد کربنی تأثیر می‌گذارد. نوع خوردگی وابسته به نسبت‌های این اجزا در سیالاتِ تولیدی است. برای فولاد کربنی، خوردگی عمومی همراه با کاهش جرم که ناشی از شرایط خوردگی غالب از نوع H_2S است، به‌ندرت مشکل ایجاد می‌کند؛ زیرا پوستهٔ سولفید آهن معمولا محافظ است. با این حال، اگر پوسته آسیب ببیند، خوردگی موضعی حفره‌ای می‌تواند رخ دهد. رسوب گوگرد عنصری یا جامدات ناشی از شرایط جریان راکد ممکن است این نوع خوردگی موضعی را گسترش دهد. هیچ مدل خوردگی کلی پذیرفته‌شده‌ای برای پیش‌بینی این شکل از حمله موضعی وجود ندارد، و بنابراین ارزیابی باید بر اساس تجربه عملیاتی باشد.

نسبت مولی CO_2 به H_2S، معیاری برای تعیین مکانیسم خوردگی است:

— اگر نسبت CO_2 به H_2S بیشتر از ۵۰۰ باشد، محصولات خوردگی از نوع کربنات ($FeCO_3$) است؛ و مکانیسم خوردگی عمدتا از نوع CO_2 است. در این شرایط H_2S تاثیر اندکی بر شدت خوردگی دارد.

— اگر نسبت CO_2 به H_2S کمتر از تقریبا ۲۰ باشد، محصولات خوردگی از نوع سولفیدی (شامل FeS) است؛ که درصورت صدمه ندیدن لایه سولفیدی، ممکن است مقدار خوردگی را به سطح خیلی کم کاهش دهد. با این‌حال، اگر مقدار زیاد کلرید (Cl^-) (بیشتر از ppm ۱۰۰۰۰)، گوگرد عنصری، O_2 یا لجن وجود داشته باشد؛ یا اگر الگوی جریان لخته‌ای[2] یا راکد باشد؛ یا اگر غلظت بازدارنده خوردگی کافی نباشد،

1- Flow conditions
2- Slug

لایه سولفیدی ممکن است به‌صورت موضعی شکسته شود، دراینصورت، خوردگی حفره‌ای شدید با نرخی چند برابر بیشتر از نرخ خوردگی CO_2 رخ خواهد داد.

— اگر نسبت CO_2 به H_2S بین ۲۰ و ۵۰۰ باشد، لایه‌های کربنات و سولفیدی می‌توانند به‌طور هم‌زمان وجود داشته باشند؛ و عمدتاً لایه سولفیدی تشکیل خواهد شد.

خوردگی بالای خط[1] می‌تواند به‌دلیل میعان آب در بالای لوله در یک رژیم جریان لایه‌ای[2] رخ دهد. برای این نوع خوردگی، پارامترهای مهم شامل رژیم جریان، دمای عملیاتی، نرخ میعان، فوگاسیتهٔ CO_2 و مقدار اسیدهای آلی است. خوردگی بالای خط باید با استفاده از مدل‌هایی که ویژه این کار ساخته شده‌اند یا با به‌کارگیری داده‌های آزمونی که در شرایط عملیاتی مشابه جمع‌آوری شده‌اند، ارزیابی شود. خوردگی بالای خط می‌تواند تحت تاثیر وجود H_2S نیز قرار گیرد.

بسته به شرایط جریان، خوردگی افزایش‌یافته ناشی از جریان[3] یا خوردگیِ سایش فرسایشی[4] می‌تواند رخ دهد. خوردگی افزایش‌یافته ناشی از جریان در نرخ‌های بالای جریان و در نتیجهٔ انتقال جرم تسریع‌شدهٔ واکنش‌گرها[5] و محصولات واکنش رخ می‌دهد. بسیاری از مدل‌های خوردگی تأثیر خوردگی افزایش‌یافته ناشی از جریان را در نظر می‌گیرند و این مدل‌ها باید برای پیش‌بینی نرخ خوردگی تحت شرایط جریان استفاده شوند. در سرعت‌های بسیار بالای سیال، حتی در غیاب جامدات، فاز مایع می‌تواند آنقدر پرانرژی باشد که به‌طور مکانیکی هرگونه پوسته[6] محافظ را از بین ببرد یا فیلم بازدارندهٔ محافظ در خطوط حاوی بازدارنده را حذف کند و درنتیجه باعث خوردگیِ سایش فرسایشی شود. در صورت وجود جامدات، این نوع سایش فرسایشی مکانیکیِ فیلم‌ها/لایه‌های محافظ ممکن است در سرعت‌های کمتر سیال رخ دهد. پیامدهای هر دو مورد، نرخ‌های سریع‌تر اتلاف مواد نسبت به مقدار مورد انتظار حاصل از مجموع نرخ‌های پیش‌بینی‌شده سایش فرسایشی و خوردگی است. این خوردگیِ سایش فرسایشی ممکن است حتی در نرخ‌های پیش‌بینی‌شدهٔ پایینِ سایش فرسایشی ماسه‌ای[7] در سیالاتی رخ دهد که برای مواد تحت بررسی خورنده هستند. اطلاعات بیشتر در مورد سایش فرسایشی ماسه‌ای در زیربند ۶-۵ ارائه شده است.

۶-۲-۲-۳ خوردگی میکروبیولوژیکی

خوردگی میکروبیولوژیکی (MIC) حاصل از باکتری‌های احیاکننده سولفات یا سایر باکتری‌ها از قبیل باکتری‌های تولیدکننده اسید و باکتری‌های احیاکننده نیترات می‌تواند منجر به نرخ‌های بالای خوردگی موضعی شود. سرعت‌های پایین جریان در خطوط لوله احتمال MIC را افزایش می‌دهد.

1- Top-of-line
2- Stratified flow
3- Flow-enhanced corrosion
4- Erosion corrosion
5- Reactants
6- Scale
7- Sand erosion

خوردگی میکروبیولوژیکی (MIC) به احتمال زیاد در ناحیه مرده جریان[1] و سایر مکان‌های ته‌نشینی رخ می‌دهد. برای جلوگیری از MIC می‌توان از تمیزکاری و عملیات شیمیایی[2] استفاده کرد. نیاز به نقاط نمونه‌برداری و تجهیزات تزریق زیست‌کُش[3] در طراحی باید در نظر گرفته شود.

یادآوری- MIC به‌طور معمول ناشی از باکتری‌های بی‌حرکت[4] (و نه باکتری‌های پلانکتونی[5]) در تماس با فولاد کربنی است.

۶-۲-۲-۴ ترک‌خوردن تنشی سولفیدی (SSC)/ترک‌خوردن خوردگی تنشی (SCC) ناشی از H_2S

ارزیابی و استفاده از مواد در شرایط حاوی H_2S، که ممکن است HIC را نیز در برگیرد، باید از الزامات ارائه‌شده در مجموعه استانداردهای ISO 15156 پیروی کند. این ارزیابی باید شامل احتمال تغییرات آینده در مقدار H_2S مخزن زیرزمینی باشد، به‌ویژه اگر تزریق آب برنامه‌ریزی شده باشد. اگر بدون انجام نم‌زدایی[6] از گاز یا استفاده از بازدارنده‌های خوردگی، شرایط بر اساس مجموعه استانداردهای ISO 15156 به‌عنوان ترش طبقه‌بندی شود، انجام نم‌زدایی از گاز یا استفاده از بازدارنده‌های خوردگی نباید الزام استفاده از مواد مقاوم به H_2S را تضعیف کنند.

۶-۲-۲-۵ ترک‌خوردن خوردگی تنشی قلیایی

محیط‌های قلیایی حاوی ترکیباتی مانند آمین‌ها، کاستیک‌ها[7] یا کربنات‌ها می‌توانند باعث ایجاد ترک‌خوردن خوردگی تنشی قلیایی (ASCC) فولادهای کربنی شوند، به‌ویژه در مواردی‌که احتمال تغلیظ این ترکیبات وجود دارد؛ برای مثال، در صورت وجود شیار[8] یا تبخیر.

تمهیدات کاهشی معمول برای این نوع ترک‌خوردن ممکن است شامل عملیات حرارتی پس از جوشکاری یا شکل‌دهی، استفاده از پوشش‌های محافظ، CRA یا مواد غیر فلزی باشد.

یادآوری- برای راهنمایی در مورد ترک‌خوردن ناشی از کاستیک می‌توان به NACE SP0403 [23] و برای راهنمایی در مورد ترک‌خوردن آمینی می‌توان به API RP 945 [15] مراجعه کرد.

۶-۲-۲-۶ ترک‌خوردن خوردگی تنشی بدون H_2S

گاهی اوقات، SCC داخلی می‌تواند در غیاب H_2S و اکسیژن محلول در سامانه‌های تولید نفت و گاز، در فولادهای زنگ‌نزن رخ دهد. این موضوع به‌دلیل شرایط موضعی فرایند است که باعث تبخیر آب و رسوب/تغلیظ کلریدها در آب‌های با شوری بالا و در دماهای بالا می‌شود. سامانه‌هایی که ممکن است این

1- Dead leg
2- Chemical treatment
3- Biocide
4- Sessile
5- Planktonic
6- Dehydration
7- Caustic
8- Crevice

موضوع در آن‌ها رخ دهد باید با تاسیسات تزریق آب شستشوی تازه به‌منظور جلوگیری از تغلیظ کلریدها طراحی شوند یا باید از مواد مقاوم استفاده شود.

۶-۲-۳ پارامترهای خوردگی

۶-۲-۳-۱ کلیات

پارامترهای در نظر گرفته‌شده در ارزیابی خوردگی باید موارد زیر را به‌طور مناسب شامل شود:

الف- CO_2؛

ب- H_2S؛

پ- دما؛

ت- اسیدهای آلی؛

ث- مشخصات نفت/گاز و مقدار آب آن؛

ج- اکسیژن؛

چ- گوگرد عنصری؛

ح- جیوه (Hg)؛

خ- محصولات شیمیایی.

پیوست **الف** نمونه‌ای از مبنای طراحی برای ارزیابی مواد در سامانه‌های هیدروکربنی را ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است که مبنای طراحی باید امکان تغییر شرایط عملیاتی در طول عمر طراحی تاسیسات، مانند افزایش نسبت آب به مایعات[1] و ترش‌شدن[2] مخزن زیرزمینی در طول عمر طراحی تاسیسات را در نظر بگیرد.

۶-۲-۳-۲ مقادیر CO_2 و H_2S

اکثر مدل‌های پیش‌بینی خوردگی ناشی از CO_2 برای فولاد کربنی، نیاز به دادهٔ ورودی در قالب فوگاسیتهٔ CO_2 دارند. فشار جزئی CO_2 در فاز گاز باید استفاده شود، که می‌تواند از محاسبات تبخیر آنی[3] برای شرایط واقعی تعیین شود. به‌منظور تخمین نرخ خوردگی برای لوله‌کشی/خطوط لوله انتقال‌دهنده سیالات هیدروکربنی مرطوب (نفت و میعانات)، مقدار CO_2 و فشار کل برای آخرین مرحله جداسازی باید استفاده شود. برای خطوط حامل گاز مرطوب، فوگاسیته CO_2 تابعی از فشار و دمای عملیاتی خطوط است.

1- Water cut
2- Souring
3- Flash

برای جبران شرایط غیر تعادلی پایین‌دستِ یک کاهش فشار[1]، نرخ خوردگی یافته‌شده در شرایط بالادستِ یک کاهش فشار[2] را می‌توان برای پایین‌دست نیز فرض کرد.

برای ارزیابی ترک‌خوردن شامل HIC در سرویس حاوی H_2S، معمولاً از فشار جزئی استفاده می‌شود. مقدار H_2S در فاز گاز باید استفاده شود، که از محاسبات تبخیر آنی برای شرایط واقعی تعیین می‌شود.

مقاومت به خوردگی و ترک‌خوردن ناشی از H_2S با pH تغییر می‌کند، که اندازه‌گیری دقیق آن دشوار است؛ زیرا باید تحت فشار و دمای واقعی انجام شود. بنابراین، pH باید با یک مدل مناسب یا با استفاده از استاندارد ISO 15156 محاسبه شود. محاسبه باید بر اساس فوگاسیته‌های CO_2 و H_2S در فشار، دما و ترکیب واقعی آب تولیدی باشد. روش مورد استفاده باید با کاربر نهایی توافق شود.

اگر آنالیز کامل آب موجود نباشد، مقادیر مورد استفاده برای ارزیابی‌های خوردگی و ترک‌خوردن باید با کاربر نهایی توافق شود. برای ارزیابی اولیه ممکن است از مقادیر زیر استفاده شود:

— برای محلول‌های نمایندهٔ آب میعان‌شده، مانند چاه‌های تولید گاز، pH باید بر اساس دمای واقعی و فوگاسیتهٔ CO_2/H_2S برای آب خالص محاسبه شود. درصورت عدم وجود اطلاعات، می‌توان از pH برابر با ۳٫۵ و مقدار کلرید ۶۰۰ mg/l (۱۰۰۰ mg/l NaCl) استفاده کرد (که متناظر با فوگاسیتهٔ CO_2 برابر با ۱٫۰ MPa است)؛

— برای محلول‌های نمایندهٔ آب سازند[3]، مانند چاه‌های تولید نفت، می‌توان از pH برابر با ۴٫۵ و مقدار کلرید ۱۰۰۰۰۰ mg/l (۱۶۵۰۰۰ mg/l NaCl) استفاده کرد.

هنگام محاسبه pH مورد استفاده در پیش‌بینی‌های خوردگی ناشی از CO_2 در محیط‌های تولید گاز حاوی آب میعان‌شده، باید وجود مقدار کافی از محصولات خوردگی در آب ارزیابی شود؛ زیرا آن‌ها pH را افزایش و خورندگی را کاهش می‌دهند. در پایین‌دست لوله‌کشی یا تجهیزات CRA، مانند خنک‌کننده‌های گاز، باید فرض کرد که آب عاری از محصولات خوردگی و به‌طور بالقوه خورنده فولاد کربنی است.

۶-۲-۳-۳ دما

مقاومت به خوردگی و SCC برای فولادهای کربنی و CRA ها با دما تغییر می‌کند. محاسبات حساسیت یا ارزیابی‌ها ممکن است برای تعیین بحرانی‌ترین گستره دمایی ضروری باشند.

امکان وجود دوره‌هایی با دماهای بالاتر، مانند پیمایش گرمایی[4]، بخارشویی[5] یا تابش خورشیدی، باید در ارزیابی خوردگی در نظر گرفته شود.

4- Downstream of a pressure reduction
5- Upstream of a pressure reduction
1- Formation water
2- Heat tracing
3- Steam-out

دماهای حین ساخت، حمل و نقل، انبارش و نصب نیز باید در نظر گرفته شوند.

۶-۲-۳-۴ اسیدهای آلی

اسیدهای آلی، خورندگی سیالات تولیدشده را افزایش می‌دهند و وجود آن‌ها باید در ارزیابی خوردگی فولاد کربنی لحاظ شود.

یادآوری- خورندگی ناشی از اسیدهای آلی در حضور اسید آلی تجزیه‌نشده، برخلاف نمک‌های اسید آلی، تعیین می‌شود. بنابراین، در نظر گرفتن آنالیز کامل شیمیایی آب ضروری است.

۶-۲-۳-۵ مشخصات نفت/گاز و مقدار آب آن

اثرات جریان و خواص مایع می‌تواند آب را در فاز نفت غوطه‌ور نگه دارد. این موضوع ممکن است از تماس بین آب جداشده و سطح فولاد جلوگیری کند. با این حال، اثر بازدارندگی بالقوهٔ فاز نفت باید با احتیاط استفاده شود. برای تعیین اینکه آیا نفت می‌تواند خواص بازدارندگی داشته باشد، می‌توان از آزمون‌های آزمایشگاهی استفاده کرد.

گاز هنگامی خشک تلقی می‌شود که نقطه شبنم آب در فشار عملیاتی حداقل ۱۰ °C کمتر از حداقل دمای عملیاتی سامانه باشد. این نوع سامانه‌ها در معرض خوردگی الکتروشیمیایی نیستند و درنتیجه پیش‌بینی خوردگی برای آن‌ها لازم نیست.

یادآوری- نم‌زدایی در برج‌های تماسی[1] گلیکول منجر به میعان مخلوط گلیکول/آب در خطوط لوله گاز خشک (معمولا کمتر از ٪ ۱۰ جرمی آب) می‌شود. حتی اگر این موضوع خطر خوردگی برای خط لوله ایجاد نکند، مقادیر زیادی از محصولات خوردگی می‌تواند در خط لوله جمع شود. این محصولات می‌توانند مشکلاتی را ایجاد کنند، زیرا محصولات خوردگی می‌توانند حین عملیات توپک‌رانی به‌عنوان «غبار سیاه» به تاسیسات دریافت توپک برسند.

اگر مشخصات گاز صادراتی کمتر از این حد نقطه شبنم باشد یا احتمال وجود دوره‌های گذرای عملیاتی با نم‌زدایی ناقص یا بدون نم‌زدایی وجود داشته باشد، این امر باید در ارزیابی خوردگی در نظر گرفته شود.

۶-۲-۳-۶ اکسیژن

اکسیژن به‌طور معمول در جریان‌های تولیدی وجود ندارد. مواد شیمیایی تزریقی ممکن است حاوی اکسیژن باشند و نیاز به کنترل مقدار اکسیژن باید ارزیابی شود.

خطر ورود اکسیژن در سامانه‌هایی که تحت خلأ کار می‌کنند و هنگامی‌که از یک گاز بی اثر به‌عنوان گاز پتویی[2] استفاده می‌شود، وجود دارد. خلوص گاز بی اثر پارامتری است که باید در ارزیابی خوردگی گنجانده شود. ورود اکسیژن به‌دلیل درزگیری ناقص در پمپ‌ها و کمپرسورها باید در نظر گرفته شود.

1- Contactor
2- Blanket gas

یادآوری- این واقعیت که فشار سامانه داخلی بیش از فشار بیرونی است خطر ورود اکسیژن را کاهش نمی‌دهد؛ زیرا فشار نسبی اکسیژن در جو به احتمال زیاد از فشار جزئی داخلی اکسیژن فراتر می‌رود. بنابراین، با وجود اختلاف فشار مطلق منفی، نیروی محرکه‌ای برای ورود اکسیژن وجود دارد.

۶-۲-۳-۷ گوگرد عنصری

گوگرد عنصری می‌تواند در گاز طبیعی وجود داشته باشد و هنگام کاهش فشار یا دما، می‌تواند رسوب کند. گوگرد عنصری در صورت تماس H_2S با اکسیژن نیز ایجاد می‌شود؛ برای مثال، در نتیجه ورود اکسیژن به سامانه‌های فرایندی.

گوگرد عنصری برای فولاد کربنی و همچنین برخی از مواد CRA بسیار خورنده است. در صورت وجود گوگرد عنصری، باید از مواد مقاوم یا عملیات شیمیایی استفاده شود. استاندارد ISO 15156-3 در مورد مواد مقاوم به گوگرد راهنمایی می‌کند.

۶-۲-۳-۸ جیوه

اثرات وجود جیوه در سیالات یا گازهای تولیدشده باید در انتخاب مواد در نظر گرفته شود. محدودیت‌ها به‌خوبی تعیین نشده‌اند و بنابراین در جریان‌های حاوی جیوه نباید از آلیاژهای مس، تیتانیوم یا آلومینیوم برای هیچ‌یک از اجزا استفاده شود.

یادآوری- جیوه و ترکیبات جیوه می‌توانند برای موادی خاص زیان‌آور باشند. جیوه می‌تواند به‌طور طبیعی به‌عنوان یک آلاینده در سیالات یا گازهای حاصل از چاه تولیدی وجود داشته باشد. به‌منظور جلوگیری از انتخاب مواد مستعد حساسیت، لازم است که وجود احتمالی جیوه در اولین مرحله ممکن از طراحی تشخیص داده شود. به‌طور کلی آسیب فقط زمانی رخ می‌دهد، که جیوه به‌صورت مایع وجود داشته باشد. حمله می‌تواند با تشکیل آمالگام[1] یا با تُردشوندگی به‌وسیله فلز مایع انجام شود.

۶-۲-۳-۹ مواد شیمیایی

مواد شیمیایی تزریق‌شده به جریان فرایند یا درون چاه ممکن است به‌طور بالقوه خورنده باشند، و این باید در ارزیابی خوردگی مورد توجه قرار گیرد. انتخاب مواد شیمیایی واقعی معمولا پس از انتخاب و نصب تمام مواد انجام می‌شود. به‌منظور صلاحیت‌سنجی مواد شیمیایی از نظر سازگاری با تمام مواد، از جمله مواد آلیِ درزگیرها، لوله‌ها، پوشش‌ها و روکش‌ها انجام آزمون الزامی است.

۶-۳ خوردگی داخلی در سامانه‌های تزریق

مرتبط‌ترین مکانیسم‌های خوردگی برای تزریق گاز، آب تولیدی و آب سفره زیرزمینی همان مکانیسم‌های خوردگی مربوط به سامانه‌های انتقال هیدروکربن در زیربند ۶-۲ است و ارزیابی خوردگی باید بر همین مبنا انجام شود.

1- Amalgam

برای آب دریای هوازدایی‌شده، دو مکانیسم خوردگی احتمالی وجود دارد؛ خوردگی اکسیژنی و خوردگی باکتریایی. غلظت اکسیژن باقیمانده معمول برای آب دریای هوازدایی‌شدهٔ کلرزنی‌نشده تحت عملیات عادی از ۲۰ mg/m^3 تا ۵۰ mg/m^3 است، اما در شرایط غیر عادی[1] یا حین عملیات‌های شیمیایی مقدار آن می‌تواند به‌طور قابل توجهی بیشتر باشد. غلظت واقعی اکسیژن با نوع سامانه هوازدایی تغییر می‌کند. برای انتخاب موثر مواد، مقدار اکسیژن فرض‌شده در آب دریا باید با کاربر نهایی توافق شود.

۶-۴ خوردگی داخلی در سامانه‌های سرویس جانبی

به‌منظور تعیین خورندگی عمومی سیالات داخلی تحت شرایط طراحی مربوط و برای مواد تحت بررسی باید ارزیابی خوردگی انجام شود.

ارزیابی خورندگی در سامانه‌های انتقال آب باید شامل پارامترهایی از قبیل موارد زیر باشد:

— حداکثر دمای طراحی/عملیاتی؛

— نرخ جریان (راکد، متناوب یا مداوم).

علاوه بر این، غلظت کلرید (شوری)، شیمی آب و pH باید برای سامانه‌های آب شیرین و کلر باقیمانده و حالت عملیاتی (خشک یا مرطوب هنگام عدم استفاده) باید برای سامانه‌های آب دریا در نظر گرفته شوند.

مقدار کلر باقیمانده و دما دو پارامتر مهم هستند که بر عملکرد خوردگی مواد غیرفعال[2] تأثیر می‌گذارند. سامانه‌های آب دریا اغلب به‌طور پیوسته کلرزنی می‌شوند تا از رسوب زیستی[3] جلوگیری شود. مقدار کلر باقیمانده معمول برای استفاده مداوم از ۰٫۳ mg/l تا ۰٫۷ mg/l است. راه‌اندازی اولیه بدون کلرزنی برای دوره‌ای به‌مدت دو هفته می‌تواند به‌منظور گسترش ایجاد لایه محافظ غیرفعال[4] استفاده شود.

یادآوری- بسته‌های عملیات رسوب زیستی حاوی افزودنی‌های مس و مقادیر کلر باقیمانده بسیار کمتر را می‌توان به عنوان جایگزین تعیین کرد. این موضوع می‌تواند خطر خوردگی را کاهش دهد.

موادی مانند CuNi 90/10 و برنز NiAl به نرخ جریان حساس هستند. به EEMUA 194 [21] مراجعه شود.

برای سامانه‌های سرویس جانبی که به‌طور خاص در زیر به آن‌ها پرداخته نشده است، ارزیابی‌های خوردگی باید تا حدی که برای هر پروژه مناسب تلقی می‌شود، انجام شود.

۶-۵ سایش فرسایشی ماسه‌ای

در مواردی‌که احتمال تولید مقداری قابل توجه از ماسه وجود دارد، ارزیابی سایش فرسایشی ماسه‌ای باید انجام شود. ارزیابی باید شامل مطالعات پیش‌بینی ماسه در مخزن زیرزمینی به‌منظور تامین اطلاعات در مورد

2- Upset conditions
1- Passive materials
2- Bio-fouling
3- Passive layer

احتمال ماسه‌زایی مخزن و هم‌چنین ارزیابی آسیب احتمالی ناشی از سایش فرسایشی باشد. از مدل‌های پیش‌بینی سایش فرسایشی می‌توان برای ارزیابی احتمال وقوع آسیب ناشی از سایش فرسایشی استفاده کرد. مدل مورد استفاده باید توسط کاربر نهایی تعیین یا با وی توافق شود. حتی هنگامی‌که نرخ سایش فرسایشی پیش‌بینی‌شده کم است، باید احتمال اثر هم‌افزایی سایش فرسایشی و خوردگی مطابق با موارد مطرح‌شده در زیربند ۶-۲-۲-۲ در نظر گرفته شود.

ارزیابی تجهیزات حذف ماسه، ارزیابی شرایط عملیاتی ایمن، پایش تولید ماسه، تنظیم هشدارهای عملیاتی و تأیید یکپارچگی سامانه‌های تولید نیز موضوعاتی مهم هستند که باید به‌عنوان بخشی از استراتژی کلی مدیریت ماسه برای هر تاسیسات مورد توجه قرار گیرند.

۶-۶ خوردگی بیرونی

۶-۶-۱ کلیات

خوردگی بیرونی عمومی و موضعی شامل SCC و ترک‌خوردن تنشی هیدروژنی (HSC) باید در نظر گرفته شود.

محیط بیرونی بر انتخاب مواد و روش(های) انتخاب‌شده برای تامین حفاظت از خوردگی بیرونی اثر می‌گذارد. محیط‌های معمول که باید در ارزیابی خوردگی بیرونی مورد توجه قرار گیرند در استاندارد ISO 12944-2 [4] طبقه‌بندی شده اند.

به‌منظور جلوگیری از خوردگی پیش از موقع و تخریب پوشش یا سازه‌ها یا هر دو، علاوه بر راهنماها و معیارهای طراحی سازه‌های فولادی در استاندارد ISO 12944-3 [5]، موارد زیر را باید در نظر گرفت:

— شرایط عادی جوی (دریایی یا غیر دریایی)؛

— تماس با خاک یا تکیه‌گاه لوله یا هر دو؛

— دمای محیط و حداکثر دمای عملیاتی؛

— وجود عایق بیرونی، با پیمایش گرمایی یا بدون آن؛

— گرمایش خورشیدی؛

— وجود آب، مانند غرقاب‌شدن حاصل از سامانه‌های آب‌فشان[1].

راهنماهای سامانه‌های پوشش مناسب به‌عنوان تابعی از عمر طراحی و دسته‌بندی خورندگی در استاندارد ISO 12944-5 [7]ارائه شده است.

۶-۶-۲ محیط‌های جوی بیرونی دریایی

1- Deluge systems

محیط جوی بیرونی دریایی حاوی آب و نمک‌های کلرید است. فولادهای کربنی در چنین شرایطی دچار خوردگی می‌شوند. CRA ها می‌توانند دچار خوردگی و SCC نیز شوند. جوش‌ها به‌دلیل تنش‌های پسماند و تمرکز تنش ناشی از طرح جوش به‌ویژه در برابر SCC آسیب‌پذیر هستند.

جدول ۳ حدود حداکثر دمای عملیاتی معمول که برای جلوگیری از SCC ناشی از کلرید در برخی از فولادهای زنگ‌نزن (SS) بدون پوشش کاربرد دارد، را ارائه می‌دهد. حد پایین دما نشان‌دهنده ترک‌خوردن در «بدترین حالت» در تنش‌های کششی بالا و مقادیر تغلیظ‌شدهٔ نمک کلرید است که هنگام تبخیر مداوم آب حاوی نمک تجربه می‌شود. حدود پایین‌تر دما بیشتر بر اساس تجربیات آزمایشگاهی است. بسیاری از کاربران نهایی از حدود بالاتر دماییِ ارائه‌شده در جدول ۳ استفاده می‌کنند. تجربیات میدانی گسترده در طول سالیان متمادی نشان می‌دهد که هنگام استفاده از این حدود بالاتر دما، خرابی‌های SCC بسیار کمی روی لوله‌های بدون پوشش و بدون عایق رخ داده است.

جدول ۳- حدود دمای معمول برای فولاد زنگ‌نزن (SS) بدون پوشش در محیط‌های جوی دریایی

نوع ماده	گرید	حدود حداکثر دمای عملیاتی[الف،ب] °C
SS آستنیتی	نوع 316	۵۰ تا ۶۰
	نوع 6Mo	۱۰۰ تا ۱۲۰
SS دوفازی	نوع 22Cr	۸۰ تا ۱۰۰
	نوع 25Cr	۹۰ تا ۱۱۰

[الف] این مواد ممکن است در تاسیسات دریایی واقع در مناطق دارای کنترل کامل گرمایش/سرمایش و تهویه مطبوع (HVAC)، در حداکثر دماهای عملیاتی بالاتر استفاده شوند.
[ب] آلیاژهای نیکل و تیتانیوم، حدود دمایی تعیین شده‌ای در محیط‌های دریایی ندارند، اما مقاوم‌تر از فولادهای زنگ‌نزن هستند.

ممکن است در CRA ها، خوردگی حفره‌ای یا شیاری در دماهای کمتر از حدود داده‌شده در جدول ۳ رخ دهد. برای جلوگیری از این نوع خوردگی، ممکن است پوشش اِعمال شود. این امر به‌ویژه در زیر عایق و در زیر تکیه‌گاه‌ها و گیره‌های[1] لوله بیشتر محتمل است. استفاده از پوشش به‌منظور جلوگیری از SCC باید با ملاحظات انجام شود (به زیربند ۸-۳ مراجعه شود).

آلیاژهای نیکل، تیتانیوم و مس به‌طور کلی درمقابل SCC در محیط‌های دریایی مصون هستند.

۶-۶-۳ محیط‌های جوی بیرونی غیر دریایی

محیط‌های جوی بیرونی غیر دریایی می‌توانند حاوی آب باشند، اما معمولا مقدار کلرید بسیار کمی دارند.

یادآوری- محیط‌های غیر دریایی، بسته به شرایط جوی محلی می‌توانند خورنده باشند.

احتمال خوردگی بیرونی در محیط‌های غیر دریایی، قطبی و بیابانی بسته به موقعیت جغرافیایی و آلودگی صنعتی متفاوت است. بنابراین، لازم است الزامات پوش‌رنگ‌کاری به‌صورت موردی ارزیابی شود. راهنماها برای تعریف محیط‌ها از نظر خورندگی بیرونی در استاندارد ISO 12944-2 [4] ارائه شده است.

1- Clamps

۶-۶-۴ تاسیسات مدفون و غوطه‌ور

حفاظت بیرونی سازه‌های مدفون یا غوطه‌ور معمولاً با ترکیبی از پوشش‌های بیرونی و حفاظت کاتدی حاصل می‌شود. ممکن است تعریف ارزیابی برای دسته‌بندی خورندگی دشوار باشد، اما برخی از راهنماها در استاندارد ISO 12944-2 [4] ارائه شده است. برای مکانیسم‌های خوردگی بیرونی و حفاظت از خطوط لوله مدفون، به استاندارد ISO 13623 [8] مراجعه شود.

برخی از مواد در صورتی‌که به‌طور هم‌زمان تحت تنش‌ها و حفاظت کاتدی که منجر به شارژشدن هیدروژن جزء کاتدی می‌شود، قرار بگیرند، مستعد HSC هستند. بسته به شرایط متالورژیکی، برخی از CRA ها مانند UNS S17400، UNS N05500 و فولاد زنگ‌نزن دوفازی ممکن است در حالی‌که از نظر کاتدی محافظت می‌شوند، مستعد HSC باشند. برای به حداقل‌رساندن چنین خطری در این آلیاژها، باید از آن‌ها در شرایط عملیات حرارتی مطابق با ISO 15156/NACE MR0175 استفاده کرد. استاندارد DNV-RP-F112 [18] راهنمای جلوگیری از HSC در فولاد زنگ‌نزن دوفازی را ارائه می‌دهد.

۶-۶-۵ خوردگی زیر عایق

خوردگی زیر عایق (CUI) و نسوز تهدیدی عمده برای یکپارچگی، به‌ویژه برای تاسیسات فراساحلی و ساحلی است. این مشکل عموماً مربوط به فولادهای کربنی و کم آلیاژ است، اما فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و فولادهای زنگ‌نزن دوفازی نیز باید در نظر گرفته شوند. تهدید یکپارچگی ناشی از CUI به‌شدت تحت تأثیر دمای سطح بیرونی مواد، وجود کلریدها و شرایط میعان موضعی روی سطح فلز است.

در صورت شناسایی چنین تهدیدی، مشخصات سامانه‌های پوشش بیرونی سرویس دریایی نقشی اساسی در کاهش CUI دارد. علاوه بر این، انتخاب دقیق سامانه‌های عایق بیرونی و سامانه‌های درزگیری[1] برای به‌حداقل رساندن ورود آب باید در طراحی سامانه عایق مورد توجه قرار گیرد. راهنماهای انتخاب پوشش‌های بیرونی و سامانه‌های عایق برای فولاد زنگ‌نزن آستنیتی و فولاد کربنی در NACE SP0198 [22] ارائه شده است. سایر راهنماها در مدرک EFC شماره 55 [20] ارائه شده است.

هم‌چنین طراحی باید الزامات بازرسی یکپارچگی عایق حین سرویس را در نظر بگیرد.

۶-۷ مواد پلیمری

انتخاب مواد پلیمری، شامل مواد الاستومری، باید بر اساس ارزیابی الزامات کارکردی برای کاربرد خاص باشد. مواد باید با توجه به رویه‌های توصیف‌شده در کدهای مواد/طراحی مربوط، صلاحیت‌سنجی شوند.

بسته به کاربرد، خواص زیر باید در ارزیابی گنجانده و مستندسازی شوند:

— پایداری گرمایی و مقاومت به پیرسازی[2] در دمای سرویس و محیط مشخص؛

1- Sealing systems
2- Ageing

— خواص فیزیکی و مکانیکی؛

— انبساط گرمایی؛

— تورم[1] و جمع‌شدگی[2] به‌وسیله گاز و جذب مایع؛

— نفوذ گاز و مایع؛

— فشارزدایی و مقاومت به خزش در دما و فشار بالا؛

— مقاومت به چرخه‌گذاری گرمایی[3] و حرکت دینامیکی؛

— انعطاف‌پذیری در دمای پایین؛

— مقاومت شیمیایی؛

— مقاومت به آتش.

یادآوری- استاندارد ISO 23936-1 [14] راهنماهای انتخاب و صلاحیت‌سنجی پلیمرهای ترموپلاستیک در تماس با محیط‌های مربوط به تولید نفت و گاز را ارائه می‌دهد و هم‌چنین راهنمایی در مورد حداکثر و حداقل دماهای مجاز را نیز ارائه می‌دهد.

۶-۸ پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه

برای سامانه‌هایی که ممکن است از پلاستیک تقویت‌شده با الیاف شیشه (GRP) استفاده کنند، رزین‌های اپوکسی و وینیل استر باید به‌عنوان مواد جایگزین ظروف[4] و مخازن[5] ارزیابی شوند؛ به مجموعه استانداردهای ISO 14692 نیز مراجعه شود. رزین پلی‌استر ممکن است در مخازن مورد استفاده در سرویس‌های آب دریا و زهکش روباز استفاده شود. برای سایر سرویس‌ها به غیر از آب دریا و آب شیرین، سازگاری با سیال باید مطابق با زیربند ۶-۷ ارزیابی و مستندسازی شود.

دما و شدت تهاجمی‌بودن[6] محیط (برای مثال، در مخازن برای سامانه‌های هیپوکلریت) ممکن است روکش‌کاری داخلی GRP با یک لایه داخلی/سدگر[7] ترموپلاستیکی را الزامی کند.

۶-۹ خواص مکانیکی و محدودیت‌های استفاده از مواد

۶-۹-۱ کلیات

در انتخاب مواد باید خواص مکانیکی مانند استحکام تسلیم، استحکام کششی، سختی و چقرمگی ضربه را در نظر گرفت. علاوه بر این، برای بخش‌هایی از سامانه تولید که ممکن است در دماهای پایین کار کنند یا در

3- Swelling
4- Shrinking
1- Thermal cycling
2- Vessels
3- Tanks
4- Aggressiveness
5- Barrier

شرایط تخلیه به‌منظور شستشو[۱] دماهای پایین را تجربه کنند، تجهیز هنگام اِعمال فشار مجدد یا مقیدشدن[۲] ممکن است هنوز سرد باشد، که منجر به ایجاد تنش‌های خنک‌کاری گرمایی[۳] می‌شود؛ و در نتیجه برای جلوگیری از شکست تُرد تحت این شرایط گذرا، چقرمگی مواد باید کافی باشد. خواص مواد بر اساس حداقل و حداکثر دماهای طراحی فلز و ضخامت دیواره باید مطابق با کدهای طراحی مشخص باشد.

هنگام تعیین حداقل دمای طراحی، دمای درمعرض قرارگیری در مراحل میانی مانند تولید، انبارش، آزمون، راه‌اندازی، حمل و نقل و نصب باید در نظر گرفته شود.

راهنماهای زیر برای طراحی و محدودیت‌های خواص مکانیکی باید برای انتخاب مواد اعمال شود:

— حداقل استحکام تسلیم مشخص‌شده (SMYS) فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ مورد استفاده در جوشکاری نباید بیشتر از ۵۶۰ MPa باشد. SMYS بالاتر ممکن است تعیین شود، به شرطی‌که مدارک نشان‌دهندهٔ خواص قابل پذیرش در رابطه با جوش‌پذیری و خواص مواد پایه، ناحیه تحت تأثیر گرما و فلز جوش، ارائه شود؛

— محدودیت‌های استفاده مواد در محیط‌های حاوی H_2S باید مطابق با استانداردهای ISO 15156-2 و ISO 15156-3 باشد؛

— گریدهای فولاد خوش‌تراش نباید استفاده شوند؛

— به‌دلیل خطر وقوع ریزترک‌خوردن[۴] در ناحیه تحت تأثیر گرما (HAZ) در قطعات به‌هم جوش‌خورده، قطعات ریخته‌گری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی با $PREN \geq 40$ نباید برای اجزای جوش لب‌به‌لب استفاده شود؛

— برای سرویس بدون H_2S، سختی جوش و HAZ هر گرید فولاد نباید از 350 HV10 بیشتر باشد؛

— برای اسید هیدروفلوریک یا متانول بی آب با مقدار آب کمتر از ٪ ۵، تیتانیوم نباید استفاده شود.

۶-۹-۲ تاسیسات غوطه‌ور

برای اجزای غوطه‌ور که ممکن است در معرض حفاظت کاتدی شامل بست‌ها قرار گیرند، راهنماهای زیر ارائه می‌شود:

— استحکام تسلیم واقعی هر گرید فولاد نباید بیشتر از ۹۵۰ MPa باشد؛

— سختی هر گرید فولاد در هر یک از اجزا نباید بیشتر از 35 HRC یا 328 HB باشد؛

یادآوری ۱- برای تبدیل اعداد سختی، به استاندارد ISO 18265 [12] مراجعه شود.

6- Blow-down
7- Constrained
8- Thermal cooling stresses
1- Microcracking

— برای اجزای ساخته‌شده از فولاد زنگ‌نزن دوفازی، انطباق با DNV-RP-F112 [18] باید مشخص شود (به زیربند ۶-۶-۴ مراجعه شود)؛

— سختی اجزا در آلیاژهای نیکل نباید از مقادیر سختی مندرج در استاندارد ISO 15156-3 فراتر رود؛

— آلیاژهای تیتانیوم نباید برای کاربردهایی که شامل قرارگرفتن در معرض حفاظت کاتدی هستند، استفاده شوند.

یادآوری ۲- راه حل‌های طراحی عملی، از جمله به‌کارگیری یک جداساز الکتریکی مناسب از نوع تیتانیم یکپارچه، می‌تواند با کاربر نهایی توافق شود.

۷ انتخاب مواد برای کاربردها و سامانه‌های خاص

۷-۱ کلیات

نمونه‌ای از انتخاب مواد برای سامانه‌ها و مناطق خاص در جدول‌ها ۴ تا ۱۲ ارائه شده است. با این حال، این امر استفاده از سایر مواد را منتفی نمی‌کند.

ترکیبات شیمیایی آلیاژهای معمول مورد استفاده برای توسعه میدان‌های نفتی در جدول پ-۱ فهرست شده است.

۷-۲ سامانه‌های تولید و فراورش نفت و گاز

۷-۲-۱ کلیات

برای سامانه‌های فراورش هیدروکربن مرطوب که شامل خطوط لوله و خطوط جریانی است، فولاد کربنی به‌عنوان گزینه پایه[1] انتخاب مواد باید از نظر عملکرد خوردگی ارزیابی شود. این ارزیابی ممکن است برمبنای تجربه عملیاتی موفق بوده یا بر اساس این واقعیت باشد که نرخ خوردگی سالانهٔ محاسبه‌شده، با در نظرگرفتن اقدامات حفاظتی، کمتر از حد مجاز خوردگی[2] تقسیم بر عمر طراحی مشخص است.

درصورت لزوم در فرایند انتخاب مواد، CRA باید در مقابل فولاد کربنی مورد ارزیابی قرار گیرد.

برای فراورش گاز مرطوب یا میعانات آب‌دار، به‌دلیل pH پایین فاز آب میعان‌شده، خورندگی گاز مرطوب برای فولاد کربنی ممکن است بسیار زیاد باشد. علاوه بر این، ممکن است در این سامانه‌ها بازدارندگی خوردگی عملی نباشد و انتخاب مواد مناسب، فولاد کربنی با حد مجاز خوردگی یا CRA است.

برای سامانه‌های گاز خشک یا نفت/میعانات بدون آب، فولاد کربنی را می‌توان بدون الزام کنترل خوردگی داخلی انتخاب کرد. با این حال، در صورت پیش‌بینی دوره‌های رطوبت در مراحل ساخت/راه‌اندازی یا در مرحله عملیاتی، ممکن است حد مجاز خوردگی لازم باشد.

1- Base-case
2- Corrosion allowance

۷-۲-۲ مبدل‌های گرمایی

انتخاب مواد برای مبدل‌های گرمایی مستلزم ملاحظات ویژه زیر است:

— به‌طور کلی، حد مجاز خوردگی برای لوله‌های فولادی کربنی (نوع پوسته و لوله)/صفحات (نوع ورق) موجود نیست، و بنابراین لازم است CRA برای بسیاری از کاربردهایی که فولاد کربنی به‌عنوان مواد لوله‌کشی انتخاب می‌شود، در نظر گرفته شود؛

— طراحی مبدل گرمایی (برای مثال پوسته و لوله، خنک‌کننده‌های هوایی، خنک‌کننده‌های ورقی) به‌شدت بر انتخاب مواد تأثیر می‌گذارد؛

— ملاحظات انتخاب مواد باید بسیار خاص باشد، برای مثال، شرایط شدید ایجاد شیار، در آب گرم دریا؛

— ورود آب از سامانه‌های آب‌فشان بین صفحات در مبدل‌های گرمایی از نوع صفحه پیچ‌دار[1] باید در نظر گرفته شود؛

— دمای بالای سطح، خطر خوردگی SCC یا خوردگی شیاری را در مواد ورق یا لوله در هر دو سمت نفت خام و آب داغ گرم‌کن‌های نفت خام یا خنک‌کن‌های گازی ایجاد می‌کند.

۷-۲-۳ سامانه‌های سرچاهی، تولید و فراورش

مواد معمول برای سامانه تولید و فراورش در جدول ۴ ارائه شده است. در این استاندارد، سامانه‌های تخلیه بسته[2] و سوخت گازی تحت عنوان سامانه‌های سرویس جانبی ارائه شده‌اند.

مواد ظروف تحت فشار[3] برای جداسازی نفت/گاز/آب و سامانه‌های تصفیه گاز[4] باید بر اساس معیارهای خورندگی مشابه سامانه‌های لوله‌کشی هیدروکربن انتخاب شوند. ظروف تحت فشار ساخته‌شده از CRA ها، روکش فلزی CRA یا روکش جوشی[5]، نیازی به سامانه‌های حفاظتی خوردگی داخلی ندارند. برای حذف خطر SCC بیرونی یک ظرف تحت فشار از نوع فولاد زنگ‌نزن، در برخی موارد استفاده از ظروف تحت فشار فولادی کربنی با روکش فلزی CRA مفید است.

به‌منظور استفاده در سرویس‌های سیال حاوی مواد جامد معلق، مواد اجزای داخلی شیرها باید دارای مقاومت به سایش یا مقاومت به سایشِ خراشان[6] یا مقاومت به سایش و سایشِ خراشان باشند. اجزای داخلی باید دارای مقاومت به خوردگی یکسان یا بهتر از بدنه باشند و در مقابل شرایط سرویس داخلی مقاوم به خوردگی باشند.

1- Bolted plate
2- Closed drain
3- Pressure vessel
4- Gas treating
5- Weld overlaid
6- Abrasion

جدول ۴- مواد معمول مورد استفاده در سامانه‌های تولید و فراورش هیدروکربن

تجهیز		مواد
تجهیزات سرچاهی/تاج چاه[1]		— فولاد کربنی یا فولاد کم‌آلیاژ با/بدون روکش جوشی از نوع آلیاژ 625 که مناطق درزگیری و سایر مناطق خیس‌شده با سیال را پوشش می‌دهد —نوع 13Cr با/بدون روکش آلیاژ 625 در سطوح درزگیری
لوله‌کشی		— فولاد کربنی یا فولاد کم‌آلیاژ با/بدون روکش فلزی CRA — نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی؛ نوع 6Mo
بدنه/کلاهک‌های شیر		— فولاد کربنی یا فولاد کم‌آلیاژ با/ بدون روکش جوشی از نوع آلیاژ 625 — نوع 13Cr؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی؛ نوع 6Mo
اجزای داخلی شیر	تاسیسات سطحی و قابل بازیابی[2] زیر دریا	— نوع 13Cr فولاد یا آلیاژهایی با مقاومت به خوردگی بهتر از بدنه
	تاسیسات زیر دریا، غیر قابل بازیابی	— آلیاژ 718 یا آلیاژهایی با مقاومت به خوردگی یکسان یا بهتر از بدنه
ظروف		— فولاد کربنی با/بدون روکش یا پوشش آلی داخلی[الف] — فولاد کربنی با روکش فلزی CRA یا روکش جوشی از قبیل نوع 316؛ آلیاژ 904؛ آلیاژ 825 یا آلیاژ 625 — نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی
[الف] آندهای فداشونده ممکن است برای ظروف تحت فشار ساخته‌شده از فولاد کربنی با روکش یا پوشش داخلی مورد نیاز باشد. نیاز به بازرسی منظم و تعمیرات پوشش باید در انتخاب مواد در نظر گرفته شود		
1- Xmass Trees 2- Retrievable		

۷-۲-۴ سامانه‌های مشعل[1]

مواد معمول برای سامانه‌های مشعل در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مواد معمول برای سامانه‌های مشعل

تجهیز	مواد
سامانه تخلیه فشار، لوله‌کشی و ظروف	فولاد کربنی؛ نوع 316؛ نوع 6Mo؛ آلیاژ 904
مجموعهٔ نوک مشعل	UNS S31000؛ UNS S30815؛ آلیاژ 800H؛ آلیاژ 625

۷-۲-۵ آب تولیدی

چندین مکانیسم خوردگی وجود دارد که ممکن است در سامانه‌های آب تولیدی رخ دهد. انتخاب مواد به‌شدت تحت تأثیر تجربه عملیاتی است.

سامانه‌های آب تولیدی می‌توانند پیچیده باشند و مطابق با زیربند ۶-۲-۳-۶ آلودگی اکسیژن ممکن است رخ دهد. ورود آب دریا از سامانه‌های تخلیه نیز گزارش شده است. برخی از سامانه‌های آب تولیدی به‌دلیل هجوم آب ناشی از تزریق قبلی آب دریا می‌توانند دارای فعالیت باکتریایی باشند، به‌ویژه اگر غلظت سولفات زیاد

1- Flare systems

باشد. در این شرایط، خوردگی میکروبیولوژیکی اصلی‌ترین تهدید برای فولاد کربنی است. ورود اکسیژن و MIC به‌شدت بر انتخاب مواد شیمیایی کنترل‌کننده خوردگی تأثیر می‌گذارد.

نمونه‌ای از انتخاب مواد برای سامانه‌های آب تولیدی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مواد معمول برای سامانه‌های آب تولیدی

تجهیز	مواد
تجهیزات سرچاهی/تاج چاه (برای سامانه‌های تزریق مجدد)	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ با روکش فلزی داخلی آلیاژ 625 روی تمام سطوح درزگیری یا روی تمام سطوح خیس
لوله‌کشی	فولاد کربنی؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 6Mo؛ GRP
ظروف و تجهیزات	فولاد کربنی با/بدون پوشش آلی داخلی[الف]؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی
پمپ‌ها[ب]	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی
بدنه/کلاهک‌های شیر	فولاد کربنی؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ فولاد کربنی با روکش فلزی داخلی آلیاژ 625
اجزای داخلی شیر[پ]	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ یا آلیاژهایی با مقاومت به خوردگی یکسان یا بهتر

[الف] آندهای فداشونده ممکن است برای ظروف تحت فشار ساخته‌شده از فولاد کربنی با روکش یا پوشش داخلی مورد نیاز باشد. نیاز به بازرسی منظم و تعمیرات پوشش باید در انتخاب مواد در نظر گرفته شود.

[ب] برای جزئیات مربوط به مواد پمپ‌ها، به استاندارد ISO 13709 [9] مراجعه شود.

[پ] نوع 13Cr نباید در سرویس آب تولیدی استفاده شود.

۷-۳ سامانه‌های تزریق

۷-۳-۱ کلیات

سامانه‌های تزریق شامل تزریق آب یا گاز به سطح زیرین به‌منظور دفع یا اهداف تحریک مخزن[1] است.

سامانه‌های تزریق آب شامل تزریق آب دریای هوازدایی‌شده، آب دریای تصفیه‌نشده[2]، آب دریای کلرزنی‌شده، آب تولیدی، آب سفره زیرزمینی و ترکیب‌ها و مخلوطی از آب‌های مختلف است.

آب لب‌شور[3] باید به‌عنوان آب دریا در نظر گرفته شود.

یادآوری- آب سفره زیرزمینی از لایه‌ای زیرزمینی از سنگ نفوذپذیر آب‌دار، که می‌توان آب زیرزمینی را از آن استخراج کرد، حاصل می‌شود. از این آب می‌توان برای تزریق در مخازن نفتی زیرزمینی استفاده کرد.

۷-۳-۲ آب دریای هوازدایی‌شده

مواد معمول برای سامانه‌های انتقال آب دریای هوازدایی‌شده در جدول ۷ ارائه شده است.

1- Stimulation
2- Untreated
3- Brackish water

جدول ۷- مواد معمول برای سامانه‌های آب دریای هوازدایی‌شده

تجهیز	مواد
تجهیزات سرچاهی/تاج چاه	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ با روکش فلزی داخلی آلیاژ 625 روی تمام سطوح درزگیری یا روی تمام سطوح خیس
لوله‌کشی	فولاد کربنی؛ GRP؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی
برج هوازدایی	فولاد کربنی با پوشش آلی داخلی همراه با حفاظت کاتدی در قسمت زیرین
پمپ‌ها[الف]	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی
بدنه/کلاهک‌های شیر	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی
اجزای داخلی شیر[ب]	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ یا آلیاژهایی با مقاومت به خوردگی یکسان یا بهتر
[الف] برای جزئیات مربوط به مواد پمپ‌ها، به ISO 13709 مراجعه شود. [ب] نوع 13Cr نباید در سرویس آب تولیدی استفاده شود.	

۷-۳-۳ آب دریای هوادهی‌شده

مواد معمول برای استفاده در سامانه‌های تزریق آب دریای تصفیه‌نشده و کلرزنی‌شده در جدول ۸ ارائه شده است. حدود حداکثر دمای عملیاتی معمول برای سامانه‌های انتقال آب دریای کلرزنی‌شده مستعد خوردگی شیاری، برای گریدهای خاص مواد در جدول ۱۰ مشخص شده است.

جدول ۸- مواد معمول برای سامانه‌های آب دریای تصفیه‌نشده

تجهیز	مواد
تجهیزات سرچاهی/تاج چاه	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ با روکش فلزی داخلی آلیاژ 625 روی تمام سطوح خیس
لوله‌کشی	GRP؛ نوع 25Cr دوفازی؛ نوع 6Mo؛ CuNi 90/10 [الف]؛ تیتانیوم گرید 2
ظروف	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ [ب] با روکش یا پوشش آلی داخلی همراه با حفاظت کاتدی؛ GRP؛ نوع 6Mo؛ نوع 25Cr دوفازی
پمپ‌ها	نوع 25Cr دوفازی
بدنه/کلاهک شیر	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ با روکش فلزی آلیاژ 625؛ نوع 25Cr دوفازی
اجزای داخلی شیر[ب]	نوع 25Cr دوفازی یا آلیاژهایی با مقاومت به خوردگی یکسان یا بهتر
[الف] CuNi 90/10 از نظر خوردگی گالوانیکی با CRA ها یا مواد نجیب‌تر سازگار نیست. [ب] فولاد کربنی با روکش فلزی CRA ممکن است به‌عنوان جایگزین یک بدنه از نوع CRA استفاده شود.	

۷-۳-۴ آب تولیدی و آب سفره زیرزمینی

الزامات سامانه‌های تزریق آب تولیدی و آب سفره زیرزمینی مشابه با سامانه‌های آب تولیدی است. به زیربند ۷-۲-۵ مراجعه شود.

در سامانه‌های آب تولیدی از جنس فولاد کربنی، از تزریق نیترات نباید برای مهار فعالیت باکتری کاهندهٔ سولفات استفاده شود.

آب سفره زیرزمینی ممکن است به‌عنوان آب تزریق استفاده شود. این آب می‌تواند حاوی غلظت بالایی از CO_2 محلول باشد که هنگام ارزیابی خورندگی باید در نظر گرفته شود.

اثرات تزریق ترکیبی آب دریا و آب تولیدی باید با توجه به اثرات خوردگی و پوسته‌شدگی[1] در نظر گرفته شود. نرخ‌های خوردگی ممکن است بالاتر از مقادیر مورد انتظار از مدل‌های ساده خوردگی ناشی از CO_2 و O_2 باشد. خطر MIC می‌تواند قابل توجه باشد و در طراحی باید در نظر گرفته شود.

۷-۳-۵ سامانه‌های تزریق گاز

مواد معمول برای سامانه‌های تزریق گاز خشک، فولاد کربنی است. اگر گاز نم‌زدایی نشود، سامانه را می‌توان به‌عنوان سامانه تولیدی (گاز مرطوب) در نظر گرفت.

۷-۴ سامانه‌های سرویس جانبی

۷-۴-۱ کلیات

راهنمای انتخاب مواد برای سامانه‌های سرویس جانبی شامل سوخت گازی، سامانه تخلیه روباز، سامانه تخلیه بسته، سرویس‌های آب، مواد شیمیایی، هوا و سامانه‌های نیتروژن است.

بسیاری از سامانه‌های سرویس جانبی حاوی سیالاتی هستند که خورنده نبوده یا اندکی خورنده هستند. بنابراین، به‌طور کلی یکپارچگی سامانه‌ها در معرض خطر نیست، اما باید در نظر داشت که حتی مقادیری کم از محصولات خوردگی ممکن است منجر به آلودگی غیرقابل پذیرش شود.

۷-۴-۲ سامانه‌های آب شیرین[2]

آب آشامیدنی، آب کانی‌زدایی‌شده[3]، آب یون‌زدایی‌شده و آب نمک‌زدایی‌شده به‌عنوان آب شیرین در نظر گرفته می‌شوند. غلظت کلرید به‌طور معمول کمتر از ۱۰۰ mg/l است.

مواد معمول برای انتقال آب شیرین در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- مواد معمول برای انتقال آب شیرین

تجهیز	مواد	حداکثر دمای داخلی معمول اعمالی °C
لوله‌کشی، شیرها، ظروف، مبدل‌های گرمایی و مخازن	نوع 316	۶۰[الف] تا ۱۲۰
لوله‌کشی، ظروف، مبدل‌های گرمایی و مخازن	CuNi 90/10	۱۲۰[ب]
شیرها	برنز-Al	۱۲۰[ب]

1- Scaling effects
2- Fresh water
3- Demineralized water

تجهیز	مواد	حداکثر دمای داخلی معمول اعمالی °C
لوله‌کشی	مس	۱۲۰[ج]
لوله‌کشی، ظروف و مخازن	GRP (رزین اپوکسی)	۹۵
لوله‌کشی، ظروف و مخازن	GRP (رزین پلی‌استر)	۴۰
لوله‌کشی، ظروف و مخازن	GRP (رزین وینیل‌استر)	۸۰[ج]
لوله‌کشی، ظروف و مخازن	فولاد کربنی پوشش‌شده با رزین اپوکسی	۹۵[ج]
لوله‌کشی	فولاد کربنی HDG	۵۰
لوله‌کشی و مخازن	PVC	۷۰[ج]
لوله‌کشی و مخازن	PE	۶۰[ج]
لوله‌کشی و مخازن	PP	۹۰[ج]

[الف] غلظت کلرید باید زیر ۲۰۰ mg/l تا دمای ۶۰ °C نگه داشته شود. برای دماهای بالاتر، کلرید باید به غلظت‌های کمتر محدود شود، تا از خوردگی حفره‌ای داخلی که در نوع 316 ایجاد می‌شود، جلوگیری شود. به‌دلیل خطر SCC بیرونی (طبق زیربندهای ۶-۶-۲ و ۸-۳)، حداکثر دمای عملیاتی معمول مورد استفاده برای نوع 316 بدون پوشش، ۵۰ °C تا ۶۰ °C در محیط جوی دریایی است.

[ج] مس و آلیاژهای نیکل-مس باید فقط با آب آشامیدنی در گستره pH از ۶ تا ۹ استفاده شوند. در دماهای بالاتر از ۶۰ °C ، نسبت HCO_3/SO_4^{2-} باید بیشتر از ۱ باشد تا از حفره‌دارشدن جلوگیری شود.

[ج] حداکثر دمای عملیاتی واقعی برای هر ماده غیر فلزی خاص باید توسط کاربر نهایی با دریافت ورودی از سازنده مواد تعیین شود..

۳-۴-۷ سامانه‌های انتقال آب دریا

در جدول ۱۰، مواد معمول برای سامانه‌های انتقال آب دریا همراه با حداکثر دمای عملیاتی معمول برای سامانه‌های لوله‌کشی مستعد خوردگی شیاری، ارائه شده است.

یادآوری ۱- سامانه‌هایی که پیمایشِ گرمایی شده یا تحت گرمادهی خورشیدی قرارگرفته‌اند، می‌توانند در معرض دماهای بالاتر از مقادیر مورد انتظار از محاسبات فرایند، قرار گیرند.

یادآوری ۲- آب دریای تصفیه‌نشده معمولاً خورندگی کمتری نسبت به آب دریای کلرزنی‌شده دارد، اما محدودیت‌های کاربرد بسیار کمی برای آن تعیین شده است.

جدول ۱۰- مواد معمول برای سامانه‌های انتقال آب دریای کلرزنی‌شده مستعد خوردگی شیاری

تجهیز	مواد	حداکثر دمای عملیاتی °C	سایر محدودیت‌ها
لوله‌کشی	PE[الف]	۶۰	
	لوله الاستومری[الف]	۷۰	
لوله‌کشی، ظروف	GRP (رزین اپوکسی)[الف]	۹۵	حداکثر سرعت: ۵ m/s
لوله‌کشی، ظروف، شیرها	فولاد کربنی با روکش یا پوشش داخلی غیر فلزی با/بدون CP	دما با نوع انتخاب روکش یا پوشش محدود می‌شود	
لوله‌کشی، ظروف	نوع 6Mo	۲۰	حداکثر غلظت کلر

تجهیز	مواد	حداکثر دمای عملیاتی °C	سایر محدودیت‌ها
لوله‌کشی، تجهیزات، شیرها	آلیاژ 625	۳۰	باقیمانده: ۰٫۷ mg/l
لوله‌کشی، تجهیزات، ظروف، شیرها، پمپ‌ها	نوع 25Cr دوفازی	۲۰	
لوله‌کشی، تجهیزات، شیرها، مبدل‌های گرمایی[ب]	آلیاژ C276/C22	۵۰	
	آلیاژ 686/59/C2000	۶۰	
	تیتانیوم گریدهای 1 و 2	۸۵	
لوله‌کشی[پ]، مبدل‌های گرمایی[ب]	CuNi 90/10	۱۰۰	حداکثر سرعت: ۲٫۵ m/s تا ۳٫۵ m/s بسته به قطر لوله
پمپ‌ها و شیرها	NiAl برنز	۷۵	حداکثر سرعت: ۱۵ m/s
	نوع 25Cr دوفازی	۲۰	

[الف] حداکثر دمای عملیاتی واقعی و خواص مقاومت به آتش برای هر ماده غیر فلزی خاص باید توسط کاربر نهایی با دریافت ورودی از سازنده مواد تعیین شود.
[ب] انتخاب نهایی مواد مبدل گرمایی تحت تأثیر محیط خنک‌کن/گرم‌کن و طراحی مبدل گرمایی خواهد بود.
[پ] از شرایط راکد و جفت‌شدن با SS، تیتانیوم و آلیاژهای نیکل باید جلوگیری شود.

برای کنترل ولتاژ و جریان‌ها در سامانه‌های حفاظت کاتدی داخلی به‌منظور افزایش حدود دمایی برای آلیاژ 625، نوع 6Mo و نوع 25Cr دوفازی، مقاومت‌ها[1] یا دیودهایی[2] در اجزای سامانه‌های کلرزنی‌شده استفاده شده‌اند. باید مراقب بود که این سامانه‌ها به‌درستی کار کنند.

اتصالات رزوه‌ای نسبت به خوردگی شیاری بسیار حساس هستند و در مواد CRA باید از آن‌ها جلوگیری شود. در صورت استفاده از مواد در شرایط مرزی[3]، آماده‌سازی سطح (اسیدشویی[4] و غیر فعال‌سازی[5]) و رویه‌های راه‌اندازی می‌تواند خطر خوردگی شیاری را تحت تأثیر قرار دهد.

برای کاربردهای مبدل گرمایی از نوع ورق و پوسته/تیوب با آب دریا در سمت پوسته، شرایط خوردگی شیاری شدید وجود دارد و به‌طور کلی از SS استفاده نمی‌شود. برای این سرویس، معمولا از آلیاژهای تیتانیم استفاده می‌شود، در حالی‌که استفاده از آلیاژهای مس یا نیکل باید به‌صورت موردی ارزیابی شود.

فولاد کربنی HDG معمولاً برای سامانه‌های آب دریا استفاده نمی‌شود، به‌جز مواردی‌که عمر طراحی (۵ تا ۱۰ سال) کوتاه باشد. اگر لوله‌کشی گالوانیزه برای استفاده در سامانه‌های معمولاً راکد مشخص شده باشد (برای مثال سامانه‌های آب آتش‌نشانی)، برای جلوگیری از انسداد نازل‌های آب‌پاش[6]/غرقاب[7]، اقدامات مناسب مانند شستشوی سریع و مکرر سامانه با آب شیرین باید اجرا شود. گالوانیزه‌کردن باید روی مقاطع

1- Resistors
2- Diodes
3- Borderline conditions
4- Pickling
5- Passivation
6- Sprinkler
7- Deludge

پیش‌ساختهٔ لوله که جوش داده‌شده است، انجام و اطمینان حاصل شود که تمام سطح داخلی شامل جوش‌ها پوشش شده‌اند.

نشت‌بندهای حاوی گرافیت نباید در سامانه‌های لوله‌کشی فلزی آب دریا استفاده شوند.

۷-۴-۴ سایر سامانه‌های سرویس جانبی

انتخاب مواد برای این سامانه‌ها در جدول ۱۱ همراه با اصلاحیه‌هایی در زیر ارائه شده است. این فهرست سایر مواد مورد استفاده را مستثنی نمی کند، اما متداول‌ترین مواد مورد استفاده را فهرست می‌کند.

برای سامانه‌های گرم‌کن و خنک‌کن از نوع بسته[1]، آب شیرین یا آب شیرین با ٪ ۳۰ جرمی تری‌اتیلن‌گلیکول (TEG) به‌عنوان محیط خنک‌کن/گرم‌کن استفاده می‌شود. سیالات روغن داغ[2] اختصاصی نیز اغلب به‌عنوان محیط گرم‌کن استفاده و برای فولاد کربنی غیرخورنده در نظر گرفته می‌شوند.

فولاد کربنی با موفقیت در سامانه‌های TEG استفاده شده است، اما برای مبدل‌های گرمایی و سایر اجزای مهم در این سامانه‌ها، نوع 316 می‌تواند جایگزینی مناسب برای فولاد کربنی باشد. انتظار خوردگی گالوانیکی بین فولاد کربنی و نوع 316 وجود ندارد. برای فولاد کربنی، مشخص‌کردن عملیات شیمیایی از قبیل بازدارندگی خوردگی، یا کنترل pH یا هر دو، برای اطمینان از محافظت از سامانه ضروری است.

1- Closed-loop
2- Hot-oil fluids

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

جدول ۱۱- مواد معمول برای استفاده در سرویس جانبی

سرویس	تجهیز	مواد	ملاحظات
سامانه تخلیه روباز	لوله‌کشی	غیر دریایی: فولاد کربنی HDG؛ PE؛ GRP دریایی: GRP؛ فولاد کربنی؛ نوع 25Cr دوفازی	—
سامانه تخلیه بسته	لوله‌کشی	فولاد کربنی؛ نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 25Cr دوفازی؛ GRP	—
فاضلاب	لوله‌کشی	نوع 316؛ GRP؛ PE	—
سوخت جت	لوله‌کشی	نوع 316	—
سوخت گازی خشک و گازوییل	لوله‌کشی	فولاد کربنی؛ نوع 316 یا سایر SSها (که تمیزکاری الزامی است)	—
	مخازن	فولاد کربنی؛ GRP	الف
ابزار دقیق	سامانه تیوب	غیر دریایی: نوع 316 دریایی: نوع 316؛ UNS 31700؛ آلیاژ 904؛ آلیاژ 825؛ آلیاژ C276؛ نوع 6Mo؛ نوع 22/25Cr دوفازی؛ آلیاژهای تیتانیوم و Cu	ب،پ
	جعبه‌های تقسیم/ کابینت‌ها	غیر دریایی: فولاد کربنی رنگ‌شده یا HDG با/بدون رنگ دریایی: GRP؛ نوع 316	—
	سینی‌های کابل	غیر دریایی: فولاد کربنی HDG؛ نوع 316 دریایی: نوع 316؛ فولاد کربنی HDG در مناطق کاملا کنترل‌شده از نظر HVAC	—
مجراها و واحدهای HVAC	تهویه/مجراهای مکش هوا	غیر دریایی: فولاد کربنی HDG؛ نوع 316 دریایی: نوع 316؛ فولاد کربنی HDG ممکن است در محل زندگی و مناطق خانگی استفاده شود	پ
	واحدهای هواساز	غیر دریایی: فولاد کربنی HDG؛ نوع 316 دریایی: نوع 316	—
	سیم‌پیچ‌های خنک‌کننده	هوا و آب شیرین: نوع 316؛ آلیاژهای مس آب دریا: تیتاتنویم گرید 2	ب
سامانه‌های آتش‌نشانی	سامانه‌های CO_2 خشک	فولاد کربنی؛	—
	سامانه غرقابی	فولاد کربنی؛ فولاد کربنی HDG؛ نوع 25Cr؛ CuNi 90/10؛ تیتانیوم گرید 2	ب،ت
	لوله‌کشی AFFF	نوع 316؛ GRP	پ
	آب شیرین/ هوای کارخانه/ نیتروژن	غیر دریایی: فولاد کربنی؛ نوع 316 دریایی: نوع 316	پ
روغن روان‌کننده و درزگیری	لوله‌کشی و مخازن	نوع 316؛ نوع 22Cr دوفازی؛ نوع 6Mo	پ
روغن/سیال هیدرولیکی	لوله‌کشی و مخازن	فیلترهای بالادست از جنس فولاد کربنی؛ نوع 316	پ

هوای ابزار دقیق	لوله‌کشی	فولاد کربنی؛ فولاد کربنی HDG؛ نوع 316	پ
	دریافت‌کننده‌های هوا	فولاد کربنی؛ فولاد کربنی پوشش‌شده داخلی؛ نوع 316	—

جدول ۱۱- مواد معمول برای استفاده در سرویس جانبی (ادامه)

سرویس	تجهیز	مواد	ملاحظات
لوله‌کشی گاز بی اثر/ هوای کارخانه	لوله‌کشی و مخازن	فولاد کربنی؛ نوع 316	پ
گلیکول	لوله‌کشی و مخازن	فولاد کربنی؛ نوع 316	—
متانول	لوله‌کشی و مخازن	فولاد کربنی؛ نوع 316	—
سیال گرم‌کن/ خنک‌کن	لوله‌کشی و مخازن	فولاد کربنی؛ CRA در مبدل‌های گرمایی	ث
سامانه‌های مختلف تزریق مواد شیمیایی	لوله‌کشی و مخازن	GRP؛ نوع 316؛ نوع 6Mo؛ تیتانیوم گرید 2	ج،چ

الف مخازن گازوییل از فولاد کربنی باید دارای حد مجاز خوردگی mm ۳ در قسمت زیرین باشند. علاوه بر این، کف و سقف باید پوشش داده شود. حفاظت کاتدی فقط در صورتی استفاده می‌شود که محصولات خوردگی ناشی از آندهای فداشونده آسیبی به تجهیزات پایین‌دست وارد نکنند. برای سطوح حفاظت‌شده از نظر کاتدی، نیازی به حد مجاز خوردگی نیست. اگر محصولات خوردگی هنگام استفاده از محصول ذخیره‌شده بتوانند زیان‌آور باشند، کل مخزن گازوییل باید پوشش داده شود.

ب در سامانه‌های آب دریا، آلیاژهای مس نباید همراه یا فولاد زنگ‌نزن یا آلیاژ نیکل استفاده شوند.

پ در جو دریایی، ممکن است خطر زیادی برای خوردگی موضعی نوع 316، به‌ویژه خوردگی شیاری در زیر گیره‌ها، وجود داشته باشد. استفاده از مواد جایگزین برای لوله باید ارزیابی شود.

ت سامانه‌های ساخته‌شده از فولاد کربنی HDG ممکن است متحمل انسداد نازل شوند.

ث محیط‌های گرم‌کن و خنک‌کن با آب شیرین معمولاً با یک بازدارنده خوردگی و یک اکسیژن‌زدا[1] عملیات می‌شوند. در محیط انجماد، آب شیرین معمولاً با TEG مخلوط می‌شود.

ج ترکیب مواد شیمیایی و مواد باید در هر مورد در نظر گرفته شود. برای سامانه‌های هیپوکلریت باید تیتانیوم گرید 2، GRP یا PVC-C استفاده شود.

چ مواد شیمیایی معمول شامل بازدارنده خوردگی[2]، بازدارنده پوسته‌شدگی[3]، ضد کف[4]، وکس[5] تعلیق‌شکن[6]، زیست‌کُش و اکسیژن‌زدا است.

1- Oxygen scavenger
2- Corrosion inhibitor
3- Scale inhibitor
4- Wax
5- Anti-foam
6- De-emulsifier wax

۵-۷ خطوط لوله و خطوط جریانی

از نظر تئوری، هیچ تفاوتی بین خطوط لوله/خطوط جریانی و سایر سامانه‌ها از نظر ارزیابی خوردگی و انتخاب مواد وجود ندارد. با این حال، از آنجا که هزینه‌های مواد برای این اقلام می‌تواند نمایندهٔ بخش قابل توجهی از کل سرمایه‌گذاری برای یک پروژه باشد، آن‌ها را باید جداگانه ارزیابی کرد. مواد انتخاب‌شده برای خط لوله/جریانی می‌تواند بر روش نصب نیز تأثیر گذارد، یا برعکس.

مواد معمول برای خطوط لوله/خطوط جریانی در شرایط مختلف سرویس در جدول ۱۲ ارائه شده است.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

جدول ۱۲- مواد معمول برای خطوط لوله/خطوط جریانی بسته به نوع سرویس

تجهیز	مواد
تولید هیدروکربن	فولاد کربنی با/بدون عملیات شیمیایی
	لوله انعطاف پذیر دارای بافتی از نوع فولاد زنگ‌نزن نوع 316 یا دوفازی
	فولاد کربنی، پوشش/روکش شده داخلی با نوع 316؛ آلیاژ 825 یا آلیاژ 625
	نوع 22Cr
	نوع 13Cr با مقدار پایین کربن
گاز هیدروکربنی مرطوب (نم‌زدایی‌نشده)	همان مواد مورد استفاده در تولید هیدروکربن فراورش‌نشده
گاز خشک (نم‌زدایی‌شده)	فولاد کربنی
نفت یا میعان پایدارشده یا بخشی پایدارشده	فولاد کربنی با/بدون بازدارنده خوردگی
آب دریای هوازدایی‌شده[الف] و آب تولیدی برای تزریق	فولاد کربنی با عملیات شیمیایی
	فولاد کربنی با روکش یا پوشش آلی
	لوله انعطاف پذیر دارای بافتی از نوع فولاد زنگ‌نزن نوع 316 یا دوفازی

[الف] در خطوط جریانی تزریق زیر دریا از جنس فولاد کربنی که آب دریای هوازدایی‌شده را منتقل می‌کنند، چندین خرابی[1] به‌دلیل خوردگی باکتریایی گزارش شده است. خوردگی ایجادشده در موقعیت ساعت ۶ در لوله، به‌وسیله باکتری‌های کاهنده سولفات رخ می‌دهد. کنترل حمله بسیار دشوار است و حتی با تمیزکاری توپک‌ها و عملیات باکتریایی[2]، نرخ‌های خوردگی با مرتبهٔ mm ۱ در سال تجربه شده است. فولاد کربنی با روکش/پوشش آلی داخلی با موفقیت استفاده شده است و می‌تواند برای خطوط لوله تزریق آب در نظر گرفته شود. در روش جایگزین، کنترل شیمی آب دریای هوازدایی‌شده تزریقی تا سطوح پایین مشخص اکسیژن و گنجاندن زیست‌کش یا عملیات به‌وسیله نیترات می‌تواند اجازه استفاده از فولاد کربنی پوشش‌نشده را بدهد. نیترات کنترل خوردگی را بهبود می‌دهد و علاوه بر این، خنثی‌سازی خاصیت قلیایی مخزن و در نتیجه تولید H_2S را کاهش می‌دهد.

1- Failure
2- Bacterial treatment

۶-۷ سایر سامانه‌ها

۱-۶-۷ واحدهای بازیابی گرمای اتلافی

واحدهای بازیابی گرمای اتلافی ممکن است در کانال خروجی[1] توربین‌های گازی و نظایر آن قرار داشته باشند. خورندگی گاز خروجی به نوع و تمیزی سوخت بستگی دارد.

مواد معمول برای واحدهای بازیابی گرمای اتلافی در جدول ۱۳ ارائه شده است.

1- Exhaust ducting

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

جدول ۱۳- مواد معمول برای WHRU

سامانه	تجهیز	مواد	ملاحظات
واحد بازیابی گرمای اتلافی و کانال عمومی خروجی در طراحی جدارهٔ سرد	پوسته[الف،ب]	کانال بیرونی ؛ SS نوع 316 + TSA [۱،پ] به‌صورت بیرونی	حفاظت سطح داخلی لازم نیست
	لوله‌کشی	مواد باید مقاوم به ترک‌خوردن ناشی از خوردگی تنشی کلریدی باشند [پ]	فولاد کربنی نوع ASTM A355 P11 یا آلیاژ 625 و پره‌ها فولاد کربنی نوع ASTM A409
	جدارهٔ داخلی[ب]	نوع 321 SS UNS S32100	—
	تیوب مبدل گرمایی[ب]	فولاد کربنی نوع ASTM A355 P11	—
[الف] در طراحی جدارهٔ سرد، حداکثر دمای بیرونی ۲۰۰ °C است. [ب] انتخاب مواد برای WHRU و مجرای خروجی براساس طراحی جدارهٔ سرد است و باید برای بررسی و تایید به کاربر نهایی ارائه شود. خوردگی اسید سولفوریکی باید در نظر گرفته شود. [پ] عمدتا برای محیط‌های دریایی کاربرد دارد.			
1- Thermal sprayed aluminium			

۷-۶-۲ سامانه‌های تولید و تزریق در زیر دریا

مواد معمول برای سامانه‌های تولید و تزریق در زیر دریا، در جدول ۱۴ ارائه شده است.

جدول ۱۴- مواد معمول برای سامانه‌های تولید و تزریق در زیر دریا

سامانه‌ها/تجهیز	مواد
تجهیزات سرچاهی/تاج چاه	فولاد کربنی یا کم‌آلیاژ با روکش جوشی آلیاژ 625 روی تمام سطوح درزگیری و روی تمام سطوح خیس آلیاژ 718 که به اکسیژن حساس است و باید با در نظر گرفتن ملاحظاتی در سرویس‌های تزریق آب یا تزریق مجدد مواد (حاصل از حفاری مانند گل و ...) استفاده شود. آلیاژ 13Cr4Ni (F6NM) که بدون روکش فلزی با آلیاژ 625 نباید استفاده شود.
لوله‌کشی با مجرای بزرگ[الف،ب]	SS دوفازی نوع 22Cr، SS دوفازی نوع 25Cr، SS نوع 6Mo، فولاد کربنی با روکش جوشی از نوع آلیاژ 625
بدنه و کلاهک شیر با مجرای بزرگ[الف]	SS دوفازی نوع 25Cr، SS دوفازی نوع 22Cr، فولاد کربنی با روکش جوشی از نوع آلیاژ 625، آلیاژ 625
بخش‌های داخلی شیر با مجرای بزرگ[ب]	SS دوفازی نوع 22Cr، SS دوفازی نوع 25Cr، آلیاژهای Ni، آلیاژ 625، 716، 718، 725، 825، 925
لوله‌کشی/تیوب‌کشی و شیرهای با مجرای کوچک	SS نوع 316، SS دوفازی نوع 22Cr، SS دوفازی نوع 25Cr، SS نوع 6Mo، آلیاژ 625
[الف] برای آب دریای خام، PREN > ۴۰ الزامی است. [ب] برای تزریق گاز خشک و آب هوازدایی‌شده ممکن است فولاد کربنی استفاده شود. نواحی درزگیری باید روکش فلزی آلیاژ 625 باشد.	

۸ کنترل خوردگی

۸-۱ عملیات شیمیایی

فولاد کربنی، با استفاده از یک یا چند اقدام کنترل خوردگی که در این بند توضیح داده شده است، متداول‌ترین ماده‌ای است که در تاسیسات تولید و فراورش استفاده می‌شود. روش‌های متداول عملیات شیمیایی، استفاده از بازدارنده‌های شکل‌دهنده فیلم، اکسیژن‌زداها، زیست‌کش‌ها، بازدارنده‌های آندی و تثبیت‌کننده‌های pH است.

اگر احتمال اجبار الزامات زیست‌محیطی توسط تنظیم‌کنندگان مقررات ملی یا کاربر نهایی وجود داشته باشد، می‌توان انواع بازدارنده‌های خوردگی مناسب برای استفاده را محدود کرد. الزامات زیست‌محیطی برای استفاده از بازدارنده‌های خوردگی باید با کاربر نهایی توافق شود.

کاربرد و پایش عملیات شیمیایی عمدتا موضوعی مربوط به بهره‌برداری تاسیسات است، اما برخی از مسائل باید هنگام انتخاب مواد مورد توجه قرار گیرد. باقیمانده این بند به عملیات شیمیایی فقط برای کنترل خوردگی در سامانه‌های تولید و فراورش می‌پردازد.

پارامترهایی که می‌توانند به‌شدت بر امکان بازدارندگی شیمیایی تأثیر گذارند شامل دما، شرایط جریان، مقدار H_2S و سازگاری با سایر مواد شیمیایی می‌باشند. برای سامانه‌های آب تولید شده، آلاینده‌هایی مانند اکسیژن و MIC نیز باید در نظر گرفته شوند. این پارامترها باید در مبنای طراحی تعریف شوند.

در مورد اثرات سایش فرسایشی در سامانه‌های حاوی ذرات جامد، که در آن سامانه خورنده بوده و حفاظت از فولاد کربنی توسط یک بازدارنده خوردگی انجام می‌شود، تجربه محدودی وجود دارد. عملکرد بازدارنده خوردگی ممکن است هم به‌وسیله حذف فیزیکی لایه بازدارنده خوردگی و هم به‌وسیله جذب بازدارنده روی ذرات جامد، تحت تأثیر ذرات جامد قرار گیرد؛ و درنتیجه مقدار بازدارنده موجود برای تماس با سطوح فلزی کاهش یابد.

عملکرد بازدارنده‌ها باید با آزمون‌های آزمایشگاهی تأیید شود. به‌منظور آزمون و بهینه‌سازی مقدار دقیق آن‌ها، اقدامات آزمایشی میدانی واقعی باید انجام شود.

برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا فولاد کربنی همراه با بازدارنده‌های خوردگی می‌تواند برای سامانه واقعی استفاده شود، پارامترهای بالا باید مورد توجه قرار گیرند و اقدامات عملیاتی به‌عنوان بخشی از فرایند انتخاب مواد باید تعریف شوند. باید ثابت شود که بازدارنده خوردگی، چه به‌وسیله تجربه میدانی مربوط و چه به‌وسیله آزمون آزمایشگاهی، می‌تواند حفاظت رضایت‌بخش از شرایط واقعی سرویس را فراهم کند. مدل‌ها، داده‌ها، روش‌های آزمون و معیارهای پذیرش برای استفاده در این فرایند باید با کاربر نهایی توافق شود.

بازدارندگی خوردگی برای جلوگیری از خوردگی ناشی از CO_2/H_2S، در کاهش خوردگی بالای خط لوله موثر نیست. در روش جایگزین، عملیات‌های دوره‌ای مانند توپک‌رانی افشانه‌ای[1] یا عملیات بچ[2] بازدارنده خوردگی تغلیظ‌شده[3] بین دو توپک باید ارزیابی شود.

یادآوری ۱- روش متداول، استفاده از «فراهمی بازدارنده» است. بازدارنده ممکن است هنگام شروع سامانه یا به‌دلیل خرابی در سامانه تزریق موجود نباشد. نرخ خوردگی حاصل از بازدارندگی معمولاً ۰٫۱ mm در سال است (که با کاربر نهایی توافق می‌شود).

در سامانه‌های خط لوله که تنها آب میعان‌شده به‌عنوان فاز آب و مونو اتیلن گلیکول (MEG) به‌عنوان بازدارندهٔ هیدرات وجود دارد، خوردگی را می‌توان با تثبیت pH در سامانه‌های غیر ترش کنترل کرد.

یادآوری ۲- تثبیت pH به این معنی است که یک ماده شیمیایی قلیایی به فاز MEG/آب اضافه شود تا pH را افزایش دهد، حلالیت یون‌های آهن را کاهش دهد و فیلم‌های سطحی محافظ ایجاد کند تا خوردگی را تا نرخی قابل پذیرش کاهش دهد. مثال‌هایی از مواد شیمیایی مناسب، NaOH و آمین‌ها هستند. غلظت MEG معمولاً بالای ٪۵۰ جرمی است. به‌دلیل خطر پوسته‌شدگی، استفاده از این نوع عملیات نیاز به تأیید کاربر نهایی دارد که هیچ آب سازندی تولید نخواهد شد.

یادآوری ۳- از یک ماده شیمیایی تثبیت‌کننده pH نیز می‌توان همراه با یک بازدارنده تشکیل فیلم استفاده کرد. مزیت این روش این است که pH فاز آب تا حدی تثبیت می‌شود که در صورت شروع تولید آب سازند، پوسته‌شدگی اتفاق نیفتد.

مسائلی مانند انتخاب بازدارنده، سازگاری با سایر مواد شیمیایی، غلظت‌های لازم و سازگاری با مواد غیر فلزی در سامانه باید در زمان مناسب بررسی شود تا قبل از شروع عملیات آمادگی وجود داشته باشد.

۸-۲ حد مجاز خوردگی داخلی

۸-۲-۱ کلیات

معمولاً برای لوله‌کشی فولادی کربنی از حد مجاز خوردگی داخلی استفاده می‌شود. حد مجاز خوردگی باید به خوردگی داخلی مورد انتظار اضافه شود. هر سامانه باید ارزیابی شود و حد مجاز خوردگی انتخاب‌شده باید با ارزیابی خوردگی پشتیبانی شود. علاوه بر خوردگی مورد انتظار حین عملیات عادی، خوردگی احتمالی حین دوره ساخت، نصب، نگهداری، راه‌اندازی و شرایط غیرعادی تولید نیز باید گنجانده شود.

حد مجاز خوردگی متداول در سامانه‌های لوله‌کشی برای عمر طراحی ۲۰ سال، در زیر ارائه شده است:

الف- برای سرویس غیرخورنده: ۱٫۰ mm تا ۱٫۵ mm؛

ب- برای سرویس اندکی خورنده: ۳٫۰ mm؛

پ- برای سرویس به‌شدت خورنده: ۶٫۰ mm.

1- Spray pigging
2- Batch treatment
3- Concentrated

نحوه محاسبه حد مجاز خوردگی باتوجه به میانگین نرخ خوردگی، در زیربند ۸-۲-۲ ارائه شده است.

در سامانه‌های خط لوله توصیه می‌شود که حداکثر حد مجاز خوردگی داخلی ۸ mm تا ۱۰ mm برای استفاده از فولاد کربنی به‌عنوان حد بالایی عمومی در نظر گرفته شود.

برای خطوط لوله گاز خشک یا سیالات غیر خورنده، خوردگی حین نصب و آزمون قبل از راه‌اندازی باید در نظر گرفته شود.

حد مجاز خوردگی خطوط لوله می‌تواند تأثیر زیادی بر هزینه نصب، عمر عملیاتی خط لوله یا هر دو داشته باشد، و ارزیابی تفصیلی خوردگی باید از حد مجاز خوردگی انتخاب‌شده پشتیبانی کند.

برای حد مجاز خوردگی در اتصال‌های گالوانیکی، به زیربند ۸-۷ مراجعه شود.

در مواردی‌که احتمال خوردگی حفره‌ای وجود دارد، علاوه بر حد مجاز خوردگی معمول، می‌توان مقداری نیز برای حد مجاز خوردگی حفره‌ای در نظر گرفت؛ تجارب بر اساس داوری مهندسی می‌تواند پارامتری تاثیرگذار در تصمیم‌گیری توسط کاربر نهایی باشد.

توصیه می‌شود که ارزیابی خوردگی همراه با بازدارندگی، براساس «فراهمی بازدارنده در سامانه» باشد.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر، به NORSOK M-001[29] مراجعه شود.

۸-۲-۲ محاسبه باتوجه به میانگین نرخ خوردگی

حداقل حد مجاز خوردگی را می‌توان مطابق با معادله ۲ محاسبه کرد:

(۲)

که در آن:

CA حد مجاز خوردگی، برحسب mm؛

DL طول عمر طراحی، برحسب year؛

CR میانگین نرخ خوردگی، برحسب mm/year است.

باتوجه به معادله ۲، طبقه‌بندی حد مجاز خوردگی متداول برای عمر طراحی ۲۰ سال، مطابق با جدول ۱۵ در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر جدول ۱۵ به‌صورت راهنمای کلی است و در صورت انجام ارزیابی و مطالعات خوردگی، کاربرنهایی حق انتخاب حد مجازهای خوردگی محاسبه‌شده برای شرایط سرویس سیال را دارد. در این‌صورت، ممکن است انطباق کامل با گستره ای میانگین نرخ خوردگی و حد مجازهای خوردگی جدول ۱۵ وجود نداشته باشد.

جدول ۱۵- حد مجاز خوردگی باتوجه به میانگین نرخ خوردگی

طبقه‌بندی	میانگین نرخ خوردگی mm/year	حد مجاز خوردگی mm
سرویس غیرخورنده	کمتر از ۰٫۰۵	۱٫۰
سرویس اندکی خورنده	۰٫۰۵ تا ۰٫۱۵	۳٫۰
سرویس به‌شدت خورنده	۰٫۱۶ تا ۰٫۳۰	۶٫۰

۸-۳ انتخاب پوشش‌های داخلی و بیرونی

انتخاب سامانه پوشش بیرونی برای فولاد کربنی باید با در نظر گرفتن عمر طراحی، شرایط عملیاتی و شرایط حین ساخت، حمل و نقل، انبارش، راه‌اندازی و نصب تاسیسات باشد.

راهنمای انتخاب سامانه پوشش برای محیط‌های مختلف در استاندارد ISO 12944-5 [7] ارائه شده است و درجات آماده‌سازی سطح در استاندارد ISO 12944-4 [6] تعریف شده است. عملکرد سامانه پوشش بیرونی برای فولاد کربنی در شرایط جوی فراساحلی و غوطه‌ور[1] به‌طور کلی باید منطبق بر الزامات استاندارد ISO 20340 [13] باشد.

هنگام استفاده از پوشش‌های بیرونی برای کاهش SCC بیرونی و خوردگی حفره‌ای در تجهیزات مشخص‌شده از جنس SS برای استفاده در جو دریایی، باید با کاربر نهایی توافق شود. در مورد این مواد، باید به انتخاب پوشش، آماده‌سازی سطح و کنترل کیفیت حین اِعمال سامانه پوشش انتخاب‌شده توجهی ویژه شود. باید توجه داشت که پوشش‌های بیرونی ممکن است عمر مفیدی کوتاه‌تر از چرخه عمر عملیاتی مورد انتظار داشته باشند؛ و درنتیجه به‌منظور به حداقل‌رساندن تهدید SCC تجهیزات از جنس فولاد زنگ‌نزن یا خوردگی بیرونی فولاد کربنی، پوشش‌ها نیاز به نگهداری دارند.

به‌دلیل گستره‌ای بسیار وسیع از شرایط سرویس احتمالی، انتخاب پوشش داخلی برای تجهیزات باید به‌صورت جداگانه انجام شود. علاوه بر این، برخی از سامانه‌های پوشش داخلی همراه با حفاظت کاتدی مشخص می‌شوند و برای این سامانه‌ها لازم است که انتخاب پوشش به‌طور جداگانه ارزیابی شود.

در صورت آسیب‌دیدگی پوشش، خوردگی گالوانیکی بین تجهیزات از جنس CRA و دیواره ظرف در ظروف فولادی کربنی روکش/پوشش‌شده باید رسیدگی شود. به‌عنوان حداقل اقدام، براکت‌های[2] تکیه‌گاه داخلی CRA باید پوش‌رنگ‌کاری شوند. سایر روش‌های حفاظتی مانند حفاظت کاتدی نیز ممکن است در نظر گرفته شود.

فهرست برخی از متداول‌ترین استانداردهای پوشش بیرونی خطوط لوله فولادی در پیوست ت ارائه شده است.

1- Immersed
2- Brackets

۸-۴ حفاظت بیرونی ناحیه پاشش[1]

برای سازه‌ها و لوله‌های عمودی[2] در ناحیه پاشش، پوشش انتخاب‌شده باید طوری طراحی شود که در تمام طول عمر طراحی عمل کند. انتظار آسیب به سامانه پوشش را باید داشت. حد مجاز خوردگی برای لوله‌های عمودی باید با احتساب قرارگیریِ فولاد بدون پوشش درمعرض محیط در یک بازه زمانی واقع‌گرایانه به‌منظور ترمیم آسیب‌های پوشش باشد. حد مجاز خوردگی فولاد کربنی باید بر اساس نرخ خوردگی و عمر طراحیِ پیش‌بینی‌شده ولی حداقل ۶ mm باشد؛ به‌جز مواردی‌که طوری دیگر قید شده باشد.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر در مورد حد مجاز خوردگی در ناحیه پاشش، به NORSOK M-001[29] مراجعه شود.

حفاظت از ناحیه پاشش لوله عمودی، به فلسفه طراحی و نگهداری و شرایط عملیات بستگی دارد. حفاظت مناسب به دمای عملیاتی بستگی دارد. پوشش‌های آلومینیومی گرم‌افشانه‌ای[3]، PP، GRP و پلی‌کلروپرن[4] متداول هستند، اما باید به دمای عملیاتی توجه کرد. پلی‌کلروپرن همراه با گرانول‌ها/براده‌های[5] جاسازی‌شده[6] از آلیاژ CuNi ممکن است به‌عنوان یک لایه ضد رسوب[7] روی پلی‌کلروپرن استفاده شود.

حفاظت از ناحیه پاششِ سازه‌ها معمولاً با پوشش‌های آلی یا آلومینیمی گرم‌افشانه‌ای انجام می‌شود.

۸-۵ حفاظت کاتدی

۸-۵-۱ فراساحلی[8]

سازه‌ها و همه اجزای قابل بازیابی باید دارای سامانه‌های CP خودکفایی باشند که برای عمر طراحی مشخص طراحی شده‌اند. طراحی حفاظت کاتدی باید بر اساس استاندارد NACE SP0176 [24]، EN 12474 [31] یا DNV-RP-B401 [19] برای سازه‌ها و اجزای زیر دریا و استاندارد ISO 15589-2 [10] برای خطوط لوله فراساحلی باشد. تاسیسات زیر دریا باید با استفاده از پوش‌رنگ یا سایر سامانه‌های پوشش همراه با حفاظت کاتدی، در مقابل خوردگی محافظت شوند؛ مگر اینکه توافق دیگری شده باشد. سامانه‌های حفاظتی کاتدی یا سامانه‌های پوشش یا هر دو باید برای همه مواد فلزی که مستعد خوردگی به‌وسیله آب دریا هستند، استفاده شود. اجزایی که دستیابی به تماس الکتریکی قابل اطمینان با سامانهٔ آند برای آن‌ها غیر عملی است، مستثنی می‌شوند. چنین اجزایی باید از مواد مقاوم به آب دریا یا از فولاد کربنی با حد مجاز خوردگی کافی برای طول عمر لازم ساخته شوند. پوشش اجزا و سازه‌ها، تعداد آندهای لازم را محدود می‌کند.

۸-۵-۲ ساحلی

3- Splash zone
4- Risers
1- Thermal sprayed aluminium
2- Polychloprene
3- Granules/cuttings
4- Embedded
5- Antifouling
6- Offshore

طراحی حفاظت کاتدی برای خطوط لوله مدفون خشکی باید مطابق با استاندارد ISO 15589-1 [10] باشد.

حفاظت کاتدی برای سایر تجهیزات فولادی زیرزمینی (برای مثال، خطوط اصلی حلقه‌ای[1] آب آتش‌نشانی) باید در نظر گرفته شود، اما این امر باید وابسته به ارزیابی خورندگی بیرونی باشد.

۸-۶ حفاظت خوردگی فضاهای[2] بسته

برای فضاهای جوی خشک کاملا بسته و درزگیری‌شده در سازه‌های فولادی کربنی، حفاظت از خوردگی داخلی ضروری نیست. برای جلوگیری از رطوبت و خوردگی، می‌توان از تجهیزات رطوبت‌زدایی در فضای جوی بسته یا نیمه‌بسته استفاده کرد.

برای فضاهای پرشده از آب دریا که کاملاً درزگیری شده‌اند یا تبادل آب دریا در آن‌ها محدود شده است، نیاز به CP یا عملیات شیمیایی باید به‌صورت موردی ارزیابی شود. پارامترهایی که باید در نظر گرفته شوند شامل بارگذاری سازه‌ای، مقدار تبادل آب دریا و نسبت حجم و سطح پوشش‌نشده می‌شود.

سازه ها و درپوش‌های زیر دریا اغلب از اجزای توخالی ساخته و با آب دریا پر می‌شوند، اما تنش و خستگی آن‌ها حین بهره‌برداری و سرویس معمولا کم است. برای این اجزا که نسبت حجم به سطح پوشش‌نشده کمتر از $1\ m^3/m^2$ دارند، ممکن است حفاظت از خوردگی داخلی یا حد مجاز خوردگی لازم نباشد.

۸-۷ اتصال مواد نامشابه[3]

۸-۷-۱ سامانه‌های لوله‌کشی

خوردگی گالوانیکی هنگامی رخ می‌دهد که مواد فلزی نامشابه در یک سیال خورندهٔ رسانا به هم متصل شوند. اختلاف پتانسیل بین دو فلز می‌تواند باعث افزایشی قابل توجه در نرخ خوردگی مواد کمتر نجیب شود. با این حال، مقدار خطر خوردگی گالوانیکی به‌شدت تحت تأثیر عواملی مانند نسبت مساحت دو فلز، بازده کاتدی فلز نجیب‌تر، رسانایی الکترولیت، مقدار اکسیژن و دما است. لازم است همه این پارامترها در طراحی تاسیسات ارزیابی شوند.

برای سامانه‌های تولید و فراورش هیدروکربن، خوردگی گالوانیکی معمولاً فقط بین فولاد کربنی و CRA اهمیت دارد. برای سامانه‌هایی که شامل مایعات خورندهٔ بی‌هوازی هستند که در آن‌ها فرایند کاتدی به‌وسیله اکسیژن محلول هدایت نمی‌شود، تجربه عملیاتی قابل توجهی در سراسر جهان وجود دارد که نشان می‌دهد خوردگی گالوانیکی عموما نگران‌کننده نیست، زیرا موارد بسیار کمی گزارش شده است. این امر به ویژه در مورد سامانه‌هایی صادق است که در آن‌ها خوردگی داخلی فولاد کربنی به‌وسیله بازدارندهٔ خوردگی کاهش می‌یابد. در نتیجه، برای سامانه‌های تولید و فراورش هیدروکربن، لازم است الزامات طراحی برای خوردگی گالوانیکی به‌صورت موردی ارزیابی شود.

7- Ring mains
1- Compartments
2- Dissimilar

در سامانه‌های آب دریا، زوج های گالوانیکی که منجر به خوردگی گالوانیکی می‌شوند ، به‌خوبی مستندسازی شده‌اند و لازم است که تاسیسات برای جلوگیری از خوردگی گالوانیکی طراحی شود. اتصال فلنجی روش ترجیحی برای اتصال مواد نامشابه در مواقعی است که خطری قابل توجه برای خوردگی گالوانیکی داخلی وجود دارد.

مثال‌هایی از فنونی که می‌توانند به‌منظور کاهش تهدید خوردگی گالوانیکی برای سطوح فلنج‌دار فلزی نامشابه در سرویس خورنده مورد استفاده قرار گیرند به شرح زیر است:

— یک اسپول[1] فلنج‌دار فاصله‌گذار[2]، که طول آن به مقاومت مسیر[3] و قطر لوله بستگی دارد، بین فلزات نامشابه نصب کنید. ماده سازنده اسپول فلنج‌دار فاصله‌گذار ممکن است ماده جامد نارسانای الکتریکی (برای مثال GRP) بوده یا ماده فلزی باشد که با یک ماده نارسانای الکتریکی (برای مثال، لاستیک ولکانیزه[4] یا پوشش پلیمری) پوشش‌دهی داخلی شده است. درصورت استفاده از لاستیک ولکانیزه، فلز اسپول فلنج‌دار فاصله‌گذار می‌تواند فولاد کربنی باشد.

— حد مجاز خوردگی را برای فلز کمتر نجیب یا اسپول فولادی کربنی فداشونده با دیواره ضخیم، که برای جایگزینی در فواصل زمانی برنامه‌ریزی‌شده طراحی شده است، اِعمال کنید.

— آندهای داخلی فداشونده را با استفاده از اتصالاتِ دسترسی[5]، نزدیک فصل مشترک[6] نصب کنید؛ برای مثال، حفاظت کاتدی «کنترل‌شده با مقاومت»[7] برای سامانه‌های آب دریا.

— عایق الکتریکی فلزات نامشابه را اِعمال کنید؛ با این حال، خطر اتصال الکتریکی به‌وسیلهٔ تکیه‌گاه‌های لوله، عرشه و کابل‌های اتصال زمین باید ارزیابی شود.

— با پوشش‌دهی داخلی ماده نجیب‌تر در زوج گالوانیکی، ناحیه کاتد را کاهش دهید.

— در سامانه‌های تولید و فراورش هیدروکربن و در فصل مشترک‌های بحرانی بین فلزات نامشابه، برای آن وجه از فلنج که از جنس مادهٔ کمتر نجیب است، می‌توان از روکش جوشی از نوع مواد مقاوم به خوردگی استفاده کرد.

۸-۷-۲ تاسیسات غوطه‌ور

در تأسیسات غوطه‌ور، هنگامی‌که مواد متفاوت در تماس الکتریکی با یکدیگر باشند و اقدامات احتیاطی خاصی لازم نباشد، سامانه حفاظت کاتدی از خوردگی گالوانیکی از بیرون جلوگیری می‌کند.

1- Spool
2- Flanged distance spool
3- Resistance path
4- Vulcanized
5- Access fittings
6- Interface
7- Resistor controlled

۸-۷-۳ تاسیسات سازه‌ای

برای ترکیبات فلزی نامشابه در کاربردهای سازه‌ای، الزامات طراحی باید به‌صورت موردی ارزیابی شود؛ برای مثال، آلیاژهای آلومینیوم با فولاد در محیط‌های جوی دریایی. هم‌چنین عملی‌بودن هرگونه اقدامات کاهشی ممکن برای جلوگیری از خوردگی گالوانیکی برای هر یک از این کاربردها باید ارزیابی شود. برای بست‌ها، باید اطمینان حاصل شود که آن‌ها در ترکیب فلزی نامشابه برای چنین کاربردهایی، کاتد هستند.

به‌طور مشابه، اگر محیط خشک و غیرخورنده یا به‌طور متناوب مرطوب در نظر گرفته شود، اقدامات احتیاطی خاصی ممکن است لازم باشد و بنابراین الزامات انتخاب مواد باید به‌طور جداگانه ارزیابی شود.

۸-۸ مواد درزگیری

هنگام تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهینه برای نشت‌بندهای حلقه‌ای[1]، باید تمام شرایط محیطی ممکن (شامل راه‌اندازی) در نظر گرفته شود. حلقه درزگیر[2] باید حداقل در مقابل محیط واقعی فرایند مقاوم باشد.

برای درزگیرهای غیرفلزی، احتمال خوردگی شیاری در فصل مشترک فلز با غیر فلز در درزگیر باید نظر گرفته شود.

برای سرویس آب دریای خام، از مقاومت به خوردگی شیاری و خوردگی گالوانیکی کافی مواد در شرایط عملیاتی مورد انتظار اطمینان حاصل شود.

برای کمک به نشستن حلقه درزگیر و جلوگیری از آسیب دائمی به شیار حلقه در فلنج، مواد حلقه درزگیر در محل‌های اتصال از نوع حلقه‌ایِ[3] ASME، معمولاً با سختی کمتری نسبت به مواد فلنج انتخاب می‌شوند.

حلقه‌های درزگیر طراحی‌شده برای کار در محدوده الاستیک، مانند حلقه‌ها برای اتصال‌دهنده‌های هاب‌دار[4] و فلنج‌های فشرده[5]، باید از موادی با استحکام، شکل‌پذیری و خواص چقرمگی مناسب ساخته شوند. در انتخاب مواد حلقه درزگیر، درصورت کاربرد، باید هرگونه محدودیت‌های محیطی الزام‌شده توسط سایر استانداردها مانند استاندارد ISO 15156، نیزرعایت شود.

۸-۹ بست‌ها

مواد بست‌ها باید مطابق با الزامات کد طراحی مربوط برای اتصال‌دهی انتخاب شوند.

در صورت استفاده از فلزات نامشابه در بست‌ها و مواد در حال اتصال، احتمال خوردگی گالوانیکی و پیامدهای ضرایب گرمایی مختلف، در صورت وجود، باید در نظر گرفته شود.

1- Ring gasket
2- Seal ring
3- Ring-type-joints
4- Hub connctors
5- Compact flanges

بست‌های پیچ‌شده به بدنه اجزا باید از موادی باشند که از نظر خواص کَندگی حاصل از سایش فرسایشی و خوردگی با بدنه سازگار هستند.

در فضاهای غیردریایی، بست‌ها باید از جنس فولاد کم‌آلیاژ پوشش‌شده با فلز روی اعمالی به‌روش الکترولیتی، HDG یا پلی تترا فلورو اتیلن (PTFE) با پیش‌عملیات ضد خوردگی[1] باشند.

در جو دریایی، بست‌های فولادی کم‌آلیاژ باید HDG مطابق با استانداردهای ISO 10684 [3] یا ASTM A153 [16] بوده، یا پوشش‌شده با PTFE با پیش‌عملیات ضد خوردگی مانند سرامیک فلزی باشند. سایر پوشش‌های پیش‌عملیات، باتوجه به خوردگی باید با احتیاط انتخاب شوند. بست‌های CRA باید برای اتصال‌های از مواد CRA در محیط‌های اغلب مرطوب مانند میعان گسترده یا پاشش نمکی انتخاب شوند. بست‌های فولادی کم‌آلیاژ و SS ممکن است متحمل SCC شوند و در نتیجه باید محدودیت‌هایی برای خواص استحکام و سختی تعیین و با کاربر نهایی توافق شود.

در کاربردهای ناحیه پاشش باید از بست‌ها جلوگیری کرد. با این‌حال، هنگامی‌که این امر اجتناب‌ناپذیر باشد، بست‌ها باید از مواد مقاوم به آب دریا (برای مثال، آلیاژ 625/725 یا مشابه) ساخته شوند.

بست‌های فولادی کربنی یا فولاد کم‌آلیاژ مورد استفاده در تجهیزات نصب‌شده در زیر دریا، می‌توانند در شرایط سیاه[2] (پوشش‌نشده) یا پوشش‌شده برای حفاظت متوسط با فلز روی الکترولیتی و پوشش‌های تبدیلی[3] شیمیایی مانند فسفات‌ها یا PTFE (به‌شرط تصدیق اتصال الکتریکی) استفاده شوند. درصورت عدم تضمین حفاظت کاتدی، بست‌ها باید از مواد مقاوم به آب دریا ساخته شوند. برای اطلاعات بیشتر در مورد بست‌های فولادی کربنی یا فولاد کم‌آلیاژ به استاندارد ISO 898-1 [1] مراجعه شود.

کلیه مواد آب‌کاری باید با توجه به مسائل بهداشت ملی، ایمنی و محیط زیستی مربوط به ساخت و استفاده، انتخاب شوند.

تُردشوندگی هیدروژنی، ناشی از هیدروژن حاصل از تمیزکاری شیمیایی مربوط به عملیات پوشش‌دهی (برای مثال، آب‌کاری الکترولیتی و HDG)، ممکن است برای بست‌ها رخ دهد. برای بست‌های تمیزشدهٔ شیمیایی با مقاومت کششی واقعی بیشتر از ۱۰۰۰ MPa یا سختی بیشتر از 31 HRC، پخت باید مطابق با ISO 9588 [2] انجام شود.

بست‌های غوطه‌ور در آب دریا باید مقاوم به تُردشوندگی هیدروژنی باشند. بنابراین استحکام فولاد کربنی، کم‌آلیاژ و SS نباید از حداقل استحکام تسلیم مشخص‌شده ۷۲۵ MPa فراتر رود. حدود حداکثر سختی و استحکام تسلیم واقعی در زیربند ۶-۹-۲ ارائه شده است.

6- Anticorrosion pre-treatment
1- Black condition
2- Converted coatings

۸-۱۰ روکش جوشی

در سامانه‌های هیدروکربنی خورنده، روکش جوشی از جنس CRA با حداقل ضخامت نهایی ۳٫۰ mm ممکن است جایگزین CRA همگن شود. روکش جوشی در سطوح درزگیری، برای فولاد کربنی باید آلیاژ 625 باشند.

درصورت استفاده از آلیاژ 625 و سایر آلیاژهای نیکل به‌عنوان فلز روکش، حداکثر مقدار آهن در سطح نهایی باید ٪ ۱۰ جرمی باشد.

۸-۱۱ خوردگی ترجیحی جوش

هنگام انتخاب مواد مصرفی جوش باید اطمینان حاصل شود که مقاومت خوردگی کل فلز جوش، HAZ و فلز پایه با محیط سازگار باشد. علاوه بر این، برای اثبات مقاومت کافی به خوردگی، ممکن است انجام آزمون خوردگی ضروری باشد.

۸-۱۲ مدیریت خوردگی

فولاد کربنی همراه با تمهیدات مناسب برای کنترل خوردگی، انتخاب وضعیت پایه برای اغلب تأسیسات تولیدی است. الزامات مربوط به پایش خوردگی شامل محل‌های وسایل پایش و نقاط نمونه باید به‌عنوان بخشی از مهندسی تفصیلی، گنجانده شود. اگر برای اطمینان از عملکرد موثر بازدارنده، پایش خوردگی زیر دریا لازم است، باید به‌عنوان بخشی از فرایند انتخاب مواد لحاظ شود.

راهنمای تفصیلی در مورد پایش خوردگی در پیوست ب ارائه شده است.

۸-۱۳ ملاحظات سرعت سیال برای کنترل خوردگی

به‌منظور کاهش شدت خوردگی، راهنماهای زیر برای تعیین سرعت سیال ارائه می‌شود. اگر رعایت ملاحظات سرعت سیال به روش‌های اقتصادی امکان‌پذیر نباشد (برای مثال، هزینه‌های بالای ایستگاه پمپاژ)، یک استراتژی مدیریت خوردگی براساس پیش‌بینی مقدار تشکیل آب در سرعت‌های پایین به‌کارگیری خطوط لوله، باید در نظر گرفته شود.

— گستره عادی سرعت جریان در خطوط لوله حامل مایع، بین ۱ m/s تا ۲ m/s است. از به‌کارگیری پیوسته خطوط لوله با سرعت بالاتر از ۴ m/s پرهیز می‌شود؛

— خطوط لوله فولاد کربنی بدون پوشش داخلی که حامل مایعات دستهٔ B و دارای فاز جداگانهٔ آب هستند (حتی در مقادیر کم، مانند ٪ ۱ نسبت آب به کل مایع[1])، در سرعت‌های خیلی کم (معمولا زیر ۱٫۵ m/s) به‌کارگیری نمی‌شوند؛

یادآوری ۱- سیالات دستهٔ B مطابق با INSO 22857 [34] و ISO 13623 [8]، سیالاتی قابل اشتعال یا سمی یا ناپایدار هستند که در دمای محیط و فشار جو به‌صورت مایع می‌باشند (برای مثال، نفت خام و متانول).

1- Water cut

— گستره عادی سرعت جریان در خطوط لوله حامل گاز، بین ۵ m/s تا ۱۰ m/s است. از به‌کارگیری پیوسته خطوط لوله گاز با سرعت بالاتر از ۲۰ m/s پرهیز می‌شود؛

— برای خطوط لوله حاوی سیالات همراه با ذرات جامد، حداکثر سرعت باید با توجه به احتمال سایش دیواره خط لوله، تعیین شود. از شرایط منجر به سایش دیواره خطوط لوله، باید پرهیز شود؛

یادآوری ۲- برای اطلاعات بیشتر، به Shell DEP 31.40.00.10 [30] مراجعه شود.

— برای خطوط لوله GRP، میانگین سرعت خطی برای سرویس پیوستهٔ مایعات بین ۱ m/s تا ۵ m/s و در بازه‌های غیر پیوسته تا ۱۰ m/s است. برای گاز، میانگین سرعت خطی برای سرویس پیوسته بین ۱ m/s تا ۱۰ m/s و در بازه‌های غیر پیوسته تا ۲۰ m/s است. درصورت حذف یا کنترل عوامل محدودکنندهٔ سرعت، سرعت‌های بیشتر نیز قابل پذیرش است؛ برای مثال، سامانه‌های تهویه‌ای که به داخل جو تخلیه می‌کنند.

یادآوری ۳- برای اطلاعات بیشتر، به ISO 14692-3 مراجعه شود.

یادآوری ۴- برای اطلاعات بیشتر در مورد ملاحظات سرعت سیال برای کنترل خوردگی، به IPS-E-TP-760 [33] مراجعه شود.

۹ صلاحیت‌سنجی مواد و تولیدکنندگان/سازندگان

۹-۱ صلاحیت‌سنجی مواد

۹-۱-۱ کلیات

مواد فهرست‌شده در این استاندارد هنگامی‌که مطابق با حدود طراحی ارائه‌شده در این استاندارد استفاده شوند، دارای صلاحیت در نظر گرفته می‌شوند. درصورتی‌که مستندات کافی مبنی بر تجارب استفاده موفقیت آمیز یا انجام آزمون‌های موفقیت آمیز وجود داشته باشد، سایر مواد می‌توانند اضافه شوند.

مواد دارای صلاحیت باید الزامات زیر را برآورده کنند:

— به‌وسیله کد طراحی مربوط، برای استفاده در چارچوب الزامات طراحی ذکرشده، فهرست شده باشد؛

— به‌وسیله نهادهای استاندارد ملی و بین‌المللی، استانداردسازی شده باشد؛

— به‌راحتی در بازار موجود باشد و به‌وسیله فروشنده‌های مربوط انبار شده باشد؛

— اگر جوشکاری مرتبط باشد، به‌راحتی توسط سازندگان موجود، قابل جوش باشد؛

— سابقه تجربه قبلی برای استفاده داشته باشد؛ برای مثال، نوع و گسترهٔ ابعادیِ یکسان.

۹-۱-۲ صلاحیت‌سنجی به‌وسیله تجربه

در مواردی‌که نوع یکسانی از مواد به‌طور منظم برای کاربرد یکسان استفاده شود، صلاحیت‌سنجی باید بر اساس تجربه باشد. این امر در مورد اغلب موادی که درون حدود کدهای طراحی عرضه و استفاده می‌شوند، صدق می‌کند. استثنا در این مورد، می‌تواند ساخت قطعات ویژه خارج از گسترهٔ ابعاد عادی باشد.

۹-۱-۳ صلاحیت‌سنجی به‌وسیله داده‌های آزمون عمومی

در مواردی‌که از مواد شناخته‌شده در کاربردهای «جدید» یا از مواد «جدید» استفاده شود، صلاحیت‌سنجی ممکن است با ارجاع به نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی یا تولید مربوط انجام شود.

۹-۱-۴ صلاحیت‌سنجی به‌وسیله برنامه آزمون خاص

هنگامی‌که یک ماده برای کاربردی جدید پیشنهاد شود و انتخاب بر اساس معیارهای ارائه‌شده در زیربندهای فرعی ۹-۱-۱ تا ۹-۱-۳ نباشد، یک برنامه صلاحیت‌سنجی باید آغاز شود. قبل از شروع هر آزمونی، هدف برنامه باید به‌وضوح مشخص شود. این اهداف ممکن است کیفی یا کمی باشند و هدفشان تعیین این باشد که محصول برای عمر طراحی سامانه قابل پذیرش است یا نه.

برنامه صلاحیت‌سنجی باید هم تأثیر مسیر تولید و هم ساخت را بر خواص به‌دست‌آمده در نظر بگیرد. در صورت امکان، مواد مرجع با عملکرد شناخته‌شده (خوب، مرزی یا غیرقابل پذیرش) باید برای مقایسه گنجانده شوند.

۹-۲ صلاحیت‌سنجی تولیدکننده/سازنده

تحت شرایطی خاص ممکن است لازم باشد که الزامات اضافی برای تولیدکنندگان/سازندگان بالقوه یا منتخب در نظر گرفته شود؛ تا از توانایی آن‌ها برای تامین مواد مورد نیاز اطمینان حاصل شود.

۹-۳ برنامه‌های آشنایی برای پیمانکاران ساخت

پیمانکاران ساخت که تجربه‌ای محدود در مورد مواد مشخص‌شده یا روش‌ها و تجهیزات ساخت مورد نظر دارند، باید برنامه‌های آشنایی و صلاحیت‌سنجی را قبل از شروع بخش اصلی کار و حین تأمین و تدارکات[1] محصول، تولید[2] محصول، ساخت[3] محصول و احداث[4]، اجرا کنند. هدف باید پیش‌صلاحیت‌سنجی و تایید دستیابی به الزامات مشخص‌شده، بر مبنایی منطبق بر نیاز باشد.

حوزه‌های شناسایی‌شده که ممکن است به این برنامه‌های آشنایی و صلاحیت‌سنجی نیاز داشته باشند، در زیر فهرست شده‌اند:

1- Procurement
2- Manufacturing
3- Fabrication
4- Construction

— اتصال‌دهی و نصب اجزای GRP؛

— جوشکاری و ساخت سازه‌های آلومینیومی؛

— افشاندن حرارتی آلومینیوم؛

— پوشش داخلی ظروف؛

— پوشش وکس شیرها و سایر اجزا؛

— جوشکاری فولادهای با با SMYS > 460 MPa؛

— جوشکاری فولاد زنگ‌نزن نوع 6Mo و نوع دوفازی 25Cr؛

— جوشکاری تیتانیوم؛

— جوشکاری آلومینیوم؛

— جوشکاری/اتصال‌دهی لوله‌های با روکش فلزی[1]؛

— شکل‌دهی سرد.

1- Bimetallic clad

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

مبنای طراحی برای سامانه‌های هیدروکربنی

فرم داده‌ها برای اطلاعات مبنای طراحی برای تاسیسات فراورش هیدروکربنی										
نام حوزه										
عنوان قرارداد										
شماره قرارداد										
عمر طراحی										
داده‌های مخزن زیرزمینی										
فشار مخزن زیرزمینی			نوع سیال							
دمای مخزن زیرزمینی			ترکیب سیال تکمیلی							
فشار در نقطه حباب			مقدار طراحی CO_2 (کسر مولی، ٪)							
چگالی سیال مخزن زیرزمینی			مقدار طراحی H_2S (کسر مولی، ٪)							
تولید ماسه و گِل (سیلت)[1]			جیوه							
وکس			گوگرد عنصری							
			وجود آب آزاد							
شیمی آب سازند										
بی‌کربنات، HCO_3^- یا خاصیت قلیایی کل										
مقدار کل کلریدها			اسیدهای آلی							
Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Ba^{2+}	$Fe^{2+/3+}$	Cl^-	SO_4^{2-}		
شرایط طراحی سامانه سرچاهی تولیدی										
فشار بستن دهانه چاه[2]			فشار عملیاتی							
حداقل دما			دمای عملیاتی							
حداکثر دما										
شرایط طراحی سامانه سرچاهی تزریقی										
نوع سیال تزریق										
حداکثر مقدار O_2			حداکثر فشار طراحی							
مقدار CO_2			فشار عادی تزریق							
مقدار H_2S			حداقل دما							

1- Shut-in
2- Slit

فرم داده‌ها برای اطلاعات مبنای طراحی برای تاسیسات فراورش هیدروکربنی					
شرایط طراحی خط جریانی					
دمای طراحی			مقدار H_2S		
دمای ورودی			آب میعان‌شده یا سازند		
دمای خروجی			قطر داخلی خط جریانی		
فشار طراحی			رژیم جریان		
فشار ورودی			نرخ تولید نفت		
فشار خروجی			نرخ تولید گاز		
مقدار CO_2 در فاز گازی			نرخ تولید آب		
مبنای طراحی عمومی برای ارزیابی‌های خوردگی و انتخاب مواد					
مدل پیش‌بینی خوردگی (زیربند ۶-۲-۱)			روش یا مدل محاسبات pH (زیربند ۶-۲-۳-۲)		
مدل پیش‌بینی سایش فرسایشی (زیربند ۶-۵)			حداکثر دمای عملیاتی برای استفاده از SS پوشش‌نشده در محیط‌های دریایی (زیربند ۶-۶-۲)	نوع 316	
				نوع 22Cr	
				نوع 25Cr	
				نوع 6Mo	
حدود توصیه‌شده برای خواص مکانیکی (زیربند ۶-۹)	الزامی		حدود دمایی برای مواد غیر فلزی (زیربند ۷-۴-۲)		
	آگاهی‌دهنده				
الزامات محیط زیستی برای استفاده از بازدارنده‌های خوردگی (زیربند ۸-۱)			مدل آزمون بازدارندگی خوردگی و معیارهای پذیرش (زیربند ۸-۱)		
استاندارد طراحی برای CP (زیربند ۸-۵-۱)					

یادآوری- کاربران این استاندارد، مجاز به رونویسی از این فرم هستند.

پیوست ب
(آگاهی‌دهنده)

پایش خوردگی

ب-۱ کلیات

پایش خوردگی بخشی از سامانه مدیریت خوردگی است. بنابراین، جزئیات برنامه‌ریزی، شناسایی محل‌ها، جمع‌آوری داده‌ها و گزارش‌دهی باید در سامانه مدیریت خوردگی گنجانده شود.

به‌طور کلی، وضعیت سامانه‌ها باید پایش شود تا بتوان اثربخشی روش‌های کنترل خوردگی به‌کار گرفته‌شده را بررسی و مبنایی برای اقدامات اصلاحی در صورت تشخیص نقص در این روش‌ها فراهم آورد.

همچنین در صورت وقوع شرایط غیرعادی تولید یا تغییرات خورندگی سیالاتِ محصول، پایش می‌تواند پیش‌اخطار[1] مشکلات احتمالی را بدهد.

برای سامانه‌های تولید هیدروکربن، پراب‌های[2] مقاومت الکتریکی و کوپن‌های خوردگی به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری خورندگی محصول استفاده می‌شوند، اما ممکن است لزوماً نرخ خوردگی واقعی لوله مربوط را مشخص نکنند. بنابراین، تفسیر داده‌های جمع‌آوری‌شده از پراب‌ها و کوپن‌ها[3] باید توسط کارکنان باتجربه در زمینه پایش خوردگی انجام شود. برای برخی از سامانه‌ها، پایش ضخامت واقعی دیواره لوله یک گزینه است. سایر روش‌ها، مانند پراب‌های مقاومت پلاریزاسیون خطی[4] (LPR)، پراب‌های گالوانیکی، پایش میدانی تغییر ضخامت[5] (FSM) و روش‌های صوتی نیز می‌توانند بسته به کاربرد استفاده شوند.

برای پایش خوردگی خطوط لوله و لوله‌های فولادی کربنی به‌منظور تامین داده‌های مکمل و سطح اطمینان بالاتر باید از یک پراب خوردگی و یک کوپن کاهش جرم استفاده شود؛ به‌جز در مواردی‌که توافق دیگری انجام شده باشد، علاوه بر این، داده‌های پایش باید با داده‌های عملیاتی (یعنی آنالیز آب تولیدی و سایر سیالات) مربوط به اندازه‌گیری باقیمانده‌های بازدارندهٔ خوردگی، فعالیت باکتریایی یا شناسایی تغییرات احتمالی در فرایند که می‌تواند بر خورندگی محصول اثر گذارد، تکمیل شود.

یادآوری- پراب‌های پایش ماسه برای آشکارسازی ماسه در سیالات در نظر گرفته می‌شوند و جایگزینی مناسب برای تجهیزات پایش خوردگی نیستند.

1- Advance warning
2- Probes
3- Coupon
4- Linear polarization resistance
5- Field signature monitoring

برای اجزای دارای حفاظت کاتدی که دسترسی لازم برای اندازه‌گیری پتانسیل را ندارند، سامانه‌های پایشی نصب‌شدهٔ دائمی باید در نظر گرفته شوند. پایش ممکن است شامل الکترود(های) مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل و آندهای تحت پایش برای تعیین جریان باشد.

برای خطوط جریانی در زیر دریا و خطوط اصلی از جنس فولاد کربنی، که در آن‌ها خورندگی موضعی را نمی‌توان با پایش در ورودی یا خروجی خط جریانی ارزیابی کرد، تجهیزات دائمی پایش در زیر دریا باید به‌طور کامل ارزیابی شوند. در این نوع ارزیابی، احتمال و تواتر توپک‌رانی به‌منظور بازرسی و بحرانی‌بودن خط جریانی نیز باید در نظر گرفته شود.

روش‌های پایش معمول برای خوردگی و کاربرد آن‌ها در جدول ب-۱ ارائه شده است.

جدول ب-۱- پایش خوردگی داخلی

روش	سامانه‌های قابل کاربرد	ملاحظات
کوپن کاهش وزن[الف]	تمام سامانه‌ها	مواد کوپن باید یکسان/مشابه با مواد دیواره باشد. ممکن است شامل جوش نیز باشد.
مقاومت پلاریزاسیون خطی	سامانه‌های دارای فاز رسانای آبی/الکتریکی	به‌طور معمول مستلزم تقریبا ٪ ۳۰ فاز آبی با حداقل ٪ ۰٫۱ شوری است.
پراب‌های گالوانیک	سامانه‌های آبی	سامانه‌های تزریق آب
مقاومت الکتریکی	تمام سامانه‌ها	نقاط پایین‌دست تزریق بازدارنده هنگام پایش خطوط لوله
پراب‌های سایش فرسایشی/ماسه	سامانه‌های خط جریان فرایندی سامانه‌های تولیدی زیردریا	
پراب‌های هیدروژن	سامانه‌های هیدروکربنی	برای شرایط سرویس ترش
[الف] حداکثر زمان توصیه‌شده بین بازرسی/جایگزینی، ۳ ماه است.		

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر در مورد پایش خوردگی، به IPS-I-TP-802 [32] مراجعه شود.

ب-۲ محل پراب‌ها

ارزیابی محل و نوع تجهیزات پایش خوردگی باید بر اساس احتمال خرابی همراه با بحرانی‌بودن سامانه انجام شود. محل پراب‌ها باید در موقعیت ساعت ۶ که احتمال تجمع آب در آن وجود دارد، باشد؛ به‌جز مواردی‌که طور دیگری قید شده باشد.

پراب‌ها/کوپن‌های پایش باید در محل‌های از پیش انتخاب‌شده در هر لولهٔ تحت پایش، در فاصله جانبی حداقل ۰٫۵ m (دو اتصال[1]) نصب شوند. یک ابزار بازیابی[2] برای نصب/بازیابی پراب‌ها/کوپن‌ها از تجهیزات در حال تولید لازم است. هنگام جانمایی لوله‌کشی و انتخاب محل حس‌گر، لقی کافی برای ابزار باید در نظر گرفته شود.

1- Fitting
2- Retriever tool

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای میادین نفتی

پ-۱ کلیات

ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای معمول میادین نفتی در جدول پ-۱ ارائه شده است.

جدول پ-۱- ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای معمول میادین نفتی

گروه	نام عمومی	UNS	Fe		C	Cr		Ni		Mo		N		W		Nb		Cu		Mn		سایر عناصر
			min.	max.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
			w_{Fe} %	w_{Fe} %	w_C %	w_{Cr} %	w_{Cr} %	w_{Ni} %	w_{Ni} %	w_{Mo} %	w_{Mo} %	w_N %	w_N %	w_W %	w_W %	w_{Nb} %	w_{Nb} %	w_{Cu} %	w_{Cu} %	w_{Mo} %	w_{Mo} %	w %
فولاد زنگ‌نزن	13Cr	S41000	balance		0,150	11,5	13,5														1,00	
		S41425	balance		0,050	12,0	15,0	4,00	7,00	1,50	2,00	0,06	0,12							0,50	1,00	Si 0,05 max.
	F6NM	S41500	balance		0,050	11,5	14,0	3,50	5,50	0,50	1,00									0,50	1,00	Si 0,06 max.
	CA6NM	J91540	balance		0,060	11,5	14,0	3,50	4,50	0,40	1,00										1,00	
		S30815	balance		0,100	20,0	22,0	10,00	12,00			0,14	0,20								0,80	Si 1,40 to 2,00 Ce 0,03 to 0,08
		S31000	balance		0,250	24,0	26,0	19,00	22,00													Si 1,50 max.
	AISI 316L	S31603	balance		0,030	16,0	18,0	10,00	14,00	2,00	3,00										2,00	
	Type 6Mo	S31254	balance		0,020	19,0	20,0	17,00	18,00	6,00	6,50	0,18	0,22					0,50	1,00		1,00	
	Alloy 286	S66286	balance		0,080	13,0	16,0	24,00	27,00	1,00	1,50										2,00	Ti 1,9 to 2,35 V 0,10 to 0,50 Si 1,0 max.
	22Cr duplex	S31803[الف]	balance		0,030	21,0	23,0	4,00	6,50	2,00	3,00	0,08	0,20								2,00	
	22Cr duplex	S32205	balance		0,030	22,0	23,0	4,00	6,50	3,00	3,00	0,14	0,20								2,00	
	25Cr سوپر duplex	S32550	balance		0,040	24,0	27,0	4,00	6,50	2,90	3,90	0,10	0,25					1,50	2,50		1,50	
	25Cr سوپر duplex	S31260	balance		0,030	24,0	26,0	5,00	7,50	2,00	3,00	0,10	0,30	0,10	0,50			0,20	0,80		1,00	
	25Cr سوپر duplex	S32520	balance		0,030	24,0	26,0	5,00	8,00	3,00	5,00	0,20	0,35					0,50	3,00		1,50	
	25Cr سوپر duplex	S32750	balance		0,030	24,0	26,0	6,00	8,00	3,00	5,00	0,24	0,32								1,20	
	25Cr سوپر duplex	S32760	balance		0,030	24,0	26,0	6,00	8,00	3,00	4,00	0,20	0,30	0,50	1,00			0,50	1,00		1,00	
	25Cr سوپر duplex	S39274	balance		0,030	24,0	26,0	6,00	8,00	2,00	3,00	0,24	0,32	1,50	2,50			0,20	0,80		1,00	

جدول پ-۱- ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای معمول میادین نفتی- ادامه

گروه	نام عمومی	UNS	Fe		C	Cr		Ni		Mo		N		W		Nb		Cu		Mn		سایر عناصر
			min.	max.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
			w_{Fe} %	w_{Fe} %	w_C %	w_{Cr} %	w_{Cr} %	w_{Ni} %	w_{Ni} %	w_{Mo} %	w_{Mo} %	w_N %	w_N %	w_W %	w_W %	w_{Nb} %	w_{Nb} %	w_{Cu} %	w_{Cu} %	w_{Mo} %	w_{Mo} %	w %
فولاد زنگ‌نزن		N04400		2,5	0,300			63,00	70,00									28,00	34,00		2,00	Ti 1,0 max.
	Alloy K500	N05500		2,0	0,250			63,00	70,00									balance			1,50	Al 2,30 to 3,15 Ti 0,35 to 0,85
	Alloy 20	N08020	balance		0,070	19,0	21,0	32,00	38,00	2,00	3,00							3,00	4,00		2,00	Si 1,00 max., Nb+Ta= 8C-1,00
	Alloy 800H	N08810	balance		0,100	19,0	23,0	30,00	35,00										0,75		1,50	Al 0,15 to 0,60 Ti 0,15 to 0,60
	Alloy 825	N08825	balance		0,050	19,5	23,5	38,00	46,00	2,50	3,50										1,00	Ti 0,6 to 1,2
	Alloy 904	N08904	balance		0,020	19,0	23,0	23,00	28,00	4,00	5,00										2,00	
	Type 6Mo	N08367	balance		0,030	20,0	22,0	23,50	25,50	6,00	7,00	0,18	0,25									Si 0,50 max.
	Type 6Mo	N08926	balance		0,020	19,0	21,0	24,00	26,00	6,00	7,00	0,15	0,25					0,50	1,50		2,00	
	Alloy 925	N09925	22,0		0,030	19,5	23,5	38,00	46,00	2,50	3,50										1,00	Ti 1,90 to 2,40 Si 0,50 max.
	Alloy 625	N06625		5,0	0,100	20,0	23,0	balance		8,00	10,00					3,15	4,15				0,50	Ti 0,40 max.
	Alloy 625+	N07716	balance		0,030	19,0	22,0	57,00	63,00	7,00	9,50					2,75	4,00				0,20	Ti 1,00 to 1,60
	Alloy 718	N07718	balance		0,080	17,0	21,0	50,00	55,00	2,80	3,30					4,75	5,50				0,35	Al 0,2 to 0,80, Cu 0,30 max. Ti 0,65 to 1,15
	Alloy 725	N07725			0,030	19,0	22,5	55,00	59,00	7,00	9,50					2,75	4,00				0,35	Ti 1,0 to 1,7 Si 0,20 max.
	X-750	N07750	5,0	9,0	0,080	14,0	17,0	70,00								0,70	1,20				1,00	Ti 2,25 to 2,75 Si 0,50 max.
	Alloy 28	N08028	balance		0,030	26,0	28,0	30,00	34,00	3,00	4,00							0,60				
	Alloy 2050	N06250			0,020	20,0	23,0	50,00	52,00	10,10	12,00			0,25	1,25			0,25	1,25		1,00	
	Alloy 2550	N06255			0,030	23,0	26,0	47,00	52,00	6,00	9,00										1,00	Cu 1,2 max.
	Alloy 276	N10276	4,0	7,0	0,020	14,5	16,5	balance		15,00	17,00			3,00	4,50						1,00	Co 2,5 max.
	Alloy 22	N06022	2,0	6,0	0,015	20,0	22,5	balance		12,50	14,50			2,50	3,50							Co 2,5 max.
	Alloy 2000	N60200		3,0	0,010	22,0	24,0	balance		15,00	17,00							1,30	1,90			Co 2,0 max. Mn 0,50 max.
	Alloy 59	N06059		1,5	0,010	22,0	24,0	balance		15,00	16,50											Si 0,10 max. Al 0,1 to 0,4
آلیاژهای مس	CuNi 70/30	C71500	0,4	1,0	0,050			29,00	33,00									balance				Mn 1,0 max. Pb 0,02 max. Zn 0,5 max.
	CuNi 90/10	C70600	1,0	1,8	0,050			9,00	11,00									balance				Mn 1,0 max. Pb 0,02 max. Zn 0,5 max.

یادآوری ۱- این جدول برای مقاصد مرجع در نظر گرفته شده است و فهرستی غیر انحصاری را ارائه می‌دهد. از سایر مواد می‌توان استفاده کرد. نام‌های تجاری فقط برای آگاهی گنجانده شده‌اند.

یادآوری ۲- ترکیب شیمیایی اعداد UNS ارائه شده است. فسفر و گوگرد عناصر ناخالص هستند و گنجانده نشده‌اند.

[الف] به‌منظور داشتن حداقل مقدار نیتروژن ٪ ۰٫۱۴ کسر جرمی باید از UNS S31803 استفاده‌شود.

[ب] نوع 25Cr دوفازی باید دارای PREN ≥ ۴۰ باشد.

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

برخی از متداول‌ترین استانداردهای پوشش بیرونی خطوط لوله فولادی

۱-استاندارد ملی ایران شماره ۹۳۲۰: سامانه پوشش نواری سرد اجرا برای لوله‌ها و اتصالات فولادی مدفون

۲-استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۱: پوشش برپایه پلی‌اولفین (پلی‌اتیلن سه‌لایه و پلی‌پروپیلن سه‌لایه)

۳-استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۲: پوشش تک‌لایه اپوکسی گداختی پیوندی (FBE)

۴-استاندارد ملی ایران شماره ۳-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۳: پوشش محل اتصال میدانی

۵-استاندارد ملی ایران شماره ۴-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۴: پوشش پلی‌اتیلن (پلی‌اتیلن دولایه)

۶-استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۵: پوشش بتنی بیرونی

۷-استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۱۵۸۴: پوشش بیرونی خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری- قسمت ۱۱: پوشش‌های مورد استفاده در اِعمال میدانی، ترمیم‌های پوشش و بازسازی

۸-استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۹۸۳: سامانه‌های پوشش نواری واکس ریزبلور و پترولاتوم برای لوله‌ها و اتصالات فولادی

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

تغییرات اِعمال‌شده در این استاندارد بر اساس الزامات فنی ارائه شده در IPSها

در این استاندارد، با توجه به شرایط بومی کشور در جهت استفاده از منابع فنی مطابق با الزامات صنعت نفت کشور (IPSهای معرفی شده در پیش‌گفتار) و سایر مدارک ارائه شده در متن این استاندارد، در منبع شماره ۱ پیش‌گفتار تغییراتی ایجاد شده است. این تغییرات شامل موارد زیر است:

ث-۱ بخش‌های اضافه‌شده

- مقدمه: با توجه به ارائه الزامات برای انتخاب مواد در این استاندارد، کلمه «الزامات» در کنار «راهنما» قرار گرفته است.
- بند ۱: برای اطلاعات تکمیلی درخصوص مشخصات مواد سامانه‌های لوله‌کشی و خطوط لوله و مکانیسم‌های خوردگی، روش‌های کنترل خوردگی و راهنمایی‌های انتخاب مواد در صنایع پایین‌دستی مانند پالایشگاه ها یادآوری‌های ۱ و ۲ اضافه شده است.
- زیربند ۲-۴: استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۸۲۹ موضوع خطوط لوله و سامانه‌های لوله‌کشی پلاستیکی تقویت‌شده با الیاف شیشه (GRP)، اضافه شده است.
- زیربند ۳-۲: کوته نوشت های CA و CR، DL و WHRU اضافه شده است.
- زیربند ۶-۲-۱: سه پاراگراف آخر و یادآوری مربوط به ارزیابی خوردگی اضافه شده است.
- زیربند ۶-۲-۲-۲: نسبت مولی CO_2 به H_2S به‌عنوان معیاری برای تعیین مکانیسم خوردگی اضافه شده است.
- زیربند ۷-۶: این زیربند با موضوع سایر سامانه‌ها همراه زیربندهای ۷-۶-۱ مربوط به واحدهای بازیابی گرمای اتلافی (WHRU) و ۷-۶-۲ مربوط به سامانه‌های تولید و تزریق در زیر دریا اضافه شده است.
- زیربند ۸-۲-۱: در این زیربند نحوه محاسبه حد مجاز خوردگی و توضیحات احتمال خوردگی حفره‌ای اضافه شده است.
- زیربند ۸-۲-۲: این زیربند با موضوع محاسبه حداقل حد مجاز خوردگی باتوجه به میانگین نرخ خوردگی اضافه شده است.
- زیربند ۸-۴: حفاظت بیرونی ناحیه پاشش برای سازه‌ها و لوله‌های عمودی در پاراگراف اول زیربند ۸-۴ اضافه شده است.

- زیربند ۸-۱۳: به‌منظور کاهش شدت خوردگی، در این زیربند راهنماهایی برای تعیین سرعت سیال اضافه شده است.
- بند۹: این بند همراه با زیربندهای ۹-۱ موضوع صلاحیت‌سنجی مواد و زیربند ۹-۲ موضوع تولیدکنندگان/سازندگان و زیربند ۹-۳ موضوع برنامه‌های آشنایی برای پیمانکاران ساخت اضافه شده است.
- جدول ب: این جدول با موضوع روش‌های پایش معمول برای خوردگی و کاربرد آن‌ها اضافه شده است.
- پیوست ت: جهت معرفی استانداردهای این حوزه و تسهیل استفاد کاربران، برخی از متداول‌ترین استانداردهای پوشش بیرونی خطوط لوله فولادی در این پیوست ارائه شده است.
- کتاب‌نامه: منابع شماره‌های ۲۶ تا ۳۳ بر حسب کاربرد در متن استاندارد به کتاب‌نامه اضافه شده است.

ث-۲ بخش‌های حذف‌شده

- زیربند ۳-۱-۳: باتوجه به کلی بودن واژه یادآوری این زیربند حذف شده است.

ث-۳ بخش‌های جایگزین‌شده

- عنوان استاندارد: با توجه به مفاد و تغییرات داده شده در متن و بومی سازی این استاندارد برای صنعت نفت کشور عنوان استاندارد تغییر یافته است.
- متن استاندارد: به منظور بومی‌سازی در دامنه کاربری عنوان شده در این استاندارد بر اساس الزامات کشور و منابع معرفی شده، توصیه‌های منبع در بندهای مختلفی از متن الزام شده‌است.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۰۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کتاب‌نامه

[1] ISO 898-1, Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۸۷۴: سال ۱۳۹۷، خواص مکانیکی اتصالات از جنس فولاد کربنی و فولاد آلیاژی قسمت ۱:پیچ‌های مهره‌خور، پیچ‌ها و میله‌های دو سر روزه با رده‌های خواص مشخص- رزوه درشت و رزوه ریز، با استفاده از استاندارد ISO 898-1:2013 تدوین شده است.

[2] ISO 9588, Metallic and other inorganic coatings — Post-coating treatments of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۵۶۶: سال ۱۳۸۵، پوشش های فلزی و دیگر پوشش های غیر آلی-عملیات پس از پوشش دادن آهن یا فولاد برای کاهش خطر تردی هیدروژنی، با استفاده از ISO 9588:2007 تدوین شده است.

[3] ISO 10684, Fasteners — Hot dip galvanized coatings

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۲۸۹: سال ۱۳۹۳، اتصالات- پوشش‌های گالوانیزه غوطه‌وری گرم، با استفاده از استاندارد ISO 10684:2004 + Cor. 1: 2008 تدوین شده است.

[4] ISO 12944-2:1998, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۵۹۴: سال ۱۳۹۷، پوشرنگ‌ها و جلاها- حفاظت سازه‌های فولادی در برابر خوردگی با استفاده از سامانه‌های رنگ محافظ- قسمت ۲: طبقه‌بندی شرایط محیطی، با استفاده از استاندارد ISO 12944-2:2017 تدوین شده است.

[5] ISO 12944-3, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 3: Design considerations

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۶۵۹۴: سال ۱۳۹۷، پوشرنگ‌ها و جلاها- حفاظت سازه‌های فولادی در برابر خوردگی با استفاده از سامانه‌های رنگ محافظ- قسمت ۳: ملاحظات طراحی، با استفاده از استاندارد ISO 12944-3:2017 تدوین شده است.

[6] ISO 12944-4, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 4: Types of surface and surface preparation

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۶۵۹۴: سال ۱۳۹۸، پوشرنگ‌ها و جلاها- حفاظت سازه‌های فولادی در برابر خوردگی با استفاده از سامانه‌های رنگ محافظ- قسمت ۴: انواع سطوح و آماده‌سازی آن‌ها، با استفاده از استاندارد ISO 12944-4:2017 تدوین شده است.

[7] ISO 12944-5, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 5: Protective paint systems

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۵-۶۵۹۴: سال ۱۳۹۷، پوشرنگ‌ها و جلاها- حفاظت سازه‌های فولادی در برابر خوردگی با استفاده از سامانه‌های رنگ محافظ- قسمت ۵: سامانه‌های رنگ محافظ، با استفاده از استاندارد ISO 12944-5:2018 تدوین شده است.

[8] ISO 13623, Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems

[9] ISO 13709, Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries

[10] ISO 15589 (all parts), Petroleum and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation systems

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۲۹۹۴ : سال ۱۳۹۵، صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال، با استفاده از استاندارد ISO 15589:2015 تدوین شده است.

[11] ISO 15663-2, Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 2: Guidance on application of methodology and calculation methods

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۳۴۵۷: سال ۱۳۸۹، صنایع نفت و گاز طبیعی- هزینه‌یابی چرخه عمر- قسمت ۲- راهنمایی درباره کاربرد روش‌شناسی و روش‌های محاسبه، با استفاده از استاندارد ISO 15663-2:2001 تدوین شده است.

[12] ISO 18265, Metallic materials — Conversion of hardness values

[13] ISO 20340, Paints and varnishes — Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۶۹۱: سال ۱۳۸۵، رنگها و جلاها- ویژگی‌های کارآئی برای سامانه پوشش‌های حفاظتی مناسب برای تاسیسات فراساحلی و سازه‌های وابسته به آن، با استفاده از استاندارد ISO 20340:2003 تدوین شده است.

[14] ISO 23936-1, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Non-metallic materials in contact with media related to oil and gas production — Part 1: Thermoplastics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۰۶: سال ۱۳۹۱، صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- مواد غیر فلزی در تماس با محیط‌های مرتبط با فراورش نفت وگاز- قسمت ۱- گرمانرم‌ها، با استفاده از ISO 23936-1:2009 تدوین شده است.

[15] API RP 945, Avoiding Environmental Cracking in Amine Units

[16] ASTM A153, Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware

[17] ASTM A182, Standard Specification for Forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service

[18] DNV-RP-F112, Design of duplex stainless steel for subsea equipment exposed to cathodic protection

[19] DNV-RP-B401, Cathodic protection design

[20] EFC Document No. 55, Corrosion in Refinery Industry: Corrosion under Insulation (CUI) Guideline

[21] EEMUA 194, Guidelines for Materials Selection and Corrosion Control for Subsea Oil and Gas Production Equipment

[22] NACE SP0198, The Control of Corrosion under Thermal Insulation and Fireproofing materials — A systems approach

[23] NACE SP0403, Avoiding Caustic Stress Corrosion Cracking of Carbon Steel Refinery Equipment and Piping

[24] NACE SP0176, Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production

[25] استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۹۷۴، صنعت نفت- مشخصات مواد برای سامانه‌های لوله‌کشی و خطوط لوله- الزامات فنی

[26] API RP 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry

[27] NACE SP0110, Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production

[28] NACE Publication 21413, Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production

[29] NORSOK M-001, Materials selection

[30] Shell DEP 31.40.00.10, Pipeline engineering

[31] EN 12474, Cathodic protection of submarine pipelines

[32] IPS-I-TP-802, Inspection standard for internal corroision survey methods and inhibitor evaluation (for pipeline and for plant)

[33] IPS-E-TP-760: 2005, Engineering standard for corrosion consideration in design

[34] استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۸۵۷، صنعت نفت- خطوط لوله انتقال در خشکی- الزامات فنی و توصیه‌های مهندسی