

## مقدمه

هنگام مطالعه خوردگی اولین چیزی که باید مورد قبول واقع شود، این است که خوردگی را می توان در بیشتر اوقات یک واکنش ساده منفرد تصور کنیم که اگر یکبار مورد بررسی و شناخت قرار گیرد قادر خواهیم بود در بسیاری موارد برای حل مشکلات مشابه آن را مورد استفاده قرار دهیم. مواد قابل استفاده مانند فولاد، آلومینیم و آلیاژهای مس، پلاستیک، سرامیک، چوب، مواد مقاوم، فولاد زنگ نزن و تعداد زیادی از سایر آلیاژها یمدرن همگی به همان اندازه مزیت هایشان دارای زیانهای هستند. هر کدام از این آلیاژها و یا گروهی از آنها ممکن است به شکل بهترین انتخاب برای عملکرد خاصی به خدمت گرفته شوند ولی چیزی که در این باره بیاد یاد بگیریم آن است که انتخاب هر کدام از این مواد می بایست همراه با تجربه و دانش کافی انجام گیرد. تمام پدیده های خوردگی شبیه به هم نیستند بنابراین دلیل اینکه چرا چنین انتخاب گوناگونی از مواد در یک محیط معین برحسب تنزل قابلیت های آنها درجه بندی و لیست می شوند به علت مکانیزمهای مختلف حملات خوردگی است که قبلاً تجربه شده اند. همچنین در این درجه بندیها خواص و ویژگیهای مواد توضیح داده می شود. درک بهتر تمام این پارامترهای شرکت کننده در ایجاد خوردگی هنگام تجزیه و تحلیل مشکلات و توصیه های پیشگیرانه اساسی می باشد. در خوردگی مانند بسیاری از علوم تدوین شده کلمات معین، روشهای ارائه اطلاعات و علائم اختصاری که ویژه کاربردهای عملیاتی هستند مورد استفاده قرار گرفته است اگر اصطلاحات مخصوص یان رشته شناخته شود در آینده شما قادر خواهید بود موضوعات خوردگی را با درک و اطمینان بیشتری بخوانید و مورد بحث قرار دهید.

همچنین لازم است از جنبه های گوناگون روشها یکنترل خوردگی شناخته و بررسی شود. خیلی افراد فقط در یک حوزه از زمینه فوق به فعالیت مشغول هستند. شناخت میزان گستردگی فعالیت هایی که امروزه در تجزیه و تحلیل خوردگی و مبارزه با آن انجام می گیرد بسیار مهم می باشد. بسیاری از این تجربیات و تعداد زیادی راه حل های

توسعه یافته در یک حوزه از کارهای خوردگی می تواند سبب بهبود روشهای کنترل در زمینه های دیگر گردد .

یکی از بهترین روشهایی که هم اکنون برای آشکار کردن خوردگی مورد استفاده قرار می گیرد ، تعیین مقاومت مواد یا ارزیابی میزان کارایی دستورالعمل های کنترل خوردگی می باشد که به کمک وسایل بازرسی ، روزانه به منظور مقابله با حملات خوردگی به کمک هزاران نفر پرسنلی که در این رابطه مشغول می باشند انجام می گیرد . در این رابطه نیز لازم است آشنایی و شناخت کاملی وجود داشته باشد . یقیناً ، هر کسی در رابطه با کار خوردگی در ابتدا به روشها و دستورالعمل هایی توجه دارد که استفاده اقتصادی و ایمن از مواد را در محیط ها و شرایط ویژه اجازه می دهد . بنابراین به جنبه های مقدماتی بیشتر روشهای متداول در کنترل خوردگی نیز می بایست توجه نمود .

بعد از یادگیری اساس هر روش و دستورالعمل های مربوط به آن می توان امکان استفاده از این راه ها را برای حل سایر مشکلات مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار داد .

# فصل اول

تعریف خوردگی

## فصل اول-تعریف خوردگی

### ۱-۱- خوردگی Corrosion

خوردگی را می توان: انهدام، آسیب پذیری و دگرگونی در خواص و مشتقات عناصر (بیشتر فلزات) به دلیل کنش و واکنش های شیمیایی با محیط اطراف، تعریف نمود.<sup>۱</sup>

بیشتر مردم با خوردگی در بعضی اشکال آن آشنایی دارند مانند زنگ زدن نرده های آهنی یا قوطی های حلبی، تنزل کیفیت و وسایل استیلی، الوارها، قایقها یا زنگ زدن میخهای آهنی و سایر موارد.

اغلب اشخاص شاهد نصب پلها یا برجهای فلزی بوده اند یا درمورد ساخت ساختمانهای مدرن که با اسکلت فلزی کار می شوند آشنایی دارند، معمولاً این اسکلت ها دارای رنگ های سبز، نارنجی یا قرمز می باشند. این رنگها به منظور حفاظت آهن در مقابل خوردگی حتی بعد از خارج شدن از کارخانه به آنها زده می شود. معمولاً بعد از نصب این اجزاء آهنی در پلها و ساختمانها مجدداً توسط مواد دیگری که ممکن است ظاهر بهتری و یا حفاظت بهتری در مقابل خوردگی داشته باشند پوشش داده می شوند. پیشرفت تکنولوژی نیز تولید فولادهای کم آلیاژ (LOW ALLAY)، نصب اسکلتهای فولادی را بدون استفاده از رنگ در شرایط محیطی مختلف ممکن ساخته است. همچنین آلیاژهای ویژه ای در فولادهایی که اساساً زنگ می زنند، بکار برده می شود که در این مورد توقف کامل زنگ زدگی (RUSTING) مشاهده می شود. خط لوله نیز از دیگر انواع عمده تجهیزاتی است که در خوردگی مورد بحث قرار می گیرد. این خطوط از لوله های آب خانه که خوردگی آنها بیشتر از داخل می باشد تا خطوط لوله زیرزمینی آب، گاز و نفت را شامل می باشد.

---

۱-تعریف خوردگی در ISO 8044: فعل واکنشهای شیمیایی و فیزیکی یا طبیعی الکتروشیمیایی بین یک فلز و محیط اطراف، که موجب تغییر خواص فلز شده

و موجب پیدایش عدم کارایی فلز، محیط یا سیستمی مرتبط با فلز می گردد.

بنابراین می توان گفت هر کسی تقریباً مختصری آشنایی با خوردگی دارد که بصورت زیر تعریف شده است :

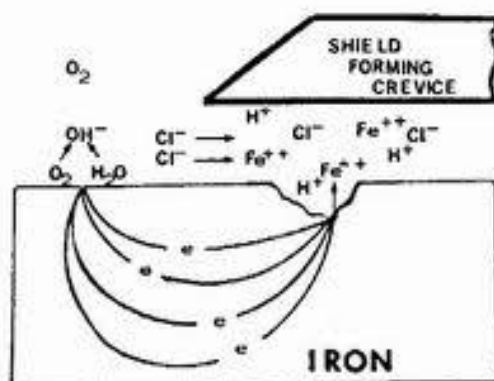
خوردگی زوال ماده ( معمولاً فلز ) یا خواص آن به دلیل واکنش با محیط اطرافش است خوردگی مطالعه شود و و واژه خوردگی را هم می توان به آنها اطلاق نمود .

در پایان تعریف ، همچنین توجه به این موضوع شده است که خواص مواد مانند جنس مواد ، نیز می تواند رو به زوال برود . بعضی انواع خوردگی ، نه کاهش وزن دارد و نه تخریب مرئی ( قابل مشاهده ) ، با این حال خواص ماده تغییر می یابد و ماده ممکن است به دلیل تغییرات معینی در داخل آن دچار تخریب غیر منتظره ای گردد .

چنین تغییراتی ممکن است در بازرسیهای عینی متداول یا اندازه گیریها و تعیین وزن مواد تأثیر نگذارد .

با توجه به تعریف خوردگی ، انواع و اشکال مهمی از فعالیتهای خوردگی وجود دارد که لازم است با هر کدام از آنها مهندسین خوردگی آشنایی داشته باشند . همچنین کارشناسان و تکنسینهای این فن باید بتوانند مواد مناسب برای انواع وسیعی از محیط های خورنده را در محدوده مشخصی از دما تعیین نمایند . لذا ضروری است از رفتار و خواص تعداد بیشمار آلیاژها و مواد جانشین احتمایل مانند پلاستیکها ، چوب ، سرامیک ، لاستیک ، شیشه ، چرم و گرافیت شناخت کافی داشته باشند . بنابراین معنی واژه خوردگی ، زوال مواد غیر فلزی جایگزین فلزات را نیز شامل می شود .

در پاسخ به این سؤال کلی که در چه محیطی ، خوردگی رخ می دهد تنها پاسخ مناسب این است که مسلماً ، درمورد هر محیطی بستگی به ماده ای که استفاده می شود دارد . سؤال کلی دیگری که اغلب درمورد خوردگی وجود دارد اینست که انواع شکلهای خوردگی چه تعداد هستند در جواب این سؤال اعتقاد بعضی ها بر این است که ۲ یا ۳ مورد خوردگی وجود دارد و بعضی دیگر ، اشکال خوردگی را تا ۸ مورد نام می برند و خیلی هم بر این اعتقاد هستند که واقعاً تعداد اشکال خوردگی خیلی کم است .



شکل ۱-۱- پدیده خوردگی

## ۱-۲- اهمیت اقتصادی

متأسفانه بسیاری از مردم، چه افرادی که در داخل صنایع مشغول بکار هستند و چه سایر افراد، اغلب خوردگی را مشاهده می کنند با یان حال به سادگی می پذیرند که این پدیده، یک مشکل اجتناب ناپذیر می باشد. با وجود این طرز تلقی، بعضی اقدامات واقعاً می توانند و می بایست به منظور طول عمر بسیاری از فلزات که در معرض محیط های خورنده هستند انجام شود. ملاحظه انهدام تدریجی مواد توسط خوردگی و هزینه های مالی تعویض و تعمیر متعاقب آن، تنها از یک احساس مشترک نزدیک بین افراد نشأت گرفته و علیرغم آن کنترل خوردگی یک فاکتور اساسی در محدوده بسیار مهم از مسائل اقتصادی بشمار می رود. در حالی که در مطالعات علمی فرآیندهای خوردگی براساس موضوعات بسیار جالب که غالباً در زمینه واکنشهای شیمیایی و به ویژه الکترو شیمیایی است، شکل می گیرد. همزمان با یان شکل گیریها و بررسیهای علمی، یک توجه فزاینده وجود دارد و آن اینست که چگونه می توان از این فرآیندهای خوردگی جلوگیری نمود.

برآوردهای گوناگونی سالیانه درمورد با زیانهای اقتصادی ناشی از خوردگی انجام می گیرد ولی هیچ توافق کلی در این رابطه که دقیقاً چه چیزی می بایست در محاسبات این زیانها به حساب آید وجود ندارد.

به همان اندازه که محصولات و فرآورده‌های تولیدی پیچیده تر می شوند و جریمه های ناشی از آسیب های خوردگی مانند خطرات ایمنی و توقف در عملیات سیستم ها بسیار پرهزینه تر و مشخص تر می شوند ، در این حالت توجه به اهمیت کنترل و جلوگیری از خوردگی نیز افزایش می یابد .

### ۱-۳- خوردگی در اطراف ما

بطور کلی همه مواد و آلیاژها می توانند خورده شوند . در این مورد یافتن همه خوردگی هایی که اطراف ما رخ می دهد به همان اندازه یافتن بعضی موادی که به هیچ وجه خوردگی را آشکار نمی سازند ، به راحتی امکان پذیر است . در زیر بعضی مثالهای مربوط به موضوعات عمومی و متعارف و نواحی حساس و مستعد خوردگی آورده شده است .

۱- اتومبیل یک وسیله بررسی واقعی خوردگی است . مواد بکار رفته در آن باید برای استفاده در اتمسفر ، دمای بالا سیستم بسته آب ، سایش ، خستگی و درزها و شکافهای باز انتخاب شوند . فلزات خیلی متفاوت ، پلاستیکها ، رنگ ها ، ورقه ها و مواد بازدارنده به منظور افزایش طول عمر قطعات در آن بکار برده می شود . در هر حال ف بدنه و بطور یقین انبار اگزوز مجموعاً در مراحل مختلف خوردگی دیده می شوند . در حقیقت وقتی یک ماشین بعد از پنج سال استفاده مورد بررسی قرار می گیرد ، حتماً لزومی ندارد زیر ماشین دیده شود ، فقط تماشای بدنه ، احتمالاً خوردگی را در نقاط بیشماری آشکار می نماید . حتی سیر اتومبیل حفره های ریز یا حملات شدید بیشماری از خوردگی را نشان می دهد .

۲- در یک نگاه به سیستم لوله کشی یک خانه قدیمی ، به ویژه اگر از فلزی غیر از فولاد و یا حتی از فولاد گالوانیزه ساخته شده باشد ، یافتن بعضی خوردگیها معمولاً بدیهی است . بخصوص در اتصالات ( زانوئی - لولا ) جایی که پوشش گالوانیزه می بایست بریده شود و یا محل مجاور اتصال شیر برنجی که معمولاً خوردگی شدید پیدا می کند .

۳- بر روی سقف انبارها که معمولاً از فولاد یا آهن گالوانیزه ساخته می شود در تمام مدت زنگ زدگی مشاهده می شود درحالیکه سقف های آلومینیومی جدید ( یا از آلیاژ آلومینیم ) روشن و درخشان و بدون خوردگی دیده می شوند .

۴- لوازم و ظروف آشپزخانه با اینکه براق و شفاف بنظر می رسند ولی داخل آنها اغلب زنگ زده و لکه دار می باشد زیر خطوط لوله مسیر آب بعضی اوقات خوردگی حفرهای و یا انواع دیگری از خوردگیها دیده می شود .

۵- پوشش سبزی که بر روی سقفهای مسی یا برنجی کلیساها یا بعضی ساختمانهای شهری دیده می شود ، ناشی از خوردگی است . فلز مس ( COPPER-BEARING ) که با ترکیبات مشخصی از اتمسفر واکنش می نماید ، بصورت پوشش سبزی که غالباً PATINA یا AERUGO نامیده می شود شکل می گیرد . این پوشش لایه محافظی در مقابل خوردگی تشکیل می دهد که ادامه روند خوردگی را کند می نماید و همچنین یک نمای خوشایند و دلپذیری ایجاد می نماید .

۶- صنایع گوناگون ، خصوصاً صنعت نفت و شرکتهای مواد شیمیائی مشکلات خوردگی بیشمار و بی نظیری در عملیات خود دارند که بیشتر اشخاص احتمالاً بی اطلاع از آنها هستند . چنین کمپانیهایی معمولاً تخصص های آشنا به خوردگی برای نگهداری سیستم هایشان در اختیار دارند .

۷- در رابطه با قایقهای آلومینیومی اغلب بنظر می رسد خوردگی ناچیز باشد . اگرچه یک بررسی دقیق اغلب حفره های باریک ناشی از حملات خوردگی را در آنها آشکار می نماید . البته این حملات به همین مقدار محدود می شوند و هیچگاه بطور گسترده و شدید دیده نمی شوند ولی حتی یک نشتی کوچک هم ممکن است مشکلات خیلی جدی فراهم آورد .

۸- فلزاتی که در معرض آب دریا قرار دارند ممکن است به سختی خورده شوند . تنه کشتی ها ( داخل و خارج ) ، اسکله ها ، دکل های حفاری ، سکوهای دریائی ، تجهیزات آب شیرین کن و دیگر وسایل در معرض این محیط



دارای هدایت الکتریکی زیاد ، می بایست از طرق مختلف محافظت شود . خوشبختانه انواع زیادی روشهای کنترل خوردگی در آب دریا مورد استفاده قرار می گیرد .

۹- تخریب و زوال سیمان در پلها ، بزرگراهها ، ساختمانها ، لوله ها و کانالهای تخلیه اغلب به دلیل واکنش با محیط و بیش از فاکتورهای مکانیکی دیده می شود . هنگامی که روشهای کنترل خوردگی در مدت ساخت اولیه بکار برده نشود ، اغلب هزینه های مالی زیادی برای ترمیم قسمتهای تخریب شده تحمیل می گردد .

۱۰- خانه های زیادی در سطح شهر هستند که خطوط لوله آب سرد مجاری ورودی و خروجی و دیگر اجزاء ساختمانی آنها از مواد پلاستیکی ساخته شده است . کارایی این وسایل خیلی خوب می باشد . اما بسیاری از مردم از محدودیتهای آنها بی اطلاع هستند ، نمی دانند چطور آنها را مورد استفاده قرار دهند و اختلاف بین پلاستیکهای موجود چیست؟

۱۱- مردم ممکن است در طول بزرگراهها رانندگی کنند و جعبه های فلزی نصب شده در سمت راست جاده که با علامت XYZ GAS مشخص شده است را ببینند .

در حالیکه این موضوع ممکن است برای بیشتر افراد نامشخص باشد که این جعبه ها محل نصب یک نشانگر است که به متخصصین کنترل خوردگی ، به کمک وسایل الکتریکی برای اندازه گیری میزان حفاظت بر روی لوله آهنی زیر خاک به نام حفاظت کاتدی ، کمک می کند .

## ۴-۱- گوناگونی فلزات

از ۱۰۵ عنصر شناخته شده برای بشر ، نزدیک به ۸۰ عنصر آن فلز هستند . هر کدام از آنها خواص مکانیکی ، شیمیایی و فیزیکی متفاوتی دارند و اگرچه همه آنها می توانند خورده شوند . ولی هر کدام از آنها ممکن است تحت شرایط معین و میزان متفاوت و از طرق مختلف خورده می شوند . گذشته از آن ، از نیمی از این ۸۰ فلز ، بیش از ۴۰۰۰۰ آلیاژ مختلف ساخته می شود . بدون شک در سالهایی که خواهند آمد تعداد بیشتری به آنها اضافه خواهد شد .

بدیهی است که خیلی ها نمی توانند ترکیبات بسیاری از این آلیاژها را به خاطر بسپارند، مراجعه به نوشتجاتی از قبیل مهندسی آلیاژها یا هندبوک آلیاژها که برای یافتن چنین اطلاعاتی در دسترس هستند خواص ویژه خوردگی بسیاری از آلیاژها با توجه به آنالیز هر ماده و جایگاه آن در تقسیمات کلی انجام شده در مورد مواد از این مراجع قابل استنتاج است .

## ۱-۵- یک فرآیند طبیعی

در حقیقت خوردگی که اتفاق می افتد نباید موجب تعجب و غافلگیری گردد . تقریباً تمام مواد هنگامی که در معرض محیط طبیعی قرار می گیرند با گذشت زمان در انتظار نابودی می باشند . خوردگی بطور ترجیحی یک فرآیند طبیعی است به همان صورت که آب از تپه ای به طرف پایین جاری می شود . اگر آب از یک تپه بلندی جریان یا بدیا در بالای آن باقی بماند ممکن است باعث به وجود آمدن یک موقعیت غافلگیرکننده شود با این حال قوه هوش و ابتکار بشر با هدایت آب در یک سیستم ( خطوط لوله ) و مسدود نمودن انتهای آن یا فقط با منجمد کردن آن می تواند جریان یافتن آب را به صورت کنترل شده انجام دهد . شبیه این پدیده طبیعی ، اگر آهن در معرض هوا و آب قرار گیرد باید تشکیل و گسترش زنگ آهن را انتظار داشته باشیم . با گذشت زمان درواقع جای تعجب است اگر آهن در شرایط فوق خورده نشود یا زنگ نزنند . البته اگر مس ، برنج ، آلومینیم یا فولاد زنگ نزن جانشین آهن شود ، مدت زمان میزان معین خوردگی باید طولانی تر شود . اما بروز برخی خوردگیها را هنوز می بایست انتظار داشته باشیم . در این فلزات شبیه تشکیل زنگ آهن ( اکسید آهن ) اکسیدهای دیگر مانند اکسید مس ، آلومینیم یا کرومینیوم خیلی به آرامی تشکیل می شود و سطح فلز لخت را پوشش می دهد . این پوششها یا اکسیدی ، حتی اگر بسیار نازک هم باشند ، می توانند یک مانع جزئی برای جلوگیری برای جلوگیری از ادامه حملات و کاهش میزان خوردگی به وجود آورند .

تشکیل لایحه سطحی، چه به صورت اکسید، کربنات، سولفات یا هر ترکیب دیگر، فاکتور اصلی در مقاومت خوردگی است به ویژه اگر این لایحه به صورت مؤثری سطح فلز را از محیط جدا نگهدارد. همچنین پوششها که بطور طبیعی تشکیل شده اند، باید در مقابل نفوذ، رطوبت و سایر عناصر، مقاوم باشند تا مؤثر واقع گردند. معمولاً آهن بطور طبیعی، مانع مؤثری را تشکیل نمی دهد. زنگ آهن به اکسیژن و رطوبت اجازه نفوذ و در نتیجه ادامه عمل اکسید شدن را می دهد. بنابراین، اگر این موضوع پیش بینی و پیشگیری نشود، آسیب بطور حتم رخ خواهد داد. پیش بینی جلوگیری مداوم آهن و آلیاژهای آن از خوردگی یک تلاش عمده در کنترل خوردگی است. در اینجاست که ما اغلب با رنگ یا الکتروپلیتینگ یا سایر روشها موجب تشکیل لایه های حفاظتی مصنوعی بر روی سطح آهن و طولانی شدن عمر مفید آن می شویم.

بعضی فلزات، مانند فولاد زنگ نزن، تیتانیوم یا آلومینیم غالباً بدون پوشش رنگ گذاشته می شوند. این عمل بدان علت نیست که این فلزات بی اثر و خنثی هستند بلکه به دلیل آن است که اکسیژن هوا به تشکیل یک لایه سطحی از اکسید کرومینیوم یا اکسید تیتانیوم و اکسید آلومینیم محافظ بر روی آنها کمک می کند این لایه ها را اگرچه بسشیار نازک هستند بطوریکه با چشم دیده نمی شوند، وجود آنها را می توان آشکار و تأیید کرد اگر چنین پوششی بطور طبیعی شکل نگیرد تمامی سطح این فلزات در مقابل حملات خوردگی مستعد خواهند شد. در اینجاست در چنین جاهایی انتظار حملات خوردگی انتظار می رود و اگرچه فرآیند طبیعی وجود دارد، ما باید یاد بگیریم که راههای طبیعی استفاده از آن را به خوبی بکار ببندیم.

بعضی محیط ها نسبت به سایر محیط ها خورنده تر هستند. در حالیکه استثنای وجود دارد. عبارت زیر بطور کلی به صورت یک حقیقت پذیرفته شده است:

۱- هوای مرطوب خورنده تر از هوای خشک می باشد.

۲- هوای گرم خورنده تر از هوای سرد می باشد.

۳- آب گرم خورنده تر از آب سرد می باشد .

۴- هوای آلوده خورنده تر از هوای تمیز می باشد .

۵- اسیدها خورنده تر از بازها می باشند .

۶- آب نمک خورنده تر از آب تازه می باشد .

۷- فولاد زنگ نزن از فولادهای معمولی دوام بیشتری دارد .

۸- هیچ خوردگی در خلاء حتی در دمای خیلی بالا رخ نمی دهد .

با وجود موارد فوق ممکن است در بعضی شرایط غافلگیر شویم ، مواردی است که هر یک از عبارات بالا ، حتی آخرین عبارت آن صحیح نمی باشد . این نشان می دهد که میزان گسترده گسیختگی حملات قطعی در مورد خوردگی شک برانگیز می باشند . واقعیت این است که اساساً هیچ جمله ای در رابطه با خوردگی یا استفاده از مواد وجود ندارد که یک مورد استثناء نداشته باشند . فولاد زنگ نزن به عنوان مثال ، لزوماً بهتر از فولاد معمولی نمی باشد . بنابراین آشنایی مهندسين با فاکتورهایی که در تشخیص مقاومت خوردگی مواد مؤثر هستند ضروری می باشد .

## ۱-۶- انتخاب مواد

در یک شرایط ویژه استفاده از یک آلیاژ مشخص ممکن است از سایر آلیاژها بهتر باشد ولی در همین شرایط به دلیل فاکتورهای دیگری از خوردگی مقایسه های زیادی بین آلیاژها می تواند صورت پذیرد . قیمت یک فاکتور اساسی است که قبلاً به آن اشاره شده است . سایر ویژگیها ممکن است شامل یک یا ترکیبی از موارد زیر باشد :

۰- ایمنی

۱- قیمت

۲- رفتار خوردگی

۳- قابلیت لحیم کاری و جوشکاری

۴- خواص شکل پذیری ( خمیدگی ، کشیدگی و ... )

۵- خواص مکانیکی مناسب ( مقاومت کششی ، مقاومت ضربه پذیری ، خستگی و ... )

۶- استحکام دمای بالا و پایین ( DUCTILITY )

۷- قابلیت دسترسی به ماده

۸- سازگاری با سایر مواد در سیستم

۹- خواص گرمایی و الکتریکی

۱۰- خواص ویژه از قبیل دانسیته کم ، خاصیت مغناطیسی و هسته ای ( رادیواکتیو )

توجه به این نکته لازم است که هنگام ، انتخاب مواد هیچ شماره ای به فاکتور ایمنی داده نمی شود . از این رو ، اگر در بعضی شرایط با انتخاب ماده خاصی یا استفاده از کنترل خوردگی معینی امکان پایین آمدن شرایط ایمنی و آسیب رساندن به انسان وجود دارد ، آن ماده یا روش موردنظر باید کنار گذاشته شود . بعد از اطمینان از اینکه چنین ضایعه ای در نظر گرفته شده است ، دیگر فاکتورها نمی توانند برای رسیدن به یک راه حل بهینه مورد ارزیابی قرار گیرد .

خوردگی در بیشتر مواقع بی سر و صدا و غافلگیرکننده عمل می نماید . بطور نامشخص و پنهان در داخل بعضی ماشینها ، مخازن و خطوط لوله مشغول بکار است تا سرانجام تجهیزات را از کار بیندازد . بعضی اوقات در یک حادثه فاجعه آمیز منجر به آسیب رساندن یا مرگ اپراتور و ناظر مربوطه می گردد . انفجار دیگ بخار در گذشته اغلب ماشه آن توسط فرآیند خوردگی کشیده شده است و مسئول مرگ یا صدمه رساندن به هزاران نفر شده است . در کارخانجات پتروشیمی ، انجام خیلی فرآیندها در دمای بالایی صورت می پذیرد که اگر با اتمسفر تماس حاصل نمایند بطور رخور به خود مشتعل می شوند در این مواقع دقت زیادی بیاد در ارزیابی مقاومت خطوط لوله انتقال این سیستم ها در مقابل خوردگی انجام گیرد و برنامه های بازرسی شدیدی باید برای اطمینان از عملیات این سیستم ها به

اجرا گذاشته شود. گذاشتن یک ارزش اقتصادی به روی زندگی انسانها بسیار مشکل است لذا ملاحظات ایمنی و رای تمام ملاحظات اقتصادی می باشد. بعد از ایمنی، قیمت بیشترین اهمیت از فاکتورهای گفته شده در انتخاب مواد را دارد. اگرچه واژه قیمت در اینجا، فقط به قیمت اولیه یا قیمت نصب شده اطلاق نمی شود، بلکه علاوه بر اینها باید سایر هزینه ها مانند میزان عمری که از قطعه انتظار می رود، مالیات ساخت (مبلغ سرمایه گذاری شده یا مخارج نگهداری)، استهلاک قطعه، ارزش پول را نیز در بررسی هزینه های ملحوظ داشت. بر این اساس استفاده از فولاد معمولی در شرایط معینی ممکن است اقتصادی تر از فولاد زنگ نزن بشود حتی اگر میزان خوردگی در محیط موردنظر بر روی فولاد معمولی بیشتر باشد.

به منظور تأمین شرایط ایمن و تعیین و انتخاب اقتصادی مواد، لزوماً به دانش و اطلاعات کافی از خواص خوردگی محدوده وسیعی از مواد گوناگون نیاز می باشد. دانستن اینکه چه ماده ای برای انتخاب مناسب می باشد یک موضوع ساده ای نمی باشد. در بعضی شرایط، چوب همیشه بهترین انتخاب می باشد. انتخاب دیگر ممکن است استفاده از لوله فلزی یا تانک با پوشش داخلی از پلاستیک و یا سرامیک باشد. همچنین در همین شرایط استفاده از آلیاژهای ویژه نیز می تواند انتخاب شود.

## ۱-۷- اندازه گیری خوردگی

تجربه نشان داده است هنگامی که خوردگی اتفاق می افتد موجب افزایش یا کاهش وزن می شود. از این موضوع بطور خیلی متداول در اندازه گیری میزان پیشرفت خوردگی استفاده می شود. البته اگر تغییر وزن معینی بر روی یک نمونه تحت شرایط مشخصی رخ بدهد، یک قطعه با دو سطح مختلف، دو تغییر وزن متفاوت خواهد داشت. بنابراین اندازه سطح باید در اندازه گیری مقدار خوردگی در نظر گرفته شود. همچنین طول مدت زمان نیز در تغییرات وزن مؤثر می باشد بطوریکه تغییر وزن بر یا مدت زمان طولانی تری که نمونه در معرض محیط خورنده قرار

می گیرد ، بیشتر خواهد بود . واحدهایی که در اندازه گیری مقدار خوردگی بکار می روند به صورت زیر می باشند :

### ۱-۲-۱- تغییر وزن

کاهش یا افزایش وزن بر واحد سطح و زمان ، یک اندازه گیری رایج میلی گرم بر دسی مترمربع در روز می باشد که با Mdd نمایش می دهند ( میلی گرم یک هزارم گرم و دسی متر ۱۰ سانتی متر یا معادل تقریباً ۴ اینچ می باشد ) . این واحد اندازه گیری معمولاً در آزمایشگاه جایی که معمولاً آزمایشات تکراری از یک فلز بخصوص انجام می شود مورد استفاده قرار می گیرد .

### ۱-۲-۲- تغییر ابعاد

کاهش ضخامت فلز در واحد زمان ، واحدهایی که از این نوع متداول می باشند به صورت زیر می توان نام برد .  
 $UM/Y$  ( میکرون در سال ) یک میکرون معادل یک میلیونیم متر می باشد .  
 $MM/Y$  ( میلیمتر )  
 $MPY$  ( میلز در سال ) یک میل معادل یک هزارم اینچ می باشد .  
واحدهای دیگری نیز برای اندازه گیری مقدار خوردگی مورد استفاده قرار می گیرند که در مواقع لزوم می توان آنها را به آسانی به سایر واحدها تبدیل نمود .

### ۱-۲-۳- تغییر خواص مکانیکی

درصد کاهش فلزات در مقاومت کششی ،  $DUCTILITY, YIELD$  و سایر خواص مکانیکی این تغییرات بهترین نشانه های پیشرفت خوردگی است هنگامیکه سایر حملات موضعی ( مرزدانه ای ،  $SCS$  ) بر روی فلز رخ

می دهد ، تغییر در خواص مکانیکی ( سختی ، کشش ، DUCTILITY ) در ساختمان مواد قابل انعطاف ، در بیشتر مواقع به منظور شناخت قطعی حملات خوردگی بر روی آنها با اهمیت می باشد.

## ۸-۱- علت خوردگی

درباره این موضوع که در بیشتر اشکال خوردگی چه فاکتورهایی مؤثر هستند مباحث کم ی وجود دارد ولی اعتقاد فراگیر درباره خوردگیهای معمول و مشخص با قاطعیت براساس تئوری الکتروشیمی ، استوار می باشد و فرمولها و معادلات گوناگونی در این باره ارائه گردیده که واکنشهای شیمیایی که بسیاری فرآیندهای خوردگی را به وجود می آورند را شرح می دهد . اساساً ، خوردگی بر پایه الکتروشیمی به چهار فاکتور ابتدائی نیاز دارد .

۱- یک آند    ۲- یک کاتد    ۳- یک الکترولیت    ۴- یک جریان الکتریکی

بنابراین تئوریهای خوردگی مجبور هستند ملاحظات مربوط به ذرات بی نهایت و لزوماً فعالیتهای پیچیده ، در سطح مولکولی و یونی ، الکترونیک و اتمی را پذیرفته و به حساب می آورند . در این حالت می توان ۳ پایه اساسی انواع خوردگیها را به صورت زیر ارائه نمود .

۱- شیمیایی

۲- الکتروشیمیایی

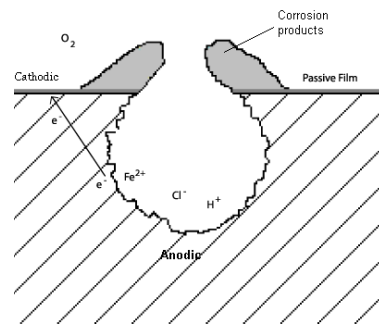
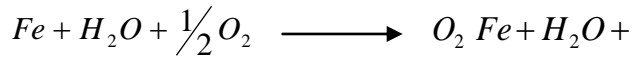
۳- فیزیکی

این اختلاف بر طبق میزان درگیری یونی ، الکترونها و اتمها به وجود آمده است .



برای مثال ، واکنش خوردگی در رابطه با آهن ، آب ، اکسیژن ممکن است در یک نمایش متداول با واکنش

شیمیایی زیر توضیح داده شود .



شکل ۱-۲

این واکنش نشان می دهد که در واکنش آهن با اکسیژن در آب خالص هیدرواکسید فروس تشکیل می شود. در این واکنش اگر هر کدام از عناصر حضور نداشته باشند ، خوردگی آهن ( زنگ زدن ) رخ نمی دهد و هنگامی که غیر از آب خالص وجود داشته باشد ، محصولات خوردگی متفاوت دیگری احتمالاً تشکیل می گردد. فاکتورهای دیگری نیز وجود دارد که در هر محیطی می تواند موجب خوردگی شوند و در اینجا برای شناخت درست علت خوردگیها لازم است اثرات ناشی از آنها دقیقاً بررسی و مورد توجه قرار گیرد. در سمت راست شکل ارائه شده این فاکتورها به صورت زیر نشان داده شده است .

- اثرات تغییر دما

Electromotive Force      - اختلاف پتانسیل ( EMF )

- عملیات حرارتی

- شرایط سطح

- اثر سائیدگی

- رادیواکتیو

- ناخالصیهای محیطی

- زمان

- اثرات تنش

- فشار

- سایر موارد ( اختلاف هوادهی - اختلاف غلظت - اثرات موجودات ذره بینی )

آند  
کاتد  
الکترولیت  
جریان الکتریکی

لوازمات خوردگی

# فصل دوم

انواع خوردگی در صنعت پتروشیمی و محیط های خورنده

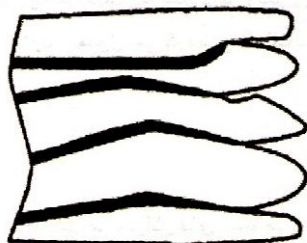
## فصل دوم - انواع خوردگی در صنعت پتروشیمی و محیط های خورنده

### ۱-۲- خوردگی شیمیایی یا موضعی

این نوع خوردگی در گوشه و کنارهای قطعات و سازه های فلزی رخ میدهد. این نقاط به نسبتی که از  $O_2$  برخوردار میشوند. آند و کاتد (شرایط خوردگی) را به وجود میآورند. نقاطی که  $O_2$  کمتری دریافت میکنند، آند و نقاطی که  $O_2$  بیشتری دریافت کرده اند کاتد پیل را شکل داده و خوردگی را در آند سبب میشوند. میان خوردگی شیمیایی و الکتروشیمیایی تمایز وجود دارد. خوردگی شیمیایی توسط مایعات آلی فاقد آب و گازهای خشک رخ میدهد، ولی خوردگی الکتروشیمیایی در محیط مرطوب روی میدهد.

### ۱-۲-۲- اکسیداسیون یا خوردگی مرز دانه های

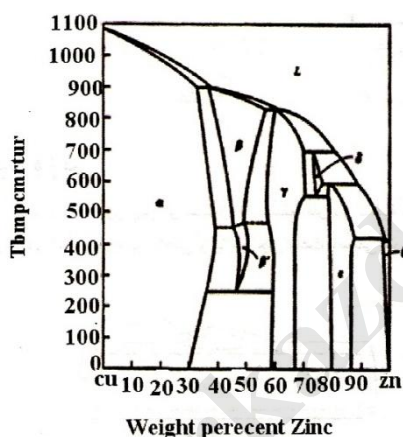
این پدیده، مختص آلیاژهای آلومینیوم است که در اثر نورد سرد پدید میآید. طی عملیات سرد کریستالهای فلزی تغییر شکل داده و آن دسته از کریستالهای تغییر شکل یافته زودتر خورده میشوند. این نوع خوردگی از سطح فلز آغاز میگردد و بنابر شرایط محیط، سرعت آن نیز متفاوت است.



شکل ۱-۲- پدیده اکسیداسیون

## ۲-۳- روی‌دایی

این پدیده، مخصوص آلیاژهای مس و روی است (برنج) که در اثر آن روی در محلول حل شده مس و اکسید مس به رنگ قرمز در سطح قطعه باقی خواهد ماند. در صورت وجود درصد بالای روی، خوردگی (به رنگ قرمز) در سطح قطعه یکنواخت یکنواخت خواهد بود ولی در صورت درصد کمتر از ۱۵٪ روی، خوردگی به شکل لکه‌های ظاهر میشود که برای جلوگیری از خوردگی، اینگونه آلیاژ از پوششها و ممانعت‌کننده‌های شیمیایی و یا با افزودن آلیاژهای فسفر و یا سرب استفاده میکنند.



شکل ۲-۲- دیاگرام فازهای Cu-Zn

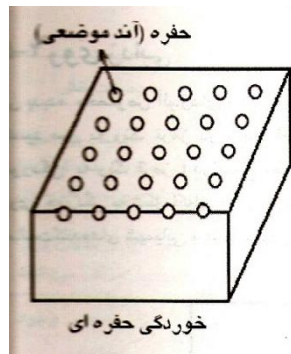
## ۲-۴- گرافیت شدن

این نوع خوردگی، در مورد فلز چدن رخ میدهد. به هنگام قرارگیری چدن، در محیطهای خورندهی آهن به عنوان آند الکترون از دست داده، وارد محلول میگردد و گرافیت خاکستری به عنوان کاتد در سطح قطعه باقی میماند.

## ۲-۵- خوردگی حفرهای

در سطوح برخی فلزات، به دلیل ناهمگنیهای خراشهای سطحی و تغییرات محیطی به وجود می‌آیند. حفره‌ی به

- وجود آمده در اثر خوردگی، آرام‌آرام عمیقتر شده و صدمات بیشتری را پدید می‌آورد. وجود محلولهای آب - نمک سبب تشدید خوردگی میگردد.



شکل ۲-۳- خوردگی حفره‌ای

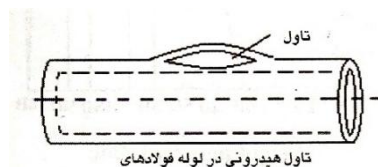
## ۲-۶- تخریب هیدروژنی

در این نوع خوردگی، اتمهای هیدروژن پس از تشکیل در سطح فلز در ناحیه‌ی کاتدی به درون آن نفوذ میکنند که به تنهایی و یا در کنار تنشهای داخلی و یا خارجی باعث سستی، ترک و شکست قطعات میگردد.

هیدروژنهای نفوذ کرده در برخی موارد (برای مثال در اثر دما) از سطح فلز خارج شده، ولی در برخی سطوح فلزات

نیز به صورت دائمی باقی میمانند. تخریب هیدروژنی به سه روش - تردی هیدروژنی - تاول هیدروژنی - ترک

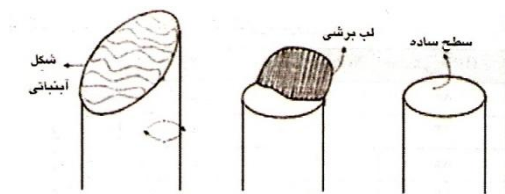
القایی هیدروژنی انجام میگردد.



شکل ۲-۴- تاول هیدروژنی در لوله فولادی

## ۲-۷- خوردگی تنشی

این نوع خوردگی، زمانی اتفاق میافتد که قطعه فلز تحت تنشهای داخلی و خارجی در محیطهای خورنده قرار بگیرد، ترکهایی که در پی این شرایط به وجود میآیند، در اثر تداوم شرایط خوردگی به پیش میرود تا زمانی که قطعه میشکند.



شکل ۲-۵- خوردگی تنشی

## ۲-۸- خوردگی خستگی

خستگی در قطعات ناشی از وارد آمدن متفاوت تنشهای دینامیکی کششی و فشاری است که در طی چرخه‌ی معینی رخ میدهد. با اعمال اینگونه تنشها به قطعات فلزی، به مرور زمان ترکهایی در بدنه‌ی قطعه ایجاد شده که با ادامهی روند اعمال تنشهای متفاوت عمق ترکها بیشتر شده تا جایی که به شکستن قطعه فلزی منجر میشود.

## ۲-۹- کاوتیاسیون

هرگاه در اثر افت فشار، مقدار فشار به اندازه‌ی فشار تبخیر برسد، سیال درون قطعههای فلزی (همانند لولهها) همراه با افت دما به بخار تبدیل شده و ایجاد حباب مینماید، پدیده‌ی کاوتیاسیون از حبابهای کوچکی به وجود میآید که در حال بزرگ شدن و افزایش قطر میباشند. فشار ناشی از حبابهای کاوتیاسیون به بدنه‌ی قطعه تأثیر کرده و با خوردگی سایشی را ایجاد میکند.

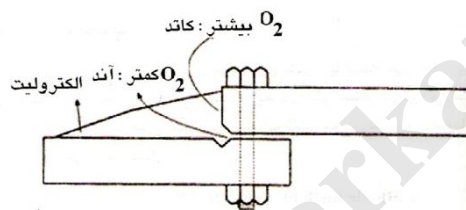
پدیده‌ی کاوتیاسیون، رابطهی مستقیم با سرعت سیال دارد، همچنین وجود ناخالصی در سیال از دیگر عوامل تشدیدکننده‌ی کاوتیاسیون است.

جدول ۱-۲- رابطه استحکام فلزات با مقاومت در برابر کاوتیاسیون

سختی HRB	استحکام $MP_a$	فلز	افزایش مقاومت در برابر کاوتیاسیون
۸۹	۳۹۵	فولاد کربنی	
۶۳	۶۷۳	برنج	
۸۵	۵۱۷	فولاد زنگزن	
۸۶	۴۵۵	برنز فسفری	
۹۵	۷۵۹	برنز آلومینیومی	

## ۱۰-۲- خوردگی سایشی

همانطور که در قسمت قبلی توضیح داده شده، سایش بدنهی قطعات فلزی باعث خوردگی آن میگردد. پدیدهی سایش هم از انواع مکانیکی خوردگی فلزات است و هم متأثر از خوردگی محیط میباشد.



شکل ۶-۲- خوردگی سایشی

## ۱۱-۲- خوردگی فریگه

این خوردگی، در محل تماس دو قطعه فلز که تحت ارتعاش بوده و همچنین در محیط خورنده میباشد، به وجود میآید که در اثر مرور زمان و استمرار عوامل خوردگی محیط، عمیقتر شده و خوردگی را افزایش میدهند.

## ۱۲-۲- خوردگی شکافی

این خوردگی، در محل شکاف ایجاد شده روی قطعه فلز که تحت نفوذ رطوبت محیط خورنده بوده به وجود میآید. در اثر نفوذ رطوبت در شکاف سطحی فلز، تغییر در شرایط داخل شکاف تغییر به وجود میآید که در اثر



مرور زمان و استمرار عوامل خوردگی محیط، خوردگی را افزایش می‌دهند. همچنین وجود یونهای  $I^-$ ،  $Br^-$  و  $Cl^-$  این نوع خوردگی را افزایش می‌دهد.

## ۲-۱۳- خوردگی رسوبی

این خوردگی، در اثر رسوب مواد و در زیر رسوبات و یا کنار آنها ایجاد میشود. زیر رسوبات که تحت نفوذ رطوبت محیط خورنده بوده، همانند شرایط خوردگی شکافی در این نوع خوردگی به وجود می‌آید. این نوع خوردگی، در محلهایی نظیر زیر رسوبات گلگیر خودروها و زیر رسوبات در کانالهای فاضلاب فراوان دیده میشود.

## ۲-۱۴- خوردگی گالوانیکی

این نوع خوردگی، هنگامی به وجود می‌آید که دو یا چند فلز غیرهمنوع و یا با ساختمانهای میکروسکوپی متفاوت با هم در ارتباط باشند و با کمک محیط خورنده، یکی از آنها به صورت آند و دیگری به صورت کاتد عمل نماید. در این شرایط، فلزی که نقش آند را دارد خورده شده و فلز کاتد سالم باقی خواهد ماند. در تمامی انواع خوردگی، عواملی چون رطوبت، حرارت محیط، اختلاف پتانسیل، شرایط سطحی، عملیات حرارتی، تابش، ناخالصی، گذشت زمان و ... در سرعت خوردگی مؤثرند.

آنچه در این کتاب مدنظر قرار دارد، خوردگی در سازهها، تأسیسات و قطعات مورد استفاده در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی به خصوص خطوط لوله‌ی فولادی مدفون در خاک و همچنین نحوه‌ی مقابله و تحت کنترل قرار دادن عوامل خورنده است. از اینرو، در عوامل بیان شده‌ی فوق در صدد بررسی مواردی مرتبط با هدف اصلی کتاب می - باشیم و نیز راهکارهای جلوگیری و مقابله با از دست رفتن تجهیزات مجموعه‌ی نفت و گاز و به عبارتی سرمایه - های ملی را تجزیه و تحلیل خواهیم کرد.

بیشتر خوردگی سازه‌ها و تأسیسات زیر زمینی نفت و گاز را خوردگی گالوانیکی شامل می‌شود. که در آن، سه جزء اصلی پیل گالوانیکی (یعنی آند، کاتد و الکترولیت) وجود دارد. این نوع خوردگی به دو دسته بزرگ:

الف) خوردگی ناشی از فلزات غیرهمجنس در یک الکترولیت

ب) خوردگی ناشی از فلزات همجنس در الکترولیت‌های مختلف (یا یک الکترولیت با شرایط متفاوت در نقاط

مختلف آن). تقسیم می‌شوند که در ادامه، آنها را به تفصیل مورد بررسی قرار خواهیم داد.

در خوردگی ناشی از فلزات غیرهمجنس در یک الکترولیت، همانگونه که در پیل‌های گالوانیکی شرح داده شد،

در صورت وجود شرایط پیل گالوانیکی، آند خورده شده و کاتد تحت حفاظت قرار می‌گیرد. با توجه به جدول

نسبت پتانسیل، اگر فلزی نسبت به فلز دیگر دارای پتانسیل کمتر باشد به عنوان آند و آنکه دارای پتانسیل بیشتر

است، به عنوان کاتد عمل خواهد نمود. به عنوان مثال، اگر دو قطعه فلز روی و آهن در خاک مدفون باشند و

همچنین با یک هادی (با مقاومت پایین) به یکدیگر متصل باشند. چون در جدول پتانسیل فلزات نسبت به الکترود

مرجع سولفات مس، پتانسیل روی ۱/۱- و پتانسیل آهن ۰/۵- است، بنابراین روی نقش آند را داشته و خورده می -

شود و آهن نقش کاتد را ایفا کرده و تحت حفاظت قرار می‌گیرد.

در نوع دیگر از خوردگی، فلزات غیرهمجنس، مانند دو قطعه فلز آهن یکی تازه و دیگری کهنه و زنگزده اگر به

یکدیگر (بدون اتصال عایقی) متصل باشند، از آنجا که مقدار پتانسیل لوله آهن تازه ۰/۸- تا ۰/۵- ولت بوده و نیز

مقدار پتانسیل لوله آهن زنگزده ۵۰- تا ۰/۲- ولت می‌باشد، بنابراین لوله‌ی تازه به عنوان آند خورده شده و لوله

زنگزده نقش کاتد را ایفا خواهد کرد.

نوع دیگری از این دسته خوردگیها زمانی رخ می‌دهد که در سطح فلز خراش سائیدگی و یا هر نوع آسیب سطحی

وارد شود. محل صدمه دیده، به عنوان آند عمل کرده و مابقی سطح فلز به عنوان کاتد عمل می‌کند. بر این اساس،

نقاط آسیب‌دیده‌ی خورده شده، بر شدت آسیب‌دیدگی می‌افزایند.

نکته‌ی مهمی که در این دسته از خوردگی‌ها در مورد شدت خوردگی باید در نظر گرفته شود، نسبت سطوح آند و کاتد است. با بررسی خوردگی در فلزات غیرهمجنس، مشاهده می‌گردد که در برخی شدت خوردگی بالا بوده و در برخی خوردگی چندان شدید نیست. دلیل این امر، نسبت سطوح آندی و کاتدی با یکدیگر است.

در اتصالهایی که سطح آند، بزرگتر از سطح کاتد باشد، میزان شدت جریان خارج شده از آند، نسبت به سطح آن بیشتر خواهد بود و بنابراین عمل خوردگی آهسته و کند صورت می‌پذیرد و همچنین به دلیل شدت جریان دریافتی کاتد نسبت به سطح کاتد به سرعت پلاریزه شده و در نهایت باعث کاهش سرعت خوردگی در مجموعه می‌گردد. ولی در اتصالهایی که سطح کاتد بزرگتر از آند باشد، مقدار جریانی که از آند خارج می‌شود، نسبت به سطح آن بیشتر از حالت قبل است، بنابراین سرعت و شدت خوردگی در سطح آند بیشتر است. همچنین به دلیل اینکه، میزان جریان جذب شده در کاتد نسبت به سطح آن کمتر است، فرآیند پلاریزاسیون در آن به کندی صورت گرفته و در نتیجه خوردگی در آند در مدت بیشتری ادامه خواهد داشت.

نوع دیگری از خوردگی ناشی از فلزات همجنس در الکترولیت‌های متفاوت می‌باشد.

خطوط لوله‌ی نفت و گاز مدفون در زمین، بنابه شرایط اقلیمی هر منطقه از خاک‌های مختلفی عبور می‌کند که بتوانند خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی با هم داشته باشند. از آنجا که خاک نوعی الکترولیت محسوب می‌شود. هر گونه ویژگی خاص خاک، در روند خوردگی الکترودهای درون آن تأثیرگذار خواهد بود.

انواع مختلف تأثیر الکترولیت خاک به شبکه‌ی خطوط لوله در ادامه تشریح می‌شود:

۱- تأثیر خاک‌های مختلف در برگیرنده‌ی خطوط لوله در خوردگی آنها.

اگر خطوط لوله‌ای از میان خاک‌هایی با ماهیت متفاوت عبور کند، آن قسمت از خاک که نسبت به پتانسیل مرجع، پتانسیل کمتری داشته باشد، به عنوان خاک منفی (-) شناخته شده و در صورتی که پتانسیل خط لوله در آن ناحیه از پتانسیل خط لوله در آن ناحیه از پتانسیل خاک کمتر باشد، آن نقطه از لوله خاصیت کاتدی داشته و تحت محافظت

قرار میگیرد. حال اگر ناحیه‌ای از خاک که نسبت به ناحیهی منفی پتانسیل بیشتری داشته باشد، به عنوان خاک مثبت (+) شناخته شود و لوله در آن خاصیت آندی داشته باشد، خورده میشود.

۸ در طراحی شبکه‌ی خطوط لوله به هنگام عبور خط لوله از زیر جاده و یا رودخانه نیاز است که پوشش محافظ بتونی مسلح به فولاد و یا پوشش غلاف عایقی در آن محل روی لوله استفاده شود. در این مواقع، به دلیل اختلاف سطح پوشش لوله (در آن محل پوشش خاصی و در محل‌های دیگر پوشش عادی) میزان جریان ورودی و خروجی به لوله بنابر اختلاف پتانسیل عادی و پوشش خاص متفاوت خواهد بود. این تفاوت، اساس تشکیل الکترولیت متفاوت برای لوله بوده و پدیده‌ی خوردگی را در محل خروجی جریان (که معمولاً لوله درون خاک می‌باشد) به وجود می‌آورد و آن قسمت از لوله که در ناحیهی کاتدی قرار دارد (عموماً لوله در پوشش خاصی است) تحت حفاظت قرار میگیرد.

۸ اکسیژن موجود در هوا، به طور معمول میتواند در خاک نفوذ کند. اگر اکسیژن در خاک زمینی که خط لوله در آن مدفون شده، به طور یکنواخت نفوذ کند، برای مثال یک قسمت از لوله در زیر آسفالت قرار گیرد و آن قسمت از خاک اکسیژن کمتری نسبت به سایر نقاط جذب کند، خاک با اکسیژن کمتر خاصیت آندی و سایر نقاط خاک خاصیت کاتدی به خود میگیرد. با این شرایط، لوله در ناحیهی آندی (زیر آسفالت) خورده میشود. در حالت دیگر، تشکیل پیلخوردگی با وجود پوشش بتنی تشکیل شده است.

پیل‌های خوردگی، همچنین میتوانند در اثر اتصال دو نوع لوله‌ی تازه و کهنه پدید آیند. با اندازه‌گیری میزان پتانسیل میتوان نقاط آندی و کاتدی سطح سازه را تشخیص داد.

## ۲-۱۵- محیطهای خوردگی در صنعت نفت و گاز

- صنعت نفت و گاز دارای تعداد زیادی محیطهای خوردنده میباشد. در صنعت نفت و گاز مسائل خوردگی حداقل در سه زمینه عمومی (۱) تولید، (۲) حمل و نقل و نگهداری و (۳) عملیات پالایش واقع تولید میدین نفتی و گازی مقادیر عظیمی لوله، جدارهی فلزی داخلی چاه پمپ<sup>۱</sup>، والو و میللهای مکنده فولادی و چدنی مصرف مینمایند.
- وجود نشت باعث از بین رفتن نفت و گاز میشود، همچنین به علت رها شدن آب و لجن<sup>۲</sup> مشکلات خوردگی افزایش مییابد. غالباً در چاههای نفتی آبهای شور و سولفیدها وجود دارند. در چاههای نفت خوردگی در قسمت های داخلی و بیرونی جدارهی فلزی چاهها اتفاق میافتد، تجهیزات موجود در روی زمین در معرض خوردگی اتمسفری قرار دارند. در عملیات بازیابی ثانویه<sup>۳</sup> برای این که نفت را بیرون بکشند آب به داخل چاه پمپ میکنند.
- چاههای کندانسات<sup>۴</sup>:** این چاهها حاوی سیال (گاز حاوی هیدروکربنهای حل شده) با فشارهایی تا ۱۰/۰۰۰ پوند بر اینچ مربع میباشد. عمق این چاهها تا ۱۵۰۰۰ فوت میرسد. دیاکسیدکربن عامل خوردندهی اصلی است و اسیدهای آلی نیز به خوردگی کمک میکنند. تقریباً ۹۰ درصد چاهها کندانسات خوردنده با شرایط زیر مواجه هستند:
۱. عمق بیشتر از ۵۰۰۰ فوت
  ۲. درجه حرارت مدخل پایینی بالای ۱۶۰ درجه فارنهایت و فشار بالای ۱۵۰۰ پوند بر اینچ مربع
  ۳. فشار جزیی دیاکسیدکربن بالای ۱۵ پوند بر اینچ مربع و
  ۴. PH قسمت بالای چاه کمتر از ۵/۴.
- ویژگیهای خوردگی چاه نفت به وسیلهی
۱. بازرسی و کیفیت خوردگی تجهیزات زمینی
  ۲. آنالیز دیاکسیدکربن، اسیدهای آلی و آهن
  ۳. نمونههای آزمایشی و

۴. نازک شدن لوله تعیین میگردد. تعیین آهن و مقدار نازک شدن لولهها درجهی مؤثر بودن ممانعتکنندهها را نشا ن میدهد.

روشهای قبلی مشتمل بر افزودن خنثیکنندههایی مثل آمونیاک، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم بود لکن این مواد امروزه با ممانعتکنندههای آلی جایگزین گردیدهاند.

در بعضی موارد فولادهای آلیاژ جایگزین فولادهای آلیاژی جایگزین فولادهای منگنزدار با کربن متوسط (J.55,N-80) که قبلاً بهکار برده میشدند، شدهاند.

در جدول زیر اثر کرم و نیکل بر خوردگی فولاد به وسیلهی سیال چاه کندانسات نشان داده شده است. فولادهای زنگزن کرمدار (بدون نیکل)، استلایت<sup>۱۱</sup> مونل و آلیاژهای مسی برای والوها و دیگر وسایل روی چاه استفاده میگردند. ظاهراً خوردگی گالوانیکی در اینجا چندان مهم نیست زیرا مقدار آب هادی قابل ملاحظه نیست.

جدول ۲-۲- تأثیر کرم و نیکل بر خوردگی فولاد به وسیلهی چاه کندانسات

خوردگی، mpy	%Cr	خوردگی، mpy	%Ni
۳۶	۰	۳۶	۰
۵۰	۲/۲۵	۴	۳
۲۱	۵	۳	۵
۱/۵	۹	۲	۹
۰	۱۲		

**چاههای نفتی شیرین<sup>۱</sup>:** ظاهراً خوردگی در چاههای تحت فشار بالا در بسیاری موارد عادی شده است. برای

مبارزه با این خوردگی سه روش به کار میرود: پوشش دادن لولهها، ممانعتکنندهها و آلیاژها. لولههای پوشش داده شده بیشترین کاربرد را دارند، تا همین اواخر از فنولیکهای پخته شده در تمام تجهیزاتی که پوشش کاری میشود استفاده میشد. رزینهای اپوکسی که در هوا سخت میشوند یا قابل پختن هستند، کاربرد روزافزونی پیدا کردهاند.

**۸ چاههای نفتی ترش<sup>۲</sup>:** نفت این چاهها نسبت به چاههای شیرین دارای گوگرد بیشتری است و مسائل

خوردگی بیشتری به وجود میآورد. در چاههایی که  $H_2O$  بالایی دارند، در قسمتهای بالایی جداری فلزی داخلی چاه یعنی در محلی که به وسیله گاز اشغال میگردد خوردگی شدیدی ممکن است ایجاد گردد. بخار آب در این ناحیه کندانس شده و  $H_2O$  و  $CO_2$  را جذب میکند. با تزریق میشوند، خوردگی را کم میکنند.

**۸ سکوی حفاری در دریا<sup>۳</sup>:** حفاری در دریا مسائل خوردگی جالب توجهی به بار میآورد. سکوهای حفاری به

وسیلهی ستونهای فلزی که در کف اقیانوس فرو برده شدهاند نگهداری میشوند. هر ستون به وسیلهی یک جدار لولههای برای حفاظت دربر گرفته میشود. سکوهای مشابهی برای برجهای رادار ساخته میشوند. روشهای جلوگیری از خوردگی در اینگونه ساختمانها (اسکلتها) عبارتند از:

۱. افزودن ممانعتکنندهها به آب دریا ساکن بین ستونها و جداره لولههای.

۲. حفاظت کاتدی، با آندهای قربانی شونده یا با جریان خارجی اسکلتهای فلزی زیر آب.

۳. رنگها و پوششهای دیگر برای حفاظت آن قسمت از اسکلت فلزی که در منطقه متلاطم<sup>۴</sup> آب قرار دارد.

<sup>۱</sup>. Sweet Oil Wells

<sup>۲</sup>. Sour Oil Wells

<sup>۳</sup>. Offshore Drilling

<sup>۴</sup>. Splash Zone

۴. کاربرد روکش موندل در منطقه‌ی سطح آب برای جداری خارجی چاه. این قسمت مستعدترین محل برای خوردگی است.

#### ۸ حمل و نقل و نگهداری: مواد نفتی به وسیله‌ی تانکرها، خطوط لوله، تانکهای قطار و کشتی حمل و نقل

میشوند. قسمتهای بیرونی تانکها با لولههای زیرزمینی به وسیله‌ی پوشش مناسب حفاظت میگردند. حفاظت کاتدی همچنین برای قسمتهای داخلی تانکها استفاده میگردد. تانکهای حمل بنزین مسائل خوردگی بیشتر دارند تا تانکهای نفتی، زیرا بنزین سطح فلز را خیلی تمیز نگه میدارد. نفت یک پوسته نازک روی سطح فلز باقی میگذارد که تا حدودی آن را محافظت میکند. قسمتهای بیرونی تانکها و کشتی حمل و نقل برای جلوگیری از خوردگی اتمسفری پوشش داده میشوند.

خوردگی تانکهای نگهداری و ذخیره در اثر آبی است که ته نشین میگردد، لذا برای محافظت تانک از پوشش و حفاظت کاتدی استفاده میشود. کرومات سدیم قلیایی (یا نیترات سدیم) ممانعتکننده مؤثری برای مخازن نفتی خانگی است.

خوردگی داخلی خطوط لوله را با پوشش و ممانعتکنندهها (چند PPM) مثل آمینها، نیتريتها کنترل میکنند. روشهای مبتکرانه‌ای برای پوشش دادن لولههای زیرزمینی در محل ابداع شدهاند.

#### ۸ عملیات تصفیه: اکثر مسائل خوردگی در پالایشگاهها در اثر موادمعدنی مثل آب، $\text{CO}_2$ ، $\text{H}_2\text{O}$ ، اسید

سولفوریک و کلرور سدیم به وجود میآید تا مواد آلی. به همین دلیل وجه اشتراک مسائل خوردگی صنایع نفت با صنایع شیمیایی زیاد است.

مواد خورنده را میتوان به دو گروه کلی تقسیم نمود:



۱. آنهایی که در نفت خام وجود دارند.

۲. آنهایی که به همراه فرایند یا کنترل وجود دارند.

آب در نفت خام معمولاً آب وجود دارد و حذف آن مشکل است. آب به عنوان الکترولیت عمل نموده و باعث خوردگی میشود. همچنین آب باعث هیدرولیز شدن مواد دیگر به ویژه کلرورها شده و لذا یک محیط اسیدی به وجود میآورد.

۸ **دیاکسید کربن:** در سالهای اخیر به عنوان یکی از مهمترین مواد خورنده شناخته شده است. مخصوصاً در چاههای گاز، بسیاری از چاههای گاز مقادیر قابل ملاحظه‌ای  $CO_2$  تولید میکنند.

۸ **آب نمکدار:** آب نمکدار در اکثر چاهها وجود دارد مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن به پالایشگاه میرسد نمکها عبارتند از: کلرور کلسیم، کلرور منیزیم و کلرور سدیم. روشهای نمکزدایی عبارتند از: شستشو و ته نشین کردن، افزودن مواد شیمیایی مثل سولفاناتها برای ته نشین کردن، سانتریفیوژ کردن، افزودن مواد شیمیایی مثل سولفاناتها برای ته نشین کردن، سانتریفیوژ کردن و فیلتر کردن.

نمکها و آب معمولاً در اولین مرحله‌ای که عملی باشد بایستی خارج شود، لکن این عملیات اغلب کامل نبوده و حتی مقادیر جزئی باقی مانده باعث تشکیل اسید کلریدریک میشود. کلرور منیزیم به سهولت هیدرولیز میگردد. در این مورد ممکن است تا سه برابر مقدار اکیوالان استوکیومتری یونهای سولفیدی و کلرید آمونیاک لازم باشد (به بحث مربوط به آمونیاک که در زیر آمده رجوع شود).

۸ **سولفور هیدروژن، مرکاپتانها**<sup>۵</sup> و ترکیبات سولفیدی دیگر، در اکثر نفت و گاز خامی که به وسیله‌ی

پالایشگاه تصفیه میگردند وجود دارند. اینها را با هیدروکسید سدیم، آب آهک، اکسید آهن، یا کربنات سدیم

<sup>5</sup> Mercaptans

خارج مینمایند، لکن به دلایل مختلفی غالباً این کار را در مراحل نهایی انجام میدهند. در خود عملیات پالایش نیز مسائل خوردگی وجود دارد. همچنین در فرایندهایی که برای از بین بردن گوگرد استفاده میشود.

➤ **نیتروژن:** در بعضی فرایندهای جدیدتر فاکتور مهمی شده است. در بعضی نفتهای خام نیتروژن وجود دارد،

لکن منبع مهم نیتروژن هواست. مقادیر زیادی هوا در بعضی عملیات برای سوخت استفاده میگردد (برای پروسسهای کرانیک) تحت بعضی شرایط در حضور نیتروژن آمونیاک و سیانیدها تشکیل میگردند. آمونیاک باعث صدمه زدن به لولههای مبدلهای حرارتی که از آلیاژهای مسی هستند میشود و سیانیدها فاکتور مهمی در کنترل نفوذ هیدروژن به داخل فولاد میباشد.

➤ **اکسیژن (یا هوا):** در هنگامی که تانکها و دیگر تجهیزات خالی هستند و یا در حین زمان شروع به کار وارد

آنها میگردد. اکسیژن میتواند از طریق پمپها نیز وارد سیستم گردد. همچنین میتواند در نتیجهی واکنش بین ترکیبات دیگر مثل آب و دیاکسید کربن به وجود میآید. آبی که در سیستم مورد استفاده قرار میگیرد نیز دارای اکسیژن محلول میباشد.

➤ **اسید سولفوریک:** در عملیات پالایشگاههای مثل الکیلاسیون<sup>6</sup> و پلیمریزاسیون به مقدار زیادی مصرف می-

شود. ویژگیهای خوردگی اسید آلوده شده ممکن است تغییر کند. استفاده از این اسید و بازیابی و تغلیظ آن، مشکلات خوردگی غالباً دارای مقادیر زیادی مواد کربنی یا کربناتی هستند که باعث میشوند اسید سولفوریک احیاء کننده گردد. این حالت باعث خوردگی فولادهای زنگزن میگردد و تحت بعضی شرایط آلیاژهای مسی بهتر کار میکنند.

➤ **آمونیاک:** آمونیاک برای کنترل PH آب و تقلیل اسیدیته ناشی از کار در جریان تصفیه میباشد. اگر  $PH=7$

باشد. این روش خیلی خوب عملیکند، لکن اگر  $PH=8$  یا بیشتر باشد باعث وارد آمدن خساراتی به آلیاژهای مسی میگردد. غالباً آمونیاک در جاهای صحیح بهکار برده نمیشود یا به طور صحیح کنترل نمیشود. آمونیاک به

<sup>6</sup> Alkylation

بخارات موجود در پروسس اضافه می‌گردد. همچنین به کندانسورها نیز اضافه می‌گردد تا آب کندانس شده را خنثی نماید. بهتر است آمونیاک را قبل از آنکه فاز مایع به وجود می‌آید به سیستم مورد نظر اضافه نمود.

۸ **اسید کلریدیک:** یک همانطور که قبلاً اشاره گردید در اثر هیدرولیز به وجود می‌آید. گاهی اوقات به طور

عمدی به پروسس اضافه می‌گردد. این اسید نسبتاً فرار بوده به طوری که غالباً در برجهای تقطیر، همچنین در اجزای

نفی تقطیر شده پیدا می‌شود. (در یک فرایند الکیلاسیون اسید فلوریدیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.)

۸ **مواد قلیایی (هیدروکسید سدیم):** گاهی اوقات برای زدودن سولفور هیدروژن و خنثی ساختن آن اضافه

می‌گردد. افزودن آهک و مواد قلیایی به نفت خام باعث تقلیل HCL در بخارها می‌گردد. مواد قلیایی بعضی وقت -

ها باعث رسوبات و گرفتگی می‌شوند که زدودن آنها مشکل است، همچنین خوردگی توأم با تنش (SCC) می -

شوند.

۸ **اسید نفتائیک:**<sup>۷</sup> حضور این اسید در نفت می‌تواند باعث خوردگی قابل ملاحظه‌ای در ۷۵۰ درجه‌ی فارنهایت و

بالتر می‌گردد، لذا گاهی اوقات از آلیاژها ۳۱۶ استفاده می‌گردد. در بعضی نفتها مقادیر قابل توجهی از این اسید

وجود دارد. در شرایطی که خوردندگی کمتر است، فولاد 5%Cr کفایت می‌کند. موقعی که درجه حرارت زیر F

500° باشد، مونل استفاده می‌شود.

۸ **اسید پلی تیوتیک:** باعث خوردگی تشی بین دانه‌های سریع فولادهای زنگ‌زن آستنیتی حساس شده در بعضی

عملیات تصفیه نفت می‌گردد. فولاد نوع ۳۰۴ مسعد است. این نوه خوردگی با انتخاب فولاد ۳۰۴ که به طرز صحیح

عملیات حرارتی شده باشد (حساس نشده باشد)، انواع کم کربن یا پایدار شده<sup>۸</sup> به حداقل میرسد.

خوردگی پالایشگاهها گاهی اوقات به دو گروه تقسیم می‌گردند:

۱. خوردگی در درجه حرارت پایین

<sup>۷</sup> . Naphthenic acid

<sup>۸</sup> . W.A Derung, Naphtheric Acid Corrosion – An Old Enemy Of the Petrolcum industry, Corrosion, 12: 617- 622t (1956).

۲. خوردگی در درجه حرارت بالا و مرز این دو معمولاً  $500^{\circ}\text{F}$  می باشد کمتر از  $500^{\circ}\text{F}$  آب می تواند وجود داشته باشد و مکانیزم خوردگی در محیط های آبی قابل کاربرد است. در بالاتر از  $500^{\circ}\text{F}$  مکانیزم های درجه حرارت بالا وارد عمل میشوند. شاید دلیل دیگر این تقسیم بندی در  $500^{\circ}\text{F}$  این است که فولاد کربن ساده برای فرایندهای اکثر نفت های خام و نفتاها<sup>۹</sup> تا این درجه حرارت اقتصادی است و در درجه حرارت های بالاتر حتماً بایستی از فولادهای آلیاژی و مواد دیگر استفاده نمود. این یک طبقه بندی کلی است و نباید آن را خیلی جدی گرفت.

اینگونه طبقه بندی ها کاملاً رضایت بخش نیستند، حتی اگر در مورد شرایط کاری واقعی صدق نماید. مثلاً تجهیزات درجه حرارت بالا معمولاً به وسیلهی آب و کندانسهای دیگر هنگامی که در دستگاه کار نمیکند، مواقعی که به وسیلهی بخار یا آب شستشو میگردد، یا موقع استارت مجدد خورده میشوند. بسیاری از افراد نمیتوانند اثر شرایطی که هنگام خواباندن تجهیزات وجود دارد را درک نمایند. نه تنها در پالایشگاهها بلکه در بسیاری از صنایع شیمیایی دیگر.

۸. **آلیاژهایی که در عملیات پالایش به کار میروند:** فولاد کربنی معمولی مهمترین فلز است، زیرا ۹۸ درصد مواد ساختمانی که در این صنعت بهکاربرده میشود. از این فلز میباشد. به عنوان یک قاعدهی کلی همواره بایستی تلاش کرد تا از فولاد کربنی معمولی استفاده نمود. این کار با ایجاد تغییراتی در فرایند عملی میباشد، مثلاً با پایین آوردن درجه حرارت یا افزودن ممانعتکنندهها، فولاد کربنی ساده از ارزانترین فلزات مهندسی غیر از چدن است. در بعضی موارد، فولادهای آلیاژی به علت داشتن عمر بیشتر اقتصادی ترند و به دلیل مسائل اقتصادی، انتخاب آنها (قیمت اولیه بالاتر) قابل توجیه خواهند بود.

<sup>۹</sup> . Naphthas

غالباً فولاد کربنی ساده برای لوله‌های مبدل‌های حرارتی متناسب نمی‌باشد، زیرا آب خنک‌کننده باعث خوردگی آن

می‌گردد. برنج، آدامیرالتی آرسنیک، برنج قرمز کوپرونیکلها در این مورد استفاده وسیعی دارند. فولادهای

زنگزن آستینیتی گران هستند و ممکن است در آب‌های کلردار ترک بخورند. لکن این فولادها برای لوله‌های

برج‌های تقطیر<sup>۱۰</sup> و لوله‌های کازکراکینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بعضی موارد، یک برج خاص را با دو یا

سه جنس مختلف پوشش می‌دهند تا در مقابل تغییرات خوردندگی محیط از پایین تا بالای برج جوابگو باشد.

خوردگی به وسیله نفت خام ترش با افزایش درجه حرارت افزایش می‌یابد. (در حدود  $800^{\circ}\text{F}$  به شدت افزایش

می‌یابد) همچنین با افزایش مقدار گوگرد. کرم بهترین عنصر آلیاژی برای فولاد در افزایش مقاومت در برابر

ترکیبات گوگردی می‌باشد. بنابراین با افزایش گوگرد یا درجه حرارت، مقدار کرم فولاد را نیز افزایش می‌دهند، از

1%Cr شروع میشود. تجربه نشان داده است که فولاد ۲/۲۵ کرم و ۱٪ مولیبدن، موقعی که مقدار  $\text{H}_2\text{S}$  در مسیر

گاز کمتر از ۰/۲٪ باشد معمولاً کفایت میکند. موقعی که مقدار سولفید بیشتر باشد ۵٪ مولیبدن به طور وسیعی در

پالایشگاهها استفاده میشود.

علاوه بر دیاکسید کربن که «به طور طبیعی» وجود دارد و در بالا به آن اشاره شد، موقع تزریق  $\text{CO}_2$  یا لبریز کردن

برای بهبود بازیابی نفت، بعضی مشکلات حاد به وجود آمده است. این مسئله به وسیلهی ترسه<sup>۱۱</sup> در بحث شده است.

او بیان میکند که دو مؤلفه اساسی مکانیزم با تجارب عملی سازگار هستند:

۱. واکنش کاتدی اصلی احیاء اسید کربنیک که تجزیه نشده و یا یون هیدروژن است.

۲. سرعت‌های خوردگی بالای که واکنش دومی انتظار میرود، در بسیاری از سیستمها به علت اثرات بازدارندگی

رسوب کربنات فرو حاصل نمی‌گردد. از همچنین بیان میکند که خوردگی حاد در سیستمهای آمین-گاز به علت

<sup>10</sup>. Stills

<sup>11</sup>. R.S.Treseder, "Some Comments On Proposed Mechanisms for Carbon Dioxid Corrosion", NACE Paaper 284, CORROSION New Orleans, 1984.

واکنش کاتدی مشتمل بر اسید کربنیک واقع میشود. اسید کربنیک از تجزیهی حرارتی بیکربنات روس سطوح حرارتی به وجود میآید.

کین و بوید پیشنهاد میکنند که در مواردی که فولاد کربنی شدیداً خورده میشود، از فولادهای پر کرم و همچنین پر آلیاژها مثل اینکولوی ۸۲۵ استفاده گردد. آنها همچنین توصیه میکنند که از پوششها و ممانعتکنندهها استفاده میگردد.

موراتا و همکاران برای ارزیابی و پیشبینی مقاومت پر آلیاژها در محیطهای ترش، استفاده از آنالیز رگرسیون تعدادی اطلاعات آزمایشگاهی با کمک کامپیوتر را پیشنهاد کردهاند، مقدار مقاومت ترش (SR) تشکیل شده از عناصر آلیاژی اصلی و ضرایب آنها که تابعی از پارامترهای محیطی مورد نظر هستند. نشان داده شده که رابطه خوبی با رفتار خوردگی در محلولهای نمکی حاوی  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  تا دمای  $250^\circ\text{C}$  وجود دارد.

## ۲-۱۶- سرعت خوردگی

یک روش برای تعیین میزان سرعت خوردگی، بررسی میزان وزن سازه در معرض خوردگی است. همچنین، با بررسی چگالی جریان خوردگی نیز، میتوان میزان سرعت خوردگی را به دست آورد. در جدول زیر واحدهای متداول که در بررسی میزان خوردگی مورد استفاده قرار میگیرند، ارائه شده است.

جدول ۲-۳- واحدهای مختلف سرعت خوردگی

واحد	تأثیر خوردگی
$\text{gr/m}^2.\text{year}$ , $\text{mg/dm}^2\text{day}=\text{mde}$	تغییر وزن
$\mu\text{m/year}$ , $\mu\text{m/year} = 10^{-3}\text{mm/year}$ $\text{Lunch per year} = 1\text{py} = 25.4 \text{ mm/year}$ $\text{Mill per year} = \text{mpy} = 10^{-3}\text{lpy} = 25.4 \mu\text{m/year}$	افزایش عمق خوردگی
$\text{Ma/Cm}^2$	جریان خوردگی
Percent/year (or initial value)	کاهش استحکام نهایی استحکام تسلیم یا کرنش گسیختگی

واحد	MDD	$\text{gr/m}^2.\text{day}$	$\mu\text{m/year}$	$\text{mm/year}$	Mpy	IPY
Mdd	-	0/1	4/664	0/0046	0/1832	0/00018
$\text{gr/m}^2.\text{day}$	10	-	46/44	0/0464	1/8321	0/0018
$\mu\text{m/year}$	0/2154	0/02145	-	0/001	0/0394	0/0000392
$\text{mm/year}$	215/364	21/5364	1000	-	39/4	0/0392
Mpy	5/4706	0/5471	25/4	0/0254	-	0/001
IPY	547/056	547/056	25400	25/4	1000	

ردیف	نام واحد	عنوان
۱	Mpy	کم شدن ضخامت $(\text{Mpy}=534 \times W / (D \times A \times T))$

(میکرومتر در سال) عمق نفوذ خوردگی در سال	gr/m <sup>2</sup> .day	2
(گرم بر متر مربع در روز) افت وزنی	μm/year	3
(میلیمتر در سال) عمق نفوذ خوردگی	μm/year	4
(میل در سال) عمق نفوذ خوردگی	Mpy	5
(اینچ در سال) عمق نفوذ خوردگی	iPY	6

در جدول فوق:

$$1 \text{ Mil} = 10^{-3} \text{ inch} = 25/4 \mu\text{m}$$

P دانستیهی فلز (برای فولاد برابر ۷/۸۶ گرم بر سانتیمتر مربع)

اگر سرعت خوردگی، بر حسب چگالی جریان بررسی شود، به هنگام رخداد خوردگی، منحنیهای پلاریزاسیون (قطبش) به عنوان نمایانگر تأثیر خوردگی بر واکنشهای الکترودها، به وسیلهی یک نمودار موسوم به نمودار ایوانس نمایش داده میشود.

در نمودار ایوانس، که گویای قطبش مربوط به اکسیدشوندگی آند و نیز کاهش (احیا شوندگی) کاتد میباشد، تقاطع دو منحنی نمایشدهندهی کاهش و اکسایش دادههای مربوط به خوردگی در زمان وقوع این پدیده را بازگو میکند. با کمک این نمودار، میتوان جریان و ولتاژ خوردگی را تعیین نمود. اگر قطبش بیشتر باشد در اصطلاح فرایند خوردگی تحت حفاظت کاتدیک بوده و در صورت غالب بودن قطبش آندی فرایند خوردگی تحت کنترل، آندی میباشد.



در حالت میانه، اگر پلاریزاسیون آندی و کاتدی از لحاظ مقدار یکسان باشند، کنترل از نوع مختلط خواهد بود. در یک منحنی دیگر، موسوم به منحنی استرن مقادیر پتانسیل الکتروود به صورت تابعی از  $\text{Log } I$  (به جای تابعی از  $I$ ) نمایش داده شده است.

# فصل سوم

مقدمه ای بر روش های پیشگیری از خوردگی در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی

## فصل سوم- مقدمه ای بر روش های پیشگیری از خوردگی در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی

### ۳-۱-مقدمه

تاکنون دانستیم که خوردگی در صنایع نفت و گاز یک پدیده ی هزینه ساز بوده و باعث اتلاف سرمایه های ملی می گردد، پس منطقی است که طراحان و مهندسان شبکه های خطوط نفت و گاز و پتروشیمی با مطالعه دقیق رفتار کلیه ی ادوات و مواد درگیر در این صنعت برای مقابله با پدیده ی خوردگی چاره اندیشی کنند .

طبق معادله دوم گاز  $CO_2$  با کربن کک ترکیب و منو اکسید کربن تولید خواهد نمود.

### ۳-۲- آشنایی با مواد به کار رفته در خطوط انتقال خوراک در صنعت پتروشیمی

#### ۳-۲-۱- فولاد کربنی

این نوع فولادها، در برابر پدیده خوردگی تابع شرایط محیطی خود می باشند. بدین شکل که، میزان خوردگی، مکان قرار گیری و سازه و با توجه به ناحیه جغرافیایی بستگی دارد. به عنوان مثال، میزان و شدت خوردگی در قطعه های سازه هایی که در برابر باران های اسیدی و یا در سواحل و در معرض آب شور می باشند، با قطعه ها و سازه های مناطق خشک و یا خاک های خنثی و همچنین فولادهایی که در بتون مسلح به کار می روند، متفاوت خواهد بود.

اگر فولادهای کربنی، دارای آلیاژی باشند که لایه های اکسیدی تشکیل می دهند، این لایه اکسیدی نقش تعیین کننده در میزان خوردگی خواهد داشت. این نوع فولادها، در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ ( $< 90\%$ )  $H_2SO_4$  و یا با دمای بالا مقاومت خوبی دارند، ولی در کنار اسید کلریدریک (HCL)، اسید فسفریک ( $H_2PO_3$ ) و یا اسید نیتریک ( $HNO_3$ ) با سرعت خورده می شوند. این نوع فولادها، در کنار آب رودخانه یا آب مقطر، کمترین مقدار خوردگی را خواهند داشت.

نوعی از فولادهای کم آلیاژ ( ۲ الی ۵ درصد آلیاژ) مقاومت بهتری در مقابل خوردگی داشته، همچنین ماهیت کمتری نسبت به فولادهای زنگ نزن دارند.

فلزاتی نظیر MO\_AL\_V\_P\_MO\_CU\_NI\_CR، مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می دهند. اگر در برخی سازه ها نیاز نسبتاً کمی به فولاد آلیاژی باشد برای صرفه جویی در هزینه تمام شده سطح فولاد با یک لایه فولاد آلیاژی مقاوم تر پوشش داده می شود. برای پوشش دادن، با استفاده از عملیات نورد گرم پوشش در یک یا چند مرحله انجام می پذیرد. همچنین لایه نازک پوشش را می توان از فولادهای زنگ زن با آلیاژ (NI\_CU) و یا (NI\_CR\_FE) با ضخامت ۵ تا ۵۰ درصد لایه اصلی استفاده کرد.

### ۳-۲-۲- فولادهای زنگ زن

همانگونه که از نام این فولاد مشخص است، ویژگی بارز آن مقاومت مناسب در برابر خوردگی است. از عمده آلیاژهای این فولاد، می توان به کرم و نیکل اشاره کرد. کرم در محیط اسید کننده، یک لایه حفاظت تشکیل داده (لایه روئینه) و از خوردگی فولاد جلوگیری می کند، به این دسته از فولادها، فولاد زنگ زن آستینیتی گفته می شود.

نوع دیگر از این دسته فولادها، موسوم به فولاد زنگ زن فریتیک هستند که ماهیت بلوری متفاوتی با نوع قبلی دارند و تفاوت عمده آنها، جوش پذیری کمتر فولاد فریتیک به فولادهای آستینیتی است.

نوع دیگری از این فولادها، فولادهای کربنی آبدیده با نام مارتنزیتی می باشند که استحکام آنها بالا بوده و از سختی خوبی برخوردارند. همچنین در مقابل اکسیداسیون نیز عملکرد مناسبی دارند. ولی در مقایسه با فولادهای کربنی در محیط های خورنده از مقاومت کمتری برخوردارند.

فولادهای زنگ زن پیر سختی نوعی از فولادهای زنگ زن هستند که تحت عملیات حرارتی خاص قرار گرفته و سخت می گردند. هر چند این نوع فولادها، در مقابل آسیب های مکانیکی همانند سایش بهتر عمل می نمایند، ولی از فولادهای زنگ زن آستینیتی در برابر خوردگی مقاومت کمتری دارند.

چدن نیز نوعی فولاد است که درصد بیشتری کربن در خود دارد. این نوع فولاد، در مقابل عملیات چکش کاری مقاومت مناسبی ندارد، اما در مقابل خوردگی از مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار است. برخی از آلیاژهای فولاد نیز، وجود دارند که در برابر خوردگی مقاومت خوبی از خود نشان می دهند.

### ۳-۳- مقابله با خوردگی به کمک طراحی بهینه تجهیزات فلزی

اولین و ابتدایی ترین روش مقابله با خوردگی، توجه به شکل قطعه و سازه فلزی طراحی و ساخته شده برای هدف خاصی می باشد. در تجهیزات و تاسیسات فولادی و سایر فلزات نحوی طراحی می تواند تاثیر به سزایی در میزان خوردگی آنها در خلال مدت استفاده از آنها و افزایش عمر مفید آنها داشته باشد. مواردی همچون:

- ضخامت فلز مورد استفاده

- شکل طراحی شده برای قطعات و سازه فلزی

- نوع اتصالات قطعات فلزی

- نحوه طراحی سازه های عبور دهنده سیالات

- احجام فلزات در مجاورت دمای بالا.

از جمله مواردی است که می تواند میزان خوردگی قطعه و سازه فلزی را کاهش و یا افزایش دهد. تنش ها و کشش های اعمالی به قطعه و سازه فلزی در ایجاد ترک های سطحی ( که خود عامل بروز خوردگی تنش و کششی است) می باشد. براین اساس، میزان نیروهای اعمالی به سازه، همانند نیروهای تنش و کرنشی، استاتیکی و دینامیکی که در حین کار بر آن وارد خواهد شد، در ایجاد عوامل به وجود آورنده و تشدید کننده خوردگی بسیار موثر است.

مخصوصاً اگر نقاطی از قطعه فلزی که با وجود نیروهای تنش در محیط های خورنده نیز حضور داشته باشد، احتمال خوردگی افزوده می شود.

از دیگر مسائلی که، باید در زمان طراحی و ساخت سازه های فلزی در معرض آسیب ناشی از خوردگی در نظر گرفته شود، پیش بینی میزانی از سطوح سازه و قطعه است که در مجاورت محیط های خورنده قرار دارند. نقاطی از سطح سازه ها و قطعات فلزی، که می توانند مقادیری از عوامل خورنده همانند آب و یا در تماس با هوا و گازهای خشک می باشند. اینگونه شرایط در مخازن ذخیره مواد مایع و یا گاز، همچنین لوله های انتقال سیالات بسیار مشاهده می گردد. در طراحی اینگونه موارد، باید دقت کرد که مواد خورنده، نباید برای مدت طولانی با سطوح فلزات در تماس باشند و یا در نقاطی از سازه تجمع کنند. این موارد در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است:

از جمله موارد دیگر، در طراحی سازه ها و قطعات فلزی که باید مورد توجه قرار گیرد، دقت در درزگیری شکاف های موجود در سطح سازه و در محل تماس و پیوند دو قطعه می باشد. نفوذ مواد خورنده، نظیر آب و یا هوا در این شکاف ها، عوامل خوردگی را شدت بخشیده و موجب از بین رفتن قطعه فلزی می گردد. خوردگی های مشاهده شده در محل جوش های لوله ها، یا فلنج ها، تبدیل ها و شیرهای موجود عموماً به دلیل رعایت نکردن درزپوشی است.

علاوه بر اهمیت درزهای میان فلزات همجنس در خوردگی آنها، باید در کنار هم قرار دادن و اتصال فلزات غیر هم جنس به خصوص در مجاورت مواد خورنده نظیر آب و خاک و نیز حجم هر نوع از فلزات باید دقت نمود.

(توضیحات کامل تر در مبحث مربوط به خوردگی گالوانیکی ارائه شده است).

از مواد مهم دیگر، در طراحی سازه های فلزی، آن دسته از سازه هایی است که جهت عبور سیالات مورد استفاده قرار می گیرند. در اینگونه سازه ها، بنابر ماهیت سیال ماده درون سازه، همانند لوله های نفت و گاز، با گذر سیال سطوح داخلی آنها مورد حمله تلاطم های ناشی از جریان و حرکت سیال قرار می گیرند. با طراحی مناسب سطوح داخلی، این نوع از سازه ها و با کاهش سطح تماس و نیز کاهش نیروهای وارده از طرف سیال بر سطح داخلی می توان مقابل خوردگی های ناشی از این قسم را تا حدود زیادی کاست.

در شکل ۳-۳، چگونگی انتخاب و طراحی سازه های مورد استفاده برای عبور سیال های مختلف نمایش داده شده است:

از جمله موارد دیگر، که باید در طراحی های در نظر گرفته شود، سازه هایی است که از یک طرف در مجاورت حرارت و دمای بالا و از طرف دیگر با میزان دمای کمتری در تماس است. در این شرایط، امکان پیدایش بخارات آب در طرفی از سازه که دمای کمتری دارد، وجود خواهد داشت. تحت این شرایط، اگر طرفین سازه ( همانند سقف های کاذب، دیوارها و جداره های پیش ساخته ) را بتوان با استفاده از پوشش ها و عایق های حرارت و برودتی تا حدودی هم دما نمود، می توان از بروز و پیدایش مواد خورنده، همانند بخارات آب جلوگیری کرد

### ۳-۴- اعمال پوشش جهت جلوگیری از خوردگی

همانگونه که در مبحث پیل های گالوانیکی و خوردگی ناشی از پدید آمدن یک پیل بررسی شده، بنیان و اساس خوردگی از خروج و ورود الکترون از سطح فلز در الکترولیت شکل می گیرد. ساده ترین روشی که برای مقابله با پدیده خوردگی به ذهن می رسد، ممانعت از ارتباط الکترونی سطح فلز با الکترولیت است. این ایده با اعمال یک لایه ی پوشش دهنده بر روی سطح فلز شکل می گیرد.

بنابراین، می توان گفت یک پوشش عبارتست از هرگونه لایه ی جلوگیری کننده از جابجایی الکترون میان لوله و محیط اطراف آن. در شرایط ایده آل با پوشش دادن سطح فلز انتظار می رود که بطور دائمی از خوردگی فلز در الکترولیت جلوگیری شود.

با بررسی شرایط واقعی در نظر گرفتن موارد زیر ضروری است:

-میزان عایق بودن پوشش

-تمیز بودن سطح فلز قبل از اعمال پوشش و مهمتر از آن مرطوب نبودن سطح آن

- در اعمال پوشش نواری یکپارچگی پوشش مهم بوده و نباید منقطع کار شود و یا نقاطی بدون پوشش باقی بماند.
- در هنگام حمل و نقل و یا نصب باید از آسیب های احتمالی به پوشش جلوگیری شود.
- در هنگام خاکریزی روی فلزات مدفون در زمین، همانند لوله ها باید دقت شود، اطراف پوشش دارای شرایط برنده پوشش ( همانند سنگریزه های تیز) نباشد.
- نفوذ آب به مواد شیمیایی به خاک اطراف پوشش و یا ریشه گیاهان و همچنین تاثیر باکتریهای درون خاک به پوشش باید مورد نظر قرار گیرد.
- حفاری بعدی در اطراف فلزات مدفون در زمین باید با دقت انجام گیرد.
- با توجه به موارد ذکر شده، می توان نتیجه گیری کرد که تمیز بودن سطح فلز برای اعمال پوشش یک اصل مهم است.

### ۳-۵- انواع آلاینده ها

تمیز کاری سطح فلز، علاوه بر اینکه جداره خارجی را از آلودگیهای مختلف پاک می کند، چسبندگی پوشش به سطح فلز را نیز افزایش می دهد. با شناسایی، گونه های مختلف آلودگی سطح فلزهای مختلف نوع و نحوی پوشش کاری انتخاب می گردد.

از این رو، ابتدا با برخی آلاینده های سطح فلز آشنا می شویم.

### ۳-۵-۱- روغن های مختلف

از آنجا که در طی فرایند ساخت و پرداخت قطعه و یا سازه فلزی، عملیاتی چون نبرد ماشین کاری و یا پرس در جداره بیرونی مقادیری روغن روانکاری باقی می ماند، برای زدودن این روغن ها از اسیدهای موسوم به سرفاکتانت با غلظت های مختلف ( متناسب با آلودگی) استفاده می شود.



### ۳-۵-۲-کربن

در زمان نبرد و یا ریخته گری ، قطه فلزی کربن ، روی جداره آن می نشیند و همچنین زمانی که روغن سطح فلز در اثر عملیات حرارتی می سوزد و کربن بر جای می گذارد، کربن باید با اسیدهای فلزی پاک شود.

### ۳-۵-۳-رسوبات سطحی

ذرات ریز فلزی و اکسیدهای آنان، در سطح فلزات چسبیده و هنگام وارد آمدن نیروی مکانیکی موجب جدا شدن پوشش ها می گردند برای پاک کردن این نوع آلودگی ها از روش های مکانیکی و همچنین اسید پاشی استفاده می شود.

### ۳-۵-۴-ایجاد لایه روی فلز

فلزاتی نظیر آلومینیوم ، روی و کرم می توانند ، یک لایه اکسید روی جداره خارجی ایجاد نمایند که در حالت عادی نیازی به زدودن آنها نیست.

### ۳-۵-۵-ایجاد اکسیدهای فلزی

در محیط مرطوب امکان ایجاد این اکسیدها روی فلز وجود دارد. برای رفع این رسوبات با مواد شیمیایی نظیر برخی بازها و اسیدها بسته به نوع اکسید ، استفاده می شود.

### ۳-۶-راهکارهای لازم قبل از اعمال پوشش

خوردگی در سطوح خارجی قطعات و تجهیزات فلزی بعد از استحصال مواد اولیه شان از طبیعت و طی فرایند ساخت و پرداخت اثرات خفیف ( و در برخی موارد شدید) پدید می آید. در صورتی که برای مقابله با خوردگی ، روش اعمال پوشش در نظر گرفته شود، منطقی است که قبل از اقدام به اعمال پوشش خوردگی ، و آلودگی های سطح فلز زدوده شود تا هم بستر پوشش مناسب شده و هم میزان اثر بخشی پوشش در جلوگیری از خوردگی در آینده افزایش یابد.

آماده کردن سطح فلز، قبل از اعمال پوشش شامل دو عملیات به ترتیب زیر است:

الف) تمیز کاری سطح فلز      ب) پرایمر زنی سطح فلز (آستری سطح فلز)

الف) ابتدایی ترین کار در مقابله با خوردگی، تمیز کردن سطح خارجی فلز از آلودگی و یا زنگ زدگی است.

روش های تمیز کردن سطح قطعه ها برای پوشش به دو روش کلی شیمیایی و فیزیکی تقسیم می گردد. روشهای

فیزیکی معمولاً به دو دسته می شوند:

الف: تمیز کاری سطح فلز با استفاده از ابزاری چون برسهای سیمی و تمیز کاری سطح فلز با استفاده از روش پاشش.

اولین و قدیمی ترین شیوه پاک کردن سطح فلز استفاده از برس های سیمی است که در دو گونه دستی و ماشینی

وجود دارند.

در این روش نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

برس سیمی باید تمیز و سالم باشد.

برس سیمی نباید دارای خمیدگی باشد.

در هنگام عمل ساییدن توسط برسهای سیمی، نباید به سطح قطعه آسیب وارد شود.

بعد از عمل ساییدن باید گرد و غبار و یا روغن و گریس باقی مانده در سطح فلز برطرف گردد.

بلافاصله بدون فاصله زمانی بعد از تمیز کاری، سطح فلز باید عملیات پرایمر زنی آغاز گردد.

BLAST CLENNING یکی از روشهای فیزیکی تمیز نمودن سطح فلز روش پاششی است. در این روش، ذرات

جامد با سرعت و شدت به سطح فلز برخورد کرده و در اثر این برخورد، آلودگی های سطح فلز از قبیل روغن،

کربن و خوردگی سطحی زدوده می شود.

ذرات جامد ، نظیر ماسه از طریق یک نازل با نیروی پمپ و یا گریز از مرکز به طرف سطح فلز پرتاب شده، در هنگام برخورد مواد سطحی چسبیده شده روی فلز را پاک می کنند. روش پاششی بسته به اجسام ریزی که به طرف سطح خارجی فلز پرتاب می شود، به سه دسته شن و ماسه پاشی، ساچمه پاشی، ذرات فولاد پاشی تقسیم می گردد. در روش شن و ماسه پاشی SAND BLASTING ، ذرات شن و ماسه خشک به اندازه ۲۰۰ میکرون در استاندارد امریکایی و از جنس SILICA با استفاده از سیستم های هوای فشرده با نازل از جنس فلز تحت همانند تنگستن و تحت فشار دو یا سه BAR به طرف سطح فلز پاشیده شود. سند بلاست به دو روش کارگاهی و سر خط انجام می گیرد. نمایی از فعالیت سر خط در شکل ۱-۳ نشان داده شده است که برای آماده سازی سر جوش های خط لوله جهت پوشش انجام می گیرد.



شکل ۱-۳

در عمل SAND BLAST موارد زیر باید رعایت شود:

شن و ماسه پاشیده شده روی سطح فلز ، حتما باید خشک باشد و گرنه نازل گرفته می شود که بهترین نوع آن ماسه فیروز کوه است.

محیط SAND BLAST باید از پخش گرد و غبار به اطراف، جهت حفظ محیط زیست محافظت شود.

از ماسه استفاده شده حداکثر ۱۰ درصد دوباره در عمل ماسه پاشی استفاده شود.

نازل ها در اندازه های ۱/۴ و ۵/۱۶ و ۳/۸ ( اینچ ) باشد.

جنس نازل سرامیک چدن، تنگستن و توربید باشد.

قطر نازل، متناسب ذرات شن و ماسه باشد.

محدوده فاصله نازل از سطح فلز مابین، 0,3 تا 1,0 متر باشد.

برای هر متر مکعب هوا، ۲ کیلوگرم ماسه مصرف شود.

زاویه نازل به سطح فلز، باید ۹۰ درجه باشد (عمود باشد) و برای تمیز کاری زنگ زدگی اولیه سطح فلز، زاویه نازل باید ۴۵ درجه باشد.

سرعت پاشش بستگی دارد به :

فشار هوا

استفاده از شن های ریز

افزایش نسبت شن به هوا

انتخاب نازل با قطر بیشتر

در پایان کار، سطح فلز برای زدودن از گرد و غبار با هوای فشرده پاکیزه می شود.

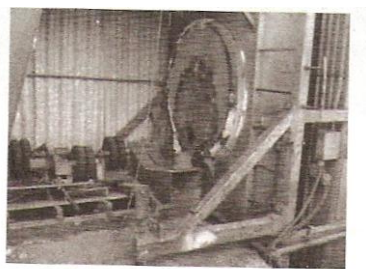
**SHOT BLASTING:** روش دیگر پاشش، پاشیدن ساچمه به سطح فلز است.

در این روش، به جای استفاده از ذرات شن و ماسه، از ساچمه های فولادی و چدنی استفاده می گردد.

محیط انجام گیری این فرایند، فقط در کارگاه بوده و غبار حاصل از کار باید تهویه شده و از محیط خارج گردد.

میزان تمیز کاری در این شیوه، بهتر از روش ماسه پاشی بوده، با این تفاوت در پایان کار سطح فلز به دلیل استفاده از

فولاد و چدن تمیز می شود.

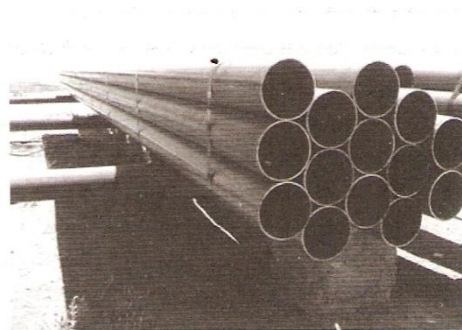


شکل ۳-۲

روش آخر در تمیز کاری پاششی، استفاده از فولاد است که در این شیوه، به جای ساچمه ها از ذرات فولاد و چدن استفاده می شود که همانند روش ماسه پاشی از ذرات با حداکثر ۲۰۰ میکرون استفاده می شود. تفاوت این شیوه، با روش ساچمه پاشی، در این است که چون ابعاد ذرات کوچکتر از روش ساچمه پاشی است و همچنین ذرات گرد نبوده و دارای زوایای تیز می باشند رنگ سطح فلز روشن تر از شیوه ساچمه پاشی بوده و هزینه این روش نسبت به هزینه ساچمه پاشی کمتر خواهد بود، هر چند که میزان مصرف و سرعت خورد شدن ذرات فولاد، در این شیوه سه برابر روش ساچمه پاشی است.

مراحل فوق، باید قبل از انجام پرایمر کاری با دقت انجام گرفته و سطح فلز به حد مطلوب تمیز باشد. استانداردهایی جهت بررسی میزان تمیز بودن سطح فلز در کشورهای مختلف وضع شده که از جمله آنها، می توان به استانداردهای سوئیس SIS 55900 که قابل قبول در شرکت ملی گاز ایران نیز می باشد اشاره کرد. این استاندارد، دارای چهار درجه مختلف SA1، SA2، SA2½ و SA3 است. در درجه SA1 مقداری خوردگی (زنگ زدگی) روی سطح فلز وجود دارد. در درجه SA2 حدود ۸۰٪ از زنگ زدگی قبلی برطرف شده و در SA2 95٪ 1/2 از زنگ زدگی برطرف شده و در SA3 حدود ۱۰۰٪ از زنگ زدگی اولیه در سطح فلز برطرف شده است. استاندارد پر کاربرد در شرکت ملی گاز SA2½ می باشد چرا که به جا ماندن کمی زبری باعث چسبندگی مناسب پرایمر خواهد شد.

همچنین میزان زبری و صافی سطح، بعد از عمل پاشش میان ۳۰ تا ۹۰ میکرون متغیر است که این میزان با استفاده از الگوی تمیزی KEAN\_TATOR قابل اندازه گیری است.



شکل ۳-۳-لوله های بعد از شات پلاست آماده پرایمرزنی هستند

### ۳-۷-۱ اعمال زیر پوشش ( پرایمر زنی)

برای برقراری پوشش مناسب با حداکثر چسبندگی و محافظت از سطح فلز، بلافاصله و بعد از تمیز کاری سطح فلز یک لایه زیر پوشش روی سطح فلز اعمال می گردد که در فاصله محدودی بعد از این عمل نیز باید عملیات نهایی پوش صورت پذیرد. از نکات مهم در فرایند اعمال زیر پوشش، خشک بودن سطح فلز و عاری از هرگونه رطوبت است که بلافاصله بعد از عمل تمیز کاری سطح فلز باید انجام پذیرد. بخصوص در پوشش هایی که توأم با حرارت است، باید حتی تا خشک شدن سطح زیر پوشش صبر کرد و سپس اقدام به اعمال پوشش نهایی نمود. پرایمر و انواع آن: پرایمر مایعی سیاه رنگ با خاصیت چسبنده به سطح فلز و پوشش های عایقی است که خاصیت ضدزنگ و خوردگی داشته و در حد فاصل زمانی تمیز کاری اولیه سطح فلز تا اعمال پوشش نهایی از خوردگی و زنگ زدگی سطح فلز جلوگیری می نماید.

از مشخصات بارز پرایمر، این است که به راحتی از ظرف جاری گردد، خاصیت حرکت کردن و شکل گرفتن بر سطح را داشته باشد و بتوان در دمای ۵ تا ۵۰ درجه سانتی گراد استفاده کرد و  $0^{\circ}\text{C}$  نقطه اشتعال آن باشد. بعضی از پرایمرها برای خشک شدن به زمان طولانی نیاز دارد که برای عملیات سریع و لوله ها مناسب نمی باشد.

ترکیبات پرایمر را موارد زیر شامل می شود:

۱. ماده اصلی چسبنده
۲. حلال ها
۳. مواد روان کننده، جهت پایین آوردن درجه حرارت برای مایع شدن چسب ها.
۴. مواد سخت کننده در اثر فعل و انفعالات شیمیایی در داخل چسب ها باعث سختی می گردند.
۵. مواد پخش کننده، موادی هستند که جهت پخش شدن بهتر مواد چسبی، روانی و نفوذ در ناهمواری های سطح فلز به کار می رود.
۶. مواد پرکننده، مواد جامدی هستند که باعث چسبندگی بهتر و پایین آوردن قیمت می گردد.
۷. مواد تسریع کننده، موادی هستند که سرعت فعل و انفعالات شیمیایی را زیاد می کنند.
۸. مواد ثابت کننده، برای ایجاد ثبات شیمیایی و عدم تجزیه قبل از مصرف چسب ها به کار می روند.
۹. مواد ضد باکتری، برای جلوگیری از فساد مواد چسبی به کار می رود.
۱۰. مواد شیمیایی ضد زنگ زدگی :

ترکیبات پرایمر سرد عبارتند از :

۱. مواد رزینی و پلاستیکی
۲. بوتیل رابر
۳. کائوچوی طبیعی

#### ۴. حلال های مختلف

همچنین ترکیبات پرایمر گرم عبارتند از :

۱. کلروپرن : چسب هایی هستند که اگر در اثر عواملی نظیر ضربه، عدم چسبندگی به وجود آمد، دیگر به هیچ وجه خاصیت چسبندگی برگشت پذیر نخواهد بود.

۲. ضد باکتری ها

۳. ضد اکسید کننده

برای استفاده از پرایمرها در برخی مواقع، نیاز به رقیق کردن آن داریم ( پرایمرها در دو حالت رقیق و غلیظ وجود دارند) در صورت داشتن اجبار به رقیق کردن پرایمر، به روش های زیر می توان اقدام کرد:

۱. ترکیب کردن پرایمر رقیق با پرایمر غلیظ از یک سازنده. تقریباً نسبت یک به ده مثلاً در یک بشکه ۲۲۰ لیتری حدود یک گالن بیست لیتری اضافه می کنند.
۲. استفاده از حلال های مناسب مانند بنزین تولوئن، نفتا ۷۴۷، برای پرایمرها نواری ( که نوار چسب آنها بوتیل رابر است) از حلال بنزین بدون سرب استفاده می شود.

بعد از آماده کردن پرایمر، برای پرایمر زنی نکات زیر باید رعایت شود:

پرایمر زنی، باید بلافاصله بعد از زنگ زدایی سطح لوله انجام شود. نکات زیر در پرایمر زنی باید در نظر گرفته شود: قبل از بازدید از بشکه های پرایمر، باید آنها را چندین بار غلتاند تا محتویات داخل آن کاملاً مخلوط شود. در صورت فاسد شدن باید از مصرف آن خودداری کرد.

پرایمر زنی نباید در مسیر جریان گرد و خاک ناشی از زنگ زدایی یا عبور ماشین آلات انجام گیرد.

پرایمر زنی در هوای بارانی، مه سنگین و طوفانی در کارگاه های غیر سرپوشیده مجاز نبوده و به طور کلی، سطح لوله ها باید عاری از رطوبت بوده و کاملاً خشک باشند.



پرایمر زنی را می توان با ماشین ثابت یا برس دستی انجام داد. اما مصرف پرایمر در این حالت ۱/۵ برابر بیشتر می شود. قشر پرایمر خورده شده باید یکنواخت بوده و نقاطی که رنگ یا پرایمر نخورده به چشم نخورده باید صبر کرد تا پرایمر زده شده کاملاً خشک گردد و سپس لوله را به محل انبار لوله ها یا محل عملیات لوله گذاری حمل نمود. پرایمر به مقدار حداقل لازم و طبق توصیه سازنده آن مصرف شود.

لوله هایی که پرایمر (آستری) خورده اند، نباید بیش از مدتی که باعث کاهش در کیفیت زنگ زدایی گردد، نگهداری شوند. قسمت هایی از لوله پرایمر خورده که در اثر حمل و نقل و انبار کردن پرایمر آستری از بین برود، باید بلافاصله تمیز شده و مجدداً پرایمر زده شود. در صورت از بین رفتن پرایمر اگر لوله زنگ زده شود، باید ابتدا آن قسمت ها را با ماسه پاشی مجدد زنگ زدایی و سپس پرایمر زد.

ضخامت پرایمر روی سطح لوله باید  $200\mu\text{m}$  باشد.

در شکل ۸-۳ لوله ها، بعد از پرایمر زنی برای پوشش گرم آماده می باشند و از طریق ریل به سمت جک های هیدرولیکی هدایت می شوند.

### ۸-۳- اعمال پوشش و انواع آن

بعد از آماده شدن سطح خارجی قطعه و یا سازه فلزی (طی دو عملیات تمیز کاری و اعمال زیر پوشش) نوبت به اعمال پوشش مناسب می رسد که بسته به نوع فلز و محل استفاده و کارگذاری آن و انتخاب یک پوشش مناسب، فرایند اعمال پوشش انجام می پذیرد. باید در نظر داشت که اعمال پوشش نباید به منزله اتمام عملیات مقابله با خوردگی باشد، زیرا بعد از این مرحله، عوامل زیر در کارایی یک پوشش مناسب در جلوگیری از خوردگی بسیار موثر است.

نگهداری مناسب تجهیزات پوششی داده شده در انبار و حمل و نقل

دقت در جا گذاری و نصب قطعه و یا سازه پوششی داده شده در محل استفاده.

نظارت و بازرسی های متناوب و دوره ای از پوشش اعمالی و تست های مداوم از وضعیت پوشش که برای مثال ، با

استفاده از یک الکتروود و اعمال پتانسیل الکتریکی ( ولتاژ) مابین قطعه فلزی و الکتروود، اگر پوشش در محلی جدا

شده باشد، در آن نقطه جرقه الکتریکی حاصل و سیستم ایراد یاب، آلامر مربوطه را فعال خواهد کرد.

شایان ذکر است که پوشش های اعمالی غالباً سراسر سطح خارجی قطعه و یا سازه فلزی را تحت پوشش قرار می

دهند، اما در مواقعی که احتمال خوردگی در ناحیه خارجی زیاد باشد، همانند نقاطی که پتانسیل آند شدن داشته

باشند، به صورت موضعی نیز می توان تحت پوشش قرار داد. نکته قابل ذکر در این موارد، آن است که برخلاف

تصور اولیه، به جای نقاط آندی بهتر است نقاط کاتدی تحت پوشش قرار گیرد تا از جریان خوردگی میان نقاط

کاتدی و آندی جلوگیری شود. با توجه به مطالب گفته شده در مباحث قبلی، با این روش سطح نقاط آندی نسبت به

نقاط کاتدی بزرگتر بوده در نهایت سرعت خوردگی کاهش خواهد یافت.

پوشش های اعمال بر سطح فلزات به چند دسته تقسیم می شوند:

پوشش های فسفات: این نوع پوشش ها، معمولاً قبل از اعمال پوشش های فلزی انجام گرفته که حاصل آن مقاومت

بهتر در مقابل خوردگی و سایش سطح فلز است. این پوشش ها انواع فسفات روی - فسفات آهن - فسفات منگنز

بوده و عموماً برای هدف پایداری رنگ استفاده می شود.

پوشش های کروماته: با کمک روش الکترو شیمیایی و همچنین با  $Cr^{+6}$  رسوبات سطحی کرومات روی سطح فلز

را پوشانده تا مقاومت در برابر خوردگی و سایش افزایش یابد.

پوشش های فلزی: یکی از دیربازترین پوشش هایی که مصارف محافظت از فلز، همچنین زیبا سازی و جلادهی

سطح فلز داشته و دارد، پوشش فلزی است که به آبکاری فلز معروف است. این نوع پوشش ها، با روش های

الکتروشیمیایی ( به کاتد پوشش آبکاری داده می شود) و همچنین با روش اعمال پوشش توسط نورد در مجاورت حرارت پوشش با ضخامت نازک بر سطح فلز اعمال می گردد. در روش دیگر، با غوطه ور کردن فلز در پوشش مذاب سطح خارجی فلز تحت پوشش قرار می گیرد. در روش دیگر با استفاده از قرار دادن فلز در بخار پوشش لایه ای روی سطح فلز را در بر خواهد گرفت. اعمال پوشش از طریق نفوذ اتمی های پوشش در اثر حرارت نیز می تواند انجام پذیرد. در روش های دیگر، می توان با استفاده از محلول های شیمیایی و یا اشعه لیزر لایه ای از جنس خود فلز را به صورت پوشش محافظ در آورد. سرامیک از دیگر پوشش هایی است که محافظ خوبی برای سطح فلزات به شمار می آید. از دیگر روش های پوشش فلزی، اسپری حرارتی در فلزاتی مثل SN\_ZN\_PH ذوب شده است که با کمک اشعه سطح فلز را پوشش می دهند.

پوشش های اورگانیکی: این نوع پوشش ها، آشناترین روش پوشش دهی فلزات به شمار می روند که شامل انواع رنگ ها، پلیمرها و رزین ها می شوند. با اعمال یک لایه از این پوشش در روی سطح فلز، ارتباط فلز با محیط اطراف قطع شده، از خوردگی و زنگ زدن سطح فلز جلوگیری می شود.

اگر خواسته باشیم، پوشش ها در صنعت نفت و گاز بخصوص پوشش های روی لوله های انتقال و انشعابات را بررسی کنیم، می توان به پوشش های زیر اشاره کرد:

**الف) پوشش انامل<sup>۱</sup>** که به دو صورت قیر زغال<sup>۲</sup> و یا آسفالت<sup>۳</sup> و در حالت گرم کاربرد دارد. این نوع پوشش که به صورت پوشش در مقابل صدمات مکانیکی اعمال می شود، در ضخامت ۳/۳۲ اینچ بوده و برای استحکام و یا پایداری مناسب در محیط های سرد ( در مقابل ترک خوردن) و در محیط های گرم ( در مقابل ذوب شدن) مواد خامی به ترکیبات آن اضافه می شود.

---

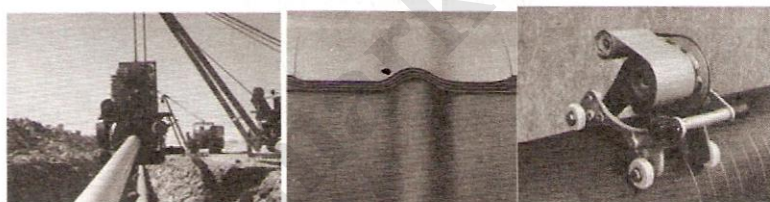
1-ENAMEL

2-COALTAR

3-ASPHALT

ب) **برخی گریس ها :** که معمولاً به صورت دستی روی سطح فلز مالیده می شود و با ایجاد یک لایه جدا کننده رابطه میان سطح فلز و محیط خورنده را قطع و محدود می نماید. این نوع پوشش ها مخصوص نقاطی است که دارای سطح یکنواخت نباشد برای مثال در محل فلنج ها و یا انشعابات هات تپ ، پس از اعمال این نوع پوشش معمولاً از برخی نوارهای پوششی همانند پلی پترولاتیوم برای پوشش خارجی استفاده می گردد تا سطح قطعه فلزی را کاملاً عایق کند.

ج) **استفاده از برخی نوارهای پلی ونیل کلراید (PVC)** و یا پلی اتیلن که به صورت چسب نواری پهن روی سطح فلز چسبیده و از خوردگی آن جلوگیری می نمایند. ضخامت این لایه ها، در حدود  $\frac{1}{100}$  و یا  $\frac{3}{100}$  اینچ می باشد. این نوارها، به دلیل راحتی اعمال و بدون نیاز به حرارت بر سطح چسبیده می شوند، هزینه کمتری خواهند داشت. برخی از این نوارها نیز با شعله و حرارت گرم شده، لایه زیرین آنها ذوب می شود و به سطح فلزات می چسبد.



شکل ۳-۴

ه) **استفاده از یک لایه پلی اتیلن (POLY ETHYLENE)** روی قطعه و سازه فلزی اعمال می شود که پوشش از جنس پلی اتیلن و همراه رزین های مصنوعی خامی به صورت الکتروژن ( تزریق گرم) روی سطح فلز اعمال می شود. به علاوه از موادی چون پلی پروپیلین، اپوکس و یا کول تاراپوکس هم استفاده می شود که علاوه بر محافظت از خوردگی، مقابل صدمات مکانیکی نیز مقاوم می باشد ( پلی اتیلن در دمای منفی ۴۰ درجه تا مثبت ۸۰ درجه سانتی گراد و پروپیلین در دمای ۲۰- تا ۱۱۰+ سانتی گراد کاربرد موثر دارد.

ن) در مواردی که قطعه و یا سازه در زیر آب قرار دارد ( همانند لوله های انتقال نفت و گاز) نیاز است تا وزن تجهیزات به نوعی در نظر گرفته شود که تا غوطه ور در آب نماند. برای این منظور، در برخی موارد این سنگینی، توسط موادی چون چدن و یا بتن مسلح به مفتول های فولادی تامین می شود. پوشش های وزنی اعمال شده به سطح فلز، فلز را از صدمات فیزیکی محافظت می نماید.

نوعی دیگر از پوشش ها، پوشش بتنی است که سیمان با افزودنی های مناسب در سطح لوله محافظ خوبی برای حفاظت از خوردگی خواهند بود. پس از اعمال این پوشش، سطح فلز حالت کاتدی به خود گرفته، به خوبی پلاریزه شده از دریافت و خروج جریان جلوگیری می نماید. کمترین ضخامت اینگونه پوشش ها، ۲ اینچ بوده و در صورت اعمال مناسب، می توانند بدون استفاده از روش های حفاظت ( همانند حفاظت کاتدی) از خوردگی فلز جلوگیری نمایند.

### ۳-۹- انتخاب پوشش عایقی مناسب

در هر مساله طراحی مهندسی برای ارائه طرح ایده آل و مناسب و با در نظر گرفتن تمام جوانب کار از قبیل در نظر گرفتن شرایط محیط پروژه، در نظر گرفتن مواد اولیه و تجهیزات اجرایی طرح، در نظر گرفتن سطح دانش فنی ( تئوری و عملی) کارکنان پروژه و همچنین در نظر گرفتن موارد اقتصاد مهندسی می توان به ثمر بخش بودن و قابل اجرا بودن و به صرفه بودن طرح امیدوار بود. از این رو در صنعت نفت و گاز برای اجرای پوشش تجهیزات و قطعات و سازه های فلزی بخصوص لوله های انتقال و توزیع مدفون در خاک موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

خاکي که لوله در آن مدفون شده، صدمه ای به پوشش وارد می کند یا نه؟

مسیر گذر لوله در تمام نقاط قابل دسترس است یا نه؟ ( برای مثال از زیر راه آهن یا بستر رودخانه عبور می کند).

درجه حرارت لوله نسبت به خاک چگونه خواهد بود؟

شرایط جغرافیایی محل از لحاظ جنس خاک مناسب مخصوص خاک مکان عبور سایر لوله ها اجرای چگونه است؟

هزینه طرح صرفه اقتصادی دارد یا نه؟

در فراهم کردن مواد اولیه، مساله خود کفایی و قواعد داخلی در نظر گرفته شده یا نه؟

در یک جمع بندی، پوشش COATING مناسب باید دارای ویژگی های زیر باشد:

۱. از محیط تاثیر پذیری ( رطوبت، درجه حرارت و محیط شیمیایی ) نداشته و مقاوم باشد.

۲. در برابر ضربه و صدمات مکانیکی مقاوم باشد.

۳. سادگی اعمال، به سهولت بر روی لوله پوشش شود.

۴. سادگی در تعمیرات، در مواقع عملیات، تعمیرات به سادگی انجام پذیر است.

۵. WATER PROFT، در برابر آب نفوذ ناپذیر است.

۶. در برابر عوامل اکسید کننده و جریان الکتریکی مقاوم باشد ( اکسیژن و آب نفوذ نکند).

۷. چسبندگی درونی داشته باشد تا بر سطح فلز بچسبند.

۸. انعطاف پذیری (FLEXIBILITY) داشته باشد.

همچنین عوامل مختلفی که می توانند بر کیفیت پوشش تاثیر گذار باشند، عبارتند از :

۱. درجه حرارت محیط در زمان نوار پیچی در روان و جاری شدن پوشش نقش دارد. پوشش در زمان مناسب

انجام گیرد و بلافاصله دفن شود.

۲. انبار کردن لوله پوشش دار، ایجاد گسستگی و شکنندگی بر پوشش می کند.

۳. صیقل و زبر نبودن بیش از حد سطح لوله

۴. ضخیم نبودن لایه پرایمر ( کلفتی لایه پرایمر اثر منفی دارد).

۵. خشک شدن پرایمر قبل از نوار پیچی.

۶. همنام بودن پرایمر و نوار.

۷. سالم بودن مواد مصرفی و هماهنگی پرایمر زن با نوار پیچ

۸. آب و ریشه درختان، ممکن است بر پوشش نفوذ کند که باید پیشگیری های لازم انجام شود.

۹. از نفوذ هوا بر پوشش جلوگیری به عمل آید.

۱۰. کشیدگی ELONGATION از ۵ درصد بیشتر نباشد.

### ۳-۱۰- راهکارهای اعمال پوشش در سطح لوله های انتقال و توزیع نفت و گاز

در مبحث گذشته تمامی روش های اعمال پوشش بر سطح فلزات که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته و نیز معرفی پوشش های جدید را بررسی نمودیم. در راستای هدف اصلی این کتاب ( تشریح خوردگی و مقابله آن در تجهیزات فلزی انتقال و توزیع نفت و گاز به عبارت آشناتر و لوله های مدفون در خاک می باشد) در ادامه به طور مفصل به بررسی علل وقوع و همچنین روش های پیشگیری از خوردگی این گونه لوله ها می پردازیم.

در اعمال پوشش روی لوله های مدفون در خاک سه روش کلی زیر وجود دارد:

۱. اعمال پوشش های سرد TAPE COATING.

۲. گرم انامل.

۳. روش اپوکس و پلی اتیلن.

### ۳-۱۰-۱- پوشش سرد

۱. در روش پوشش سرد، سه مرحله اصلی اجرا می گردد:

الف) مرحله اعمال پرایمر ( آستری)

ب) نوار داخلی ( زیرین INNERWRAP)

ج) \_ نوار خارجی ( رویی OUTER WARP).

البته طبق مطالب قبلی، ابتدا با یکی از روش های برس سیمی، شن پاشی، ساچمه پاشی و یا فولاد پاشی از آلودگی های گرد و غبار روغن و گیریس و کربن و لایه زنگ اولیه تمیز می گردد. همچنین برخی آلودگی ها با محلول های شیمیایی نظیر زایلین و یا تولوئن پاک می گردند.

بعد از تمیز کاری سطح لوله، بلافاصله به سطح تمیز و خشک ماده شیمیایی BUTYL RUBBUS، با دست و یا دستگاه زده می شود. در مصرف این ماده باید دقت کرد که درب ظرف آن، قبل از مصرف کاملاً بسته باشد تا موجب خشک شدن و یا فاسد شدن آن نگردد همچنین قبل از مصرف کاملاً قوطی آن باید تکان داده شود تا محلول به شکل یکنواخت درآید. سپس تمامی سطح لوله ( بدون هیچ نقطه فراموش شده ) با آستری پوشیده می شود. بعد از این مرحله نوبت اعمال لایه زیرین است که باید هم مارک و از یک سازنده لایه آستری باشند. این نوار، باید در مقابل نفوذ باکتری های خاک محیط و ریشه گیاهان مقاوم باشد.

نوار زیرین پوشش، دارای ضخامت 0,5 میلیمتر ( 0,3 میلیمتر نوار و 0,2 میلیمتر چسب آن ) و حداقل مقاومت کششی ۵ کیلوگرم بر سانتی متر عرض بوده و حداقل نیروی لازم برای بلند کردن نوار از سطح لوله که به چسبیده 1,5 کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد و همچنین ازدیاد طول آن در هنگام کشش ۱۰۰ درصد و مقاومت الکتریکی آن ۴۰ کیلووات بر میلی متر رنگ باشد. به علت صرفه اقتصادی از رنگ مشکی استفاده می شود.

نوار روی پوشش با ضخامت 0,5 میلیمتر ( 0,4 میلیمتر ضخامت لایه و 0,1 میلیمتر ضخامت چسب آن ) مقاومت کششی حداقل ۳ کیلوگرم بر ۱ سانتی متر عرض است و رنگ سفید برای آن انتخاب می شود. در نوار پیچی نکات مهم زیر باید رعایت شود:



۱. نوار پیچی لایه زیرین باید به گونه ای باشد که ۱۰ درصد عرض نوار بر روی هم قرار گیرد. حداقل روی هم پیچی برای لوله های با قطر مختلف به شرح زیر است.
۲. لوله ۲ تا ۱۲ اینچ حداقل برابر 0,5 اینچ روی هم پیچی.
۳. لوله ۱۴ اینچ به بالا حداقل برابر 1,0 اینچ روی هم پیچی.
۴. نوار باید کاملاً کشیده شود تا آثار چین و چروک، پارگی و ناصافی در آن دیده نشود.
۵. کشش داده به نوار، باید ثابت باشد و در طول نوار تغییر نکند و تا حدی کشیده شود که حداکثر 0,5 درصد عرض نوار در اثر کشش کاسته شود. نوار پیچی ماشینی دارای کیفیتی بهتر از روش دستی است.
۶. اگر محل کارگاه به محل استفاده لوله نزدیک بوده، به طوری که لوله را بتوان با دست به محل نصب حمل کرد، بهتر است نوار پیچی در کارگاه صورت پذیرد.
۷. سرهای لوله که محل جوشکاری هستند، باید بدون پوشش باشد و بعد از جوشکاری تمیز کاری پرایمر زنی و سپس پوشش داده شوند و در زمان جوشکاری باید دقت شود که پوشش کناری در اثر حرارت ذوب نشود.
۸. اگر حلقه نوار در میان کار به اتمام رسید، نوار جدید حداقل ۱۵ سانتیمتر از روی نوار قبلی آغاز گردد.
۹. زاویه نوار پیچی باید در تمام سطح لوله یکنواخت باشد و هنگام ختم نوار حداقل سه دور نوار روی هم پیچیده شود.
۱۰. در محل های خاصی نظیر روی هم افتادن لوله گاز با کانال آب و غیره لازم است، چپند لایه نوار زیرین به شکل مضاعف پیچیده می شود. ( روی هم پیچی برابر ۵۵ درصد).

۱۱. نقاط نامنظم غیر هندسی مثل سه راهی ها، زانوها در پوشش و ... با نوارهای نرم و مخصوص که قابلیت شکل پذیری دارند و کشش زیادتری با قطر کمتر داشته و معمولاً با دست انجام می پذیرند، پرایمر اینگونه نوارها نیز مخصوص و ویژه خود نوار می باشد.
۱۲. نوار پیچی رویی همزمان با نوار پیچی داخلی انجام می پذیرد. تمام قسمت های لوله که نیازی به پرایمر زنی نداشته باشد، با لایه رویی تحت پوشش قرار می گیرد.
۱۳. به دلیل سفت بودن نوار رویی، نسبت به نوار زیری باید نیروی کشش آن ( با دست یا دستگاه) بیشتر باشد.
۱۴. روی هم پیچی نوار رویی، همانند روی هم پیچی نوار زیرین است.
۱۵. قسمت هایی از لوله که از مناطق سنگی عبور می کند و احتمال صدمه دیدن پوشش وجود دارد باید با نوارهای پلاستیک ضخیم به نام Roch shield روی پوشش را نیز پوشش دهد.

### ۳-۱۰-۲-آزمایش های پوشش سرد

- بعد از اعمال نوار پیچی روی لوله، باید در دو زمینه مختلف تست و آزمایش گردد. ابتدا پوشش نوار از لحاظ پارگی درز و به عبارت کلی هدایت الکتریکی مورد آزمایش قرار گیرد و نیز از لحاظ چسبندگی به پرایمر و میان دو لایه آزمایش گردد ( شکل ۱۵-۳)
- برای تست هدایت الکتریکی و یافتن منافذ و درزهای احتمالی از دستگاه منفذیاب استفاده می شود. به این ترتیب که، الکتروود آن معمولاً با سرعت 0,3 متر بر ثانیه در امتداد لوله بدون توقف برده می شود. دستگاه منفذیاب، براساس القای ولتاژ بالا میان لایه پوشش و لوله عمل می کند که اگر منفذی در پوشش واقع شده باشد، از آن نقطه جرقه میان الکتروود و لوله پدید می آید و نیز آلامر دستگاه به صدا در آمده و آزمایش کننده از وجود منفذ در پوشش مطلع می شود. ولتاژ اعمالی برای تست باید به تناسب لوله و پوشش تعیین گردد.

برای تعیین اندازه مناسب ولتاژ، ابتدا سطح هایی از لوله که دارای ۵۰ درصد روی هم پیچی پوشش می باشد انتخاب شده، و با سوزن سوراخی در آن ایجاد می شود تا به سطح فلزی لوله برسد. پس الکتروود دستگاه را چند مرتبه در آن محل حرکت می دهیم و در هر مرتبه ولتاژ را افزایش می دهیم تا زمانی که جرقه میان الکتروود و سطح لوله پدید آید.

جهت آزمایش چسبندگی لایه پوشش با چاقو و یا تیغ، خراشی ( همانند شکل ۱۵-۳) روی نوار لوله ایجا می کنیم و با اعمال نیروی ۱,۵ کیلوگرم در سانتی متر به توان ۳ لایه پوشش را برمی داریم.

#### ۱۱-۳ پوشش سرجوش ها در کنار کانال و پوشش شیرآلات و اتصالات آنها

پس از جوشکاری باید سرباره های جوش کنده شود. پس از اینکه قسمت های لخت انتهای لوله و قسمت های جوشکاری شده لوله با برس دستی از بقایای زنگ و مواد خارجی پاک گردید، با نوار پلاستیکی مخصوص که لایه چسبی آن از نوع قیری است، پوشش گردد. بدین ترتیب که حدود ۱۰ سانتی متر نوار روی پوشش لوله در طرفین محل جوشکاری شده کنده شده و سطح قیر به سمت محل جوشکاری شده شیب داده شود ( کونیک کردن) سپس لازم است با برس، سطح قیر و سطح لخت لوله و محل سرجوش با پرایمر مخصوص نوار پلاستیکی آغشته گردد. باید دقت کرد که از پرایمر قیر لوله، اشتباهاً استفاده نشود. پس از اینکه پرایمر زده شده نسبتاً خشک شد، به نحوی که فقط اثر انگشت بر روی آن باقی ماند، لازم است با نوار مخصوص (با دست) پوشش گردد. عرض روی هم پیچی نوار (OVER LAP) ۵۰ درصد باشد. محل زانو ها انشعابات، روپوش و غیره و نیز با این روش انجام گیرد. مراحل اعمال پوشش بر سرجوش ها با پوشش عایق سه لایه حرارتی در شکل ها به ترتیب نمایش داده شده است. پس از تکمیل پوشش بر سرجوش ها و اتصالات قبل از خواباندن لوله ها در کانال، لازم است تا حضور ناظر، آزمایش منفذ یابی به عمل آید. ولتاژ لازم ۱۰ تا ۱۵ کیلو ولت برای پوشش های انامل و ۷ تا ۸ کیلو ولت انتخاب

گردد. در صورت پیدا شدن نقص در پوشش، لازم است با نوار مخصوص SERVY WRAP که لایه چسبی،

آن از نوع قیری است ترمیم گردد. نقاط تعمیر شده باید برای بار دوم با دستگاه منفذ یاب آزمایش گردد.

برای پوشش کاری شیر آلات و اتصالات مدفون در خاک در صورتی که این شیر آلات دارای پوشش عایقی

کارخانه ای موسوم به PRE COATED نباشد، باید پس از تمیز کاری کامل، با پرایمر و نوار نرم مخصوص به نام

PETROLATUM و با روی هم پیچی ۵۰٪ پوشش شوند. محل اتصال شیرهای مدفون در خاک با لوله با نوار

پلاستیکی مخصوص پوشش گردد.

اخیراً قالبی درست کرده اند که طی مراحل زیر، شیرها را به صورت گرم (کلتار) در شش مرحله به ترتیب زیر

پوشش می کنند:

#### ۱. آماده کردن

مسدود کردن دو سر شیر و یا لوله های جوش شده به دو سر شیر با درپوش (پلاستیکی، چوبی، فلزی)

تمیز کاری سطح شیر به روش شن پاشی تا درجه تمیزی SA 2.5

زدودن گرد و غبار و بازمانده های عملیات شن پاشی از سطح شیر

#### ۲. پرایمر زنی

پرایمر زنی سطح شیر برابر مشخصات پوشش گرم خطوط لوله

رعایت زمان برای خشک کردن پرایمر

#### ۳. قالب بندی

آماده نمودن قالب، با توجه به اندازه شیر ۲، ۴ و ... برابر نقشه

قرار دادن یک لایه نوار رویی پشم شیشه ای پوشش گرم در سطح داخلی قالب به نحوی که سطح داخلی را

کاملاً بپوشاند (در صورت لزوم گریس کاری شود).

قرار دادن شیر در داخل قالب

۴. قیر ریزی

### ۳-۱۰-۳- آماده کردن قیر برابر مشخصات پوشش گرم خطوط لوله

اضافه کردن مقدار مناسب پشم شیشه ( با الیاف نسوز خرد شده) به قیر و مخلوط کردن آن به نحوی که کاملاً یکنواخت گردد.

ریختن قیر به داخل قالب به صورت یکنواخت و آرام ( به طوری که از به وجود آمدن هر گونه حباب و تخلخل در قیر جلوگیری گردد) تا زیر حلقه آب بندی شیر (GLAND).

### ۵. قرار دادن غلاف

قرار دادن غلاف پلی اتیلن در داخل قیر و در جای خود پس از پایان قیرریزی و محکم کردن آن به نحوی که نسبت به محور افقی شیر کاملاً عمود باشد.

در صورت لزوم ، اضافه کردن مقداری قیر به قسمت خارجی غلاف، به طوری که حدود ۲/۵ سانتی متر از لبه زیرین غلاف داخل قیر قرار گیرد.

### ۶. در آوردن ( جدا کردن ) قالب

پس از سرد شدن کامل قیر، قالب از شیر پوشش شده باز و جدا گردد. جهت جلوگیری از نفوذ آب مقداری از مایعات HYGROSCOPIC به داخل شیر ریخته شود.

برای پوشش دادن شیر و اتصالات داخل حوضچه پس از تمیز کاری کامل با برس سیمی ( در صورتی که برس قادر به برطرف کردن زنگ نباشد، به روش های دیگر مثل شن پاشی و ... آثار زنگ پاک شود) روی شیر در برابر زنگ محافظت گردد.

قسمت هایی از لوله که از نقاط صخره ای و سنگلاخی عبور می نماید، لازم است علاوه بر نوار خارجی از یک لایه نوار سخت به نام نوار سخت راکشیلد (ROCKSHIELD) که ضخامت آن برابر 40 mil's است ، نیز پوشش شود. محل های استفاده از نوار سخت عبارتند از :

۱. محل تقاطع با ریل های راه آهن
  ۲. محل عبور از مسیرهای باتلاقی
  ۳. تقاطع با جاده و رودخانه
  ۴. بین لوله گاز با غلافی فولادی یا غلافی سیمانی
  ۵. تقاطع لوله گاز با تأسیساتی که تحت تاثیر جریانات سرگردان (مزاحم) قرار داشته باشند.
  ۶. عبور در زیر پله ای که ماشین آلات سنگین از آن عبور می کنند.
- اعمال پوشش بر انواع اتصالات مدفون در خاک در شکل های ۳۱-۳۳ ملاحظه می گردد.

## فصل چهارم

مقابله با خوردگی فلز به روش حفاظت کاتدیك

## فصل چهارم - مقابله با خوردگی فلز به روش حفاظت کاتدی

### ۴-۱- خوردگی گالوانیکی

در حالت ایده آل، انتظار می رود که با اعمال یک پوشش مناسب در شرایط محیطی مناسب و یا ممانعت کننده شیمیایی، میزان خوردگی فلز به صفر برسد، ولی در عمل این هدف به صرف اعمال پوشش بر فلز قابل دستیابی نیست. تمامی مراحل فرایند اعمال پوشش از تمیز کاری تا پرایمر زنی و اعمال پوشش نهایی و همچنین استفاده از ممانعت کننده های شیمیایی و جنس مواد مصرفی و همچنین حمل و نقل و شرایط محیطی محل نصب قطعه و سازه فلزی از خوردگی نیاز است که اقداماتی به علاوه اعمال پوشش بر سطح فلز انجام گیرد تا میزان خوردگی را در عمل به صفر برساند.

با یادآوری اطلاعات مربوط به پیل های الکتروشیمیایی و تقابل میان فلز آند و فلز کاتد در محیط الکترولیت و فعل و انفعالات رخ داده در اینگونه مجموعه ها و بررسی علل بنیادی خوردگی در فلز آند و حفاظت فلز کاتد، می توان نتیجه گرفت که اگر این چنین شرایطی را برای یک قطعه و سازه فلزی که نیاز به محافظت در برابر خوردگی دارد، فراهم کنیم، به گونه ای که دارای سه جزء اصلی آند و کاتد قطعه مورد نظر و الکترولیت باشد و یک رابط الکتریکی نیز خارج از الکترولیت، ارتباط جریان الکتریکی را میان آند و کاتد برقرار کند، فلز کاتد تحت محافظت قرار نگرفته و فلز آند که معمولاً یک فلز جهت فنا شدن در راه حفاظت فلز کاتد انتخاب می شود، خورده می شود.



در سیستم های انتقال و توزیع نفت و گاز لوله های فولادی مدفون در خاک که نقش رگهای تغذیه کننده تمامی مصرف کننده ها را به عهده دارند، اجزای اصلی پیل گالوانیکی عبارتند از خاک به عنوان الکترولیت، لوله مدفون که باید تحت حفاظت قرار گیرد (کاتد) و یک فلز فناشونده در راه حفاظت لوله (آند) همچنین از لازمه های دیگر تکمیل کننده یک پیل گالوانیکی ارتباط جریانی میان آند و کاتد توسط یک هادی الکتریکی است که توسط یک کابل برقرار می شود. جریان الکتریکی در هادی، از طرف کاتد به آند حرکت کرده، ولی در الکترولیت، جهت جریان الکتریکی از طرف آند خارج شده به طرف کاتد خواهد رفت.

اگر یک خط لوله دارای سیستم حفاظت از خوردگی نباشد و از آنجا که طول شبکه های خطوط لوله مدفون عموماً طولانی بوده و بنابراین ویژگی خطوط لوله از نواحی مختلف با خاک های متفاوت عبور خواهد کرد، بدیهی است که شرایط نقاط مختلف لوله مدفون از لحاظ نسبت پتانسیل الکتروشیمیایی با پتانسیل الکتروود مرجع سولفات مس و یا هیدروژن با نقاط دیگر تفاوت داشته باشد و به همین علت، با پیدایش نقاط آندی و کاتدی در سرتاسر لوله باعث خوردگی در نقاط آندی شود

اگر لوله فولادی دروون خاک را به شکل فوق شبیه سازی کنیم و بخواهیم لوله فولادی را از خوردگی محافظت نماییم. با توجه به تشکل فوق میان الکتروود آند (آند فناشونده) و کاتد (لوله فولادی) و نیز الکترولیت (خاک) واکنش زیر صورت می پذیرد.

با تزریق الکترون به کاتد از طریق منبع جریان، حفاظت آن از پدیده خوردگی تضمین می گردد. در مبحث حفاظت کاتدیک خواهیم دید که برای منفی نمودن پتانسیل کاتد باید قطب منفی منبع ولتاژ مستقیم (منبع تزریق جریان) به کاتد متصل بوده و پتانسیل آن را تا حدود  $-0.85 < V_{Anod} < -1/3$  نگاه دارد. در این سیستم، قطعه ای که نقش آند را ایفا می کند یک تکه آهن قراضه و یا چدن پرسلیس (و یا آندهای تجاری و صنعتی دیگر) می تواند باشد.

در روش دیگر، با انتخاب یک فلز مناسب به عنوان آند و با توجه به جدول پتانسیل های الکتروشیمیایی می توان

نقش منبع تزریق جریان را با در نظر گرفتن تشکیل مدار الکتروشیمیایی حذف کرد

در این سیستم، با رخ دادن واکنش های الکتروشیمیایی، تزریق جریان به نحو مطلوبی انجام گرفته و هدف نهایی که

جلوگیری از پدیده خوردگی است، به دست می آید. آندها در این نوع سیستم، از فلزاتی چون منیزیم ساخته و

استفاده می گردد.

اگر این روش با یک الکتروود انجام گرفته شود، با مدار الکتریکی زیر شبیه سازی شده همچنین اگر دو الکتروود در

واکنش شرکت داشته باشد، مدار معادل بعدی گویای روابط آنها خواهد بود.

با شروع پلاریزاسیون و تشکیل قشرهای قطبش بر روی آند و کاتد سرعت خوردگی کاهش می یابد. با این ایده، در

می یابیم که افزایش سطح قطبی شدن مانعی در مقابل خوردگی است. با بررسی علمی این پدیده، کاهش جریان پیل

و یا کاهش ولتاژ محرکه پیل مذکور منتج به کاهش خوردگی خواهد شد. با شبیه سازی فرایند خوردگی به یک

مدار الکتریکی معادل و با هدایت خوردگی به آند قادریم با اعمال جریان از یک مدار الکتریکی خارجی با

خوردگی مقابله کنیم. این مدار در شکل زیر نمایش داده شده است.

Ex پیل، مقاومت خارجی Rx، جریان آندی Ia، جریان کاتدی Ic و Ix جریان مدار خارجی می باشد. با در نظر

گرفتن قوانین مداری موسوم به کیرشهف (برابری جمع جبری پتانسیل ها در یک حلقه با مقدار صفر و نیز برابری

جمع جبری جریان های ورودی و خروجی در هر گره) در مدار فوق روابط زیر برقرار است.

به عبارتی، پتانسیل نقطه مشخص شده (M) برابر با صفر خواهد بود و با اعمال یک جریان خارجی، می توان با

خوردگی در آند جلوگیری نمود. (خوردگی عموماً در آند شکل می گیرد) با در نظر گرفتن این قاعده، اگر با

اعمال یک پیل خارجی جریانی را در خلاف جریان آندی پدید بیاورید که موجب صفر شدن Ia می گردد. با این

عمل سطح آندی موجود به سطح کاتدی مبدل شده و خوردگی در آن متوقف خواهد شد. در بیان نهایی، کنترل خوردگی به این روش را حفاظت کاتدی (یا کاتدی) می گویند.

در عمل، مدار معادل یک فلز در الکترولیت با مقاومت مخصوص بالا به شکل زیر خواهد بود.

برای حصول حفاظت باید پتانسیل نقطه  $M$  معادل  $E_a$  یا بیش از آن باشد تا مقدار  $I_a$  برابر صفر گردد.

همانگونه که ایجاد شرایط پیل گالوانیکی، می تواند باعث حفاظت فلز شود. با در نظر گرفتن برخی مسائل می تواند خود عامل خوردگی در تجهیزات فلزی گردد از این رو، سعی بر این خواهد بود که با اعمال روش هایی تمام سطح فلز که نیاز به حفاظت در مقابل خوردگی دارد، به یک کاتد یکپارچه تبدیل گردد تا تمامی قسمت های آن به طور یکنواخت سالم بماند. لازمه این پدیده، آن است که به فلز مورد نظر برای حفاظت نظیر لوله های مدفون نفت و گاز در خاک به شکل یکنواخت پتانسیل منفی نسبت به الکتروود مرجع اعمال شود تا در تمامی نقاط شبکه خطوط لوله (با سه جزء آند و کاتد و الکترولیت) لوله مدفون فقط نقش کاتد را داشته و به عبارتی تحت محافظت دائمی قرار گیرد.

برای پیاده کردن این ایده، اگر بتوان توسط یک منبع از لوله مدفون جریان الکتریکی کشید و از طرف دیگر جریان را به یک آند (که در راه حفاظت از کاتد فنا خواهد شد) که در کنار کاتد و در الکترولیت (خاک) قرار دارد تزریق نمود، جریان تزریقی به آند از طریق الکترولیت به طرف کاتد رفته و جذب کاتد می گردد که در نهایت حفاظت کاتد را در پی خواهد داشت.

در طرف دیگر جریان خروجی از آند به عبارت مناسبتر جریان خروجی از بستر آندی باعث تخریب آن شده که در ازای حفاظت از کاتد فنا می شود. به مجموعه فوق و هدف نهایی آن اجزای حفاظت به روش حفاظت کاتدی گفته می شود.

در این روش، با هدایت و مسيردهی به جریان الکتریکی از طریق منابع انرژی و با اعمال اختلاف پتانسیل کافی برای کاتدها و آندهای ذاتی در قطعه ها و سازه های فلزی، چه در اثر ارتباط دو فلز غیر همجنس و چه در اثر فلزهای همجنس در مجاورت الکترولیت های مختلف به وجود آمده است، از به وجود آمدن نقاط آندی در سطح فلز جلوگیری کرده و فلز را که نیاز به حفاظت دارد، به طور یکپارچه به کاتد تبدیل می نماید و در حقیقت خوردگی را از آن به یک بستر آندی که باید در راه حفاظت کاتد فنا شود انتقال می دهد. به این ترتیب، بستر آندی خورده شده و فلز مورد نظر ( همانند لوله مدفون در خاک ) سالم می ماند.

#### ۴-۲- بستر آندی

اعمال جریان، میان بستر آندی و کاتد تحت حفاظت، در یک الکترولیت بستگی به مقدار جریان مورد نیاز برای یکپارچه سازی تمام سطح کاتد از پتانسیل منفی نسبت به بستر آندی (که باید دارای پتانسیل مثبت باشد) دارد. اگر جریان کمی برای برقراری اختلاف پتانسیل میان آندها و کاتد در الکترولیت نیاز باشد، با استفاده از خاصیت فلزها در جدول پتانسیل ذاتی می توان برای قطعه و یا سازه با فلز خاص فلزی را به عنوان آنده انتخاب نمود که بدون نیاز به منبع اعمال جریان در سه گانه ی پیل الکتروشیمیایی (آنده و کاتد و الکترولیت) تنها با برقراری ارتباط میان آندها و کاتد تحت حفاظت با هادی الکتریکی سیستم حفاظت کاتدیک برقرار واهد شد. ولی اگر سطح فلزی که باید در الکترولیت تحت حفاظت قرار گیرید و جریان مورد نیاز جهت حفاظت بیشتر از حدی باشد که به تنهایی توسط بسته ی آندی تأمین نشود، در این حالت، نیاز به یک منبع اعمال جریان الکتریکی در مدار شامل آنده الکترولیت و کاتد و هادی الکتریکی میان آنده و کاتد (خارج از الکترولیت) است.

از دیدگاه تاریخی، اجرای حفاظت کاتدیک با استفاده از آندهای فناشونده قبل از روش اعمال جریان الکتریکی، شناخته و کاربرد داشته است. برای مثال، در بدنه ی کشتی هایی با جنس فلز مس آندهای فنا شونده ی آهن و یا روی نصب می گردید تا با فنا شدن این آندها بدنه ی مس کشتی به عنوان کاتد تحت حفاظت قرار گیرد. همچنین

در سازه ها و شناورهایی با جنس آهن ، قطعات روی یا منیزیم نصب می شود که تحت الکترولیت آب دریا با فنا شدن روی یا منیزیم فلز آهن تحت حفاظت قرار می گیرد . از اواسط قرن ۱۹ آندهای فنا شونده رواج بیشتری پیدا نموده و در مواردی چون بسته های آندی ، آستری های ضدزنگ ، پوشش های فلزات مصرف داشته اند و برخی هنوز هم معمول و رایج هستند .

از اوایل قرن ۲۰ (۱۹۱۰-۱۹۱۲) حفاظت کاتدی سازه ها و قطعه های فلزی با روش اعمال جریان الکتریکی رواج یافته و روز به روز گسترش یافته اند و با پیشرفت سطح دانش و تکنولوژی تجهیزات و لوازم این علم نیز گسترش و به روز گردید . امروزه ، سازه های فلزی درون آب ، تجهیزات مدفون در خاک همانند لوله های انتقال و توزیع نفت و گاز و مواد مشابه از این روش ، جهت حفاظت خود در مقابل پدیده خوردگی بهره می برند .

اعمال سیستم حفاظت کاتدیک ، همانند تمام راهکارهای صنعتی مشمول استانداردهای ویژه ی خود می گردد که جهت استفاده ی بهینه از تجهیزات و انرژی مصرفی تمامی افراد دست اندرکار در زمینه ی سیستم های کاتدیک ، ملزم به رعایت این استانداردها و معیارهای تعیین و قرارداد شده است . در جدول استانداردهای کنترل خوردگی ارائه شده است .

#### ۴-۳- استانداردهای کنترل خوردگی NACE

دستورالعمل های توصیه شده (RP, recommended practices)

RP-01-70 حفاظت های فولاد زنگ نزن آستنیتی در پلایشگاه ها در برابر ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش (SCC) با استفاده از محلول های خشی کننده موقع خوابیدن کارخانه .

RP-01-72 آماده سازی سطحی فولاد و مواد سخت دیگر با استفاده از پاشیدن آب قل از پوشش کاری یا پوشش کاری مجدد .

RP-02-72 محاسبه مستقیم ارزیابی اقتصادی روش های کنترل خوردگی

RP-03-72 روش پوشش دادنه تانک ها یا اپوسکی قیر معدنی

RP-04-72 روش ها و کنترل های جلوگیری از ترک خوردن جوش های فولاد کربنی ( P-1 ) موقع کار در محیط های خورنده پالایشگاه های نفت .

RP-05-72 طراحی ، نصب بهره برداری و تعمیرات و نگهداری حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی توس بسته های زمینی عمیق .

RP-01-73 جمع آوری و شناسایی محصولات خوردگی .

RP-02-73 کار کردن و / یا کاربرد صحیح اسیدهای مناطق نفتی که بهانهها ممانعت کننده اضافه شده است .

RP-01-74 کنترل خوردگی سیستم های توزیع برق زیرزمینی مناطق مسکونی .

RP-02-74 بازرسی پرسش های لوله ی قبل از نصب به وسیله ی ولتاژ بالا .

RP-01-75 کنترل خوردگی سطوح داخلی در خطوط لوله و سیستم های لوله کشی فولادی .

RP-02-75 اعمال پوشش های آلی در سوح خارجی لوله های فولادی برای کار در زیرزمین .

RP-03-75 اعمال و کار با پوشش های محافظ مومی و سیستم های نوا پیچی برای خسوس لوله زیر زمینی .

RP-05-75 انتخاب مولد فلزی مورد استفاده در قسمت های مختلف آماده سازی آب برای تزریق در فرماسنون های نفت دار .

RP-05-75 طراحی ، نصب ، بهره برداری و تعمیرات و نگهداری سیستم های حفاظت کاتدی سطوح داخلی در

محازن تصفیه نفت .

PR-06-75 کنترل خوردگی لوله هایی که در دریا قراردارند .

PR-07-75 آماده سازی و نصب کوپن های خوردگی و تجزیه و تحلیل نتایج در عملیات تولید نفت.

PR-02-76 پوشش ها آسفالتی - ماستیکی اکستروود شده بای لوله های زیرزمینی .

RP-03-76 کف پوشش های آلی مونولیتیکی مقاوم در برابر خوردگی .

RP-01-77 کاهش اثرات جریان های متناوب و رعد و برق بر سازه های فلزی و سیستم های کنترل خوردگی .

RP-01-78 طراحی ، ساخت و رنگ آمیزی تانک ها و مخازن فلزی برای گاز در محیط های شیمیایی .

RP-02-78 طراحی و کار برج های استریپ برای خارج ساختن اکسیژن از آب

RP-01-80 حفاظت کاتدی سیستم تصفیه ی آب کارخانجات کاغذ و خمیر کاغذ سازی .

RP-01-82 تنظیم مقدماتی تجهیزات سردکننده ی آب .

RP-01-83<sup>۱۲</sup> (تجدید نظر شده ی RP-01-69) کنترل خوردگی سطوح خارجی سیستم های لوله کشی فلزی

زیرزمینی یا زیرآبی .

اولین مسئله در اجرای حفاظت کاتدیک که مشخص کننده ی نوع راه کار اجرایی استفاده از بسترهای آندی فنا

شونده و یا اعمال الکتریکی DC با منبع انرژی الکتریکی است . تعیین و محاسبه ی میزان جریان تزریق لازم جهت

اعمال اختلاف ولتاژ میان قطعه و سازه ی فلزی (که باید برای حفاظت شدن به کاتد یکپارچه تبدیل گردد ) و قطعه فلز

آند فناشونده در بستر آندی بستگی به سطح فلز مورد نظر (بر واحد متر مربع) دارد که در الکترولیت غوطه ور و یا

مدفون است .

با اعمال جریان الکتریکی مستقیم ذکر شده میان قطعه فلز تحت محافظت و آندی یک اختلاف پدید می آورد که

اندازه ی این اختلاف پتانسیل در تمامی انواع سیستم های حفاظت کاتدیک صرف نظر از میزان جریان تزریقی ثابت و

در حد ۸۵،۰- ولت نامی (۱۰۳- ولت واقعی) نسبت به الکتروود مرجع سولفات مس است . این مقدار یک معیار مناسب

برای سیستم های کاتدی با بهره وری بالا است .

ابتدایی ترین مواردی که در طراحی سیستم های حفاظت کاتدیک باید در نظر گرفته شود ، عبارتند از :

دارای لیست مراجع و بحث خوبی در مورد پوشش ها می باشد . برای کسب اطلاعات به RP-01-83 در متریال پروفورمانس ، آوریل ۱۹۸۳ چاپ شده .<sup>12</sup>

NACE P.O BOX218340,Houston,Tx77218 هنگام و قیمت به آدرس زیر تماس بگیرید .

- میزان سطح فلز (بر واحد متر مربع) که باید تحت حفاظت قرار گیرد.
- با توجه به جریان مورد نیاز، تعیین نوع سیستم حفاظت کاتدیک (اعمال جریان مستقیم الکتریکی و با استفاده از آندهای فناشونده)
- بررسی مسیر و محل فلز در الکترولیت
- تعیین مشخصات بستر آندی و تعداد آندها، فاصله بستر از فلز مورد نظر و ...
- تعیین مشخصات پوشش ها قطعه فلزی و جنس و نوع فلز مورد حفاظت قرار گرفته.
- تداخل فلز تحت حفاظت با سایر تجهیزات و سازه های فلزی در محل.
- وجود جریان های سرگردان (غیر از جریان مستقیم اعمالی)
- وجود هر نوع پوشش و غلاف غیر از پوشش دو لایه قطعه فلزی

#### ۴-۴- معیارهای حفاظت کاتدیک

برای آنکه شیوه ی ارائه شده، جهت حفاظت کاتدیک مؤثر بوده و اهداف خواسته شده را فراهم نماید، بخصوص آنکه، در تمام سطح سازه و قطعه فلزی همانند لوله های اتصال نفت و گاز مدفون در خاک یکپارچگی حفاظت رعایت شود. باید از یک معیار استاندارد و مورد قبول سازمان های مختلف و فعال در این زمینه پیروی کنیم.

در مباحث گذشته، دانستیم که با کاتد کردن فلز مورد نظر، حفاظت کاتدیک از خوردگی آن را در محیط خورنده تضمین نموده ایم. نکته ی مهم در این معیار، یکپارچگی سطح پتانسیل کاتدیک در سراسر سطح سازه و قطعه ی فلزی است.



در حالت طبیعی و بدون اعمال جریان مستقیم DC جهت حفاظت کاتدیک ، با توجه به نوع الکترولیت (خاک احاطه کننده) نقاط آندی و کاتدیک بسیاری در سطح فلز پدید می آیند . بنابراین انتظار میرود ، سطح پتانسیل الکتریکی در عین متفاوت بودن در نقطه مختلف از سطح فلز از لحاظ مثبت و منفی بودن نیز باهم تفاوت داشته باشند .

در یک مثال ساده ، فرض کنید یک نقطه از سطح یک لوله گاز مدفون در زمین به شکل طبیعی دارای پتانسیل های پلاریزاسیون نشان داده شده در شکل مقابل باشد ، با این فرض نقاط C و D نقاط کاتدی بوده و تحت حفاظت قرار می گیرند و نقاط A و B نقاط آندی بوده و خورده می شوند .

حال اگر ، یک کارشناس حفاظت کاتدیک بخواهد با روش اعمال جریان مستقیم DC و در نتیجه با ایجاد اختلاف سطح پتانسیل الکتریکی تمام سطح لوله رابه یک کاتد یکپارچه تبدیل نماید ، چه میزان جریان مستقیم الکتریکی DC و یا چه میزان سطح پتانسیل برای این منظور نیاز است ؟

آیا اگر به سطح لوله ی فوق ۰,۳- و یا ۰,۵- اعمال نماییم ، به یک کاتد یکپارچه با معیار مناسب حفظت کاتدیک دست خواهیم یافت ؟ مقدار لازم و کافی اختلاف سطح پتانسیل الکتریکی نسبت به الکتروود مرجع سولفات مس چقدر است ؟

با محاسبات انجام شده در مورد لوله های فولادی اتصال نفت و گاز مدفون در خاک و آزمایش های تجربی میزان به دست آمده برای اختلال پتانسیل اینگونه سازه های فلزی در حالت ایده آل برابر ۰/۸۵- و در شرایط واقعی ۱/۳- ولت می باشد که با این اندازه اختلاف پتانسیل ، یکپارچگی کاتدیک آن فراهم شده و خوردگی را با تقریب خوبی به صفر خواهد رساند .

در سازه ها و قطعه های کوچک که اندازه ی ابعاد زیاد نیست ، نقاط نمونه گیری از نقاط مختلف به ازای سنجش پتانسیل چندان متنوع نخواهد بود و معمولاً نقاط سطحی ولتاژهای یکسانی خواهد داشت .

اگر چنانچه ، ابعاد سازه و قطعه مورد نظر ، همانند لوله ی انتقال نفت و گاز گسترده بوده و احتمال یکسان نبودن سطح اختلاف پتانسیل الکتریکی در نقاط مختلف زیاد باشد ، سنجش اختلاف پتانسیل در نقاط مختلف از سازه و قطعه پاسخ های متفاوتی خواهد باشد .

با توجه به این نکته از پتانسیل های بدست آمده از نقاط مختلف بیانگر معیار حفاظت کاتدیک است .

و با مشاهده ی مدار معادل الکتریکی ترسیم شده در می یابیم ، به هر مقدار که از محل بستر آندی برای اندازه گیری پتانسیل لوله با محیط اطراف دور شویم ، به دلیل افزایش مقاومت معادل لوله و همچنین افزایش مقاومت معادل محیط اطراف لوله (مقاومت خاک) افت پتانسیل خواهیم داشت .

بنابراین برای بدست آوردن درست باید پتانسیل نقاطی را اندازه گیری کرد که نسبت به منبع پتانسیل و بستر آندی حداقل میزان پتانسیل و یا به عبارتی حداکثر اختلاف پتانسیل را با محل تزریق جریان مستقیم DC که در محل بستر آندی و لوله فولادی است ، داشته باشد .

اگر در این شرایط ، سطح پتانسیل برابر معیار حفاظت کاتدیک یعنی  $-0.85$  - و یا کتر بود ، می توان با قاطعیت بیان کرد که سیستم اجرا شده جهت حفاظت از خوردگی به درستی کار خواهد کرد . البته باید به این نکته نیز اشاره کرد که این اختلاف پتانسیل ، به هر میزان نمی تواند از مقدار  $-0.85$  - کمتر باشد ، زیرا به لحاظ مسائل اقتصادی و هم به لحاظ مسائل فنی و ایمنی (که در مباحث بعدی به شکل مفصل بحث خواهد شد) میزان مناسب برای اجرای فرآیند حفاظت کاتدی مقدار  $-0.85$  - است .

به اندازه گیری نقاط سطح لوله در نزدیکی بستر آندی و منبع تزریق جریان مستقیم DC ، اندازه گیری نقاط نزدیک و به اندازه گیری نقاط سطح لوله دور از بستر آندی و منبع تزریق جریان مستقیم DC ، اندازه گیری نقاط دو می گویند که اندازه گیری های پتانسیل با هر دو روش متداول است . اندازه گیری پتانسیل نزدیک ، بدین ترتیب می باشد که الکتروود مرجع در سطح زمین با آب در نقطه ی بالای لوله گذاشته می شود .

اندازه گیری دور ، بدین معناست که الکتروود مرجع در نقطه ای گذاشته می شود که دور از میدان نفوذ لوله می باشد که متناسب با نوع فلز و الکتروولیت و ابعاد آنها استفاده از دو روش فوق انتخاب می گردد .

در جدول زیر ، مقادیر مورد نیاز (حداقل پتانسیل) برای اعمال حفاظت کاتدیک نشان داده شده است .

#### ۴-۵- الکتروود مرجع (شرایط کاربرد)

جدول ۴-۱

فلز یا آلیاژ	مس-سولفات مس در خاک و آب شیرین	نقره - کلرور و نقره شباع شده کلرئ پتاسیم (در هر الکتروولیت)	بره - کلرو نقره (در آب دریا)	روی - آب دریا
آهن و فولاد	ولت	ولت	ولت	ولت
محیط هوازی	-۰/۸۵	-۰/۷۵	-۰/۸	+۰/۲۵
محیط بی هوازی	-۰/۹۵	۰/۸۵	-۰/۹	+۰/۱۵
سرب	-۰/۶	-۰/۵	-۰/۵۵	+۵/۰
آلیاژهای آلومینیوم	-۰/۶۵ تا -۰/۵	۰/۴۵ تا -۰/۵۵	-۰/۴۵ تا ۰/۶	۰/۴۵ تا ۰/۶
حد مثبت	-۰/۹۵	-۰/۸۵	۰/۹	+۰/۱۵
حدمنفی	-۱/۲	-۱/۱	-۱/۱۵	-۰/۱

۱ - برای استفاده در آب دریای تمیز-رقیق نشده ۹ و هوادمی شده که آل در تماس مستقیم با الکتروود فاز

۲ - کلیه ارقام به نزدیکترین رقم 0/05V گرد شده است .

همچنین در جدول زیر، مقادیر مورد نیاز (حداقل پتانسیل) برای اعمال حفاظت کاتدیک برای سازه های پوشش دار نشان داده شده است .

جدول ۴-۲- حداکثر پتانسیل منفی سازه پوششدار نسبت به الکترولیت

ردیف	نوع پوشش	پتانسیل خاموش لحظه ای (ولت) نسبت به الکترو د مس-سولفات مس
۱	پوشش اپوکسی پودری	-۱
۲	پوشش انامل قیری ذغال سنگی یا نفتی	-۱/۵
۳	پوشش نوار پلاستیکی چسب دار	-۱/۱
۴	پوشش اپوکس کولتار	-۱/۲
۵	پوشش پلی اتیلن کارخانه ای	-۱/۲

همانگونه که می دانیم ، جهت سنجش سطح پتانسیل یک نقطه بنابر ماهیت پتانسیل الکتریکی نیاز به یک مرجع

پتانسیل است که تمامی سطوح پتانسیل با آن مرجع مقایسه و اندازه گیری می شود . در بررسی ، جدول پتانسیل

پلاریزاسیون دو نوع مرجع جهت سنجش پتانسیل ذاتی فلزات معرفی شد ، هیدروژن و الکترو د مرجع سولفات مس در

پروژه های لوله های فولادی نفت و گاز مدفون در خاک الکترو د مرجع سولفات مس استفاده می شود در جدول زیر

با مقایسه این دو مرجع پتانسیل پرداخته ایم .

جدول ۳-۴- مقایسه ی الکترودهای مرجع با الکترودهای سولفات مس در ۲۵ درجه ی سانتیگراد

نوع الکتروده کالومل	پتانسیل لوله به الکتروده کالومل معادل ۰.۸۵ وولت که از الکتروده سولفات مس حاصل می شود	برای تبدیل عدد بدست آمده از الکتروده کالومل به پتانسیل معادل سولفات مس
کالومل (ارنرمال)	۰.۸۷ وولت	۰.۰۲ وولت کسر کنید
کالومل (نرمال)	۰.۸۲ وولت	۰.۰۳ وولت اضافه کنید

الکتروده مرجع	پتانسیل لوله به الکتروده معادل ۰.۸۵ وولت که از الکتروده سولفات مس حاصل می شود	برای تبدیل عدد بدست آمده از الکتروده به پتانسیل معادل سولفات مس
الکتروده نقره - کلرور نقره الکتروده روی خالص	۰.۸۴ وولت ۰.۲۵ وولت	۰.۰۱ وولت اضافه کنید ۱.۱ وولت اضافه کنید

همانطور که قبلاً هم گفته شد ساختمان الکتروده مرجع سولفات مس از یک الکتروده خالص مس در محلول اشباع سولفات مس و با پوششش متخلخل زیرین جهت ارتباط با خاک تشکیل شده است . دستگاه اندازه گیری (ولت متر)

با یک میله ی مسی خالص که این در درون محلول اشباع شده ی سولفات مس قرار گرفته ارتباط دارد و از طریق پوشش متخلخل با زمین تماس می یابد .

هنگامی که لت متر به لوله و الکتروود مرجع وصل می شود ، پتانسیل مشاهده شده ترکیب پتانسیل موجود بین لوله و زمین و اختلاف پتانسیل بین میله ی مسی و زمین از طریق محلول اشباع شده ی سولفات مس است . آنچه در این اندازه گیری اهمیت دارد ، پتانسیل نیم پیل لوله نسبت به - زمین است .

پتانسیل نیم پیل ، الکتروود مرجع نسبت به زمین ، عملاً در خاک هایی با مشخصات متفاوت ثابت است . پتانسیل نیم پیل چندان مهم نیست بلکه پتانسیل پیل کامل که شامل پتانسیل متغیر لوله نسبت به زمین نیز می باشد اهمیت دارد . پیش از اعمال حفاظت کاتدی ، باید از تمام لوله های فولادی زیرزمینی لخت اندازه گیری پتانسیل به عمل آید . این اعداد ، می توانند از ۰٫۱- تا ۰٫۳- ولت برای کاتدی ترین نواحی و تا ۰٫۸۵- ولت برای آندی ترین نواحی تغییر کنند . این اندازه گیری نقطه به نقطه ، برای بدست آوردن آندی ترین نواحی در لوله های لخت در بررسی خوردگی لوله های زیرزمینی انجام می گیرد .

اندازه گیری پتانسیل از لوله های دارای پوشش ، پیش از اعمال حفاظت کاتدی نشان دهنده ی کیفیت خوردگی مانند لوله های لخت نخواهد بود . در لوله های فولادی پوشش داده شده نواحی بسیار کوچکی وجود دارند که با خاک اطراف تماس دارند . تغییرات پتانسیل در نواحی مختلف مانند لوله های لخت گسترده نبود و جزئی می باشد .

اگرچه الکتروودهای مرجع مس ، متداول ترین نوع مورد استفاده در بررسی های خوردگی است . اما بعضی الکتروود های مرجع دیگری نیز مانند کالومال به کار گرفته می شوند . این الکتروود ، حاوی مخلوط جیوه و کلرو جیوه است که با محلول ۰٫۱ نرمال اشباع شده ی کلروپتاسیم در تماس است و از طریق درپوش متخلخل با زمین ارتباط پیدا می کند . الکتروود مرجع کالومال ، دارای پتانسیل نیم پیل ثابت است که با پتانسیل الکتروود مرجع سولفات مس تفاوت دارد ، به عبارت دیگر ۰٫۸۵- ولت به عنوان معیار حفاظت کامل در نظر گرفته نمی شود .

همانگونه که قبلاً هم گفته شد ، الکترودهای مرجع دیگری از قبیل نقره ، کلرو نقره و سرب ، کلروسرب در دسترس می باشند . این الکترودها کمتر در بررسی های خوردگی به کار می روند ، با این وجود ، دارای پتانسیل نیم پیل ثابت می باشند که با پتانسیل نیم پیل سولفات مس تفاوت داد . الکتروود اول در کارهای دریایی و الکتروود دوم در نواحی ای که کابل های روپوش دار سربی وجود دارند ، استفاده می شوند .

برای اندازه گیری تقریبی ، می توان از میله های روی خالص به عنوان الکتروود مرجع استفاده کرد . پتانسیل روی خالص ، نسبت به الکتروود مرجع سولفات مس ۱,۱ ولت است ولی دارای تغییراتی در حدود ۵۰ میلی ولت می باشد . این الکتروود بیشتر در کارهای زیردریایی استفاده می شود .

اشاره کردیم که ، معیار ۰۸۵- ولت نشاندهنده ی حفاظت کاتدی است . برخی نیز از معیار تغییر پتانسیل به جای معیار فوق به ویژه هنگام بررسی لوله های لخت استفاده می کنند و روش کار بدین ترتیب است که پس از اعمال شدت جریان حفاظت کاتدی پتانسیل لوله در جهت منفی به اندازه ی ۰۲۵- ولت یا ۰۳۰- ولت تغییر داده می شود . با وجودی که این روش مانند کار با معیار ۰۸۵- ولت (نسبت به الکتروود مرجع سولفات مس) دقیق نیست ، ولی گزارش های عملی خوبی در این مورد ارائه گردیده است .

در مواقع خاص ، شدت جریان واقعی جاری شده در زمین می تواند نشاندهنده ی کیفیت حفاظت باشد . این روش ، با استفاده از دستگاه خاصی انجام می شود که شدت جریان عبورکننده از یک مکان معین را اندازه گیری می کنند . در این روش ، در نواحی آندی لوله های لخت برای اطمینان از از سرازیر شدن شدت جریان به سمت لوله بکار می رود . همچنین این روش به علت اتلاف وقت زیاد ، کمتر متداول می باشد . اندازه گیری پتانسیل بهترین روش کار است ، مگر در حالت های خاص که از روش های دیگر استفاده می شود .

روش اخیر را می توان به طور تقریبی با استفاده از افت پتانسیل بین دو الکتروود مرجع (سولفات مس) انجام داد .

تفاوت پتانسیل بین دو الکتروود نباید بیشتر از پنج میلی ولت باشد . اندازه گیری در دو سری لوله برای اطمینان از

سرازیر شدن شدت جریان به طرف لوله اجرا می شود . اگر اندازه گیری فقط در یک طرف لوله انجام شود ، نتیجه ی بدست آمده قابل اعتماد نیست ، زیرا جریان الکتریکی ممکن است از یک لوله وارد شده و از طرف دیگر خارج شود که حاصل خوردگی در همان طرف لوله خواهد بود .

در روش دیگر نمونه های فلزی ، وسیله ی خوبی برای ارزیابی تأثیر حفاظت کاتدی است . نمونه های فلزی همچنین لوله از طریق کابل روپوش دار به لوله ی زیرزمینی وصل می شوند . این نمونه ها ، در عمقی که لوله عبور می کند ، دفن می شوند . نمونه را می توان مستقیماً یا از طریق کابلی که به روی زمین آورده شده به لوله وصل کرد .

نمونه های انتخاب شده باید از جنس لوله باشند . ابعاد و وزن آنها دقیقاً مشخص شوند . این نمونه ها را می توان توأم با روش های دیگر بکار گرفت . به عنوان مثال ، در لوله هایی که میزان حفاظت کاتدی با روش اندازه گیری پتانسیل تنظیم شده است ، نمونه ها را می توان در نقاط حاد لوله ی نواحی که زمین دارای مقاومت الکتریکی کم است ، نواحی که مواقع الکتریکی وجود دارد ، یا نقاطی که دارای پتانسیل هستند ، نصب کرد .

با استفاده از نمونه هایی که از طریق کابل بالای زمین به لوله وصل شده اند ، می توان شدت جریان جذب شده را تعیین کرد . در سیستم حفاظت کاتدی دشارژ شده این نمونه ها شدت جریان جذب شده را نشان می دهد که بستگی به سطح نمونه و میزان حفاظت در ناحیه ی نصب شده دارد . پس از گذشت یکسال یا بیشتر نمونه ها را می توان بیرون آورد و با توجه به خوردگی حفره ای یا از دست دادن وزن ، نمونه کیفیت کاتدی اعمال شده را مشاهده کرد .

#### ۴-۶- انواع حفاظت کاتدی (CATHODIC PROTECTION)

تاکنون دانستیم که اگر با وارد شدن یک پتانسیل کاتدی ، قطعه ی مهندسی یه یک کاتد (قطب منفی) تبدیل گردد ، دیگر خوردگی اتفاق نمی افتد . در نتیجه قطعه ی مورد نظر حفاظت می گردد و بر روی آن فقط واکنش های احیاء صورت می پذیرد . به این نوع حفاظت کاتدی گویند که به دو شیوه اعمال می گردد :



الف: جریان اعمالی (IMPRESSED CURRENT)

ب: آندفداشونده (SACRIFICIAL ANODE)

#### ۴-۷- آشنایی با حفاظت کاتدی به روش آندفداشونده

این روش، به شیوه‌ی یک پیل گالوانیکی و با استفاده از جدول استاندارد الکتروشیمیایی (E.M.F) و با اتصال فلزات منفی‌تر در جدول، باعث تبدیل آن به آند شده و به عبارت دیگر فلز منفی‌تری خود را فدای قطعه‌ی مهندسی می‌نماید که در واقع یک پیل گالوانیک ایجاد شده است.

مقدار مورد نیاز آندفداشونده و سطح مقطع آند به طول مدت زمان حفاظت و جریان لازم طبق قانون  $V=IR$  بستگی دارد. فولاد گالوانیزه که روکشی از روی را برخورد دارد یک مدار آندفداشونده است برای حفاظت کاتدی فغ مسیره‌های کوتاه مثلاً زیر یک کیلومتر لوله‌ی زیرزمینی و یا سازه‌ی دریایی از این شیوه و نه روش جریان اعمالی استفاده می‌گردد که معمولاً برای حفاظت کاتدی، مسیره‌های کوتاه مثلاً زیر یک کیلومتر لوله‌ی زیرزمینی و یا سازه‌ی دریایی از این شیوه و نه روش جریان اعمالی استفاده می‌گردد که معمولاً برای حفاظت فولاد از MG.ZN و یا AL استفاده می‌شود.

در این مدار  $I=Vd(Ra+Rm+Rc)$  گویای جریان الکتریکی است.

در این نوع از سیستم‌ها، پتانسیل آند و کاتد تابعی از جریان (موسوم به جریان حفاظتی) بوده که نمودار زیر گویای این رابطه است.

در صورت اعمال مقاومت الکتریکی در مدار فوق برای افزایش مقاومت مدار (در برخی سیستم‌ها که دارای مقاومت آندی پایینی هستند) نمودار فوق به شکل زیر تعبیر خواهد نمود.

در حالت کلی، برای سه نوع سیستم حفاظت کاتدی با آندهای فداشونده، شکل‌های زیر ارائه شده است.

هر گونه کاهش و یا افزایش پتانسیل قطبش در سه نوع سیستم فوق تأثیر دارد .

میزان جریان مدار را با مقاومت متغیر (سری شده با مدار) همانند شکل ۱۵-۴ می توانیم کنترل کنیم :

در نمودار جریان و پتانسیل مربوط به مدار فوق (با اضافه شدن مقاومت متغیر) تغییرات نشان داده شده در زیر رخ خواهد داد .

آند با استفاده از پدیده ی رویینه شده و با استفاده از نمودار ایوانز ، فلز را در پتانسیل مثبت تر از  $E_{corr}$  حفاظت خواهد کرد.

لایه ی رویینه ، معمولاً یک لایه ی اکسیدی است که ارتباط با محیط را با قطعه قطع نموده ، این لایه در مورد فولاد زنگ نزن آستینیتی  $c_{r203}$  است .

سیستم های گالوانیکی جریان حفاظتی مورد نیاز از طریق واکنش الکترو شیمیایی (مشابه باطری چراغ قوه) ایجاد می کنند . فعال ترین فلز ، به عنوان آند فناشونده انتخاب می گردد و فلزی که تحت حفاظت قرار می گیرد ، کاتد می گردد . برای حفاظت فولاد ، چدن و مس از آند منیزیم ، روی یا آلومینیوم استفاده می شود . نوع ، تعداد و محل آندها از بررسی کامل تأسیسات فلزی که باید تحت حفاظت قرار بگیرد ، تعیین می گردد ، فاکتورهایی مثل مقاومت پوشش و مقاومت خاک و تأثیرات تداخلی نیز باید مورد توجه قرار گیرند .

منیزیم متداول ترین آند بوده و پرمصرف ترین آند ، در خط لوله ی آند منیزیم ۱۷ پوندی می باشد ، اگرچه در وزن های ۹ و ۳۲ پوندی نیز استفاده می شوند . حداقل وزن آند مورد نیاز با توجه به مقاومت الکتریکی خاک از جدول صفحه بعد تعیین می شود :

جدول ۴-۴

مقاومت اهم الکتریکی خاک اهم ، سانتی متر	وزن مطلوب آند منیزیم (پوند)
بالاتر از ۳۵۰۰	۹
۱۸۰۰-۳۵۰۰	۱۷
۸۰۰-۱۸۰۰	۳۲
کمتر از ۸۰۰	۵۰

در بیشتر اوقات ، آندی که به صورت استوانه یا یک میله است ، با یک سیم به سازه ای که باید تحت حفاظت قرار بگیرد ، وصل می شود . گاهی سیم مسی آند یک مقاومت مدرج جهت مهار جریان خروجی نصب می شود .

گاهی سیم مسی آند یک مقاومت مدرج جهت مهار جریان خروجی نصب می شود . آنهای فنا شونده ، معمولاً برای عمر حداکثر تا ده سال طراحی می شوند و ب ندرت عمر بیست سال برای آنها در نظر گرفته می شود .

آندهای روی و منیزیم ، معمولاً با پی پاگی مخصوص ( BACKFILL ) حاوی گچ ۷۵ درصد بتونیت ۲۰ درصد و سولفات سدیم ۵ درصد احاطه می شوند . پی پا را بدین جهت مورد استفاده قرار می دهند که محی را همگن و مرطوب کند و مقاومت را کم نماید و سبب افزایش کارایی و طولانی شدن عمر آند می شود .

انواع آندهای فنا شونده عبارتند از آندهای منیزیم ( Mg ) در زمینهایی با رنج مقاومت مختلف) آندهای روی ( Zn در زمین هایی با مقاومت کمتر از ۱۵۰۰ اهم بر سانتی متر مربع) و آندهای آلومینیومی ( AI ) . آندهای منیزیمی ، خود به

دو دسته حاوی ۱/۵ درصد منگنز و دسته حاوی ۶ درصد آلومینیوم و ۳ درصد روی و ۰/۱۵ درصد منگنز تقسیم می شوند .

اگر الکترولیت دارای مقاومت بالایی باشد ، آندهای گروه دوم که دارای پتانسیل محرک بالایی هستند ، مناسب می باشند . در استفاده از این نوع آندها ، باید دقت کرد که پتانسیل بالای این آندها ، موجب بلند شدن رنگ و پوشش قطعه و سازه ی فلزی تحت حفاظت نگردد . همچنین هیدروژن تولید شده در سطح فلز ، می تواند باعث ایجاد جرقه و انفجار و آتش سوزی گردد.

از آنجا که ، پتانسیل آند روی در دمای بالا کاهش می یابد ، از آن بیشتر در محیط های با دمای پایین همانند آب دریا و در بدنه ی سازه های فلزی همانند کشتی ها مورد استفاده قرار می گیرد .

آندهای آلومینیومی با آلیاژهای ترکیب شده نیز ، همانند آندهای روی برای استفاده در دماهای پایین کاربرد دارند .

#### ۴-۸- آشنایی با حفاظت کاتدیک به شیوه ی جریان اعمالی IMPRESSED CURRENT

جریان مستقیم (DC) و معمولاً از طریق یک یکسو کننده (RECTIFIER) به قطعه ای که می بایست حفاظت گردد ، وارد می شود . بدین ترتیب ، قطعه ی مهندسی (مثلاً لوله) به قطب منفی یکسو کننده و قطب مثبت آن به یک آند متصل می گردد .

مقدار اختلاف پتانسیل به گونه ای تعیین می گردد که وانش های سطح قطعه ی مورد نظر ، برای حفاظت فقط احیاء کننده باشند و هیچ گونه واکنش آندی اتفاق نمی افتد . جهت تکمیل مداری که در شکل قبل نشان داده شده است ، جریان از آند و از طریق سیال و یا خاک به سمت کاتد حرکت می نمایند .

عوامل مهمی که می بایستی مدنظر قرار گیرند ، عبارتند از :

۱. اندازه ی پتانسیل : آنچنان اختیار می شود که فلزات متفاوت در ناحیه ی کاتدی حفاظت می گردند .

۲. جریان مدار : شدت جریان (آمپر) مورد نیاز جهت رسیدن به پتانسل حفاظت کننده ، می بایستی محاسبه شود .
۳. فاصله ی بستری آندی : هر قدر که فاصله ی آنها از قطعه بیشتر باشد ، جریان بیشتری در مدار می بایست تزریق گردد تا حفاظت کامل تری صورت پذیرد . نزدیکی بیش از حد آند به قطعه از رسیدن جریان به تمامی سطح (بخصوص طرف پشت قطعه) جلوگیری خواهد نمود .
۴. به کار گرفته شدن پوششهای حفاظتی و تأثیر آنها بر طراحی سیستم حفاظت کاتدی .
۵. اندازه های قطعه ی مهندسی : قطر، طول یا عرض قطعه ی مهندسی جهت محاسبه ی سطح و در نتیجه اندازه ی مقاومت الکتریکی آن .
۶. نوع و جنس خاک : به لحاظ خواص شیمیایی و تعیین مقاومت آن اهمیت خاص دارند .
۷. احتمال وجود جریانهای ناخواسته (سرگردان) جریان های القایی که بنابه عبور برق فشار قوی از نزدیکی قطعه ی مهندسی و یا وجود ترانس ها و دیگر دستگاه ها ایجاد می گردند .
- برای بررسی قطبش باید توجه کرد که با اتصال دو الکترود آند و کاتد ، الکترود های داخل الکترولیت که قبل از اتصال به هم دارای یک پتانسیل پلاریزاسیون نسبت به الکترود مرجع می باشند ، این اختلاف ولتاژ یک جریان الکتریکی ایجاد می کند که نسبت به میزان مقاومت مسیر این جریان متغیر است .
- میزان اختلاف پتانسیل میان دو الکترود بعد از اتصال آنها به یکدیگر به دلیل کاهش پتانسیل کاتد و افزایش پتانسیل آند (با نسبت غیر مساوی) در نهایت موجب کاهش سطح اختلاف پتانسیل آند و کاتد نسبت به زمان جدا بودن آنها شده و به تیغ آن کاهش جریان ا در برخواهد داشت .
- با کاهش مقاومت مسیر و افزایش جریان ، بیشترین مقدار جریان زمانی پدید می آید که دو قطب نزدیکترین فاصله ی سطح پتانسیل را دارا بوده و در اصطلاح پلاریزاسون کامل صورت گیرد در این حالت خوردگی نیز بیشترین شدت را دارد .

با اضافه کردن یک منبع جریان مستقیم و یک آند کمکی در مدار فوق، با این تغییرات پتانسیل کاتد بیش از پیش کاهش یافته و با عبور جریان از مدار، پتانسیل آند و کاتد اصلی به  $M$  کاهش می یابد. یا افزایش بیشتر جریان، پتانسیل کاتد و آند اصلی بیشتر کاهش خواهد یافت.

در صورتی که کل شدت جریان مورد نیاز برابر ۲ آمپر یا کمتر باشد، از سیستم آندهای فناشونده و اگر از ۲ آمپر بیشتر باشد، از سیستم جریان تزریقی انتخاب گردد.

در بعضی شرایط، شدت جریان زیاد می تواند باعث خسارت دیده ی پوشش ها بشود، بدین ترتیب که جریان زیاد باعث تولید هیدروژن زیاد در نقاط لخت پوشش می شود. این هیدروژن می تواند فشار بیش از حدی تولید کند که بین پوشش و لوله نفوذ کرده و باعث پوسته شدن پوشش می گردد و در نتیجه فلز زیادی بدون پوشش در معرض محیط قرار می گیرد. پتانسیل پلاریزاسیون را در یک نقطه از لوله می توان تعیین نمود.

بدین صورت که تمام، جریان های حفاظتی مؤثر در آن نقطه را به ور همزمان قطع می کنیم و پتانسیل لوله نسبت به خاک را بلافاصله (۱ الی ۲ ثانیه پس از قطع شدت جریان ها) اندازه گیری می کنیم (در مقایسه با الکتروود مس/سولفات مس) هرگاه پتانسیل از ۱/۲ ولت کمتر باشد، خطر خسارت پوشش وجود ندارد، ولی هر گاه ۱/۲ ولت یا بیشتر باشد، احتمال خطر برای پوشش وجود دارد.

این رقم، برای فولاد و فقط به عنوان یک راهنمایی داده می شود و بسته به شرایط محیط، ممکن است، مقدار آن فرق کند. این نوع ایراد با تنظیم نامناسب جریان حفاظتی و یا در حال استفاده از آندهای گالوانیک یا پتانسیل زیاد مثل منیزیم، می تواند پیش بیاید و در مورد آندهای گالوانیکی با پتانسیل کمتر مثل روی احتمال پیش آمدن بسیار نادرست است.

#### ۴-۹- تعیین حداقل جریان مورد نیاز برای حفاظت

چنانچه شبکه و یا خط لوله قبلاً اجرا شده باشد، بهترین روش برای رسیدن به این هدف انجام تست پوشش است که ضمن تعیین مقدار حداقل جریان مورد نیاز، مقدار پوشش که در حقیقت تعیین کیفیت پوشش می باشد نیز، مشخص می شود.

البته قبل از انجام تست و تزریق جریان می بایست برای پرهیز از خطاها، مراحل زیر انجام شود.

۱. چنانچه خط لوله و یا شبکه جدیداً اجرا شده باشد. می بایست حداقل یک ماه از زمان دفن آن گذشته باشد تا اکسیدهای اطراف نشست خودشان را کرده باشند، زیرا عدم نشست خاک، باعث افزایش مقاومت بین لوله و خاک شده و موجب خطا در مقاومت پوشش می گردد.

۲. می دانیم که میزان جریان با میزان رطوبت خاک اطراف لوله و یا به طور کلی با رطوبت زمین در محدوده ی آزمایش نسبت مستقیم دارد، بنابراین نتیجه ی انجام تست در فصول مختلف متفاوت است. خصوصاً در فصل تابستان و زمستان، لذا اندازه گیری مقاومت ویژه ی خاک در عمقی که لوله دفن است در زمان تست ضروری است تا مهندس طراح بتواند با در نظر گرفتن ضرایبی به صورت تجربی، طرح خودش را برای بدترین شرایط ارائه نماید و همچنین وضعیت پوشش را در سال های آتی با وضعیت پوشش در زمان تست اولیه مقایسه نماید و از کیفیت آن مطلع شوند. ضمناً اظهار نظر در مورد نتیجه ی تست فعلی، عطف به مقاومت ویژه ی خاک می گردد.

۳. ولتاژ طبیعی لوله نسبت به خاک با هاف سل مس / سولفات مس در نقطه ی تزریق و سایر نقاط اندازه گیری در سطح شبکه و طول خط اندازه گیری و یادداشت می گردد. این عمل برای دو منظور انجام می شود، اول اینکه مشخص می شود ولتاژ دیگری به صوت سرگردان و یا تداخلی روی شبکه و یا خط مورد تست سوار نشده باشد و دوم اینکه، معیاری برای مقدار ولتاژ حفاظتی به دست می آید، چراکه نقاطی ممکن است به طور طبیعی به توجه نوع خاک اطراف، دارای ولتاژ طبیعی بالاتری نسبت به بقیه ی نقاط باشند که طبیعتاً طراح برای آن نقاط، ولتاژ حفاظتی

را در نظر خواهد گرفت. در حالتی که ولتاژ دیگری نیز بصورت سرگردان و یا تداخلی بر روی لوله سوار باشد،

مهندس طراح، پیش بینی های لازم را انجام خواهد داد.

۴. اندازه گیری ولتاژ متناوب نفوذی و یا القایی روی لوله در نقاط اندازه گیری نسبت به خاک (با یک میله ی فلزی به

طول حداقل ۲۰ سانتی متر که در زمین کوبیده می شود.) این اندازه گیری بیشتر به این منظور انجام می شود که ایمنی

پرسنل حفاظت کاتدیك تأمین گردد، گرچه مهندس طراح نیز می تواند از تأثیر احتمالی جریان متناوب برخوردگی

خصوصاً در حالت های نفوذی یا القایی آگاه و چاره اندیشی نماید. به هر حال، اگر ولتاژ نفوذی یا القایی بین

۵ تا ۱۰ ولت و یا حداکثر ۱۵ ولت در شبانه روز گردد بایستی اقدامات لازم در جهت کاهش آن انجام پذیرد و اگر ولتاژ

تا حد ۵۰ ولت و یا بیشتر گردد که ولتاژ خطرناکی است بلافاصله با همکاری برق منطقه ای می باید در جهت حذف

آن کوشید، اینگونه ولتاژ بالا، غالباً به صورت نفوذی از طریق اتصال کابل های برق معیوب و زمین به لوله انجام می

شود.

بعد از انجام مراحل فوق عمل تزریق جریان به شبکه و یا خط لوله انجام می شود و برای مدت ۷۲ ساعت (۳ شبانه روز)

ادامه می یابد. نوع بستر، موقت می باشد که نحوه ی اجرای آن در ادامه توضیح داده خواهد شد فاصله ی بستر از

نزدیکترین لوله با آن بایستی از ۳۰ متر بیشتر باشد.

ولتاژ نقطه تزریق را در ابتدا برای پوشش گرم  $1/4$  - ولت و برای پوشش سرد ۱ - ولت انتخاب می نماییم و به تدریج

در طول ۴۲ ساعت که ولتاژ پلاریزاسیون افزایش پیدا می کند و جریان اولیه کاهش پیدا می نماید، مقدار ولتاژ

تنظیمی نقطه ی تزریق افزایش پیدا می کند که می بایست آن را در حد مجاز تنظیم نماییم (بازدید و کنترل ولتاژ نقطه

ی تزریق به صورت تناوب در مدت ۷۲ ساعت باید انجام شود) چنانچه ولتاژ از حد مجاز بیشتر شود، باعث صدمه

زدن به پوشش (جداسدن پوشش از لوله) می گردد.



حداکثر ولتاژ نقطه ی تزریق برای لوله های با پوشش گرم انامل ۲/۱- ولت و برای لوله های با پوشش پلی اتیلن ۱/۳- ولت است (این مقادیر توسط کارخانه های سازنده ی پوشش تعیین شده است).

#### ۴-۱۰- تقویت پوشش خط لوله

در نقطه ی تقاطع پدیده ی تداخل با بکارگیری کابل رابطه بین دو لوله از میان برداشته نمی شود. در این حالت، خط لوله ی خارجی لخت بوده و یا درای پوشش ضعیفی در اطراف نقطه ی تقاطع می باشد، نسبت به نقطه ی دور ۰/۹۳- ولت باشد و پتانسیل نسبت به الکتروود مرجع نزدیک ۶۸/- ولت که نشان دهنده ی اثر پدیده تداخل می باشد.

اگر مبدل یکسو کننده خط لوله ی خارجی خاموش شود، در این صورت پتانسیل خط لوله تحت آزمایش در نقطه ی تقاطع عبارت خواهد بود از: ۰/۹۱- ولت.

پتانسیل اندازه گیری شده در هنگام روشن بودن مبدل یکسو کننده خط لوله ی خارجی حداقل باید به سطح ۰/۸۵- ولت رسانده شود. اگر پتانسیل خط لوله ی خارجی در نقطه ی تقاطع در هنگام روشن بودن مبدل یکسو کننده آن نسبت به زمین دور کمتر از ۰/۸۵- باشد ولت باشد، در صورت استفاده از کابل رابط بخشی از شدت جریان خط لوله ی تحت آزمایش تحمیل خواهد شد.

با توجه به اینکه ف شدت جریان زیادی از طریق زمین لوله ی تحت آزمایش، به طرف خط لوله ی لخت خارجی جاری می شود، سطح حفاظتی آن را کاهش می دهد. یکی از راه حل های مناسب کاهش شدت این جریان در نقطه ی تقاطع می باشد که با استفاده از پوشش مناسب انجام می گیرد.

در نقطه ی تقاطع، خط لوله ی خارجی با یک پوشش که دارای کیفیت بسیار خوبی باشد، پوشانده می شود. طول پوشش شده برابر طولی از لوله ی تحت آزمایش است که در اثر تداخل سطح حفاظتی خود را از دست داده است.

## ۴-۱۱-آندهای فداشونده

یکی دیگر از روش های مقابله با پدیده ی تداخل به کارگیری آندهای فداشونده است که به خط لوله ی تحت آزمایش که در اثر تقاطع با یک خط خارجی در معرض آسیب پذیری قرار دارد ، وصل می شود . این آندها به وجود آوردن یک میدان آندی در اطراف خط لوله ی تحت آزمایش ، اثرات میدان کاتدی ، که در اطراف این خط لوله ی وجود داشت ، خنثی می سازند .

در اینگونه موارد ، یک خط بستر آندی بین خط لوله ی آسیب پذیر و خط لوله ی خارجی ایجاد می گردد . در این حالت ، انتشار جریان وجود خواهد داشت ، ولی نه از طریق خط لوله ، بلکه از طریق آندها که اثرات سوء تداخل را از بین می برند .

در هنگام ایجاد ، بستر آندی ، سنگین ترین آند در نقطه ی تقاطع می گیرد و آندهای سبکتر در اطراف کار گذاشته می شود . در این ناحیه یک نقطه ی آزمایش نیز برای اندازه گیری شدت جریان خروجی بستر آندی و نیز اندازه گیری پتانسیل لوله ها ساخته می شود .

در سیستم های حفاظت کاتدی ، به مجموعه ای از آند در یک کانال که از برق  $D.C$  و ترانس یکسوساز تغذیه شود . بستر آندی می گویند. در بسترهای آندی :

۱.مقاومت زمین *SOIL RESISTIVITY*

۲.مقاومت کابل ها

۳.مقاومت لوله (تأسیسات تحت حفاظت)

۴.مقاومت پوشش

۵.مقاومت پی پا

وجود دارد که بیشترین مقاومت را مقاومت زمین به خود اختصاص می دهد. اساس طراحی هم متکی به مقاومت زمین است که معیار و شاخص مقاومت های دیگر است. در بیان کلی، در جهت طراحی یک بستر آندی مناسب، می بایستی فاکتورهای ذیل را مدنظر قرار داد:

۱. مقدار مقاومت خاک (برحسب اهم سانتی متر).

۲. وجود شبکه های فلزی که در حیطه مؤثر بستر آندی واقع گردیده اند.

۳. فاصله ی بستر آندی تا لوله و دیگر قطعاتی که جداگانه حفاظت می گردند.

۴. موجودیت برق مستقیم جهت اعمال جریان حفاظتی (*IMPRESSED CURRENT*).

۵. بررسی های لجستگی به لحاظ موقعیت قطعات و دستگاهایی که می بایست حفاظت گردند.

اصولاً استفاده از آندها فداشونده، آسانتر از آندهای مورد نیاز جریان اعمالی است، چراکه نیاز به برق مستقیم ندارند،

لیکن آندهای فداشونده در فواصل کوتاه تری از قطعه (مثلاً لوله) قرار می گیرد و نیاز به تغییرات آنچنانی موقعیت

آنها نسبت به تغییرات خواص خاک نمی باشد، اما در سیستم جریان اعمالی گاه نیاز است تا آندی از زمین با مقاومت

کم به زمینی با مقاومت بالاتر تغییر مکان پیدا می کند.

به هر حال، در هر دو شیوه ی حفاظتی آند فداشونده و یا جریان اعمالی آند توسط ذرات کک که در اطراف آن

ریخته می شود؛ د جایگاه خود قرار گرفته، کابلی که به آند متصل می گردد، می بایست از مقاومت کمی (هدایت

الکتریکی بالایی) برخوردار باشد و کاملاً عایق بندی شده باشد تا خود به خود خورده نشود.

مقدار مصرفی آند در جریان اعمالی برای جنس های مختلف، به شرح ذیل تفاوت دارد:

۱. آهن قراضه (فولاد قراضه)  $IB/A$  ۲۰ در سال

۲. کربن یا گرافیت  $IB/A$  ۱ در سال

۳. چدن  $IB/A$  (14.5% SI + 3%C) ۰.۳ در سال

چدن عملکرد نسبی خوبی به لحاظ عمر داشته ، اما گران تر است .

طراحی و بهره برداری سیستم های جریان تزریقی انعطاف پذیرتر از سیستم های آیندهای فنا شونده می باشند .

ملزومات حفاظت با بررسی سازه ای که تحت حفاظت قرار می گیرد ، تعیین می گردد .

اصول هر دو سیستم حفاظت کاتدیک مشابه هم می باشند ، با این تفاوت که در سیتیم های جریان تزریقی ، آندها با

استفاده از یک منبع خارجی دارای انرژی می شوند . عموماً برای تبدیل جریان برق  $AC$  به  $DC$  از یک مبدل یکسو

ساز استفاده می کنند . جریان مستقیم از طریق آند یا بستر آندی به الکترولیت منتقل شده و به ویژه چنان طراحی می

شوند که در برابر ولتاژ زیاد و جیان نسبتاً بالا عمر طولانی داشته باشند .

مواد بستر آندی در روش شدت جریان اعمالی به تفصیل در ادامه آمده است .

#### ۴-۱۲- آند کابلی

این نوع از آندها، به شکل مقابل از یک کابل هادی با پوشش مخصوص که با پی پا احاطه شده است، با عبور جریان از مرکز کابل فرایند حفاظت کاتدیک سازه انجام می گیرد.

این نوع آندها، فقط در روش تزریق جریان کاربرد دارند. از مزایای این نوع آندها، برقراری شایط یکسان در طول خط لوله است و از لحاظ زمان و هزینه شرایط بهتری نسبت به سایر آندها دارد. میزان جریان دهی واقعی این نوع از آندها در مورد مصرفی بابر  $1Ma/M$  است.



شکل ۴-۱

#### ۴-۱۳- آندهای جدید MMO

همانگونه که در مبحث بسترهای آندهای تیتانیوم با پوشش اکسیدی از فلز تیتانیوم با روکش ایریدیوم و پنتوکسید تانتالیوم ساخته شده اند. این نوع آندها، در شش شکل لوله ای، دیسکی، میله ای، نواری، سیمی و توری تولید و استفاده می شود. از ویژگی های بارز این آندها آمپردهی بالا با وزن کمتر و عمر طولانی تری با قیمت بالاتر است.

این آند، در دو نوع چاهی (رشته ای) و افقی (لوله ای) مورد استفاده قرار می گیرد. میزان آمپردهی این نوع از آندها، به طور متوسط در زمان مصرف برابر پنج آمپر به ازای مصرف هر میلی گرم در سال است.

#### ۴-۱۳-۱- استفاده از آندهای MMO به جای hsci

طی دو دهه ی اخیر، آندهای  $mmo^1$  به دلیل کارایی بهتر (طول عمر طولانی - وزن ناچیز و قدرت جریان دهی بالا و مسائل زیست محیطی) (عدم آلودگی آب های زیرزمینی) جایگزین آندهای چدنی *hsci(high silicon cast iron)* گردیده اند.

استفاده از پوشش سرامیکی حاوی دی اکسید ایریدیم *iro2* و پنتااکسید تانتالیم *ts205* بر روی فلز تیتانیوم یا تانتالیم در آندهای *mmo* باعث طول عمر بسیار طولانی و وزن ناچیز و قدرت جریان دهی نسبتاً بالا در این آندها می گردد. استفاده از آندهای *mmo*، در بسترهای چاهی به علت وزن ناچیزشان در مقایسه با آندهای چدنی (*hsci*) موجب حذف تأسیسات حجیم بتونی سر چاهی و ملحقات آن شده و مضافاً به دلیل ساخت آندهای مذکور در کارخانه به تعداد و طول کابل بالاسری هزینه های *line taps-connector splicing kit* می گردد و نهایتاً هزینه ی سایر اجناس و اجرای پروژه به مراتب کاهش می یابد.

هم اکنون در پروژه های گاز و پتروشیمی جهان، برای کنترل پوسیدگی سازه های دریایی - کف مخازن و تأسیسات مدفون (شبکه های گاز زیرزمینی مدفون و...) از این آندها استفاده می گردد.

آندهای *mmo* از نوع لوله ای جهت مصارف بسترهای چاهی (آب یا کک) و یا بصورت بسترهای افقی یا عمودی قابل استفاده می باشد.

1-(mixed metal oxcid)

#### ۴-۱۴- آیندها در سیستم حفاظت با آیندهای فداشونده

در این بخش، درباره ی آیندهای فداشونده ی متداول، ویژگی های کارایی آنها نمونه هایی از کاربرد و جزئیات نصب آنها شرح داده خواهد شد.

#### ۴-۱۵- انواع آیندهای فداشونده برای خطوط لوله

منیزیم و روی، از متداول ترین آیندهای فداشونده است. از این آیندها، در شکل ۳۲-۵ مشاهده می شود. فلز آلومینیوم دارای انرژی داخلی بیشتر از منیزیم و روی است. اما عملاً راندمان خوبی در هنگام نصب در زمین نشان نداده اند.

به کارگیری آیندهای فداشونده بر پایه ی خاصیت دو فلز متفاوت که تشکیل یک سل می دهد. قرار دارد. هنگامی که یک خط لوله ی آهنی به یک فلزی که در جدول نیروی محرکه ی الکتریکی، بالاتر از آن قرار دارد وصل شوند و هر دو فلز در یک محیط الکترود مشترک باشند، فلز فعال تر خورده شده و جریان الکتریکی را در مدا نیاز، برای یک سیستم حفاظت کاتدی مشخص باشد، در این صورت با استفاده از تعدادی آند متناسب و کافی سیستم را برای کارکرد مدت معین می توان انجام داد.

هنگامی که آند فدا شونده در زمین دفن شود، علاوه بر ایجاد جریان مفید که ایجاد می کند، خود نیز به علت قرار گرفتن در محیط خورنده از بیم می رود. نسبت به وزن از بین رفته برای تولید شدت جیان مفید برای حفاظت کاتدی به کل وزن از دست رفته راندمان آند نامیده می شود که در بخش های بعد شرح داده خواهد شد.

آندهای فداشونده در مواردی به کار می رود که شدت جریان مورد نیاز کم بوده و ظرفیت مقاومت الکتریکی محیط در حدی باشد که بتوان با تعداد معدودی آند فداشونده احتیاجات سیستم را برطرف کرد در خطوط لوله ای که شدت جریان مورد نیاز زیاد باشد، به کارگیری روش شدت جریان اعمالی اقتصادی تر است.

در خطوط لوله ای که دارای پوشش عالی است و روش شدت جریان اعمالی برای حفاظت خط به کار رفته است ، امکان دارد که نقاط جدا افتاده وجود داشته باشد که به مقدار بیشتری شدت جریان نیاز دارند . این افزایش نیاز موضعی را به کارگیری آندهای منیزیم ، می توان برطرف کرد .

نمونه هایی از نقاط عبارتند از : غلاف های صدمه دیده که برطرف کردن نقص آنها مشکل می باشد ، طول هایی از لوله که در آنها پوشش به سختی صدمه دیده است ف نواحی از خط لوله که مجاورت موانع الکتریکی قرار گرفته و توزیع شدت جریان در این نقاط به خوبی انجام نمی گیرد .

نکته : آندهای فداشونده در نقاط تقاطع لوله های تحت کاتدی نیز برای جلوگیری از تداخل جریان های سرگردان به کار می روند . خطوط لوله ممکن است از نواحی عبور کند که تراکم شبکه های زیر زمین بسیا زیاد باشد . در این حالت ، به کارگیری روش آند فداشونده در این نواحی اقتصادی تر می باشد .

## ۴-۱۶- فلنج های عایق

شکل عمومی فلنج های عایق ، در شکل ۶-۷ منعکس شده است . اجزای عایق کننده س فلنج در اندازه های مختلف ، توسط سازنده های ارائه می شود . سوراخ های پیچ فلنج های استاندارد به اندازه ی یک هشتم اینچ را از قطر پیچ بزرگتر می باشند لذا غلاف عایق روی پیچ به سهولت قرار گرفته می شود .

اگر ازم باشد ، می توان فلنج هایی که در سرویس قرار دارند ، عاق نمود این کار ، در صورتی میسر است که جنس و اشر از موارد عایق باشد . با بیرون آوردن یکی از پیچ ها و ایق کردن و بستن دوباره و ادامه ی کار تا آخرین پیچ یک فلنج در سویس را عایق نمود .

فلنج هایی که در سرویس قرار دارند ، در سطح ایده آل هم محور نمی باشند و امکان کارگذاری غلاف های عایق را مشکل می سازد . لذا در اینگونه موارد ، می توان از نیم غلاف استفاده کرد . برای پروژهای در حال اجرا ، بهترین



روش عایق سازی فلنج ها در کارگاه می باشد . هم محورسازی در کارگاه به راحتی امکان پذیر بوده و از تنش های وارده به اجزای عایق به ویژه غلاف جلوگیری خواهد شد . پس از نصب فلنج عایق ، مقاومت دو طرف آن اندازه گیری می شود که در رده ی مگا اهم قرار دارد .



شکل ۴-۲

#### ۴-۱۲- آزمایش فلنج های عایق

پس از نصب فلنج عایق ب روی خطی که به میزان قابل توجهی در دوطرف فلنج گسترده شده است . با اندازه گیری مقاومت به روش ساده ، میزان به دست آمده بیش از چند اهم نخواهد بود ، اگرچه کیفیت عایق در سطح عالی باشد دارای چند مگا اهم مقاومت باشد . در حقیقت ، اندازه گیری مقاومت در دو مسیر موازی انجام می گیرد

(۱) مقاومت عایق (۲) مقاومت لوله نسبت به زمین در یک سمت فلنج عایق به اضافه ی مقاومت لوله نسبت به زمین در طرف دیگر فلنج عایق ، مقاومت یک فلنج عایق (هرچند کیفیت عایق ایده آل باشد) بستگی به سطح لوله در دوطرف فلنج ، کیفیت پوشش و مقاومت متوسط زمین دارد .

روش مناسب ، برای بررسی کیفیت عایق به کمک ایستگاه حفاظت کاتدی یا یک ایستگاه موقت انجام می گیرد . با اندازه گیری پتانسیل ، در دو طرف نسبت به زمین دور ، کیفیت عایق مشخص می شود . اگر عایق از کیفیت خوبی

برخوردار باشد، در این صورت پتانسیل یک طرف دیگر ثابت باقی می ماند. اگر نیم پیل در مجاورت فلنج در زمین گذاشته شود، می توان اطلاعات مفید دیگری نیز کسب کرد.

برای مثال، اگر قسمتی از خط که تحت حفاظت نمی باشد، در مواقع اندازه گیری پتانسیل آن در مرحله ی روشن بودن ایستگاه به سمت مثبت میل می کند، نشان دهنده ی خروج جریان بخ سمت زمین در این نقطه است. در این حالت، پدیده ای شبیه به تداخل به وجود می آید که باید اقدامات لازم انجام گیرد.

#### ۴-۱۸- پیل های اتصال زمین برای فلنج های عایق

در نواحی ای که امان صاعقه وجود داشته باشد، از لوازم حفاظتی برای فلنج های عایق استفاده می شود. در مواردی که خط لوله در مجاورت خط برق فشار قوی می گیرد، ولتاژ القا شده در خط نیز می تواند اجزای فلنج عایق صدمه بزند. در اثر عبور ولتاژ قوی در دوطرف یک فلنج، عایق امکان آسیب دیدن قطعات وجود دارد و در اثر صدمه دیدن فلنج خاصیت عایق بودن خود را از دست می دهد.

اگر به تنهایی خطر صاعقه داشته باشد در این صورت عبور جریان در لحظه ی بسیار کوتاهی انجام می گیرد و انرژی آن طوری است که می توان با نصب عبوردهنده ی جرقه که فاصله دهانه ی آن کمتر از ضخامت عایق کننده است. جریان را بدون آنکه صدمه ای بزند، به طرف دیگر انتقال داد.

برای جلوگیری از خطرات، می توان از برقگیری استاندارد که برای این کار ساخته شده اند استفاده نمود. دامنه ی کار برقگیر، باید مناسب انتخاب شود، زیرا با انتخاب برقگیری هایی که دارای دامنه ی ولتاژ زیاد هستند، امکان صدمه دیدن فلنج عایق وجود دارد.

یکی دیگر از روش های حفاظتی نصب پیل های اتصال زمین در مجاورت فلنج عایق می باشد . که علاوه بر نقش

تخلیه ی ولتاژ قوی ، خط لوله ی حفاظت نشده در یک طرف فلنج را به طور نسبی (در مجاورت فلنج ) حفاظت

کاتدی می نماید . شکل یک ، نمونه ی پیل اتصال زمین در شکل ۸-۷ دیده می شود .

پیل اتصالی زمینی که مطابق شکل ۸-۷ ساخته شده باشد ، دارای مقاومتی در حدود  $0/2$  تا  $0/5$  اهم نسبت به زمین می

باشد . در مواردی که ، ولتاژ قوی در خط وجود داشته باشد ، این پیل نقش هدایت را به عهده خواهد داشت و ولتاژ

دو طرف فلنج در حدود  $200$  تا  $500$  ولت به ازای هر هرتز آمپر خواهد بود .

در حالتی که ، احتمال عبور جریان های بسیار قوی پیش بینی می شود ، بهتر است از دو آند روی به صورتی که در

شکل نشان داده شده است استفاده نمود که با داشتن مقاومت ناچیز ، ولتاژ ایجاد شده در دو طرف فلنج را محدودتر

می کند .

# فصل پنجم

عملیات های کنترل و حفاظت خوردگی در طول راه اندازی واحد فرآیندی

## فصل پنجم- عملیات های کنترل و حفاظت خوردگی در طول راه اندازی واحد فرآیندی

### ۵-۱- بررسی های متناوب

در یک سیستم حفاظت کاتدی ، اطلاعات زیر حداقل سالانه یک بار باید جمع آوری گردد.

**بررسی پتانسیل حفاظتی خط لوله :** این اندازه گیری شامل همه نقاط آزمایش در طول خط می شود و در

خطوط لوله پوشش دار اندازه گیری نسبت به الکتروود مرجع نزدیک انجام می شود . نقاطی که پتانسیل آن ها کمتر از ۸۵٪ ولت می باشد بر روی یک منحنی که همه اندازه گیری ها بر آن منعکس هستند مشخص می شود .

۱. در خط لوله پوشش دار ، مقاومت موثر پوشش اندازه گیری می شود .

۲. ایستگاه های حفاظت کاتدی ، شدت جریان و ولتاژ مستقیم ، راندمان و مصرف انرژی (کیلو وات ساعت)

مبدل یک سو کننده یادداشت می شود .

۳. مولد های برق مستقیم که در مجاورت خط لوله قرار دارند (متعلق به خطوط لوله خارجی) بررسی شده و

شدت جریان ولتاژها ثبت می شود.

۴. مقاوت هر یک از بستر های آندی.

۵. شدت جریان خروجی و مقاوت هر یک از بستر های آندی فدا شونده .

۶. پتانسیل خطوط لوله در نقطه تقاطع و اندازه گیری شدت جریان جاری در کابل ارتباطی .

۷. مقاوت بین غلاف و خط لوله و پتانسیل هر یک از آن ها نسبت به الکتروود مرجع.

۸. بررسی کارآیی وسایل نصب شده برای خنثی نمودن اثرات جریان های سرگردان.

۹. تایید کیفیت لازم اتصال های عایق ، برق گیر ها و پیل های اتصال زمین.

۱۰. یادداشت همه نیاز های تعمیراتی در زمینه وسایل و تاسیسات متعلق به سیستم جلوگیری از خوردگی.

علاوه بر بررسی سالانه پتانسیل حفاظتی، یک مطالعه دیگر نیز در این زمینه در فواصل ۶ ماه مفید خواهد بود. ضرورت ای مطالب بستگی به کیفیت منطقه از نظر فشردگی خطوط لوله، حساس بودن ناحیه، جریان های سرگردان و غیره دارد. در یک منطقه بحرانی و مهم فواصل این بررسی باید کوتاه تر نیز باشد. در این نواحی، بهتر است بررسی پتانسیل ماهانه انجام گیرد تا از خطرات احتمالی جلوگیری شود.

برای ثبت اطلاعات می توان از فرم های طراحی شده استفاده نمود. طرح این فرم، می تواند به وسیله مهندس خردگی ارائه شود. ثبت اطلاعات بر روی این فرم ها باعث یک نواختی جمع آوری اطلاعات شده و در وقت افراد آزمایش کننده صرفه جویی می شود. یک نمونه از این فرم ها در شکل بعدی دیده می شود. برای تعیین مقاومت موثر پوشش اندازه گیری شدت جریان خط، شدت جریان آندهای فدا شونده، آزمایش غلاف ها، آزمایش های جریان های سرگردان و سایر آزمایش های روز مره نیز می توان فرم های خاص تهیه نمود.

در بررسی پتانسیل خط لوله بهترین روش رسم منحنی برای اطلاعات جمع آوری شده در طول خط لوله می باشد. با در دست داشتن منحنی ها و مقایسه آن ها با نتایج قبلی می توان میزان پیشرفت حفاظت یا کمبود ها را مشخص نمود. در شکل ۱۱-۷ نمونه ای از این منحنی دیده می شود.

همان طور که در این منحنی دیده می شود، در مرکز آن بخش قابل توجهی از حفاظت لازم برخوردار نمی باشد. در این قسمت یک انشعاب عایق شده یک غلاف یک اتصال به ساختار خارجی و آند منیزیم نصب شده وجود دارد.

مشکلات ایجاد شده در هر یک از این قسمت ها می تواند منجر به از دست دادن حفاظت کامل شود با مقایسه آخرین اطلاعات به دست آمده با اطلاعات قبلی می توان به علل کاهش حفاظت پی برد. عایق های کوتاه شده تغییر مسیر لوله های خارجی و صدمات وارده به اتصالات آند های منیزیم می توانند یکی از این علل باشند.

همه اطلاعات جمع آوری در مراحل بازرسی به آن ها وجود داشته باشد . با جمع آوری این اطلاعات می توان کیفیت کاتدی و کارایی خط لوله را مقایسه کرد . پس از جمع آوری اطلاعات از بررسی های به عمل آمده تجزیه و تحلیل های لازم باید انجام گیرد .

در نواحی که ضروری باشد تعمیرات لازم باید به عمل آید . در این موارد توصیه های ضروری و روش های استاندارد توسط مهندس خوردگی به گروه تعمیرات ارائه می گردد.

## ۵-۲- روش تعمیراتی

### ۵-۲-۱- روش تعمیرات پوشش

اگر چه خطوط لوله پوشش شده در زمین دفن شده و دور از دسترس می باشد لیکن روش هایی وجود دارد که می توان وضعیت پوشش را در موارد لازم بررسی نمود .

در زمانی که خط لوله در دسترس قرار دارد تعمیرات موضعی بر روی خط انجام می شود این تعمیرات موجه صدمه دیدن پوشش می شود که در این صورت کیفیت پوشش جدید مطابق پوشش اصلی باید باشد .

اگر از پوشش های انامل استفاده شده است در این صورت دمای لازم در موقع حرارت دادن باید رعایت گردد زیرا حرارت دادن بیش از حد انامل موجب کک شدن آن می شود و این پوشش بسیاری از خواص لازم را دارا نخواهد بود .

با داشتن اطلاعات کافی و حقیقی از کیفیت یک نوع پوشش در مرحله سرویس می توان ارزیابی های لازم را برای پروژه های جدید به عمل آورد .

با آزمایش مقاومت موثر پوشش به طور متناوب می توان وضیت پوشش را در طی زمان بررسی نمود .

با آموزش گروه های تعمیرات خط در مورد جمع آوری اطلاعات مناسب در مرحله کارهای تعمیراتی که می توان شامل وضعیت کلی پوشش ، چسبندگی و سایر موارد باشد می توان اطلاعات آهسته و مستمری را به دست آورد.

اگر اطلاعات سریع وضعیت پوشش یک خط لوله مورد نیاز باشد می توان خاک برداری های موضعی در مسیر خط لوله انجام داد.

اگر مقاومت موثر پوشش در مسیر خط لوله در نقاط خاصی ناگهان کاهش یافته باشد همچنین می توان جهت بررسی علت این پدیده از خاک برداری های موضعی استفاده نمود. با استفاده از دستگاه های خاصی نقاط صدمه دیده را از سطح زمین تعیین نمود و نقاطی را که صدمه بیشتری دیده اند آشکار کرد .

اگر چه خاک برداری و تعویض پوشش در برخی از قسمت ها با هزینه های زیادی مواجه می شود اما اگر پوششی در اثر عوامل غیر منتظره مانند شرایط غیر عادی خاک یا علل دیگر سریع تر از حد متعارف از بین برود آشکار کردن خط لوله در این نقاط اجباریست .

اگر این فرسایش به گونه ای باشد که بخش زیادی از شدت جریان های حفاظتی را جذب نماید و بقیه خط لوله با خطر کاهش حفاظتی مواجه گردد نیازی به تقویت بیش از حد سیستم حفاظت کاتدی نباشد .

در این گونه موارد باید هزینه های لازم برای تجدید پوشش و یا تقویت سیستم حفاظت کاتدی با یکدیگر مقایسه گردند و هر کدام که مناسب تر باشد انتخاب شود و در صورتی که تجدید پوشش لازم باشد مطالعه لازم و رعایت نکات ضروری در مرحله انتخاب نوع پوشش و کاربرد آن باید در اجرا به عمل آید تا مشکلات قبلی تکرار نشود .



## ۵-۲-۲-روش های تعمیرات برای منابع تغذیه و بستر های آندی

دستگاه های مبدل یک سو کننده یا منابع تغذیه سیستم شدت جریان اعمالی بر اساس یک برنامه زمان بندی بازرسی می شوند این برنامه را می توان همراه با سایر عملیات مربوط به تعمیرات هماهنگ نمود و برای این کار نیازی به یک کار مستقل نیست .

فواصل این بازرسی بستگی به اهمیت ساختار و تجربه کارکنان دارد فواصل زمانی دو هفته برای این بازرسی رضایت بخش است. این فاصله زمانی نباید از یک ماه تجاوز نماید و بازرسی هفتگی نیز غیر ضروری است .

بازرسی دستگاه های مبدل یک سو کننده شامل موارد زیر می باشد یادداشت ولتاژ و شدت جریان خروجی دستگاه و کنتر برق متناوب (اگر وجود داشته باشد) .

این نتایج با اطلاعات گذشته مقایسه می شود . اگر تغییرات فصلی شدت جریان خروجی از دستگاه ها را افزایش یا کاهش دهند اقدامات لازم برای جبران این پدیده باید انجام گیرد.

اگر دستگاه مبدل یک سو کننده خاموش باشد فیوزهای مربوطه سوییچ قطع و وصل بررسی می شود در صورتی که اشکال در آن ها وجود نداشته باشد مسئولان مربوطه هر چه زود تر باید در جریان مساله قرار گیرد .

مجموعه یک سو کننده در دستگاه در اثر گذشت زمان راندمان خود را از دست می دهد . اگر کاهش این راندمان قابل توجه باشد در این صورت این مجموعه باید با یک مجموعه جدید جایگزین شود مشخصات این مجموعه باید دقیقاً همانند قبلی باشد و در صورتی که تغییراتی در نوع عنصر (سلنیم یا سیلیکان) و ظرفیت دستگاه داده می شود ثبت گردد .

هر یک از دستگاه های مبدل یک سو کننده باید حداقل سالانه یک بار از نظر موارد زیر مورد آزمایش دقیق قرار گیرد .

۱. اتصالات محکم و تمیز کابل های جریان برق
  ۲. توری های تهویه در مبدل یک سو کننده هایی که به کمک هوا خنک می شوند باید کاملاً تمیز و عاری از هر گونه گرفتگی باشند .
  ۳. دقت وسیله های نشان دهنده بررسی شوند (آمپر متر ، ولت متر ، ترمومتر و غیره)
  ۴. پوشش کابل ها نباید هیچگونه زدگی یا ترک خوردگی داشته باشد.
  ۵. در مبدل (یک سو کننده هایی) که با روغن خنک می شوند باید سطح روغن و پاکیزگی آن بررسی شود اگر روغن شفافیت خود را از دست داده باشد به وسیله روغن مناسب تعویض گردد .
  ۶. همه وسایل حفاظتی از قبیل فیوز ها سویچ های قطع و وصل برق گیر ها باید بررسی شود تا اطمینان حاصل نمود که در آن ها صدمه دیده گی وجود ندارد .
- بستر آندی در فواصل مناسب تحت بازرسی قرار می گیرند ، در این بازرسی کیفیت زمین در بستر مطالعه می شود که هیچ گونه عملیات خاک برداری یا ساختمانی در آنجا انجام نگرفته باشد .
- اگر بخشی از خاک روی کابل ها به وسیله عوامل طبیعی مانند طوفان یا سیل از بین رفته باشند خاک ریزی مجدد در آن جا انجام می گیرد و اگر نقاط صدمه دیده بر روی کابل وجود داشته باشد باید بر اساس روش های گفته شده در بخش های قبل ترمیم لازم انجام گیرد .

اگر در آزمایش های دوره ای افزایش مقاومت شدید در مدار خارجی مبدل یک سو کننده مشاهده گردید در این صورت کابل ها برای شکست و قطع شدن ناقص باید به وسیله دستگاه لوله و کابل مطالعه شوند .

اگر کابل سالم باشد در این صورت یک یا تعدادی از آند ها قطع شده اند و در صورتی که کابل در یک نقطه به طور کامل قطع شده باشند باز هم می توان به کمک دستگاه لوله و کابل یاب به روش هدایتی نقطه قطع شده را جستجو نمود .

اگر قطع شدن آند ها مورد سو ظن قرار گیرد در این صورت با مطالعه پتانسیل بستر آندی نسبت به یک الکتروود مرجع دور می توان آند های قطع شده را مشخص نمود در این روش الکتروود مس سولفاد بر روی خط بستر آندی به فواصل دو فوت حرکت داده می شود و پتانسیل این نقاط نسبت به الکتروود مرجع اندازه گیری می شود نقاط ماکزیمم نشان دهنده موقعیت دقیق آند ها بوده و اگر آند یا تعدادی از آند ها قطع شده باشد مشخص خواهند شد .

در سیستم هایی که در بستر های آندی چاه عمیق استفاده می کنند کابل های ارتباطی بین مبدل یک سو کننده و سر چاه باید به دقت حفاظت شوند .

تاسیسات سر چاه باید به گونه ای باشد که گاز های تولید شده در بستر مبحوس نشوند . برای این کار از لوله های پلاستیکی سوراخ دار استفاده می کنند که از سر چاه تا انتهای چاه در مجاورت آند ها قرار دارد.

### ۵-۲-۳-روش های تعمیرات برای آند های فدا شونده

بازرسی های متناوب در مورد آند های فدا شونده نیز باید انجام گیرد . این بازرسی شامل کیفیت بستر است که صدمه دیدگی در کابل های اصلی و یا شسته شدن در اثر عوامل خارجی به وجود نیامده باشد. اتصالات نقاط

آزمایش نیز باید به دقت بررسی شوند زیرا پتانسیل محرکه پایین آند های فدا شونده مقاومت مدار موجب کاهش شدید خروجی خواهد شد .

در چنین مواردی نقاط اتصال به خوبی تمیز شده و به وسیله لایه نازکی از گریس پوشانده می شوند شدت جریان خروجی آند های فداشونده پس از اتمام عمر آند ها کاهش شدید خواهد یافت در این مرحله آند های فدا شونده تعویض گردند . شدت جریان خروجی از آند ها در فواصل زمانی ۶ ماه یا یک سال اندازه گیری می شوند. اگر شدت جریان خروجی از آند ها به طور ناگهانی کاهش یافته باشند در این صورت احتمال قطع شدن یا صدمه دیدن کابل های مدار وجود دارند که با روش های ذکر شده می توان به جستجو آن پرداخت .

## ۵-۲-۴-روش های تعمیرات برای نقاط آزمایش

نقاط آزمایش از وسایل اصولی برای بررسی پتانسیل و چگونگی حفاظت خطوط لوله می باشد . در مراحل اندازه گیری نقاط آزمایش باید بازرسی شوند تا اگر نیازی به تعمیرات لازم از قبیل تعویض لایه لاستیکی و پیچ و مهره ها و درپوش و غیره وجود داشته باشد اقدامات لازم در این مورد انجام گیرد . افراد مسئول در این مورد همواره باید وسایل یدکی لازم برای نقاط آزمایش را همراه داشته باشند تا در صورت لزوم تعویض های ضروری انجام گیرد و در وقت صرفه جویی شود . همه ی پیچ ها و اتصالات محفزه های آزمایش باید با لایه ی نازکی از گریس یا مواد مشابه پوشانده شوند تا از زنگ زدگی های آینده جلوگیری شود . کابل های اتصالی نقاط آزمایش باید از کشیدگی رها باشند تا در مواقع زمین یا پشت بند قطع شدن در آنها به وقوع نپیوندد.

به علت عدم دقت در نصب نقاط آزمایش کابل نقاط آزمایش کابل نقطه آزمایش با غلاف تماس پیدا میکند و در اثر کشیدگی ممکن است پاره شود که در این موارد باید از گلوبند مناسب در دو انتهای غلاف استفاده شود.

## ۵-۲-۵- روش های تعمیرات برای غلاف ها

عایق بودن لوله حمل مواد از غلاف مهم ترین نکات مربوط به غلاف است. در حالتی که امکان ایجاد عایق به طور کامل امکان پذیر نباشد اقدامات لازم برای جلوگیری از خوردگی باید به عمل آید.

کیفیت عایق غلاف باید سالانه بررسی شود و نقاط ضعف برطرف گردد. برای شروع کار باید از نقطه آزمایش شروع کرد. هیچ گونه اتصالاتی بین کابل های مربوط به لوله و غلاف نباید وجود داشته باشد.

در صورتی که اتصالاتی بین کابل های مربوط به لوله و غلاف نباشد وجود داشته باشد. در صورتی که اتصالاتی بین خود لوله و غلاف به وجود آمده باشد موقعیت این تماس از نظر این که در انتها قرار دارد یا در داخل واقع بررسی می شود.

اگر تماس در انتها حادث شده باشد می توان با ترمیم و یا تعویض آب بند انتهایی این اشکال را برطرف نمود. در این حالت ممکن است فاصله دهنده ی عایق بین لوله و غلاف تعویض گردند.

اگر نتایج آزمایش نقطه تماس را اواسط غلاف منعکس کند در این حالت امکان ترمیم به سختی امکان پذیر خواهد بود و بهترین روش پر کردن فاصله بین غلاف و لوله با مواد ویژه ای است که برای این کار ساخته اند (گریس هایی که دارای مواد کند کننده می باشند)

روش کلی برای استفاده از این مواد به شرح زیر است:

۱. یکی از آب بند های انتها برداشته میشود تا همه آب بند های غلاف تخلیه شود.
۲. مواد از لوله پایینی تهویه خارج شود این کار ادامه خواهد داشت.
۳. اگر غلاف فاقد لوله های مناسب برای پر کردن مواد باید نصب شود.

برای به دست آوردن نتیجه‌ی موفقیت آمیز این مواد ذوب شده در مدت کوتاهی باید به غلاف تزریق شود تا از بخش آن همه نقاط قسمت های غلاف اطمینان حاصل کرد. در اثر زمان طولانی امکان ماسیدن وجود دارد.

### ۵-۲-۶- روش های تعمیراتی در نقاط تقاطع با خطوط لوله خارجی

در مکان هایی که نقاط آزمایش در تقاطع خطوط لوله وجود دارد آزمایش ها و بازرسی دوره ای باید انجام گیرد. مقاومت نصب شده در نقاط آزمایش در اثر شدت جریان دوره ای باید انجام گیرد. مقاومت نصب شده در نقاط آزمایش در اثر شدت جریان زیاد ممکن است بسوزد که در اسرع وقت تعویض گردند.

جمع آوری اطلاعات که در این موارد کمک های فراوانی در پیش گیری از حوادث آتی خواهد نمود. این اطلاعات می تواند شامل تغییراتی در کنترل خوردگی خطوط لوله خارجی نصب خطوط جدید و برنامه های توسعه شبکه های خطوط لوله در نواحی باشد. با در دست داشتن اطلاعات می توان اقدامات لازم را به موقع انجام داد.

### ۵-۳- سیستم های حفاظت کاتدیک هوشمند

جهت بهره برداری و بررسی داده ای یک سیستم حفاظت کاتدیک همان گونه که ملاحظه نمودید نیاز به بازدید های دوره ای و متناوب از ایستگاه های cps شهری و روستایی دارد که در بسیاری از موارد توسط نیروی انسانی این گونه داده ها برداشت شده و به اطلاع کارشناسان حفاظت از زنگ می رسد نیروی انسانی در کنار کاربری دقیق و آگاهانه از تجهیزات می تواند ضعف هایی چون خطای یادداشت داده ها (خطای انسانی) فراموشی برخی نکات مهم و ... داشته باشد.

از طرفی در برخی نقاط که رفت و آمد به آن در تمام فصول سال امکان پذیر نیست. مشکل عدم قرائت داده ها در بازه زمانی خاصی را به همراه دارد.

در اینگونه موارد طی راه کار جدید ارائه شده با استفاده از سیستم های حفاظت کاتدیک هوشمند مشکل قرائت داده های مورد نیاز همانند پتانسیل و جریان ایستگاه cps و نیز کنترل پارامتر های دیگر از تجهیزات ایستگاه برای مثال دمای روغن ترانس ریکتیفایر به سادگی رفع می گردد .

در این گونه ایستگاه ها با نصب ادوات ارتباطی (تلفنی و یا ماهواره ای) و نیز دستگاه های اندازه گیری با امکان کنترل از راه دور (در یک تابلو مجزا با عنوان تابلو سیستم ارسا و در یافت داده ها ) همانند شکل ۷-۱۲ داده های مورد نظر طی زمان های معین و متناوب خوانده شده و از طریق مسیر ارتباطی به روش آنالوگ و یا دیجیتال ارسال می گردد.

لازم به ذکر است که در هنگام برداشت اطلاعات نیاز به قطع و وصل ترانس رکتیفایر و نیز در شرایط جوی خاص نیاز به قطع و وصل گرم کننده روغن ترانس نسز می باشد که این مساله گویای دو طرفه بودن ارتباط ارسال داده میان تابلو مربوطه در محل ایستگاه cps و اتاق کنترل داده ها در محل دیگر (همانند محل کار کارشناس حفاظت از زنگ) است .

در طرف دیگر ارتباط یعنی اتاق کنترل یک دستگاه رایانه مجهز به سخت افزار دریافت و ارسال داده ها و نیز مجهز به یکی از نرم افزار های scada (نرم افزار مونیتورینگ سیستم ) دارای قابلیت شبیه سازی فضای ایستگاه cps به همراه نمایش داده های مورد نظر به صورت online در صفحه نمایشگر رایانه وجود دارد . این امکانات توانایی دریافت و چاپ پارامتر های مورد نیاز ایستگاه را داشته و نیز قابلیت ارسال دستورات مقتضی جهت برداشت

اطلاعات را دارا می باشد . (شکل ۷-۱۴)

# فصل ششم

## اقتصاد خوردگی



## فصل ششم - اقتصاد خوردگی

### ۶-۱- توجیه اقتصادی پروژه

داشتن توجیه اقتصادی برای روش جلوگیری از خوردگی از اهمیت بسیاری برخوردار است و این نتیجه را می توان با ترکیبی از دانش صحیح تجربیات گذشته و اطلاعات کامل از هزینه های خدماتی و وسایل به دست آورد در یک سیستم کنترل خوردگی خطوط لوله مهم ترین هدف نگه داری یک خط لوله بدون خوردگی با کمترین هزینه سالانه است این هزینه سالانه شامل استهلاک سرمایه گذاری اولیه ، هزینه تعمیرات و نگه داری می باشد .

اگر حفاظت کاتدی برای لوله های با متراژ کمتر نصب گردد هزینه حفاظت کاتدی سالانه را می توان با هزینه تعمیرات سالانه که در اثر سوراخ شدن های لوله (بدون داشتن حفاظت کاتدی) وجود خواهد داشت با یکدیگر مقایسه نمود .

اگر در خط لوله جدیدی حفاظت کاتدی نصب شود این مقایسه را نمی توان انجام داد . با این وجود با در دست داشتن هزینه تعمیرات خطوط لوله مجاور که فاقد حفاظت کاتدی می باشند می توان میزان صرفه جویی در اثر اعمال حفاظت کاتدی را بر آورده نمود .

در این مورد می توان مقایسه ای بین خطوط لوله ای که از ابتدا دارای حفاظت کاتدی بوده و خط لوله ای که ضخامت آن جهت مقابله با خوردگی بیشتر از حد استاندارد انتخاب شده باشد انجام داد .

در این مقایسه هزینه حفاظت کاتدی با هزینه اضافی پرداخت شده برای لوله با یک دیگر مقایسه می شوند . در این مورد نیز به هر حال ممکن است به این نتیجه رسید که با انتخاب روش دوم نیز سرانجام روزی فرا خواهد رسید که خط لوله نیاز به حفاظت کاتدی داشته باشد .

ارزش پول سرمایه گذاری شده برای حفاظت کاتدی باید به وسیله مهندس خوردگی و همکاری متخصصان مالی سازمان برآورده گردد .

اگر مقایسه اقتصادی بین روش های مختلف صورت می گیرد هزینه های متحمل شده برای هر یک باید تجزیه و تحلیل گردد . به عنوان مثال برای نصب یک سیستم حفاظت کاتدی به عنوان مثال می توان هزینه های زیر را بررسی کرد .

۱. زمان مورد نیاز مهندسان برای آزمایش های در محل طراحی و آماده کردن مشخصات مورد نیاز.

۲. هزینه های تهیه ، حمل و نگه داری مواد و وسایل مورد نیاز.

۳. هزینه های متحمل شده برای تامین جاده حریم.

۴. هزینه های لازم در مرحله اجرا و نصب .

۵. هزینه های بازرسی در مرحله اجرا .

۶. زمان و هزینه لازم در مرحله تحویل گیری .

هزینه سالانه برای یک سیستم حفاظت کاتدی که در سرویس قرار داشته باشد شامل موارد زیر است :

۱. هزینه انرژی ، اگر روش شدت جریان اعمالی استفاده شده باشد در این مورد باید نرخ برق مشخص شود و

بر اساس آن مخارج انرژی مشخص شود .

۲. هزینه های تعمیرات که شامل زمان و مخارج لازم در بازرسی های دوره ای و تعمیرات مربوطه است .

برای روشن شدن آنچه تا کنون گفته شد مثال هایی تهیه شده است که به شرح زیر با یک دیگر مقایسه می گردد :

خط لوله به طول ۵۰ مایل (هر مهندسان مایل ۱.۶ کیلو متر است) که دارای پوشش آبی می باشد در نظر گرفته شده است.

مطالعات اولیه مهندسان خوردگی گویای این نکته است که این خط به وسیله یک دستگاه حفاظت کاتدی دو آمپر که در مرکز خط قرار دارد و یا به وسیله ۱.۵ آمپر توسط سه گروه آند منیزیم که در مسیر خط قرار گیرند تحت حفاظت قرار خواهد گرفت.

براساس طراحی انجام گرفته ایستگاه در محلی نصب می شود که به وسیله ۳ آند عمومی به فواصل ۲۰۰ فوت (هر فوت ۰.۳ متر است) و در فاصله ۳۰۰ فوت از خط لوله دو آمپر حاصل می شود و ولتاژ اعمال شده ۵ ولت است.

انرژی الکتریکی در این نقطه در دسترس می باشد و بهای آن ۳.۵ سنت برای هر کیلو وات ساعت می باشد (اگر مصرف کمتر از ۲۵۰ کیلو وات ساعت در ماه باشد). بهای ثابت برای مصرف انرژی الکتریکی نیز ۲.۵ دلار می باشد برای نصب سه گروه آند منیزیم مطالعات نشان می دهد که هر گروه قادر به تامین نیم آمپر است. در هر گروه ۵ آند منیزیم ۲۰ پوندی در فواصل ۱۵ فوت از یک دیگر و ۱۵ فوت از لوله قرار دارند. برای این که مشخص شود کدام روش اقتصادی تر است می توان مطابق جدول زیر هزینه را منظم نمود.

جدول ۶-۱- مقایسه اقتصادی روش های مختلف حفاظت کاتدی

توضیحات	شدت	آند های فدا شونده (هزینه به دلار)
هزینه های نصب	جریان	اعمالی
هزینه های آزمایش صحرایی ، طراحی و تهیه مشخصات	۵۸۸	۶۹۳
بهای مواد و لوازم مورد نیاز	۴۴۱	۳۹۳
خریداری و تهیه زمین مورد نیاز	۷۲۵	-
هزینه نصب کردن وسایل	۶۷۴	۷۱۵
هزینه بازرسی	۱۸۰	۲۷۰
هزینه تحویل گیری	۳۹۵	۲۵۰
جمع کل هزینه های نصب	۳۰۰۳	۲۳۲۱
هزینه سالانه براساس نرخ بهره ۱۵ درصد	۴۵۰	۳۴۸
هزینه عملیات		
هزینه انرژی	۳۰	
بازرسی های دوره ای	۲۸۶	۲۸۶
بازرسی کوتاه مدت	۲۸	
هزینه تعمیر برای تعویض قطعات یا ترمیم آن ها	۱۰	۱۰
هزینه سالانه عملیات	۳۵۴	۲۹۶
مقایسه اقتصادی		

۳۴۸	۴۵۰	هزینه سالانه نصب
۲۹۶	۳۵۴	هزینه سالانه عملیات
۶۴۴	۸۰۴	هزینه کل سالانه

همه ی هزینه ها به دلار میباشد و به هزینه های سال های ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۰ میلادی استناد شده است .

با توجه به این جدول مشخص است که هزینه های سالانه گروه های آند منیزیم کمتر از ایستگاه حفاظت کاتدی است . در این مثال خاص به علت شدت جریان مورد نیاز نا چیز روش آند های فدا شونده اقتصادی تر به نظر می آید و اگر شدت مورد نیاز افزایش یابد روش شدت جریان اعمالی اقتصادی تر خواهد بود .

## ۶-۲- مقایسه هزینه های حفاظت کاتدی و تعمیر سوراخ های ایجاد شده

اگر بخشی از خط لوله در خطر خوردگی قرار گیرد در این صورت سوراخ های ایجاد شده به شکل تصاعدی رفتار خواهند کرد و در اثر گذشت زمان روند سوراخ شدن لوله افزایش خواهد یافت . اگر منحنی سوراخ شدن خط لوله در اثر گذشت زمان را رسم کنیم نمودار شکل ۱-۸ به وجود خواهد آمد .

اگر گسترش سوراخ های ایجاد شده به وسیله ی حفاظت کاتدی روش های دیگر متوقف شود در این صورت می توان هزینه ی سالانه ی حفاظت کاتدی را با هزینه ی تعمیرات سوراخ های به وجود آمده مقایسه نمود . در رابطه با هزینه ی صرفه جویی حاصل شده در اثر حفاظت کاتدی اطلاعات لازم از گروه های ساز مان گرد آوری گردد. این اطلاعات شامل موارد زیر است :

۱. هزینه متوسط برای تعمیر یک سوراخ بر روی یک خط لوله که این هزینه شامل دستمزد ها ،

بالا سری مواد ، حمل و نقل و سایر هزینه های مربوط می باشد .

۲. هزینه ی متحمل شده در اثر از دست رفتن مواد داخل لوله .

۳. هزینه های متفرقه از قبیل بیمه ، حوادث و غیره .

حال اگر خط لوله مورد بحث قبلی را دوباره بررسی کنیم هزینه های متحمل شده بر اثر تعمیر یک سوراخ ایجاد شده ۵۵۰ دلار است و هزینه سالانه نصب و نگه داری سیستم کاتدی ۲۸۵۰ دلار می باشد . اگر سیستم حفاظت کاتدی در پایان سال دوازدهم نصب شود در این صورت می توان هزینه های این دو حالت را با یکدیگر مقایسه نمود .

۱. هزینه های سیستم حفاظت کاتدی در ده سال .

۲. هزینه تعمیر سوراخ های ایجاد شده

این محاسبات نشان می دهد که بر اثر حفاظت کاتدی برای این مدت ده هزار دلار صرفه جویی شده اند و اگر مدت بیشتری را بررسی کنیم این صرفه جویی افزایش خواهد یافت زیرا شدت سوراخ شدن لوله در سالهای بعد افزایش می یابد . مثلاً در سال ۲۳ به تنهایی ۲۰ سوراخ جدید می توانست به وجود آید .

### ۳-۶- مقایسه هزینه های کاتدی و ضخامت اضافی برای جبران خوردگی

در بعضی از موارد به جای حفاظت کاتدی می توان ضخامت لوله را در حدود یک شانزدهم اینچ بیشتر کرد. این ضخامت اضافی علاوه بر ضخامت مورد نیاز برای استحکام مکانیکی است.

فرض کنید که یک خط لوله به طول ۵۰ کیلو متر و قطر ۲۴ اینچ در پروژه ای انتخاب شده است. ضخامت لازم برای استحکام مکانیکی یک چهارم اینچ و اگر ضخامت اضافی برای جلوگیری از خوردگی در نظر گرفته شود ضخامت آن ۵/۱۶ اینچ خواهد شد.

این میزان ضخامت در حدود ۵۰ تن فولاد اضافی نیاز خواهد داشت که اگر قیمت هر تن فولاد در ایران ۱۰۰۰۰۰۰ تومان باشد هزینه کل در حدود ۵۰۰۰۰۰۰۰۰ تومان (نیم میلیارد تومان) خواهد بود و اگر نرخ بهره را ۱۴ درصد در نظر بگیریم سرمایه گذاری سالانه آن در حدود ۷۰ میلیون تومان خواهد بود.

با توجه به بررسی های به عمل آمده با هزینه معادل ۳۵ میلیون تومان در سال می توان این خط را تحت حفاظت کاتدی قرار داد. به این ترتیب مشخص می شود که هزینه حفاظت کاتدی نصف استفاده از ضخامت اضافی می باشد و خطر سوراخ شدن با وجود ضخامت اضافی به هر حال وجود خواهد داشت.

در محاسبات اقتصادی اندازه کابل مدار حفاظت کاتدی و فواصل آن ها نیز باید بررسی شود.

اندازه کابل سیستم حفاظت کاتدی به روش اعمالی را می توان بزرگ تر از میزان مورد نیاز (براساس جدول های فصل های قبل) برای شدت جریان خاص انتخاب نمود.

این بزرگی را می توان تا جایی ادامه داد که افزایش قطر کابل باعث صرفه جویی در هزینه اتلاف انرژی الکتریکی به شکل گرما گردد . مصرف برق یک مبدل یک سو کننده برابر است با اتلاف انرژی الکتریکی در مدار مستقیم بر راندمان دستگاه .

بر اساس اطلاعات داده شده در بخش های قبلی در یک زمین یک نواخت دو حالت خاص برای فواصل آند ها به صورت زیر است :

۱. مقاومت یک بستر شامل دو آند مجاور یک دیگر تقریباً برابر مقاومت یک آند است .
۲. مقاومت یک بستر شامل ۲ آند که فاصله بسیار دور از یک دیگر قرار دارند برابر نصف مقاومت یک آند است .

هیچ یک از دو حالت فوق اقتصادی نیست و اقتصادی ترین فاصله با توجه به عواملی نظیر میزان خاک برداری ، کابل مصرف شده ، اتلاف برق و غیره تعیین می شود.

منحنی هزینه های سالانه یک بستر آندی نسبت به فواصل مختلف را می توان به صورت منحنی رسم کرد . در بسیاری از زمین ها انتخاب فاصله ۱۵ تا ۲۵ فوت اقتصادی ترین انتخاب است .

نگه داری صحیح سیستم حفاظت کاتدی یا روش های دیگر جلوگیری از خوردگی تأثیر بسیاری در هزینه های مواجهه شده دارد . این حفاظت باید به طور یک نواخت و دائمی وجود داشته باشد . اگر در اثر استفاده و نگه داری نامناسب از دستگاه های جلوگیری از خوردگی توقف های بیش از حد در سیستم حفاظت به وجود آید در این صورت همه سرمایه گذاری انجام شده در این مورد بی فایده است .



در مرحله نگه داری تعویض های ضروری از قبیل جایگزینی اجزا یک سو کننده کهنه با راندمان پایین با نوع جدید و بهتر و به کار گیری فیلتر جدید یک سو کننده اگر نیز وجود داشته باشند و هزینه سالانه را کاهش دهند باید انجام گیرد .

#### ۴-۶- بخش هایی اصلی که تحت تاثیر خوردگی قرار می گیرد

قبل از ارائه این مبحث باید اشاره شود که تمامی اعداد و ارقام و داده های این بخش مربوط به سال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ میلادی در ایالات متحده می باشد و طبیعی ست که برخی از هزینه ها و نیز ارزش پول کنونی که در این مبحث ارائه می شود متفاوت خواهد بود .

اما آن چه که برای خوانندگان حائز اهمیت می باشد درک میزان هزینه های هنگفتیست که در قبال نبود سیستم های حفاظت کاتدیک از سازه های فولادی متوجه صاحبان صنایع دولت ها و در حقیقت مردم خواهد شد .

هزینه های عمده ای که در مورد خوردگی سیستم خطوط لوله وجود دارد شامل سرمایه گذاری های مربوط به کنترل خوردگی ، هزینه های تعمیر و نگه داری عمومی برای کنترل خوردگی ، هزینه های تعویض - تعمیر و هزینه های مربوط به کارافتادگی ها می باشد .

خوردگی نقش اصلی را در تصمیم گیری های مربوط به سیستم های خطوط لوله هم به طور مستقیم و هم غیر مستقیم بازی می کند .

گر چه برآورد هزینه های مستقیم در مورد تاثیر خوردگی بر روی خطوط لوله به طور دقیق مشکل است اما قابل دست یابی است . از طرف دیگر هزینه های غیر مستقیم در مورد خوردگی خطوط لوله برای فهم خیلی مشکل است و به خصوص آن که تعیین برآورد آن ها خیلی مشکل است .

آن چه در زیر می آید نمونه هایی از هزینه های غیر مستقیم است :

- هزینه های مربوط به آسیب وارده به محیط زیست یا خسارتی که بر اثر رها شدن مواد نفتی به مردم وارد می شود.
- هزینه های مربوط به پرداخت مستقیم به مردم عادی در حال افزایش است . افکار عمومی در مورد احداث خطوط لوله جدید در محدوده خود به شدت عکس العمل نشان می دهند همچنین نگران خطوط لوله قدیمی است به خصوص به علت کمبود اطلاعات در مورد آن ها و از طرفی به دلیل تعداد از کار افتادگی های بزرگ این طرز برخورد همگانی پیدا کردن جاده های کنار گذر خطوط جدید را مشکل نموده و همین ها سبب شده که هزینه ها خیلی بیشتر از گذشته افزایش یابد . به علاوه بر خورد منفی عمومی احتمالاً تصمیم گیری متصدیان خطوط لوله را تحت فشار قرار می دهند . آن چه گفته شد لزوماً به چشم نمی آید اما از نظر هزینه موثر است .
- هزینه های حقوقی مربوط به از کار افتادگی هایی که به طور متناوب پیش می آید به خصوص موقعی که مونجر به جرح یا فوت می گردد. این هزینه ها شامل مقابله با قصور بخشی از متصدیان مقابله با افراد جنایت کاری ست که ممکن است در آن شرکت وجود داشته باشند و موسساتی ست که برای کاهش خسارات مالی و یا جانی جوایزی را مقرر می دارد . هزینه های غیر مستقیم می تواند شامل کاهش تولید و هزینه های عمومی در مورد روند قضایی باشند .
- از دست رفتن درآمد تولید کنندگان در مواقعی که بر اثر پارگی قسمت هایی از خطوط لوله قادر به انتقال محصولا نشان نیستند .
- از دست رفتن درآمد و یا افزایش هزینه های مربوط به مصرف کنندگان نهایی در اثر قطع خدمات و یا هزینه های اضافی که باید برای جایگزینی منابع سوختی پردازند .

## ۶-۵- سرمایه گذاری

کل سرمایه گذاری جاری واحد های گازی برای همه خطوط لوله گاز طبیعی در سال ۱۹۹۸ ۶۳.۱ میلیارد دلار بود . منظور از واحد های گازی ، دستگاهها و تجهیزاتی است که به طور فیزیکی برای انتقال گاز طبیعی به کار برده می شود نظیر کمپرسور ها ، ایستگاه های اندازه گیری و خطوط لوله .

درآمد کلی از این سرمایه گذاری معادل ۱۳.۶ میلیون دلار بوده است برای شرکت های خطوط لوله نفت سرمایه گذاری انجام شده ۳.۰۲ و درآمد کلی شرکت های خطوط لوله نفت ۶.۹ میلیارد دلار بوده است . بنابراین کل سرمایه گذاری در صنایع خطوط لوله ۹۳.۳ میلیارد دلار در سال ۱۹۹۸ بوده است .

پیش بینی می شود که با توجه به رشد فروش گاز طبیعی در سال ۲۰۱۰ نیاز به ۳۲/۲ تا ۳۴/۴ میلیارد دلار سرمایه گذاری جدید و بیشتر در بخش خطوط لوله جدید و ذخیره سازی استراتژیک باشد. این میزان سرمایه گذاری علاوه بر سرمایه گذاری های جاری و سالیانه ایی است که در صنعت خطوط لوله انجام می شود .

قسمت اعظم این رشد مربوط به تولید این برق و در بخش صنایع است. این رشد در سرمایه گذاری الزامی است زیرا که آیین نامه های حفاظت محیط زیست بر کاهش آلودگی های جوی تاکید می نماید . کاهش آلودگی ها را می توان در مرتبه ی اول با به کار بردن گاز طبیعی که به طور محسوسی سوختی تمیز برای نیروگاه ها و واحد های صنعتی در مقایسه با سوخت های جاری است به انجام رسانید

علاوه بر سرمایه گذاری ۹۳/۳ میلیارد دلار در شرکت های خطوط لوله ی گاز و مایعات خطر ناک در سال ۱۹۹۸ شرکت های خطوط لوله انتقال ۶/۴ میلیارد دلار در جهت بهبود روش ها در سال ۱۹۹۸ سرمایه گذاری نموده اند که حدود ۷۵ درصد آن مربوط به سیستم خطوط لوله است به رقم ۳/۳ میلیارد دلاری که به منظور افزایش سرمایه

گذاری برای افزایش فروش گاز طبیعی پیش بینی شده بود را نیز اضافه کنید در آن صورت نیاز به ۸/۱ میلیارد دلار افزایش سرمایه گذاری خواهد بود .

## ۶-۶- هزینه های خوردگی در ساخت خطوط لوله

هزینه ی ساخت لوله ی جدید در سال برای پروژه های خطوط لوله گاز آمریکای شمالی در سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ ، ۷۴۶۰۰۰ دلار در هر کیلومتر بوده است .

در سال ۱۹۹۸ تقریباً ۲۵۷۶ کیلومتر خطوط لوله در ایالات متحده ساخته شده است . این هزینه ها را می توان به بخش های زیر بخش بندی نمود :

مصالص ، نیروی کار ، متفرقه (نقشه برداری ، مهندسی ، نظارت ارتباطات ، تجهیزات مخابراتی ، بالتفاوت هایی که در بین راه باید پرداخت شود ، هزینه های بالا سری و هزینه های پر کردن منظم خط ROW است .

جدول زیر هزینه های هر بخش را برای ساخت خطوط لوله ی گاز طبیعی در پروژه های خشکی در سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ نشان می دهد .

جدول ۶-۲- خلاصه ای از هزینه های ساخت پروژه های خطوط لوله در خشکی در سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ (خطوط لوله گاز طبیعی)

هزینه در هر مایل			
ساخت ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ ضریب در ۱۰۰۰ دلار	ساخت ۱۹۹۹ ضریب در ۱۰۰۰ دلار	ساخت ۱۹۹۸ ضریب در ۱۰۰۰ دلار	
۳۸۲	۲۷۶	۴۸۸	مواد
۴۸۴	۴۶۸	۵۰۰	اجرت کارگر
۲۵۱	۲۸۳	۲۱۹	متفرقه
۵۶	۷۶	۳۵	جاده کنار گذر و خسارت
۱۱۷۳ دلار	۱۱۰۳ دلار	۱۲۴۲ دلار	جمع

برآورده هزینه های مواد اولیه ی ساخت و نیز هزینه های کارگر برای پروژه های خشکی بر مبنای کل پروژه است .

## ۶-۲- هزینه پوشش و حفاظت کاتدی خطوط لوله

هزینه ی خوردگی بر حسب هزینه ی مواد به طور مثال پوشش خط لوله ، حفاظت کاتدی و... به طور یک جا

۲۳۷۴۰۰ دلار در هر کیلومتر است . برآورد می شود که هزینه ی پوشش ۸ تا ۱۰ درصد هزینه ی لوله و یا ۱۷۰۰۰ تا

۲۴۰۰۰ دلار در هر کیلومتر است .

هزینه ی متوسط سیستم حفاظت کاتدی برای ساختار های جدید تقریباً ۱۲۰۰۰ دلار برای ۲۴ کیلومتر از خط لوله است و یا ۵۰۰ دلار در هر کیلو متر هزینه ی پوشش که در بالا گفته شد شامل هزینه ی مصالح و هزینه های نیروی کار برای اعمال نصب است.

## ۶-۸- هزینه مربوط به خوردگی مجاز

گرچه فاکتور ایمنی در محاسبات طراحی در نظر گرفته می شود اما سهم خوردگی مجاز به عنوان جزئی مشخص در محاسبات طراحی در نظر گرفته نمی شود. البته در مناطقی که در معرض ریسک بالایی می باشند اغلب ضخامت لوله بیش از آن چیزی که به طور معمول در مورد فاکتور ایمنی در نظر گرفته شده است افزایش می یابد.

گرچه خوردگی به نوعی در محاسبات فاکتور ایمنی برای ضخامت دیوار خط لوله منظور می گردد اما جدا از آن لازم است سهم جداگانه ای از آن در نظر گرفته شود.

بنابراین در این مقاله بر آورده می شود که هزینه ی سهم خوردگی در ضخامت دیواره ی لوله بین ۵ تا ۱۰ درصد هزینه مواد اولیه یا ۱۲۰۰۰، تا ۲۴۰۰۰ دلار در هر کیلو متر باشد.

## ۶-۹- هزینه مربوط به طراحی ها\_ مشخصات فنی

برآورد می شود که مشخصات فنی پوشش و حفاظت کاتدی، طراحی و خرید های مربوط به آن بین ۲ تا ۵ درصد از هزینه های متفرقه یا ۳۰۰۰ تا ۷۷۶۰ دلار در هر کیلو متر را به خود اختصاص دهد

## ۶-۱۰- هزینه کلی خوردگی برای ساخت خطوط لوله

هزینه ی کلی خوردگی برای ساخت خط لوله ی جدید را می توان بین ۳۲۵۰۰ تا ۵۵۵۰۰ دلار در هر کیلو متر از خط لوله یا ۴/۴ تا ۷/۶ درصد کل هزینه ی ساخت خط لوله برآورد نمود که به بخش های زیر تقسیم می گردد:

➤ ۱۷۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ در هر کیلو متر برای پوشش خطوط لوله - ۵۰۰ دلار در هر کیلو متر برای

سیستم حفاظت کاتدی

➤ ۱۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ دلار در هر کیلو متر برای خوردگی مجاز - ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ دلار در هر

کیلومتر برای طراحی و مشخصات فنی

## ۶-۱۱- هزینه تعویض خطوط لوله زیر بنایی

هزینه ساخت خط لوله جدید ۶۹۴.۱۰۰ دلار در هر کیلومتر است. با در نظر گرفتن ۷۷۸.۹۰۰ کیلومتر خطوط لوله انتقال مورد نیاز هزینه تعویض خطوط لوله انتقال زیر بنایی ۵۴۱ میلیارد دلار می شود. این رقم را با جمع کلی ارزش دارایی های عملیات خطوط لوله که ۹۳.۱ میلیارد دلار است. این رقم را با جمع کلی ارزش دارایی های عملیات خطوط لوله که ۹۳.۱ میلیارد دلار است مقایسه کنید.

## ۱۲-۶- سهم هزینه های مربوط به خوردگی در سرمایه گذاری ها

### ۱-۱۲-۶- هزینه سالانه تعویض خطوط لوله در سرمایه گذاری ها

فرض بر این است که ۲۵٪ از ۸.۱ میلیارد دلار سرمایه گذاری جدید سالانه برای تعویض خطوط لوله قدیمی باشد.

علاوه بر آن فرض بر آن است که همه تعویض ها در ارتباط با خوردگی باشد.

بنابراین سرمایه گذاری سالیانه مربوط به خوردگی برای تعویض خطوط لوله زیر بنایی ۲.۰۲ میلیارد دلار است.

### ۲-۱۲-۶- هزینه سالیانه خطوط لوله غیر قابل تعویض در سرمایه گذاری های جدید

سهم هزینه خطوط لوله غیر قابل تعویض در سرمایه گذاری های جدید، ۶.۰۸ میلیارد دلار است. فرض کنید که

درصد متوسط هزینه های ساخت که به خوردگی نسبت داده می شوند بتواند در سرمایه گذاری های اصلی منظور

گردد هزینه ی مربوط به خوردگی در این سرمایه گذاری بین ۲۶۸ تا ۴۶۲ میلیون دلار می شود.

## ۱۳-۶- استهلاك سرمایه های موجود

فرض کنید که هزینه ی خوردگی برای کل دارایی های سیستم خطوط مشابه همان هزینه های خوردگی

برای ساخت باشد که در آن صورت بین ۴/۱ تا ۷/۱ میلیارد دلار هزینه ی خوردگی مربوط به سرمایه

گذاری های موجود می شود. در صورت استهلاك این سرمایه ها با نرخ ۵ درصد، هزینه خوردگی سالیانه

معادل ۲۰۵ تا ۳۵۵ میلیون دلار برای سرمایه گذاری های موجود می شود.



## ۶-۱۴- کل سرمایه گذاری ها

برآورد می شود که کل هزینه خوردگی برای انواع سرمایه گذاری ها بین ۲۵۰ تا ۲۸۴ میلیارد دلار باشد

(۲۰۲ میلیارد دلار سرمایه گذاری گذاری برای تعویض ، ۰.۲۷ تا ۰.۴۶ میلیارد دلار برای سرمایه گذاری

های جدید و ۰.۲۱ تا ۰.۳۶ میلیارد دلار برای استهلاک سرمایه های موجود).

جدول ۶-۳- آنچه در بازسازی لوله باید مورد توجه قرار گیرد

مشخصات لوله	مواد غیر متعارف	مشخصات لوله مدفن	عملیات	نیروی کار	مواد	تجهیزات
اندازه	موقعیت	عمق	قابلیت قطع و وصل کنندگی	پیمانکار در مقایسه با نیروی کار داخلی	لوله	وسیله خاک برداری
ظرفیت	اندازه	محل	توانایی عملکرد در فشار های پایین تر	پیشنهاد دادن در مقابل زمان و مواد	پوشش	وسیله ای که مربوط به خاکبرداری نیست
درجه	تعداد	شرایط خاک	حفاظت کاتدی	سطح مهارت کارکنان	غلاف ها	موارد خاص
ضخامت دیواره	پروفیل	شرایط تخلیه	موارد مربوط به جوشکاری	محدودیت های شغلی	اتصالات	حمل و نقل
فشار عملیاتی	تجمع	فصل	آیین نامه ها	دسترسی	حفاظت کاتدی	
دسترسی	کاهش ضخامت	دیگر تجهیزات و وسایل	استانداردهای شرکت	محل	موارد مربوطه به تعمیرات	

	خاص					
	به حالت اول برگردانیدن	نیاز های اتحادیه		مواد زیست محیطی	علت	مشخصات کارخانه
	دسترسی	بهره دهی		مواد قانونی		

## ۶-۱۵- هزینه از کار افتادگی ناشی از خوردگی

در این بررسی مهم مطالع حوادثی است که بر اثر خوردگی اتفاق افتاده است. در اهداف این گزارش بین خوردگی خارجی و داخلی تفاوت هایی در نظر گرفته شده است. به علاوه و به احتمال زیاد سهم خوردگی در بعضی از حوادث به عنوان "علل دیگر" آمده است. در واقع مروری بر شرح گزارش ها نشان می دهد که فقط درصد کمی از حوادث خوردگی تحت عنوان "علل دیگر" آمده است. در این مرور فقط آن دسته حوادثی آمده که بر اثر خوردگی های زیر است:

جدول ۶-۴ خلاصه ای از حوادث عمده گزارش شده به بخش حمل و نقل ایالات متحده "doc" به وسیله متصدیان خطوط لوله در فاصله زمانی بین ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ را آورده است.

داده ها حاکی از آن است که برای سیستم خطوط لوله انتقال (هم مایعات خطرناک و هم گاز طبیعی) تقریباً ۲۵ درصد حوادث گزارش شده بر اثر خوردگی بوده است از حوادث مربوط به خطوط لوله مایعات خطرناک که به علت خوردگی حادث شده است، ۶۵ درصد به علت خوردگی خارجی و ۳۴ درصد بر اثر خوردگی داخلی بوده است.

در مورد حوادث مربوط به خطوط لوله انتقال گاز طبیعی برعکس ۳۶ درصد بر اثر خوردگی خارجی و ۶۳ درصد بر اثر خوردگی داخلی بوده است. در مورد حوادث مربوط به خطوط لوله توزیع گاز طبیعی فقط ۴ درصد همه حوادث به علت خوردگی و قسمت اعظم آن ها به علت خوردگی خارجی بوده است.

در خلاصه گزارش مربوط به حوادث سال های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۴، علت ۲۸.۵ درصد حوادث خطوط لوله ارسال گاز طبیعی و خطوط لوله جمع آوری، خوردگی به حساب آمده است.

در خلاصه گزارش حوادث بین سال های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ علت ۲۵.۱ درصد حوادث خط لوله در خطوط لوله مایعات خطرناک خوردگی به حساب آمده است.

این مقادیر با آن چه در جدول قبلی برای سال های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ آمده است به خوبی مطابقت می نمایند. به خاطر داشته باشید، حوادث گزارش شده در جدول قبلی آن دسته از حوادث عمده ای بوده است که دارای تلفات جانی و یا خسارات مالی بیش از ۵۰۰۰۰ دلار بوده است علاوه بر حوادث قابل گزارش به طور متوسط ۸۰۰۰ ناشی از خوردگی در سال در روی خطوط لوله انتقال گاز طبیعی تعمیر می گردند و ۱۶۰۰ مورد هدر رفتگی ناشی از خوردگی بر روی خطوط لوله فراورده نفتی در سال تعمیر و پاک سازی می گردند.

جدول ۶-۴- خلاصه ای از حوادث مربوط به خوردگی که بر روی خطوط لوله مایعات خطرناک، ارسال گاز طبیعی و توزیع گاز طبیعی از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ گزارش شده است.

انتقال مایعات خطرناک	انتقال گاز طبیعی	توزیع گاز طبیعی	
۲۷۱	۱۱۴	۲۶	حوادث کلی ناشی از حوادث خوردگی (۱۹۹۹- (۱۹۹۴
۱.۱۱۶	۴۴۸	۷۰۸	حوادث کلی (۱۹۹۹- (۱۹۹۴
%۲۴.۳	%۲۵.۴	%۳.۷	درصد کلی حوادث ناشی

			از خوردگی
درصد حوادث خوردگی ناشی از خوردگی خارجی	۶۴.۹ درصد	۳۶ درصد	۸۴.۶ درصد
درصد حوادث خوردگی ناشی از خوردگی داخلی	۳۳.۶ درصد	۶۳.۲ درصد	۳۸ درصد
درصد حوادث خوردگی ناشی از آنچه مشخص نشده است.	۱.۵ درصد	۰.۹ درصد	۱۱.۵ درصد

## ۶-۱۶- خسارات مالی

جدول بعدی خسارت مالی حاصل از حوادث گزارش شده سه خط لوله طبقه بندی شده خلاصه نموده است .

خسارت مالی گزارش شده شامل همه هزینه های مستقیم حوادث می گردد. برای خطوط لوله مایعات خطرناک و

خطوط لوله ارسال گاز طبیعی در صد کل خسارات ناشی خوردگی به ترتیب ۱۹٪ و ۱۵٪ بوده است .

با ادغام دو جدول قبلی میانگین خسارت مالی ناشی از خوردگی برای خطوط لوله مایعات خطرناک ۱۹۲۳۰۰ دلار

در هر حادثه و برای خطوط لوله ارسال گاز طبیعی ۱۶۹۵۰۰ دلار در هر حادثه است.

جدول ۵-۶- خلاصه ای از خسارت مالی حوادث مربوط به خوردگی که بر روی خطوط لوله مایعات خطرناک، ارسال گاز طبیعی و

توزیع گاز طبیعی از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ گزارش شده است.

انتقال مایعات خطرناک	انتقال گاز طبیعی	توزیع گاز طبیعی	
خسارت وارده به دارایی های ناشی از حوادث خوردگی (۱۹۹۴-۱۹۹۹) ضربدر هزار دلار	۵۲،۱۱۵ دلار	۳۲۶،۱۹ دلار	۹۲۳،۴ دلار
خسارت وارده به دارایی های ناشی از همه حوادث (۱۹۹۴-۱۹۹۹) ضربدر هزار دلار	۲۷۰،۲۷۹ دلار	۷۲۷،۱۲۷ دلار	۹۲۵،۱۳۷ دلار
در صد خسارت کلی به دارایی ها بر اثر حوادث خوردگی	۱۸.۷ درصد	۱۵.۱ درصد	۳.۶ درصد
در صد خسارت کلی به دارایی ها بر اثر حوادث خوردگی ناشی از خوردگی های خارجی	۵۶ درصد	۴۲.۲ درصد	۸۴.۸ درصد

در صد خسارت کلی به دارایی ها بر اثر حوادث خوردگی ناشی از خوردگی های داخلی	۴۰.۱ درصد	۵۷.۸ درصد	۱.۴ درصد
در صد خسارت کلی به دارایی ها بر اثر حوادث خوردگی به علت آنچه که مشخص نشده	۳.۹ درصد	۰.۰ درصد	۱۳.۸ درصد

# فصل هفتم

پیوست و ضمائم

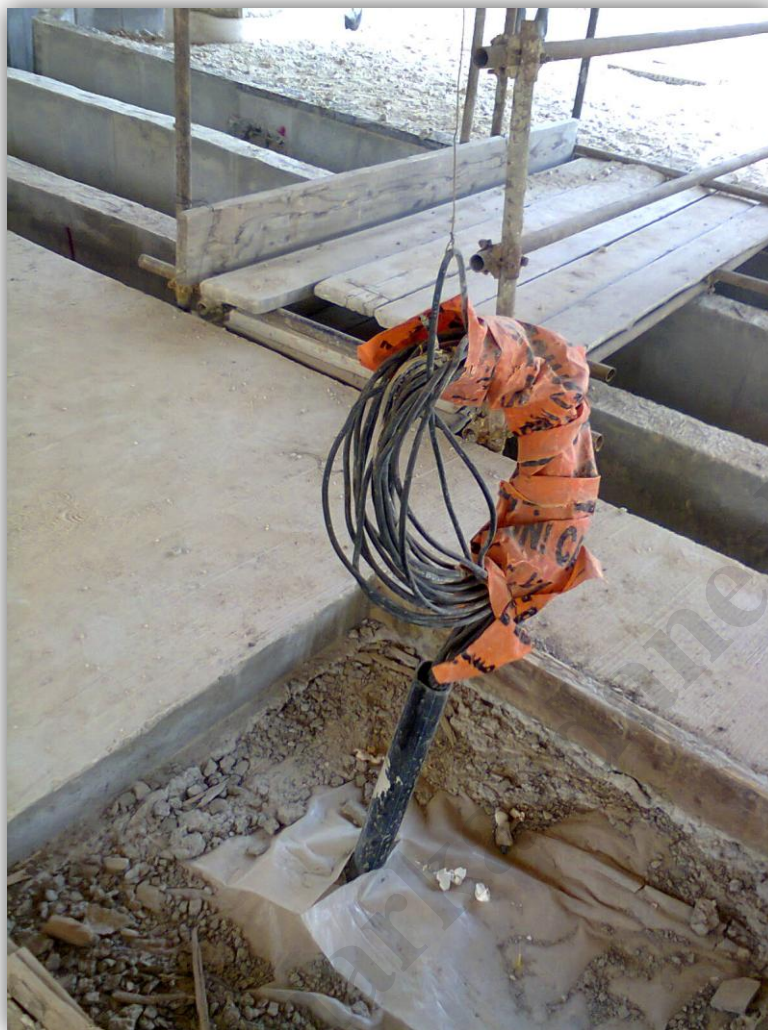
عکس های زیر از فاز ۱۷ و ۱۸ **پارس جنوبی** قبل از راه اندازی واحد و اعمال فرآیندهای لازم جهت کنترل خوردگی می باشد که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۱/۰۶ گرفته شده است.

جا دارد در همین جا از تلاش های **مهندس ارسلان سعیدی راد** که در تهیه این عکس ها و هماهنگی های لازم با اینجانب همکاری فراوان نمودند، تشکر و قدردانی کنم.



شکل ۷-۱- آندهای کابلی جهت کنترل خوردگی که در زیر زمین واحدهای پتروشیمی کار گذاشته می شود. به اصطلاح به آنها آند Tublar می گویند که به صورت دائمی است و تا شعاع ۱۵ متری کل زمین پالایشگاه را خنثی می کند.





شکل ۷-۲- سرکابل آینده‌ای کابلی که به کانتینتور وصل می شود



شکل ۳-۷



شکل ۴-۷





شکل ۷-۵- شبکه بندی جهت کنترل خوردگی و حفاظت از کلیه ادوات ورق های آندى تیتانیوم با جریان برق وصل می شود وبعد به کانتکتور وصل می نماییم.



شکل ۷-۶





شکل ۷-۷- فاصله ی هر شبکه به عرض ۱ متر و طول ۲ متر است.



شکل ۷-۸- آند تیتانیوم





شکل ۷-۹-آند تیتانیوم



شکل ۷-۱۰-محل وصل کابل برق و آند تیتانیوم که در سر محل جوش آزمایش ولتاژ انجام می دهند.



شکل ۷-۱۱



شکل ۷-۱۲- آند فداشونده که در عمق نیم متری زمین قرار می دهند و موقت هستند. در آنها منیزیم است و دور آنها آهک برای فعال سازی منیزیم قرار دارد و فاصله ی هر آند تا آند بعدی ۱ متر ونیم می باشد.





شکل ۷-۱۳- آند فداشونده



شکل ۷-۱۴- داخل این لوله پلیکا آند تیوب لار قرار می دهند اطراف آن را با سنگ پر می کنند تا گازی که اطراف آند است به بالا بیاید.



## منابع و مأخذ

- ۱- حفاظت کاتدیک. جان مرگان، ترجمه مهندس حسین جمالی پاییز ۱۳۸۴.
- ۲- حفاظت کاتدیک. محمدرضا بیات ۱۳۸۴.
- ۳- راهنمای حفاظت کاتدیک خطوط لوله و سازه های فولادی. ۱۳۸۴. نشریه شماره ۳۱۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- ۴- مدیریت اقتصاد خوردگی در خطوط لوله نفت و گاز. مترجم محمدحسین کارگر ۱۳۸۴.
- ۵- حفاظت کاتدیک لوله های فولادی تألیف مهندس سید علی هاشمی مجد ۱۳۸۲ انتشارات سخن گستر خراسان.
- ۶- کنترل خوردگی خط لوله A.W. PEABODY ترجمه محمود مهدی گلکار ۱۳۸۱.
- ۷- خوردگی خطوط لوله و حفاظت کاتدیک. مارشال ای پارک. ترجمه ی سید کاظم حسینی ۱۳۸۱.
- ۸- مدیریت خوردگی. رضا جواهردشتی ۱۳۸۱.
- ۹- مبانی فن آوری در خوردگی. EINAR MATTSSON. ترجمه ی مهندس حسین جمالی ۱۳۸۰.
- ۱۰- مهار خوردگی. داوود خاوریان ۱۳۸۰.
- ۱۱- مهندسی خوردگی و حفاظت از فلزات. دکتر منصور فرزام ۱۳۷۸. انتشارات یادواره ی کتاب.
- ۱۲- مهندسی خوردگی - مارس. ج. فونتا ترجمه دکتر احمد ساعتچی ۱۳۷۸.
- ۱۳- خوردگی. بیژن شیخ زاده ی دوانی ۱۳۷۱.
- ۱۴- مرجع کامل شناسایی و مقابله با پدیده ی خوردگی در خطوط لوله فولادی انتقال و شبکه های توزیع نفت و گاز و پتروشیمی. بهزاد آهنگری. انتشارات ناقوس اندیشه ۱۳۸۶.
- ۱۵- مقالات ارائه شده در کنگره های ملی خوردگی و اولین کنگره ی بین المللی خوردگی ایران ۱۳۸۶.
- ۱۶- استاندارد های شرکت ملی نفت و گاز جمهوری اسلامی ایران.