سومین همایش ملی تحقیقات نوین در شیمی و مهندسی شیمی

3rd National Conference on Modern Researches in Chemistry and Chemical Engineering

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

۲۴ آذر ماه ۹۰

ارائه راهکاری مبتنی بر حفاظت کاتدی بوسیله جریان اعمالی در جهت کاهش خوردگی میکروبی در خطوط انتقال نفت ،گاز و فرآورده های پتروشیمی

سیدمرتضی حسنی [۱]* ، احمد رحیمی [۲]، امین لطفی نژاد[۳]

(۱) دانشگاه آزاد اسلامی،واحد ماهشهر

Mortezahassani28@yahoo.com

(۲و۳) دانشگاه آزاد اسلامی،واحد ماهشهر،باشگاه پژوهشگران جوان ،ماهشهر،ایران

Rahimi.ahmad89 @yahoo.com

خلاصه: خوردگی یکی از مشکلات عمده در صنایع نفت و گاز به شمار می آید که سالانه مبالغ هنگفتی، به خود اختصاص می دهد. وقفه در تولید، زیان هنگفتی چه از نظر تولید هیدروکربن و چه از نظر هزینه تعمیرات در پی خواهد داشت. بطور کلی خوردگی در تجهیزات در چاه های نفت و گاز ، بسیار شبیه به خوردگی خطوط انتقال می باشد با این تفاوت که به دلیل وجود دما و فشار بیشتر، خوردگی ها کمی شدیدتر می باشند. در چاه ها با سه فاز آب / گاز / نفت مواجه هستیم . چاه های گاز حاوی هیدروکربنهای گازی و آب و نفت می باشند. چاه های نفت نیز حاوی هیدروکربنهای مایع و آب و مقداری گاز (متان و اتان) می باشند. لازم به ذکر است که همواره عناصر مضری نظیر CO_2, H_2S_3و نمک ، در چاه ها موجود می باشند که معمولا مقداری از آنها در آب چاه حل می شوند. استفاده از مواد مقاوم در مقابل خوردگی ، روکش های محافظ بر روی سطوح فلز، آسترهای روئین ، تمیز کردن سطوح ، استفاده از روش های بازرسی غیر مخرب تاثیر بسیاری بر میزان خوردگی PH و استفاده از میکروب کش ها ، از روش های معمول مقابله با خوردگی هستند.

یکی از موثرترین روشها در مقابله با خوردگی (به خصوص خطوط انتقال) حفاظت کاتدی بوسیله جریان اعمالی است که در حقیقت ساخت و کنترل یک سلول خوردگی بزرگ است . در این سلول پایانه منفی جریان مستقیم به خط لوله و پایانه مثبت به یک رسانای مصرف شدنی دفن شده وصل می شود و این رسانا آند نامیده می شود. جریان مستقیم از طریق یک یکسو کننده به لوله وارد می گردد و در حقیقت یک مدار الکتریکی بوسیله عبور جریان توسط خاک از آند به خط لوله به وجود می آید. این مطالعه در ابتدا به آنالیز خوردگی میکروبی پرداخته سپس بررسی هایی را در جهت چگونگی استفاده از حفاظت کاتدی در کاهش خوردگی ها می پردازد.

کلمات کلیدی: خطوط انتقال،کنترل خوردگی،جریان اعمالی

۱ – مقدمه:

بطور کلی ، فلزات سه دسته‌اند. یک دسته ، آنهایی که مثلا طلاو پلاتین ، در مجاورت هوا اکسید نمی‌شوند و نیازی به محافظت ندارند.دسته دوم ، آنهایی که وقتی در مجاورت هوا قرار می‌گیرند، اتمهای سطحشان اکسید می‌شوند، ولی اکسید آنها مقاوم است و چسبیده به فلز باقی می‌ماند و خود لایه محافظی برای فلز می‌شود. این گونه فلزات هم نیازی به محافظت ندارند. مثل Zn ، Al ، CO ، Ni ، Sn ، Cr و نظیر آنها.دسته سوم فلزاتی که

وقتی سطح آنها درمجاورت هوا اکسید می‌گردد، اکسید آنها متخلخل است و به فلز نمی‌چسبد و از بدنه فلز کنده می‌شود که فلز به تدریج فاسد شده ، از بین می‌رود؛ مثل آهن. اینگونه فلزات را به روشهای متفاوت از زنگ زدن محافظت می‌نمایند،روشهایی مثل رنگ زدن ، زدن ضد زنگ ، چرب کردن سطح فلز بوسیله یک ماده روغنی مانند گریس ، لعاب دادن ، آب فلز کاری و حفاظت کاتدی. در کنار فلز فاسد شدنی ، یک فلز با پتانسیل احیاء کمتر قرار می‌دهند تا اگر این دو فلز باهم یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل دادند، فلز دارای E احیای بیشتر، در نقش کاتد پیل قرار گیرد و خورده نشود. در این پیل ، فلز دارای E کمتر خورده می‌شود و فلز مقابلش را ازخطر زنگ زدن می‌رهاند. این طریقه حفاظت را حفاظت کاتدی می‌نامند.امروزه،بدنه کشتیها ، پایه‌های اسکله‌ها و لوله‌های انتقال نفت و گاز را که در زیر زمین کار می‌گذارند، با همین روش حفاظت می‌نمایند. مثلا در کنار آهن ، فلز منیزیم قرار می‌دهند که منیزیم ، الکترون می‌دهد و خورده می‌شود. نتایج تجربی نشان می دهد سیستم حفاظت کاتدی به تنهایی قادر به حفاظت خوردگی خطوط لوله نیست و در موارد متعدد دچار نشت شده است. این درحالی است که جداره خط انتقال در پتانسیل حفاظت کاتدی قرار دارد.یکی از روش های توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در خطوط لوله به کارگیری بستر آندی است. به گونه ای که موجب توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی شود که شامل، به کارگیری آندهای کم عمق در اطراف لوله، آندهای افقی و سیمی در زیر خط انتقال است.در روش اول به علت تخلیه جریان حفاظت کاتدی در لایه سطحی زمین، باعث افزایش ضریب حفاظتی (*Over protection*) در خطوط لوله مدفون در خاک و مجاور مخازن می شود، بنابراین از این روش نمی توان در پالایشگاه ها استفاده کرد. در روش دوم آندهای سیمی به صورت مارپیچ در فونداسیون زیرین خط لوله (برای خطوط لوله ای که نیاز به زیر ساخت بتنی دارند) قرار می گیرد و این روش برای خطوط و مخازن موجود قابل استفاده نیست

۲ -خوردگی میکروبی

میکروارگانیزم های موجود در کانال ، آب (آب دریا، آب خنک کننده و ...) و یا خاک ، نه تنها باعث بروز خوردگی در خطوط لوله خواهند شد، بلکه پتانسیل حفاظت (در حفاظت کاتدی) را نیز تغییر می دهند. باکتری ها ، انواع مختلفی داشته که جهت سهولت کار ، آنها را به دو گروه SRB 1, SRB 2 تقسیم میکنند. انواع SRB، بی هوازی بوده و با مصرف کردن سولفات، تولید سولفید(سولفید هیدروژن، H_2S) کرده و باعث افزایش خوردگی و تغییر پتانسیل حفاظت (ودر نتیجه ، پیچیده شدن و مشکلتر شدن اعمال حفاظت کاتدی) می شوند.

باکتریهای SOB، هوازی بوده و با مصرف سولفیدها ، تولید سولفات (مثل اسید سولفوریک) می کنند. این نوع باکتری قادر است که درصد اسید سولفوریک را در سطح فولاد، تا میزان 10% نیز افزایش دهد. بدیهی است که تحت چنین شرایطی ، خوردگیهای شدیدی در خطوط لوله ، رخ خواهد داد. خوردگیهای میکروبی ، بطور معمول بصورت خوردگی موضعی (حفره) بروز می کنند. یکی از راههای عملی جهت تشخیص وقوع خوردگی میکروبی ، چکاندن یکی دو قطره اسید کلریدریک بر روی منطقه خورده شده (محصولات خوردگی) می باشد. چرا که اگر خوردگی میکروبی رخ داده باشد، بوی گند (تخم مرغ گندیده) ناشی از آزاد شده H_2S به مشام می رسد. راههای دیگر تشخیص خوردگی میکروبی ، آزمایشگاهی می باشند و لازم است که نمونه مورد نظر را پس از خارج سازی از محیط ، سریعا به آزمایشگاه منتقل کرد (کمتر از بیست و چهار ساعت) تا میکروارگانیزمها زنده مانده و بتوان آزمایشات لازمه را روی آنها انجام داد.

شکل (۱)- تصویری از یک نوع باکتری سیسیلی (بی ساقه) در خوردگی میکروبی

ر طبق آمارها ترکیبات گوگردی ناشی از فعالیت این باکتری ها ، باعث اتلاف هزاران ماهی در سواحل انگلستان در سال ۱۹۹۴ میلادی شده است. این ترکیبات همچنین می تواند باعث سوختگی شیمیایی برنج زارها و حتی مسمومیت کارگران ، به خصوص در نقاطی مانند تاسیسات فاضلاب گردد.

اصولا در هر سیستمی که با آب سروکار دارد احتمال زیادی برای وقوع خوردگی میکروبی وجود دارد. این نوع خوردگی در همه جا یافت می شود از قبیل :

خاک : در هر ۱۲۰۰ m^2 خاک ممکن است تا ۵ تن باکتری وجود داشته باشد که این شامل باکتری های مضر نیز می شود. بنابراین تاسیساتی مانند لوله های انتقال آب ، سوخت و گاز که روی خاک یا درون آن قرار دارند در معرض خطر بالقوه خوردگی میکروبی هستند.

آب : رسوبات موجود در آب رودخانه ها و دریاها محیط های مناسب برای رشد و تکثیر میکروارگانیزم ها هستند این میکروارگانیزم ها می توانند در سازه های دریایی از قبیل پایه های دکل های حفاری ، بدنه کشتی ها و قسمت های فلزی و یا غیر فلزی که در تماس با آب هستند ایجاد مسکلات اساسی نمایند. بر طبق بررسی های جدید، حتی پلیمرها مثلا پلی اورتان ها نیز از اثرات تجمع میکروبی در امان نیستند. تیرهای چوبی بعنوان کامپوزیت های طبیعی نیز در نتیجه فرسایش جلبک ها و قارچ های پوساننده چوب می توانند دچار انواع پوسیدگی ها شوند.

۳- حفاظت کاتدی خطوط لوله

اصول خوردگی براساس خواص فعل و انفعالات الکتروشیمیایی است که در آند تولید الکترون و در کاتد مصرف الکترون صورت می پذیرد . واکنش های الکترو شیمیایی انحلال فلز و آزاد شدن گاز هیدروژن ، بر طبق معادلات زیر است :

$$M \rightarrow Mn+ + ne$$
$$2H + +2e \rightarrow H_2$$

در پروسه خوردگی لوله مدفون درخاک ، نقاط آندی و کاتدی در هر حال موجود هستند و با انتقال جریان الکتریسیته از نواحی آندی از فلز به محیط اطراف خوردگی رخ می دهد و در نقاط کاتدی که جریان از محل اطراف به فلز می رسد خوردگی صورت نمی گیرد . به همین دلیل فلز را می توان به طور جزئی بوسیله استفاده از پوشش ها حفاظت نمود. اگر پوشش ها دائمی بودند و هنگام نصب و یا کار آسیب نمی دیدند لوله های فلزی هرگز خورده نمی شدند . پیدایش عیوب در لایه های محافظ یا وجود سوراخ ها، حتی اگر اتفاقی باشد ما را ملزم می کند که حفاظت نوع دومی را هم برای فلزات مدفون در خاک بکار بریم . روش عمومی استفاده از حفاظت کاتدی است.

در این روش با وارد شدن یک پتانسیل کاتدی ، قطعه مهندسی به یک کاتد (قطب منفی) تبدیل می گردد؛ در حقیقت جریان از طرف محیط به تمام سطح لوله می رسد پس در حقیقت دیگر خوردگی نخواهیم داشت و لوله محافظت می گردد.

حفاظت کاتدی را میتوان به تنهایی هم بکار برد ولی به مقدار جریان زیادی نیاز است. بنابراین بهترین روش آن است که از یک لایه محافظ مناسب استفاده کرد و بعدا بوسیله حفاظت کاتدی آنرا تقویت نمود.

حفاظت کاتدی به دو شیوه اعمال می گردد:

۱- جریان اعمالی *Impressed current*

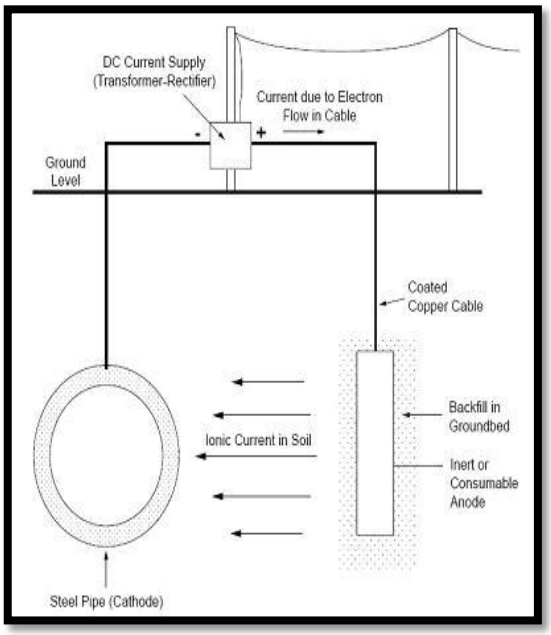
۲- آند فدا شونده *sacrificial anode*

دراین مطالعه به بررسی روش حفاظت کاتدی در خطوط انتقال نفت و گاز به روش جریان اعمالی پرداخته شده است.

۴- حفاظت کاتدی بوسیله جریان اعمالی:

حفاظت از این طریق در حقیقت ساخت و کنترل یک سلول خوردگی بزرگ است . در این سلول پایانه منفی جریان مستقیم به خط لوله و پایانه مثبت به یک رسانای مصرف شدنی دفن شده وصل می شود و این رسانا آند نامیده می شود. جریان مستقیم معمولا از طریق یک یکسو کننده به لوله وارد می گردد و در حقیقت یک مدار الکتریکی بوسیله عبور جریان توسط خاک از آند به خط لوله به وجود می آید. (شکل ۱)در حقیقت سرمایه گذاری برای تاسیسات حفاظت کاتدی ، بخش کوچکی از هزینه کل تجهیزات است برخلاف حفاظت بوسیله پوشش ها ، تداوم هزینه ها برای تجهزات و کنترل وجود دارد ؛ در حقیقت این بحث شامل اندازه گیری و برآورد تجهیزات ، طراحی و نصب آنها ، اندازه گیری و تفسیر نتایج بدست آمده و سپس تعمیر و نگه داری است.

شکل ۱ - نمایی شماتیک از سیستم حفاظت کاتدی



۴-۱- فاکتو رهای مورد نظر جهت طراحی سیستم حفاظت کاتدی:

عواملی که باید مد نظر قرار گیرند عبارت اند از:

۱- اندازه پتانسیل : که با توجه و با استفاده از دیاگرام ایوانز آن چنان اختیار می شود که فلزات متفاوت در ناحیه کاتدی حفاظت می گردند. (شکل ۲)

۲- جریان مدار: شدت جریان (آمپر) مورد نیاز جهت رسیدن به پتانسیل حفاظت کننده می بایستی محاسبه شود.

۳- فاصله بسترهای آندی : هر قدر که فاصله آندها 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.

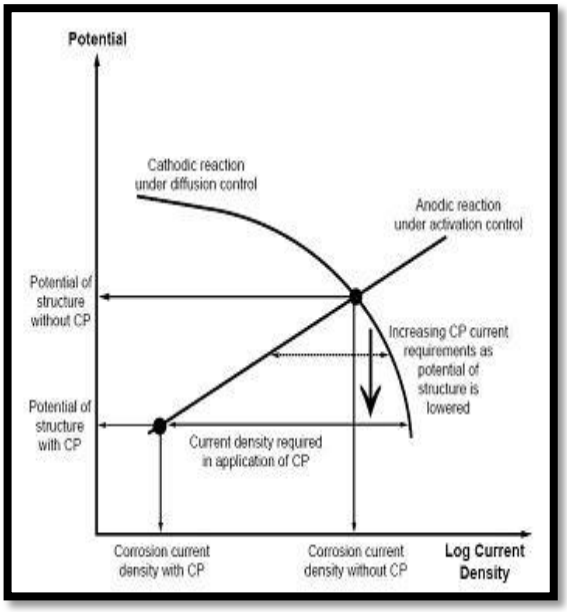
۴-احتمال بکار گرفته شدن پوشش های حفاظتی و تاثیر آنها بر طراحی سیستم حفاظت کاتدی

۵- اندازه های قطعه مهندسی ، طول قطر، طول یا عرض جهت محاسبه سطح و در نتیجه اندازه مقاومت الکتریکی آن

۶- نوع و جنس خاک ، به لحاظ خواص شیمیایی و تعیین مقاومت آن اهمیت خاص دارند.

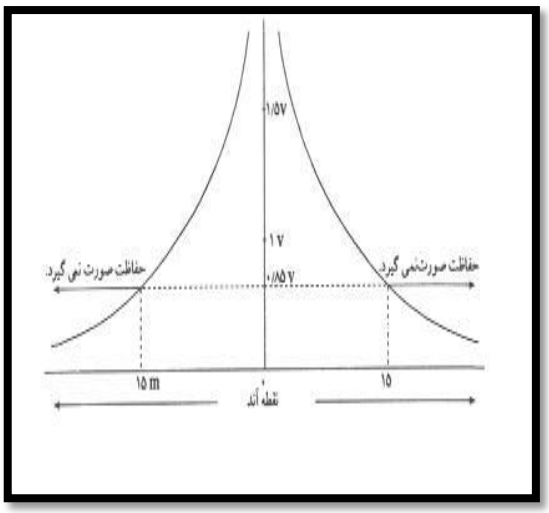
۷- احتمال وجود جریان های ناخواسته (سرگردان) جریان های القائی که بنا بر عبور برق فشار قوی از نزدیکی قطعه مهندسی و یا وجود ترانس ها و دیگر دستگاه ها ایجاد می گردد.

شکل ۲- دیاگرام ایوانز

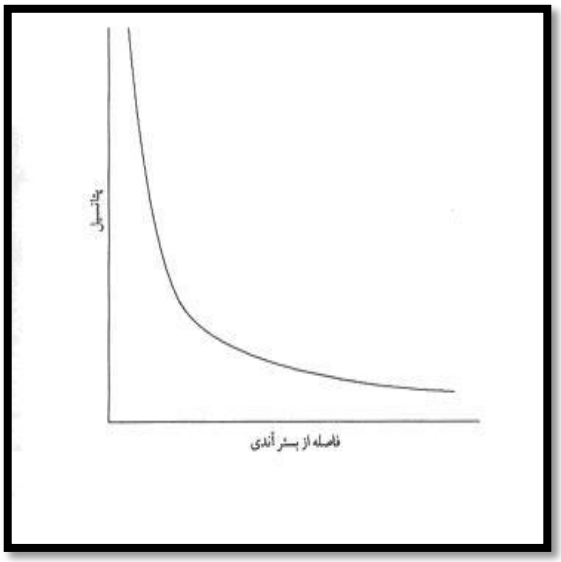


۴-۲- رابطه مقاومت ، جریان و پتانسیل با یکدیگر:

با فرض اینکه قطعه مهندسی ، خاک و یا سیال هر یک دارای مقاومت الکتریکی خاص خود هستند ، هر گاه جریان حفاظتی با استفاده از یک منبع تغذیه و یا آند فدا شونده برقرار گردد ، در نزدیکی آند مقاومت کمتری بوجود آمده ، شدت جریان بیشترین خواهد بود . لذا هر قدر که از منبع آندی دورتر شویم مقاومت الکتریکی افزایش یافته جریان کمتر خواهد شد ، در نتیجه حفاظت کامل نخواهد بود این پدیده را اصطلاحا (افت ولتاژ) می نامند ، اگر ولتاژ به اندازه ای افت نماید که از ناحیه حفاظت کاتدی (ایوانز) خارج شود دیگر حفاظتی صورت نمی گیرد . همین پدیده را می توان با استفاده از یک مدار مقاومتی نشان داد که جریان در مقاومت های نزدیک به بستر آندی بیشترین خواهد بود (شکل ۳) . شدت جریانی که از واحد سطح زمین و در نزدیکی بستر آندی خارج می شود ؛ به مراتب از شدت جریان عبوری در فواصل دورتر از آند بیشتر است. در نتیجه به ازای بعد مسافت، جریان کاهش خواهد یافت ، این پدیده باعث افت پتانسیل می شود (با فرض مقاومت ثابت) . شکل۴



شکل ۳ - افت ولتاژ و عدم حفاظت کاتدی بعد از ۱۵ متر فاصله از آند (لوله بدون پوشش)



شکل ۴- رابطه افت پتانسیل نسبت به فاصله از بستر آندی

مقدار افت پتانسیل نسبت به فاصله قابل اندازه گیری است

$$V_x = \frac{0.038 I \rho}{y} \log \frac{y + x^2 + y^2}{x}$$

پتانیسل v = (v)

جریان(A) = I

مقاومت خاک ($\Omega.Cm$) = ρ

طول آند (ft) = y

فاصله از آند (ft) = X

هر گاه $X>10Y$ گردد فرمول فوق به ذیل تبدیل می شود:

$$V_x = \frac{0.0052 IP}{x}$$

در سیستم حفاظت کاتدی به روش آند فدا شونده این افت پتانسیل نیز می بایستی در نظر گرفته شود هر چند که آند معمولا از قدرت کمتری برخوردار است.

مقدار جریان لازم از فرمول $V = IR$ محاسبه می شود .

مقدار جریان مورد نیاز برای حفاظت واحد سطح از یک لوله فولادی بدون پوشش متغیر است . که وابسته به نوع خاکی که در آن لوله قرار گرفته است و همچنین تجربه می توان یک مقدار متوسط و معین را بکار برد. مقادیر جدول ۱ نشان می دهد که پوشش ها ، حتی پوشش های ضعیف ، تفاوت چشمگیری در میزان جریان ایجاد می کنند.

جدول ۱- جریان مورد نیاز برای محافظت لوله پوشش شده

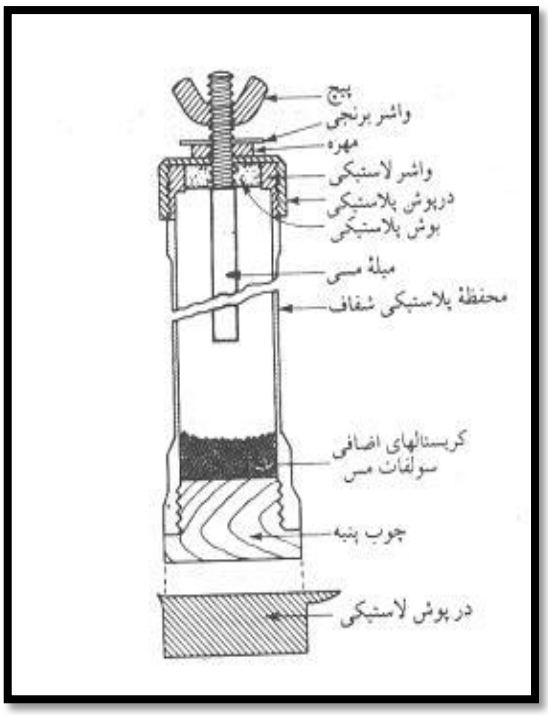
جریان لازم برحسب A	مقاومت پوشش به ازای یک ft^2 برحسب Ω
۵۰۰	لوله بدون پوشش
۱۴.۹۱	۱۰۰۰۰
۵.۹۶۴	۲۵۰۰۰
۲.۹۸۲	۵۰۰۰۰
۱.۴۹۱	۱۰۰۰۰۰
۰.۲۹۸۲	۵۰۰۰۰۰
۰.۱۴۹۱	۱۰۰۰۰۰۰
۰.۰۲۹۸	۵۰۰۰۰۰۰
۰.۰۰۰۰۵۸	پوشش ایده آل

۴-۳- اندازه گیری پتانسیل و شدت جریان:

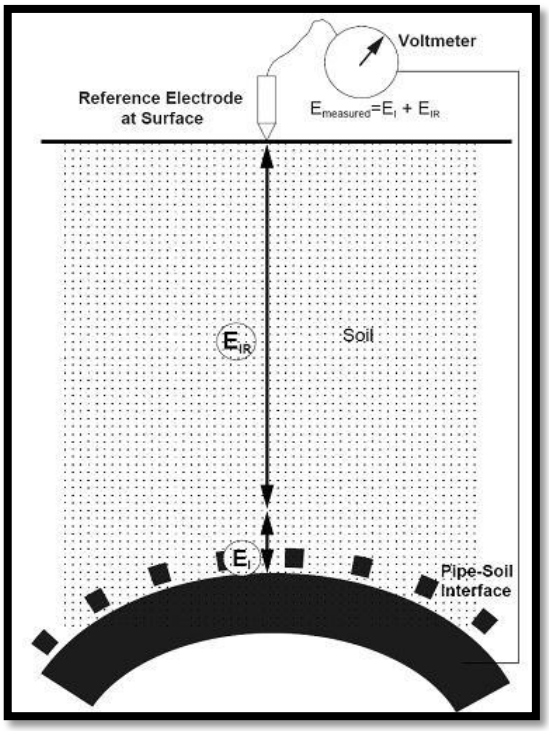
صحت حفاظت کاتدی و مقدار پتانسیل قطعه مهندسی با استفاده از ولت متر نسبت به الکترود مرجع ($Cu/Cu\ SO4$) سنجیده می شود. شکل (۵ ،۶).

برای این کار ابتدا بر روی زمین مقداری آب ریخته تا سطح زمین کاملا خیس شود، سپس نیم سلول $Cu/Cu\ SO4$ را بر روی آن قرار می دهیم. یک سر ولت متر را به نیم سلول و سر دیگر آنرا به خط لوله وصل می کنیم .

پتانسیل اندازه گرفته شده باید بیشتر از ۸۵۰mv- باشد ؛ چون نقاطی که پتانسیل کمتر ۸۵۰ mv- دارند دیگر حفاظت نمی شوند .



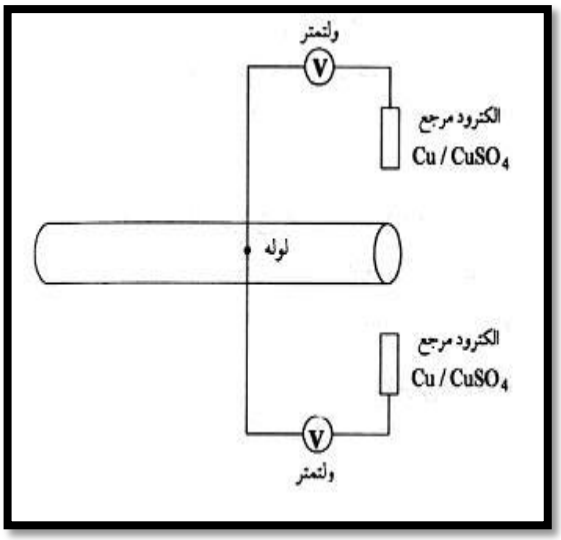
شکل ۵ - الکترود مرجع (*Cu/Cu SO4*)



شکل۶ - اندازه گیری پتانسیل خط لوله

جهت حفاظت از خوردگی لوله های فولادی نو مدفون شده درخاک بوسیله اندازه گیری به شیوه فوق بعضی اعمال جریان مستقیم تا رسیدن به پتانسیل مورد نظر جهت حفاظت یعنی بالاتر از mv ۸۵۰- صورت می پذیرد . که جریان مورد نیاز در این خصوص فقط حدود A/ft^2 ۱۰۰ است .

در بسیاری از موارد مدار الکتریکی محافظت کننده به شکل یک مدار باز با صرف جریان بیش از حد معمول عمل می نمایند (*Current Drainage*) این بنابر دلایل عدیده ای همانند ایجاد لایه های اکسیدی ناخواسته ، اتصال پیش بینی نشده ، القای جریان های سرگردان و غیره صورت می گیرد . جهت کشف این موضوع که آیا حفاظت به روش کاتدی موثر افتاده است و یا خیر طبق شکل ۷ از دو الکترود مرجع *Cu/Cu SO4* به همراه دو ولت متر استفاده می شود که در یک نقطه به لوله متصل می گردند . اگر اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده توسط دو دستگاه ولت متر بیشتر از ۵ باشد . حفاظت به طورکامل انجام نمی پذیرداما برعکس اگر کمتر باشد حفاظت از خوردگی کامل خواهد بود.



شکل ۷ - شیوه اندازه گیری برای حصول اطمینان از حفاظت کامل کاتدی

جریان خروجی از آند را می توان بوسیله معادله دوایت بدست آورد.

$$i = \frac{2\Pi EL}{\rho \ln(8l / D^{-1})}$$

I= جریان خروجی *(A)*

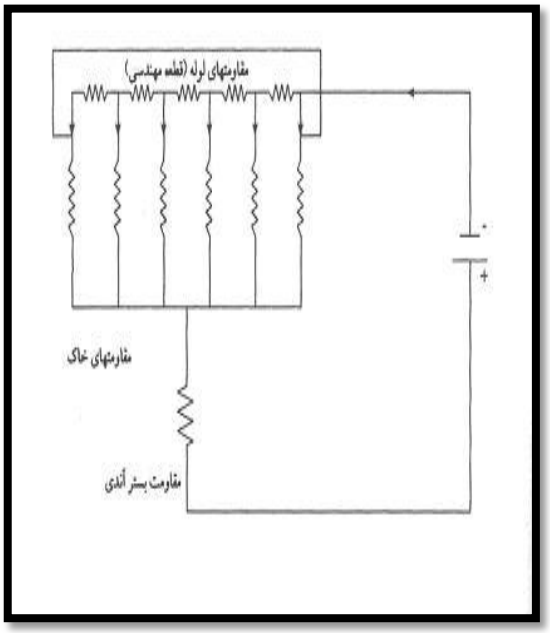
E = ولتاژ آند (V)

L = طول آند *(cm)*

ρ = مقاومت خاک

D= قطر آند

شکل ۸ - افزایش شدت جریان در نزدیک ترین نقاط به آند



۵. نتیجه گیری:

– خوردگیهای میکروبی ، بطور معمول بصورت خوردگی موضعی (حفره) بروز می کنند. یکی از راههای عملی جهت تشخیص وقوع خوردگی میکروبی ، چکاندن یکی دو قطره اسید کلریدریک بر روی منطقه خورده شده (محصولات خوردگی) می باشد. چرا که اگر خوردگی میکروبی رخ داده باشد، بوی گند (تخم مرغ گندیده) ناشی از آزاد شده H_2S به مشام می رسد.

– جهت حفاظت از خوردگی لوله های فولادی نو مدفون شده درخاک بوسیله اندازه گیری به شیوه جریان اعمالی بعضی اعمال جریان مستقیم تا رسیدن به پتانسیل مورد نظر جهت حفاظت یعنی بالاتر از mv ۸۵۰- صورت می پذیرد . که جریان مورد نیاز در این خصوص فقط حدود A/ft^2 ۱۰۰ است .

- مقدار جریان مورد نیاز برای حفاظت واحد سطح از یک لوله فولادی بدون پوشش متغیر است . که وابسته به نوع خاکی که در آن لوله قرار گرفته است و همچنین تجربه می توان یک مقدار متوسط و معین را بکار برد.

– شدت جریانی که از واحد سطح زمین و در نزدیکی بستر آندی خارج می شود ؛ به مراتب از شدت جریان عبوری در فواصل دورتر از آند بیشتر است. در نتیجه به ازای بعد مسافت، جریان کاهش خواهد یافت.

– در بسیاری از موارد مدار الکتریکی محافظت کننده به شکل یک مدار باز با صرف جریان بیش از حد معمول عمل می نمایند این بنابر دلایل عدیده ای همانند ایجاد لایه های اکسیدی ناخواسته ، اتصال پیش بینی نشده ، القای جریان های سرگردان و غیره صورت می گیرد.

–عمده راههای تشخیص خوردگی میکروبی ، آزمایشگاهی می باشند و لازم است که نمونه مورد نظر را پس از خارج سازی از محیط ، سریعا به آزمایشگاه منتقل کرد (کمتر از بیست و چهار ساعت) تا میکروارگانیزمها زنده مانده و بتوان آزمایشات لازمه را روی آنها انجام داد

منابع:

۱-تیوباسیلوس فروکسیدانس عامل بالقوه خوردگی در صنایع، مجموعه مقالات کنگره ملی خوردگی، اصفهان ، ایران. ۱۳۸۲

۲-نقش باکتریهای هوازی در خوردگی آهن ، مجموعه مقالات کنگره ملی خوردگی ، اصفهان ، ایران ۱۳۸۲

3- Armbruster, H. etal (969), Appl. Microbiol. 17: 320-321
4- Bergey's manual of systematic bacteriology , 1989, vol: 3, P: 1811, Williams & Wilkins, USA.
5- Bergey's manual of systematic bacteriology , 1989, vol: 3, P: 1820, Williams & Wilkins, USA.
6- Emde, etal (1992), water Res. vol: 26: 169-175.
7- Kearns J.R. & Little B.J. 1994 Microbiologycally Influenced Corrosion Testing. ASTM Publication, USA.
8- Korbin G. 1993. A Practical Manual on Microbiologically Influenced Corosion NACE International. USA.
9- Mercer , A.D. etal. 1983 , Microbial Corrosion Proceedings. The Metals Society, London. U.K.
10- Corrosion Controk in Petroleum Production; NACE, Texas, 1979.
11-Corrosion Control & Monitoring in Gas Pipelines & Well Systems; NACE, Texas, 1990.
12-NACE, Standard test method, TMO, 194-94, item No. 21224- (1994). USA.
13- Mercer , A.D. etal. 1983 , Microbial Corrosion Proceedings. The Metals Society, London. U.K.