

حفاظت کاتدی و روش های محافظت از خوردگی فولاد خطوط لوله

علی اکبر ابراهیمی^۱، فرزاد سلیمانی^۲

^۱ دانشجوی مقطع کارشناسی رشته مهندسی مواد و متالورژی صنعتی دانشگاه پیام نور، مرکز تهران شمال

^۲ دکتری مهندسی مواد و متالورژی از دانشگاه صنعتی اصفهان و عضو هیئت علمی تمام وقت دانشگاه پیام نور استان تهران

چکیده

هر ساله میلیون ها لیتر محصولات نفت و گاز توسط خطوط لوله جابجا می شوند. در این راستا کشور ایران دارای بزرگترین شبکه انتقال به وسیله خطوط لوله در خاورمیانه است. در اکثر مواقع برای حفاظت از خوردگی در سطوح خارجی لوله های مدفون در خاک هم زمان از دو روش اعمال حفاظت کاتدی و پوشش عایق استفاده می گردد، جهت انتخاب سیستم حفاظت کاتدی مناسب برای یک سازه و خطوط لوله انتقال، واقع در یک محیط دریایی، کارفرمایان و مهندسان مشاور باید تفاوت بین انواع مختلف آندها و زمان و مکان استفاده از آن ها را بشناسند. در نظر گرفتن عوامل گوناگون از قبیل روش های نصب، راندمان، نیازمندی های طرح، مسائل زیست محیطی، تغییرات ناشی از جزر و مد، نظارت، نگهداری و زیبایی ظاهری، اهمیت دارند. در این مقاله مروری به بررسی روش های حفاظت کاتدی و مزایای آن پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: اهمیت، حفاظت کاتدی، خوردگی، گالوانیک، موانع

مقدمه

هر ساله میلیون ها لیتر محصولات نفت و گاز توسط خطوط لوله جابجا می‌شوند. در این راستا کشور ایران دارای بزرگترین شبکه انتقال به وسیله خطوط لوله در خاورمیانه است. در اکثر مواقع برای حفاظت از خوردگی در سطوح خارجی لوله‌های مدفون در خاک هم زمان از دو روش اعمال حفاظت کاتدی و پوشش عایق استفاده می‌گردد، هر چند که یک پوشش مناسب اگر به صورت صحیح و بی نقص بر روی لوله اعمال گردد به تنهایی می‌تواند از خوردگی لوله در خاک جلوگیری به عمل آورد. محققین بسیاری به بررسی خوردگی در خطوط لوله مدفون در خاک پرداخته اند (صادقی، ۱۳۹۴) نتایج نشان داده است که انواع خوردگی از جمله خوردگی شیاری (Song and Sridhar, 2008)، خوردگی میکروبی (Pikas, 1996) و خوردگی توام با تنش (Manfredi and Otegui, 2005) در این شرایط رخ خواهد داد. پوشش های گوناگونی بر روی فولادهای خط لوله در طی سالیان گذشته اعمال شده اند. برخی از این پوشش ها به گونه ای هستند که مشکلات کمتری از بعد خوردگی در هنگام کاربرد آن‌ها دیده شده است. دلیل این امر این است که یا جریان حفاظت کاتدی را از خود عبور می دهند، و یا این که از سطح فولاد به طور کلی کندی می‌شوند، لذا سطح فولاد در معرض حفاظت کاتدی به طور مستقیم قرار می‌گیرد.

حفاظت کاتدی

مقابله با خوردگی خط لوله با سه روش اصلی انتخاب جنس لوله (Grade)، انتخاب پوشش لوله مناسب (Pipe Coating) و حفاظت کاتدی^۱ (CP) انجام می‌شود. حفاظت کاتدی خط لوله به معنای ایجاد یک پیل الکتریکی بزرگ با الکترودهای لوله آهنی (کاتد) و فلزی مانند منیزیم (آند) است که با عبور دادن جریان الکتریسیته ضعیف از آن‌ها، یک مدار بسته تشکیل شود. چنانچه پوشش خط لوله آسیب ببیند، حفاظت کاتدی وارد عمل می‌شود، آند خورده می‌شود و فولاد به عنوان کاتد محافظت می‌شود. حفاظت کاتدی تکنیکی است که برای کنترل خوردگی سطح فلز با تبدیل آن به کاتد یک سلول الکتروشیمیایی استفاده می‌شود یک روش ساده حفاظت، فلز مورد محافظت را به یک فلز قربانی که به راحتی خورده می‌شود متصل می‌کند تا به عنوان آند عمل کند. سپس فلز قربانی به جای فلز محافظت شده خورده می‌شود. برای سازه هایی مانند خطوط لوله طولانی، که در آن حفاظت کاتدی گالوانیکی غیرفعال کافی نیست، از یک منبع برق DC خارجی برای تأمین جریان کافی استفاده می‌شود.

سیستم‌های حفاظت کاتدی از طیف وسیعی از سازه های فلزی در محیط های مختلف محافظت می‌کنند. کاربردهای رایج عبارت از خطوط لوله فولادی آب یا سوخت و مخازن ذخیره سازی فولادی مانند شمع اسکله فولادی، بدنه کشتی و قایق؛ سکوهای نفتی فرا ساحلی و روکش چاه های نفت خشکی؛ پایه های مزرعه بادی دریایی و میله های تقویت کننده فلزی در ساختمان ها و سازه های بتنی است. یکی دیگر از کاربردهای رایج در فولاد گالوانیزه است که در آن روکش قربانی بر روی قطعات فولادی آن‌ها را از زنگ زدگی محافظت می‌کند. حفاظت کاتدی می‌تواند در برخی موارد از ترک خوردگی ناشی از تنش جلوگیری کند.

خوردگی از مهمترین مشکلاتی است که صنایع بزرگ با آن روبه رو هستند که مقابله با آن هزینه زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. سیستم حفاظت کاتدی جهت جلوگیری از خوردگی و یا محدود نمودن آن به عنوان راه حل اساسی در اکثر سازه های زیرزمینی به کار می‌رود. امروز بخش مهمی از تاسیسات صنایع را خطوط لوله زیرزمینی تشکیل داده، که حفظ و نگهداری

^۱. Cathodic protection

آنها از اهمیت خاصی برخوردار است و روش حفاظت کاتدیک از جمله روش هایی است که برای جلوگیری از خوردگی اعمال می شود. خوردگی مخازن و تجهیزات و به ویژه خطوط لوله های انتقال گاز و نفت مدفون که تحت سامانه حفاظت کاتدی هستند همواره یکی از دغدغه های سازمان های مربوطه (نفت و گاز) می باشد. این خوردگی ها معمولاً زیر عایق های متصل به خطوط لوله که تحت سامانه حفاظت کاتدی هستند صورت می گیرد و دقیقاً از جایی شروع می شود که پوشش و عایق از خطوط بنا به هر دلیلی جدا شده، به این عمل جدا شدگی (Disbond) می گویند.

خطوط لوله انتقال نفت و گاز و مخازن نگهداری معمولاً از جنس فولادهای کم کربن بوده و تنوع زیادی در استحکام و ریز ساختار دارند. این فولادها معمولاً از استاندارد API (American Petroleum Institute) پیروی می کنند. تخریب یک خط لوله بسیار فاجعه انگیز بوده و ممکن است ضررهای اقتصادی و محیط زیستی فراوانی داشته باشد. عبور گاز همراه با رطوبت از درون لوله و شرایط خاص آن که مربوط به نوع منبع گاز است میتواند سبب بروز خوردگی های مختلف در درون لوله شود. سطح بیرونی نیز مستعد به تخریب پوشش می باشد. همچنین سطح بیرونی این لوله ها در مجاورت خاک، رطوبت و سایر عوامل محیطی خورنده قرار دارد که همین امر میتواند سبب بروز خوردگی در سطح بیرونی لوله و تخریب آن شود. خوردگی به دو دسته ی خوردگی یکنواخت و خوردگی موضعی تقسیم بندی می شود. خوردگی های موضعی شامل خوردگی گالوانیک (بیشتر در مقاطع جوش)، شیاری، حفرهای، بین دانه ای و تنش می باشند. در مقطع جوش به دلیل وجود تنش های باقیمانده و تغییرات ریز ساختاری نرخ خوردگی بیشتر از بدنه است. همچنین در صورت غیر یکسان بودن فولادها، منطقه ی جوش مستعد به خوردگی گالوانیک می گردد. لذا میبایست در بررسی خوردگی فولادهای خط لوله به منطقی جوش این فولادها اهمیت ویژه داده شود. در خطوط انتقال نفت و گاز از پوشش های پلی اتیلنی، قیر زغال سنگی و پوشش های پایه نفتی اصلاح شده (بیتوسیول) استفاده می شود. این پوشش ها به دلیل عواملی همچون پتانسیل های اضافی حفاظت کاتدی، تنش های وارده از طرف خاک و همچنین وجود ناصافی های سطحی لوله (خط جوش) مستعد به جدایش از سطح فولاد هستند. جدایش پوشش از سطح خارجی فولاد نفوذ رطوبت و عوامل خورنده به زیر پوشش و خوردگی فولاد خط لوله را سبب میشود. در این میان به دلیل این که در مقطع جوش پوشش بیشتر مستعد به جدایش است و همچنین نرخ خوردگی بالاتر است.

در حفاظت کاتدی، پیل الکتریکی بزرگی به اندازه کل خط لوله باید ایزوله شود تا جریان داخلی آن به بیرون نشت نکند، این وظیفه را پوشش های خارجی و داخلی لوله به عهده دارند. بنابراین پوشش لوله علاوه بر محافظت در برابر خوردگی، باید از نشت جریان الکتریکی نیز محافظت کند و عایق قوی الکتریسیته باشد. به مرور زمان به دلیل کاهش مقاومت الکتریکی پوشش ها، جریان موردنیاز سیستم حفاظت کاتدی نیز افزایش می یابد همچنین آسیب های احتمالی پوشش در نقاط مختلف خط لوله بویژه محل اتصالات از عوامل دیگر است. حفاظت کاتدی یک روش مکمل است و به تنهایی نمی تواند آهن را در برابر تاثیرات اکسیژن و ناخالصی آب مصون نگه دارد.

حفاظت کاتدی یکی از موثرترین روش ها برای جلوگیری از خوردگی سطح فلزات است. حفاظت کاتدی معمولاً برای محافظت از سازه های فلزی گوناگون مدفون، زیر آب یا شناور مانند کشتی ها، تاسیسات دریایی، تجهیزات زیر دریا، بنادر، خطوط لوله و مخازن مورد استفاده قرار می گیرد. صدمات فیزیکی و اقتصادی زیادی که ناشی از خوردگی فلزاتی مانند خطوط لوله مدفون در خاک است، سبب شده است علاوه بر اجرای انواع پوشش های ضد خوردگی مانند پوشش FBE دو لایه، پوشش پلی اتیلن سه لایه، پوشش پلی یورتان و اپوکسی لوله، از حفاظت کاتدی نیز به عنوان یک روش مکمل یا سپر دوم حفاظتی استفاده شود.

حفاظت کاتدی خطوط لوله فولادی عبارت از عبور دادن یک جریان الکتریکی از خط لوله و نصب فلزات خورنده به عنوان آند در فواصل معین. وظیفه آند فدا شونده، خوردگی به جای گوشته فلز لوله است. در این جا اهمیت عایق بودن پوشش لوله در برابر جریان الکتریسیته مشخص می شود چرا که هر چقدر پوشش لوله عایق قوی تری در مقابل جریان برق باشد، هدر رفت انرژی الکتریسیته مورد استفاده در حفاظت کاتدی کمتر بوده و اصطلاحاً پوشش سازگاری بهتری با حفاظت کاتدی دارد به این ترتیب جریان الکتریسیته فقط در نقاط مشخص شده به عنوان آند خارج می شود و فلز محافظت می شود. این روش از سال ۱۹۱۰ در خطوط لوله و تاسیسات زیر زمینی مورد استفاده قرار می گیرد و امروزه برای حفاظت کاتدی لوله گاز، حفاظت کاتدی لوله های آب و حفاظت کاتدی لوله نفت بسیار فراگیر است. در حالی که طراحی سیستم های حفاظت کاتدی می تواند پیچیده باشد، عملکرد آن ها بر اساس مفهوم خوردگی دو فلزی یا گالوانیکی است به طوری که عمداً فلزات با هم جفت می شوند تا اطمینان حاصل شود که یکی از دیگری به صورت کاتدی محافظت می کند. به عبارت دیگر، اگر بخواهیم از یک ساختار فلزی خاص محافظت کنیم، می توانیم شرایطی ایجاد کنیم که این فلز به کاتد یک سلول الکتروشیمیایی تبدیل شود. با اتصال الکتریکی فلزی که قرار است محافظت شود به یک فلز آندی (الکترون منفی) تر، می توان اطمینان حاصل کرد که آند با خوردگی بسیار بالاتر نسبت به همتای کاتدی، خود را قربانی می کند. در خطوط لوله از منابع قدرت خارجی برای تامین الکترون های اضافی در فرآیند الکتروشیمیایی استفاده می شود تا اثربخشی حفاظت کاتدی افزایش یابد. صنعت نفت و گاز از سیستم های حفاظت کاتدی برای جلوگیری از خوردگی در خطوط لوله سوخت، مخازن ذخیره سازی فولاد، سکوها دریایی و پوشش چاه های نفت استفاده می کند. در صنایع دریایی نیز از این روش حفاظتی بر روی شمع های فولادی، اسکله ها و بدنه کشتی ها استفاده می شود. نوع رایج دیگری از حفاظت کاتدی که به نام گالوانیزه شناخته می شود، معمولاً برای محافظت از اجزا و سازه های فولادی استفاده می شود.

حفاظت کاتدی لوله های گاز

میزان میل فلزات به اکسیداسیون (خوردگی) با پتانسیل کاهش استاندارد یا E° مشخص می شود. هرچه این عدد در یک فلز کمتر باشد سریع تر خورده می شود. بنابراین در مباحث حفاظت کاتدی همیشه به دنبال فلزاتی با E° کمتر از آهن هستند تا از آن ها به عنوان فلز فدا شونده استفاده کنیم و از خوردگی سازه های فولادی مانند لوله های گاز و نفت محافظت شود. فلز لیتیوم با E° حدود ۳- ولت در صدر لیست تمایل به خوردگی قرار دارد اما مشخص است که فراوانی و قیمت فلز فدا شونده هم مهم است. از آن جا که به صورت دوره ای باید آند جایگزین شود بنابراین به دنبال گزینه های اقتصادی تری می باشیم. پتانسیل کاهش استاندارد چند فلز مهم را در زیر مشاهده می شود:

جدول ۱

استاندارد	پتانسیل کاهش
-0.44V	آهن (Fe)
-: 0.76V	روی (Zn)
-: 1.68V	آلومینیوم (AL)
-: 2.37V	منیزیم (Mg)

طبق این لیست، فلزاتی مانند روی، آلومینیوم و منیزیم پتانسیل کاهش‌ی استاندارد کمتری نسبت به آهن دارند و در مجاورت فولاد سریع تر خورده می شوند. امروزه آندها را از این فلزات و با اشکال مختلفی مانند شمش، استوانه و غلافی (به صورت تسمه های نیم دایره بر روی لوله نصب می شوند) تولید می کنند و برای حفاظت کاتدی لوله های گاز یا نفت و آب بکار می برند.

حفاظت کاتدی غیر فعال

در سیستم های حفاظت کاتدی غیرفعال، آند قربانی به فلز مورد محافظت متصل می شود. اختلاف پتانسیل بین دو فلز غیر مشابه، الکتریسیته کافی برای تشکیل سلول الکتروشیمیایی و ایجاد خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی تولید می کند. این نوع حفاظت معمولاً در صنعت نفت و گاز برای محافظت از اعضای فولادی سازه دکل ها و سکوها دریا استفاده می شود. در این جا، میله های آلومینیومی (یا فلز مناسب دیگری) مستقیماً بر روی مقاطع فولادی نصب می شوند تا نقش فلز قربانی را بر عهده بگیرند. آبگرمکن های فولادی، مخازن و شمع ها نیز با استفاده از روشی مشابه به صورت کاتدی محافظت می شوند. نمونه رایج دیگر حفاظت کاتدی غیر فعال، فولاد گالوانیزه گرم است. در طی این فرآیند، قطعات سازه های فولادی در حمام فلز روی مذاب غوطه ور می شوند که جسم را می پوشاند. هنگامی که فولاد از روی مذاب جدا می شود، با هوا و رطوبت واکنش می دهد و یک لایه محافظ به نام کربنات روی تشکیل می دهد که یک سلول گالوانیکی با فولاد ایجاد می کند. زمانی که قطعه فولادی خراشیده یا آسیب می بیند، به طوری که لایه زیرین در معرض دید قرار می گیرد، پوشش روی (Zn) به عنوان آند قربانی عمل می کند و خورده می شود تا از فولاد در معرض دید محافظت کند. این نوع محافظت تا زمانی که فلز روی مجاور تخلیه شود ادامه می یابد.

حفاظت کاتدی فعال (ICCP)

در سازه های بزرگ، ممکن است استفاده از روش های حفاظت کاتدی غیرفعال امکان پذیر نباشد. بطور ویژه در خطوط لوله، افزایش تعداد آندها برای تامین جریان الکتریکی کافی، می تواند غیر عملی باشد. برای رفع این مشکل، از یک منبع انرژی خارجی برای کمک به هدایت واکنش های الکتروشیمیایی استفاده می شود. این تکنیک به عنوان حفاظت کاتدی فعال (ICCP) شناخته می شود. سیستم های ICCP برای محافظت از سازه های عریض و طولی مانند خطوط لوله زیر زمینی ایده آل هستند. در این سیستم ها معمولاً فلنچ های اتصال لوله با استفاده از کیت های جدا سازی عایق بندی می شوند تا خط لوله را به بخش های کوچک تر و قابل کنترل تر برای حفاظت کاتدی فعال، جدا کنند.

موانع و محدودیت های حفاظت کاتدی خط لوله های انتقال

در خطوط لوله بزرگ، ممکن است تقاطع ها، خطوط موازی و شبکه های لوله زیادی در نزدیکی سیستم CP وجود داشته باشد و ممکن است تداخل DC بین خطوط لوله رخ دهد که باعث تسریع خوردگی می شود. برای غلبه بر این مشکل، خطوط لوله را می توان به صورت مستقیم یا از طریق مقاومت به صورت الکتریکی کوپل کرد. برای خطوط لوله پوشش داده شده، جدایش کاتدی ممکن است به دلیل سطوح بالای CP در جایی که کیفیت پوشش اعمال شده ضعیف است رخ دهد. دماهای بالاتر نیز

ممکن است باعث از هم گسیختگی کاتدی شود محیط های با pH بالا نیز از نظر ترک خوردگی تنشی خوردگی نگران کننده هستند.

اهمیت ویژگی دی الکتریک پوشش لوله

به دلیل این که خوردگی لوله ها در خاک یک فرآیند الکتروشیمیایی است. پوشش لوله باید یک عایق الکتریکی قوی در برابر شار جریان الکتریکی از لوله به محیط خارج باشد. بنابراین یکی از خواص مهم پوشش لوله باید خاصیت دی الکتریک آن باشد. نحوه عملکرد حفاظت کاتدی در خطوط لوله گاز، آب و نفت حفاظت کاتدی یک روش حفاظتی محبوب برای جلوگیری از خوردگی در خطوط لوله، سکوهای نفتی دریایی و سایر سازه های فولادی است. با این حال، برای اجرای موثر آن، درک اصول اولیه خوردگی دو فلزی (گالوانیکی) بسیار مهم است. انتخاب نوع مناسب سیستم حفاظت کاتدی به عوامل متعددی از جمله مقرون به صرفه بودن و اندازه سازه ای که قرار است محافظت شود بستگی دارد.

نتیجه گیری

جهت انتخاب سیستم حفاظت کاتدی مناسب برای یک سازه و خطوط لوله انتقال، واقع در یک محیط دریایی، کارفرمایان و مهندسان مشاور باید تفاوت بین انواع مختلف آندها و زمان و مکان استفاده از آن ها را بشناسند. در نظر گرفتن عوامل گوناگون از قبیل روش های نصب، راندمان، نیازمندی های طرح، مسائل زیست محیطی، تغییرات ناشی از جزر و مد، نظارت، نگهداری و زیبایی ظاهری، اهمیت دارند. سیستم های مشخصی در محیط هایی که سازه مستقیماً در تماس با آب دریا می باشد به خوبی عمل می کنند، در حالی که سایر سیستم ها بیشتر برای محیط هایی که سازه چنین وضعیتی ندارد مناسب تر هستند. برای مثال، روکش های رسانا ممکن است از لحاظ چسبیدن در نواحی لکه شده و تحت جزر و مد پایه ها مشکل داشته باشند و لذا برای چنین کاربردهایی توصیه نمی شوند. سیستم های با عملکرد ایجاد شیار شاید در ارتباط با پوشش محدودیت داشته باشند، اما محدودیت های آستانه ای ندارند. سیستم های شامل شبکه تیتانیومی همراه با اندود نیازمند آماده سازی مناسب سطوح جهت اطمینان از چسبیدن اندود می باشند. آندهای تیتانیومی برای مقادیر بالای چگالی جریان مناسب هستند، و همین طور در مواردی که طول عمر بیشتری برای سیستم حفاظت کاتدی مورد نیاز باشد. همانگونه که قبلاً بیان شد، اگر در سازه های خاصی نتوان از سیستم های با عملکرد آند قربانی شونده استفاده کرد، در عوض سیستم های مبتنی بر جریان دهی می توانند برای مرتفع کردن کمبود جریان الکتریکی مورد نیاز جهت حفاظت کاتدی در آن ها بکار برده شوند. فلز روی در مقادیر کافی به عنوان یک ماده سمی برای حیات آبریان شناخته شده است، بنا بر این سیستم های مبتنی بر عملکرد فلز روی تحت حرارت پاشیده شده، نیاز به جایگاه هایی برای نگهداری گرد این فلز و مهار واکنش های آن دارند. آماده سازی سطوح، خشک بودن و مهارت شخص اجرا کننده عوامل مهمی هستند که برای خوب چسبیده شدن روکش های ایجاد شده با ذرات تحت حرارت پاشیده شده باید مورد توجه قرار گیرند. همچنین، سیستم های در سطح بکار رونده در مقایسه با سیستم های با پوشش احاطه شونده، از نظر اجرا در سطوح قائم آسان تر می باشند. با این حال برای سیستم های در سطح بکار رونده معمولاً عمر کوتاه تری انتظار می رود. همه این نکات باید هنگام انتخاب یک سیستم خاص در یک محیط دریایی مورد ملاحظه قرار گیرند.

منابع

1. **Andrade, C., Alonso, C. and Sarria, J. 1997.** Influence of Relative Humidity and Temperature on the On-Site Corrosion Rebars Fourth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Sydney, Australia.
2. **Apostolos, J.A., Parks, D.M., Carello, R.A. 1987.** Cathodic Protection of Reinforced Concrete Using Metallized Zinc Paper No. 137, NACE Corrosion/87.
3. **A.W. 2001.** Peabody, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, 2nd Ed., NACE International.
4. **Covino, B.S., Bullard, S.J., Holcomb, G.R., Cramer, S.D., McGill, G.E., Cryer, C.B. 1996.** Bond Strength of Electrochemically Aged Arc-Sprayed Zinc Coatings on Concrete Paper No. 308, NACE Corrosion/96.
5. **Control of Pipeline Corrosion Second Edition. 2001.** A.W. Peabody, NACE Press.
6. **Funahashi, M. and Young, W.T. 1995.** Development of New Sacrificial Anode Reinforced and Prestressed Concrete Structures Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas.
7. **Funahashi, M., Young, W.T. 1998.** Field Evaluation of a New Aluminum Alloy as a Sacrificial Anode for Steel Embedded in Concrete FHWA, Publication No. FHWA-RD-98-058.
8. **Kessler, R.J. and Powers, R.G. 1994.** Use of Marine Substructure Cathodic Protection in Florida, Past and Present Paper No. 910727, Transportation Research Board, 70th Annual Meeting, Washington.
9. **Kessler, R.J., Powers, R.G. and Lasa, I.R. 1990.** Zinc Metallizing for Galvanic Cathodic Protection of Steel Reinforced Concrete in a Marine Environment Paper No. 324, NACE Corrosion /90.
10. **Kuzmin, Y.L.; Stavitsky, O.A.; Podshivalov, A.V. 2015.** Parameters and operating experience in arctic conditions of cathodic protection systems against corrosion-erosion destruction of the hulls of nuclear icebreakers. Shipbuilding. 6, 33–37.
11. **Kushnir, V.M.; Dushko, V.R.; Fedorov, S.V. 2021.** The impact of the marine environment on the technical systems of shelf development. Mar. Pollut. Bull. 169, 112577.
12. **Martin, B.L., Arase, K. and Kawamata, K. 1994.** Cathodic Protection of Structures Containing Prestressed Steel in USA Japan Concrete Institute, Tokyo.
13. **NACE International Paper 09043** Coatings Used in Conjunction with Cathodic Protection - Shielding vs Non-shielding Coatings.
14. **NACE. 2006.** Cathodic Protection Technician Course, NACE International.
15. **NACE RP0196. 2004.** Galvanic Anode Cathodic Protection of Internal Submerged Surfaces
16. of Steel Water Storage Tanks
17. **NACE SP0388. 2007.** Impressed Current Cathodic Protection of Internal Submerged
18. Surfaces of Steel Water Storage Tanks

Cathodic Protection and Corrosion Protection Methods for Pipeline Steel

Ali Akbar Ebrahimi¹, Farzad Soleymani²

1- Bachelor's degree student in materials engineering and industrial metallurgy Payam Noor University, North Tehran Center

2- PhD in Materials and Metallurgy Engineering from Isfahan University of Technology and a full-time faculty member of Payam Noor University in Tehran province

Abstract

Pipelines move millions of liters of oil and gas products every year. In this regard, Iran has the largest pipeline transmission network in the Middle East. In most cases, two methods of applying cathodic protection and insulating coating are used to protect the external surfaces of pipes buried in the soil at the same time, in order to choose the appropriate cathodic protection system for a structure and transmission pipelines, located in a marine environment, employers and Consulting engineers should know the difference between different types of anodes and when and where to use them. It is important to consider various factors such as installation methods, efficiency, design requirements, environmental issues, changes caused by tides, monitoring, maintenance and appearance. In this review article, the methods of cathodic protection and its benefits are discussed.

Key words: Importance, Cathodic Protection, Corrosion, Galvanic, Barriers
