



بررسی حفاظت کاتدیک برای کف مخازن بزرگ ذخیره نفت و مایعات گازی بوسیله بهینه سازی محل آندها

مصطفی نریمانی^{1*}، شهاب شفاثیان²، رسول رزمی³

*1- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه mostafa.narimani@gmail.com

2- دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه shahabgasengineer@gmail.com

3- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دشتستان razmi_rasool@yahoo.com

چکیده:

خوردگی کف مخازن نفتی یکی از مشکلات مهم ذخیره سازی نفت خام و مایعات گازی می باشد. نشت مخازن بزرگ نفتی موجب آلودگی آبهای زیر زمینی و وارد آمدن خسارات جبران ناپذیر به محیط زیست خواهد شد. قبلا کف مخازن (قسمت بیرون مخزن که در ارتباط با زمین می باشد) با بکارگیری سیستم حفاظت کاتدی در برابر خوردگی محافظت می شد. بر اساس تجارب موجود، بکارگیری حفاظت کاتدی توانسته است بطور کامل مانع از نشت و جلوگیری از خوردگی کف مخازن ذخیره نفت شود. این مشکل در بسیاری از مخازن بزرگ ذخیره نفت در ایران رخ داده است. در این مقاله دلایل توانایی سیستم حفاظت کاتدی و استفاده از آندهای تاثیر گذار (قربانی) روی مخازن بزرگ نفت و مایعات گازی برای حفظ ساختار و محافظت و پوشش در جلوگیری از خوردگی بحث می شود.

کلید واژه: مخازن- نفت خام- ذخیره- خوردگی

1- مقدمه

از آنجایی که در ابتدا سیستم های حفاظت کاتدی (CP) به کار برده شدند، مهندسان از تجربه و مشاهده دقیق برای بهینه سازی طراحی هایشان برای جلوگیری از خوردگی استفاده کرده اند. استفاده از آندهای تاثیر گذار (قربانی) روی مخازن نفت و مایعات گازی برای حفظ ساختار و محافظت و پوشش یک شیوه استاندارد شده است. هر چند، موقعیت صحیح و جریان آندها در عملکرد سیستم CP در کل، از اهمیت بالایی برخوردار است. جریانات و موقعیت های غلط می تواند به نواحی بدون پوشش یا با پوشش بیش از حد بیانجامد. روش های بهینه سازی با ترکیب با تکنولوژی عناصر مرزی یک شیوه جدید بر تحلیل این شرایط هستند. تاکنون، مطالعاتی با استفاده از معدودی از آندها برای بهینه کردن جریان و موقعیت آنها روی صفحه صاف انجام شده اند. از آنجا که ساختار واقعی مخزن، ابزاری مورد نیاز خواهد بود تا بتوان بهینه سازی موقعیت و جریان را بدون توجه به حالت مدل، انجام داد. سطح می تواند از عناصر خمیده ساخته شود و بنابر این بهینه سازی ها نتایج درستی خواهند داشت.

روش های حفاظت از خوردگی کف مخازن عبارتند از:

1. بکارگیری سیستم حفاظت کاتدی



نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه

2. بکارگیری بازدارنده های خوردگی از نوع فاز بخار

3. بکارگیری همزمان حفاظت کاتدی و بازدارنده های خوردگی فاز بخار

نتایج تجربی موجود نشان می دهد، سیستم حفاظت کاتدی به تنهایی قادر به حفاظت خوردگی کف مخازن نمی باشد. مخازن بزرگ نفتی که کف آنها دارای سیستم حفاظت کاتدی بوده است در موارد متعدد دچار نشت شده است. این در حالی بوده است که کف مخازن در پتانسیل حفاظت کاتدی قرار داشته است. این موضوع سبب خسارت های زیاد به محیط زیست و آلودگی شدید آبهای زیر زمینی گردیده است [1]. در این مقاله آخرین روش هایی که امروزه جهت حفاظت کف مخازن استفاده می شود مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به اینکه یکی از دلایل بروز خوردگی در کف مخازن، عدم توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی می باشد. بنابر این در ابتدا راه های مقابله با عدم توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در مخازن بررسی می شود.

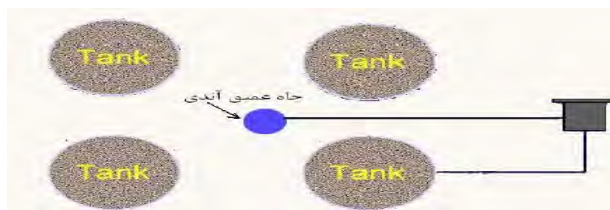
2- روشهای توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن (Above ground tanks)

روشهای ایجاد توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی مناسب در کف مخازن روی زمین به شرح زیر می باشد.

1. بکارگیری بستر آندی در موقعیتی مناسب به گونه ای که موجب توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن شود.
2. بکارگیری بستر آندی در اطراف و یا در زیر کف مخازن
3. عایق سازی الکتریکی هر یک از مخازن از یکدیگر و بکارگیری مقاومت الکتریکی مناسب در مسیر کابل Drain هر یک از آنها از طریق Current Control Box (CCB)
4. بکارگیری پوشش در کف مخازن [1]

2-1 بکارگیری بسترهای آندی در موقعیت مناسب

اگر در سیستمی چندین مخزن وجود داشته باشد، موقعیت بستر آندی نسبت به مخازن باید بگونه ای باشد که هر یک از آنها در حکم سپر الکتریکی (Electrical Shield) برای مخزن دیگر نباشد [2]. در شکل (1) چهار مخزن مشاهده می شود. بهترین موقعیت نصب بستر آندی در محلی واقع در بین چهار مخزن می باشد. در این حالت هر یک از مخازن در حکم سپر الکتریکی برای مخزن دیگر نمی باشد و جریان حفاظت کاتدی بر اساس درصد نواقص موجود در پوشش کف مخازن، بین آنها تقسیم می شود.



شکل 1. بکارگیری چاه عمیق آندی در بین چهار مخزن Above ground موجب توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف آنها می شود



نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه

2-2 بکارگیری توزیع موضعی آندها در اطراف و یا در کف مخزن

اندازه گیری پتانسیل حفاظت کاتدی کف مخازن از طریق جداره بیرونی، اطلاعات کاملی از توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی در ناحیه مرکز مخزن نمی دهد [3]. برای توزیع یکنواخت پتانسیل حفاظت کاتدی به سه روش زیر اقدام می شود.

1. بکارگیری آندهای کم عمق در اطراف مخزن

2. بکارگیری آندهای افقی در زیر کف مخزن

3. مطابق شکل (5) در کف مخزن از آندهای سیمی MMO بشکل مارپیچ استفاده می شود.

در روش اول آندهای کم عمق مطابق شکل (2) در اطراف مخزن توزیع می شوند. در این روش جریان حفاظت کاتدی در لایه سطحی زمین تخلیه می شود و موجب بروز حالت Over protection در خطوط لوله مدفون در خاک و مجاور مخازن می شود. بنابر این از آن نمی توان در پالایشگاهها و کارخانه های صنعتی استفاده کرد.

در روش دوم، به کمک دستگاه های حفاری سوراخی افقی و در امتداد کف مخزن ایجاد می کنند و سپس آندها بصورت افقی در داخل آن نصب می شود. بدین ترتیب توزیع پتانسیل یکنواختی در کف مخزن ایجاد می شود. علاوه بر این بطور مشابه سوراخی برای هدایت الکتروود مرجع در زیر کف مخزن تعبیه می کنند. در داخل این محل، لوله ای شیاردار دار و از جنس PVC قرار می دهند. الکتروود مرجع از دو طرف به طنابی مدرج متصل است و می توان آنرا از دو Test Point واقع در دو طرف مخزن، در لوله مزبور حرکت داده و توزیع پتانسیل در نقاط مختلف کف مخزن اندازه گیری شود. قبل از حرکت الکتروود، بایستی داخل لوله PVC توسط آب پر شود تا ارتباط الکتروولیتی مناسب با خاک کف مخزن برقرار شود (شکل (3) و (4)). در سوم آندهای سیمی MMO بصورت مارپیچ در فندآسیون کف مخزن قرار می گیرد. این روش برای مخازن در حال ساخت قابل اجرا می باشد ولی برای مخازن موجود عملی نمی باشد شکل (5).



شکل 2. بکارگیری آندهای کم عمق در اطراف هر مخزن مشاهده می شود

2-3 عایق سازی الکتریکی هریک از مخازن از یکدیگر

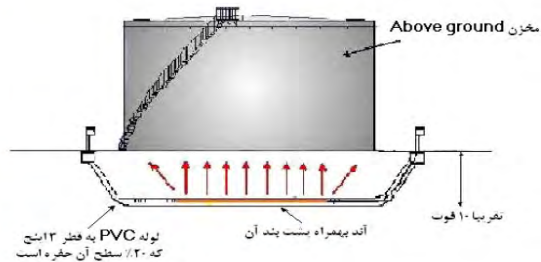
در این روش مطابق شکل (6) هر یک از مخازن توسط فلنچ عایقی و از لحاظ الکتریکی از یکدیگر جدا می شوند. برای هر یک از مخازن کابل Drain به همراه مقاومت الکتریکی مناسب در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب مخزنی که فاصله آن تا بستر آندی کمتر است، مقاومت الکتریکی بیشتری در مسیر کابل Drain آن قرار می دهند. بعنوان مثال اگر سه مخزن A, B, C در یک راستا قرار داشته باشند و فاصله مخازن تا بستر آندی بصورت $D_C < D_B < D_C$ باشد، مقاومت کابل Drain مخازن بصورت $R_C < R_B < R_C$ خواهد بود. مقدار این مقاومت ها بایستی از طریق Field Test و بررسی توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی مشخص شود.



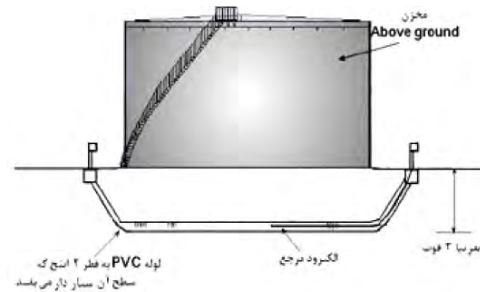
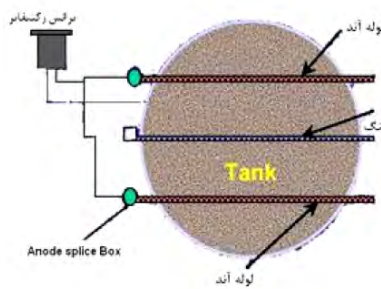
نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه



سوراج کاری زیر مخزن به منظور نصب آندهای اعمال جریان



شکل 3. نمونه ای از نحوه نصب آندهای اعمال جریان در زیر کف مخزن



شکل 4. در این شکل بکارگیری دو ردیف آندهای اعمال جریان و نیز لوله مانیتورینگ واقع در زیر کف مخزن مشاهده می شود.

2-4 بکارگیری پوشش در کف مخازن

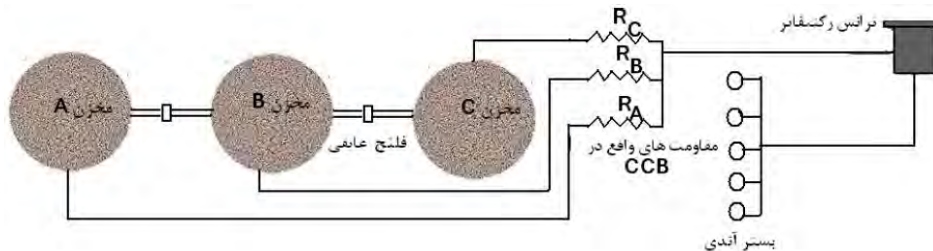
یکی از راههای توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی، بکارگیری پوشش مناسب بر روی سازه های فلزی مدفون در خاک می باشد. اعمال پوشش در زیر کف مخزن با مشکلات اجرایی روبرو می باشد بنابر این مطابق شکل (7) پس از ایجاد فنداسیون مناسب برای نصب مخزن، محل مزبور توسط لایه ای شامل الیاف شیشه و قیر بخوبی پوشش داده می شود. کف مخزن بر روی پوشش مزبور قرار می گیرد و پس از نصب مخزن، اطراف آن بخوبی آب بند می کنند تا از نفوذ آب بین لایه مزبور و کف مخزن جلوگیری بعمل آید. همچنین کف مخزن کمی بالاتر از زمین های اطراف بوده و دارای شیب 1% به طرف بیرون می باشد تا شیب طبیعی مانع از نفوذ آب به این ناحیه شود.



شکل 5. در این شکل بکارگیری آندهای سیمی MMO به شکل مارپیچ در زیر کف مخزن مشاهده می شود. کلیه حلقه ها به یکدیگر متصل می باشند ولی برای اطمینان بیشتر کابل آندها به یک حلقه، به کلیه حلقه ها متصل شده است. در شکل سمت چپ بکارگیری آندها در راستای شعاع مخزن مشاهده می شود. همچنین در این شکل الکترود مرجع دائمی در نقاط مختلف زیر کف مخزن بکار رفته است.



نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه



شکل 6. در این شکل بکارگیری فلنج های عایقی و مقاومت های الکتریکی جهت توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن مشاهده می شود.

3- روش های جدید حفاظت خوردگی کف مخازن

به دلیل مشکلات اجرایی اعمال پوشش بر روی ورق فولادی کف مخزن (سمتی که در تماس با فندآسیون محل نصب قرار دارد) امکان پذیر نمی باشد (حرارت ناشی از جوشکاری صفحات کف مخزن، موجب از بین رفتن پوشش آنها) (منظور پوشش ورق فولادی کف مخزن که در مجاورت Base قرار دارد) می شود و در نتیجه پوشش پاسخ مناسبی برای حفاظت این نواحی نمی باشد. بنابراین این بجای پوشش دادن ورق فولادی کف مخزن، محل نصب مخزن بخوبی پوشش داده می شود و اطراف مخزن نیز بخوبی آب بند می کنند. با توجه به اینکه پوشش مزبور چسبندگی به کف مخزن ندارد بنابراین در چنین شرایطی این پوشش در حکم سپر Shield برای جریان حفاظت کاتدی عمل می کند. اگر ورق فولادی کف مخزن بر روی فندآسیون بعمل آمده کف آن قرار گیرد، به دلیل وجود مک ها و حفره های هوایی متعدد و زیاد بین ورق فلزی و فندآسیون بتنی، ارتباط الکترولیتی مناسبی بین آنها برقرار نمی شود و بنابراین این حفاظت کاتدی قادر به حفاظت کل کف مخزن نخواهد بود. در این حالت با وجودیکه اندازه گیری پتانسیل حفاظت کاتدی کف مخزن، دلالت بر عدم خوردگی آن دارد ولی کف مخزن در معرض خوردگی قرار دارد. نتایج تجربی موجود نشان می دهد که مخازن نفتی برخلاف آنکه تحت حفاظت کاتدی قرار داشته اند، کف آنها دچار خوردگی شده و نشت مواد نفتی به آبهای زیر زمینی موجب ایجاد خسارات های زیاد و جبران ناپذیری به آبهای زیر زمینی شده است. امروزه می توان خوردگی کف مخازن را با بکارگیری جلوگیری جلوگیری حفاظت کاتدی و ممانعت کننده خوردگی از نوع فاز بخار خوردگی (VCI) Volatile Corrosion Inhibitors و یا تنها با بکارگیری VCI تحت کنترل قرار دارد. [4]

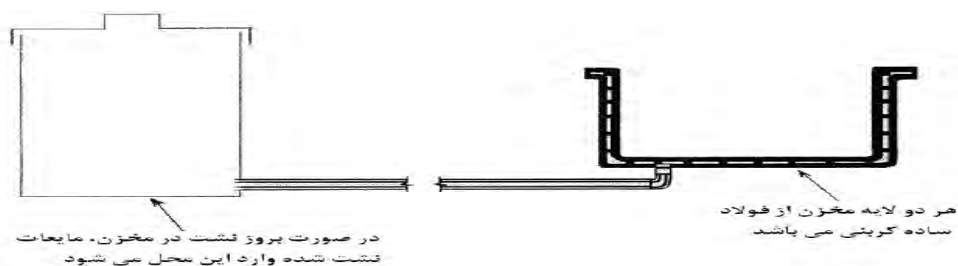


شکل 7. اعمال پوشش بر روی فندآسیون محل نصب مخزن Above ground



3-1 نحوه بکارگیری ممانعت کننده فاز بخار در کف مخازن

در گذشته ارزش مواد نفتی تلف شده زیاد مورد توجه نبود، بنابراین نشت مواد نفتی از مخازن مسئله مهمی محسوب نمی شد. امروزه محافظت از محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار است و آسیب های وارده به آن جزء زیانهای اقتصادی محسوب می شود. نشت مخازن منجر به آلودگی آبهای زیر زمینی می شود و تمیز کردن آن میلیونها دلار هزینه در بردارد. امروزه برای جلوگیری کامل از نشت مواد نفتی مخازن بصورت دو لایه طراحی و ساخته می شوند. دلیل ساختار مخازن مزبور، نظارت بر نشت آنها بخوبی انجام می شود. بعبارت دیگر این مخازن هر گونه نشتی را بخوبی و در زمان مناسب مشخص می کنند. همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود مخازن مزبور از دو لایه ورق فولادی تشکیل شده است. در شکل (8) نمونه ای از مخازن دو لایه مشاهده می شود [4].



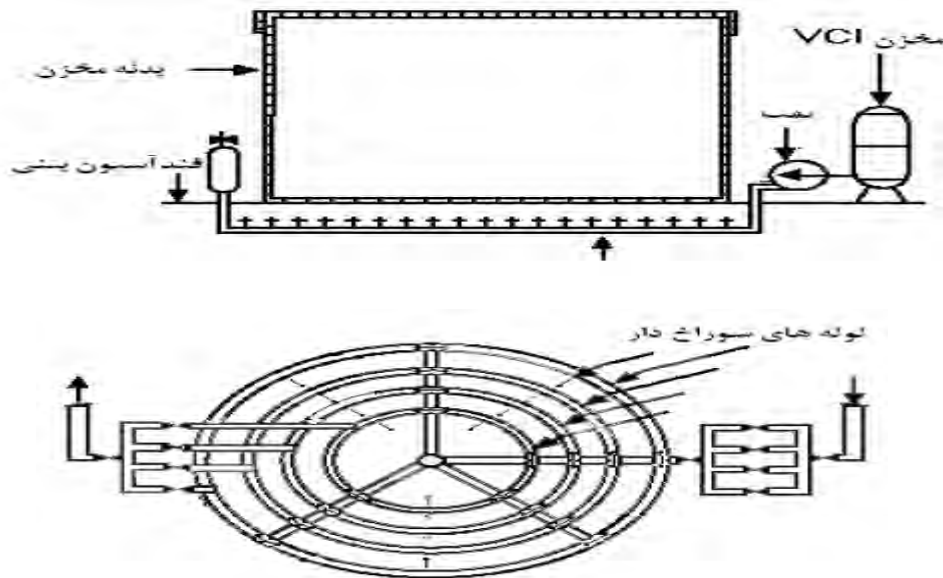
شکل 8. نمونه ای از مخازن دو لایه

مواد VCI ممانعت کننده فاز بخار قادرند در محیط بسته، سطح فلز را در برابر عوامل خورنده مثل آب، بخار، کلریدها، سولفید هیدروژن H_2S اکسیدهای نیتروژن و مواد دیگر خورنده موجود در محیط های صنعتی محافظت کنند. این مواد به صورتهای پودر، مایع، فیلم های پلاستیکی، لایه کاغذی جهت استفاده در بسته بندی قطعات و مواد روانساز حاوی بازدارنده تولید و به بازار عرضه می شود. بیش از 50 سال است که از این مواد برای کنترل خوردگی در صنایع شیمیایی و نفت استفاده می شود. فشار بخار مواد مذکور کم است، بنابراین در فشار اتمسفر و دمای محیط بخار می شوند. در محیط بسته بخارات ایجاد شده بر روی سطوح میعان کرده و توسط مولکول های سطح قطعات جذب شده و منجر به توقف یا تاخیر در انجام واکنش های خوردگی می شوند. برخی از مواد VCI جهت مواد آهنی و برخی دیگر جهت مواد غیر آهنی ساخته شده اند. بر اساس تجارب علمی، این مواد قادرند در محیط بسته بیش از 15 سال قطعات را تحت حفاظت خود قرار دهند. بنابراین روش مذکور به عنوان یکی از روشهای استاندارد محافظت کف مخازن نفتی مطرح شده است. در خصوص کف مخازن پس از نصب کف اول، روی آنرا بخوبی پوشش می دهند. بر روی آن لایه ای از بتن ریخته می شود و محل هایی برای نصب آندهای اعمال جریان و الکتروود مرجع در نظر گرفته می شود. پس از نصب آندها و الکتروود مرجع، بر روی آن لایه ای از شن پخش می کنند و بر لایه مزبور به میزان $1-2 \text{ Kg}/10 \text{ m}^2$ پودر VCI می ریزند. سپس کف دوم جوشکاری می شود. همچنین می توان ابتدا فندآسیون بتنی کف مخزن را پوشش داده سپس بر روی پوشش مزبور بتن ریزی کرده و محل هایی را برای نصب آندهای اعمال جریان و الکتروود مرجع در نظر گرفت و در ادامه مطابق روش اشاره شده پودر VCI بر روی آن استفاده شود و در نهایت ورق فلزی کف مخزن بر روی آن قرار گیرد. در این حالت کف مخزن دارای یک لایه فلزی می باشد. همچنین می توان بجای استفاده از لایه شنی به همراه VCI پس از نصب آندها و الکتروود



نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه
مرجع روی آنها را با بتن به همراه نوعی مخصوصی از VCI (که جهت اصفافه شدن در بتن ساخته شده است) پوشاند و سپس کف
فلزی مخزن بر روی آن نصب شود.

روش بعدی تزریق مداوم VCI از طریق شبکه ای از لوله های سوراخ دار می باشد. این لوله های در زیر مخزن و در داخل
فندآسیون بتنی کف تعبیه می شوند. مواد بازدارنده خوردگی مطابق شکل (9) از طریق لوله های مزبور در کف مخزن تزریق می
شود . بدین ترتیب با توزیع VCI در کف مخزن، از خوردگی آن جلوگیری می شود [4].



شکل 9. تزریق مداوم VCI از طریق لوله های سوراخ دار در داخل فندآسیون بتنی کف مخزن

4- پوشش داخل مخازن ذخیره نفت خام

سطح داخل مخازن نفت معمولاً توسط تلفیقی از حفاظت کاتدی و پوشش حفاظت می شود. در سالهای اخیر خطرات الکتریسته
ساکن در طراحی پوشش مخازن نفتی مد نظر قرار می گیرد. تمرکز الکتریسته ساکن می تواند منجر به ایجاد جرقه و در نتیجه
انفجار مخزن شود. بر اساس منابع علمی برای جلوگیری از ایجاد جرقه در نتیجه تمرکز الکتریسته ساکن، بایستی مقاومت سطح
پوشش درونی مخزن کمتر از 10^8 اهم باشد. عبارت دیگر پوشش باید دارای خاصیت Antistatic در استاندارد ASTM
F150-98 روش تست خاصیت Antistatic پوشش ها اشاره شده است. پوشش های با خاصیت آنتی استاتیک به سه دسته زیر
تقسیم می شوند.

1- Carbon conductive paints

2- (Metal-powder-series conductive paints (such as zinc and silver Powder paints)

3- Light-color composite conductive paints

در موارد 1 و 2 پایه پوشش، رزینهای اپوکسی، پلی اورتان و یا رزینهای دیگر می باشد. با اضافه کردن پودرهای هادی جریان
الکتریسته مثل روی، کربن و نقره و انجام برخی پروسس دیگر، مقاومت پوشش به کمتر از 10^8 اهم رسانده می شود. ذرات کربن با
ایجاد پل بین ذرات فلزی، باعث کاهش مقاومت اهمی پوشش می شوند . مورد سوم کامپوزیت های هادی الکتریسته است. در رابطه
با پوشش درونی مخازن ذخیره نفت سیستم زیر توصیه می شود:

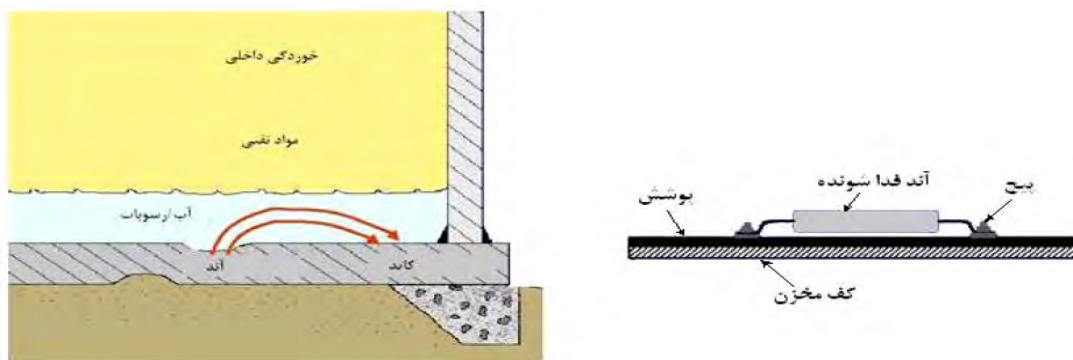


نخستین همایش ملی فناوری های نوین در صنایع نفت و گاز، 12 و 13 اسفند 1389، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه

1- جهت دیواره و کف از پوشش اپوکسی فنولیک با هاردنر آمین و با خاصیت آنتی استاتیک استفاده شود. این پوشش بدلیل ایجاد CROSS-LINK بالا، منجر به ایجاد پوشش سخت و مقاوم خواهد شد.

2- جهت دیواره مخزن می توان از پوشش پلی اورتان با خاصیت آنتی استاتیک استفاده کرد.

3- چنانچه کف مخزن توسط کامپوزیت Glass/Epoxy یا Glass/Polyester روکش شده است، لازم است ژل کف سطحی آن دارای خاصیت آنتی استاتیک باشد. مقاومت پوشش های مزبور در حدود 10^8 اهم است و چنین مقاومتی تنها مانع از بروز جرقه توسط انباشته شدن الکتریسته ساکن می شود و از لحاظ الکتریکی چنین موادی تقریباً در ردیف مواد نیمه رسانا قرار دارند. آندهای فدا شونده که در داخل مخازن بکار می رود، علاوه بر جلوگیری از خوردگی، عامل تخلیه بارهای الکتریسته ساکن نیز محسوب می شود. همانطور که در شکل (10) مشاهده می شود همیشه مقدار آب همراه مواد نفتی وجود دارد. آب بدلیل آنکه سنگین تر از مواد نفتی می باشد، در کف مخازن جمع می شود و موجب بروز خوردگی در این ناحیه می شود. برای جلوگیری از خوردگی این ناحیه، تلفیقی از پوشش یا لاینر به همراه آندهای فدا شونده استفاده می گردد [1].



شکل 10. تجمع آب و رسوبات در کف مخزن موجب خوردگی آن می شود. با بکارگیری توام پوشش و حفاظت کاتدی (آند فدا شونده) می توان از این نوع خوردگی جلوگیری کرد.

5- نتیجه گیری

مخازن نفتی متعددی در کشور دچار نشت شده است. این موضوع ضررهای اقتصادی جبران ناپذیری به محیط زیست وارد کرده است. متأسفانه هنوز در ایران تکنیک های جدید برای مقابله با خوردگی کف مخازن استفاده نشده است. با توجه به اهمیت بالای حفظ محیط زیست و نیز جلوگیری از هدر رفتن نفت خام و مایعات گازی، لازم است روش های جدید از جمله مقابله با خوردگی کف مخازن نفتی با استفاده از بهینه سازی محل آندها در سیستم های حفاظت کاتدی مورد توجه قرار گیرد.

6- مراجع

[1]: James T. Lary, Corrosion Control/Cathodic Protection for Aboveground Storage Tanks, Corpro Companies Inc., 1990

[2]: NACE RP0193-2001, External cathodic protection of on grade carbon steel storage Tank bottoms

[3]: API-651, Cathodic protection of aboveground petroleum storage tanks

[4]: Ashish Gandhi, Storage tank bottom protection using Volatile corrosion inhibitors, VCI corrosion control, Jan. 2001