جلد پنجم

اصول کلی عملیات دریافت، نگهداشت و توزیع فرآورده‌های نفتی

آشنایی با شیوه‌های نگهداشت فنی و ایمنی تاسیسات در انبارهای نفت

تالیف و تدوین: محمدرضا یگانه

اصول کلی عملیات دریافت، نگهداشت و توزیع فرآورده‌های نفتی
۵
آشنایی با شیوه‌های نگهداشت فنی و ایمنی تاسیسات در انبارهای نفت

امروزه گزارشات و حوادثی
که از برخورد صاعقه به سقف مخازن
سقف شناور، مطرح می‌گردد، به‌اندازه‌ای
دارای فراوانی تکرار و خسارات چشمگیر می‌باشند که
لزوم توجه به پایش مداوم و بازنگری در بهبود نگهداشت این
تجهیزات را مورد تاکید قرار می‌دهد. همچنین خسارات جانی و مالی ناشی
از پاره شدن مخزن بواسطه خوردگی کف مخزن و نشت مواد و فراگیری کل باندوال
مخازن توسط فرآورده‌های با مخاطرات حریق‌پذیری و زیست‌محیطی بالا،
دلیلی بر الزام در توجه به نگهداشت مخازن و تاسیسات از انواع خوردگی
است. نگهداشت مخازن از مخاطرات الکترونی و فشارهای
مکانیکی و همچنین رخدادهای خوردگی شیمیائی از
مهمترین ارکان نگهداری این تجهیزات
محسوب می‌گردند.

شرکت ملی پالایش، پخش فرآورده‌های نفتی ایران

بسم الله الرحمن الرحيم

جلد پنجم

آشنایی با شیوه‌های نگهداشت فنی و ایمنی تاسیسات در انبارهای نفت

اصول کلی عملیات دریافت، نگهداشت و توزیع فرآورده‌های نفتی

تالیف وتدوین:
محمدرضا یگانه

شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران

تهران خیابان استاد نجات الهی-خیابان ورشو-پلاک۴ تلفن ۸۸۹۰۷۸۸۶

نام کتاب: اصول کلی عملیات دریافت،نگهداشت وتوزیع فرآورده‌های نفتی
جلد پنجم: آشنایی با شیوه‌های نگهداشت فنی و ایمنی تاسیسات در انبارهای نفت
تالیف و تدوین: محمدرضا یگانه
طراحی و صفحه‌آرایی: موسسه طرح خوب (پرویز مقدم)
تائید محتوایی: کمیته انتشارات امور آموزش
تیراژ: ۵۰۰ نسخه
نشر: اداره نشر روابط عمومی

حق چاپ محفوظ است

www.niordc.ir

تقدیم به

آنانکه دل در گرو خدمت به میهن عزیز ایران نهادند

مقدمه

شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، به عنوان یکی از صنایع بزرگ و تاثیرگذار درگسترهٔ صنعت نفت کشور، مسؤولیت خطیر پالایش نفت خام و گردشِ چرخهٔ تأمین، انتقال و توزیع انواع فرآورده‌های نفتی رابر عهده دارد. این شرکت دراسفندماه ۱۳۷۰ براساس سیاست تفکیكِ فعالیت‌های بالادستی و پایین دستی، به عنوان یکی از چهار شرکت اصلی وزارت نفت تاسیس شد و از سال ۱۳۷۱ فعالیت رسمی خود راآغاز کرد. شرکت ملی پالایش و پخش از ابتدای فعالیت خویش تا کنون نظر به نیاز و درخواستِ روزافزون کشور به فرآورده‌های نفتی، پیوسته تلاش خود را در راستای روزآمدی، سامان بخشی و ارتقاء زیرمجموعه‌های خویش، اعم از پالایش، انتقال، و تأمین و توزیع مصروف داشته است.بدیهی است مدیریت و راهبری این مجموعهٔ عظیم، نیازمندِ نیروی انسانیِ خبره، مجرب و متخصص، مجهز به دانش‌های نوین روز و برخورد ار از آخرین دستاوردهای بشری درعرصهٔ فنآوری است.

کمیته انتشارات این شرکت با چنین رویکردی پا به عرصهٔ فعالیت‌های فرهنگی نهاده است. این کمیته ضمن گشودن چترحمایتی بر روی کارکنان صاحب اثر و اهل قلم، همواره می‌کوشد با فراهم نمودن اهرم‌های انگیزشی و استفاده از شیوه‌های ترغیبی و تشویقی از رهگذر چاپ و انتشار کتب و مقالات علمی مرتبط با فعالیت‌های شرکت، به سهم خود در گسترش فرهنگ مطالعه، ایفای نقش کرده و موجبات افزایش دانش تخصصی کارکنان را فراهم آورد. مجموعه ۷ جلدی کتاب حاضر در راستای چنین هدفی تدارك دیده شده و به تمامی علاقه‌مندان گرامی تقدیم می‌شود.

کمیته انتشارات شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی

دیباچه مولف

مستندسازی در فرهنگ شرکت‌های مختلف با توجه به نوع فعالیت و فرآیند کار هر شرکت، تعاریف مختلفی به خود گرفته است. اما نهایتِ همهٔ تعاریف، رسیدن به این مقصود است که مستندسازی کمك به انتقال صحیح دانش و تجربیات به صورت کاملاً غیرسلیقه‌ای نموده و می‌بایست معیارهای فنی و علمی و منطبق با استانداردهای موجود را در بر گیرد. در این راستا هندبوك‌ها و کتاب‌های مرتبط تدوین شده براساس اصول علمی با هدف تهیه اسناد و مدارکی که سیر تکوین و تحقق یك فعالیت از آغاز تا انجام و چگونگی بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات مورد نظر را با تحلیل مربوط نشان دهد، به فضای مستندسازی وارد شده‌اند. این کتاب به منظور آشنایی فنی‌تر با فرآیندهای جاری وعملیات انبارهای نگهداشت و توزیع فرآورده‌های نفتی تهیه و تدوین شده است. مطالب این کتاب، فارغ از محدودیت مکان و زمان، دلالت بر اصول فنی و اجرایی داشته و هر گونه رویکرد و استراتژی بهره‌برداری از انبارهای نفتی را شامل می‌شود. جداول و داده‌های مورد استفاده از مراجع استاندارد اخذ گردیده و مندرجات هر فصل براساس سطوح نیازمندی عملیات مختلف در انبارها، ضمن بهره‌گیری از تجارب مستند، تدوین و ارائه شده است. سطوح توضیح و تشریح موضوعات درحد کفایت درک آن موضوع بوده و از اثبات بنیادین آنها اجتناب و به مراجع مرتبط ارجاع گردیده است. هدف غایی این مجموعه، ایجاد سطحی از آشنایی با موضوعات مرتبط با فعالیت‌های موجود در یك انبار نفت است که جهت رفع نیاز محققان و فعالان این حوزه، در تهیه متون مرتبط و کسب فن مذاکره بوده و هرگونه اقدام عملیاتی و تصمیم‌گیری فنی می‌بایست براساس دستورالعمل‌های ابلاغی از سوی مدیریت هر بخش صورت پذیرد. با امیدِ به مفید واقع شدنِ این مجموعه، خواهشمند است نظرات تصحیحی و تکمیلی خود را به صندوق الکترونیکی my۱۴۵۱@yahoo.com ارسال فرمایید.

محمدرضا یگانه- آذر۹۶

پیشگفتار

وقایعی چون برخورد صاعقه و خسارات ناشی از آتش سوزی گسترده توام با تلفات جانی و مالی فراوان، همواره بخشی از حوادث و اخبار اتفاقات صنعتی را به خود اختصاص می‌دهد. حتی در ایمن ترین سیستم‌ها نیز، حوادث احتمالی ممکن است منطقه یادشده را به کلی غیر ایمن وبحرانی نماید.دراین میان گزارشات و حوادثی که از برخورد صاعقه به سقف مخازن سقف شناور، مطرح می‌گردد، به اندازه ای دارای فراوانی تکرار و خسارات چشمگیر می‌باشند که لزوم توجه به پایش مداوم و بازنگری در بهبود نگهداشت این بخش از صنعت و فعالیت‌های اقتصادی را مورد تاکید قرار می‌دهد.با توجه به ثبت صاعقه‌های شدید در نقاط مختلف کشور، به نظر می‌رسد استفاده از مطمئن ترین و کارآمدترین سیستم‌های تخلیه بارهای ناشی ازهجوم صاعقه بعنوان یکی از مهمترین اهداف اساسی ایمنی و نگهداشت این بخش یک راهبرد لازم به اجراست. ازسوی دیگر، خسارات کلان اقتصادی ناشی ازانواع خوردگی در صنعت و بالاخص مخازن نفتی نیز به نوبه خود می‌تواند به تبعاتی بدتر از زیان مالی و اقتصادی ناشی از صاعقه ختم شود.گزارشاتی که از پاره شدن مخزن بواسطه خوردگی کف مخزن و نشت مواد و فراگیری کل باندوال مخازن توسط فرآورده‌های با مخاطرات حریق پذیری و زیست محیطی بالا مطرح گردیده است، دلیلی بر الزام در توجه به نگهداشت مخازن و تاسیسات از انواع خوردگی است.دراین میان، خوردگی سطوح بیرونی خطوط لوله و مخازن و تجهیزات مدفون و غیر مدفون درخاک نیز، ارقام بالائی از تناژ خوردگی در صنعت را به خود تخصیص داده اند.بامروری بر شبکه‌های اطلاع رسانی ایمنی صنعتی، اخباری که حاکی از مچالگی ویا انفجار مخزن می‌باشند نیز بسیار به چشم می‌خورند. دراین کتاب سعی گردیده است نسبت به آشنا نمودن علاقمندان به موضوعات حفاظت تاسیسات و تجهیزات خصوصا مخازن انبارهای نفت از حوادث طبیعی و شرایط نامطلوب از طریق معرفی سطوح استاندارد و

تعاریفی که مراجع مختلف و مورد پذیرش درحوزه‌های یاد شده دارند، گامی برداشته شود.با توجه به پیشرفت‌های اخیر و آتی درخصوص موضوعات مورد بحث در این جلد از هندبوک، سعی گردیده است اشاره ای نیز به جدیدترین رویکردهای نگهداشت و حفاظت از تاسیسات مختلف نیز درکنار روش‌های قبلی ارائه گردد.ترتیب ارائه مطالب شامل نگهداشت از مخاطرات الکترونی و فشارهای مکانیکی و درپی آن مسائل و مشکلات ناشی از رخدادهای شیمیائی و همچنین راهکارهای استاندارد هر موضوع می‌باشد.

فهرست مطالب

- **فصل اول**

اصول محافظت مخازن از صاعقه و بارهای الکتریکی ۱۷
مولفه‌های الکتریکی صاعقه ۲۳
سیستمهای حفاظتی در برابر صاعقه ۲۴
سیستم تقسیم یا شبکه هوایی ۲۴
باندینگ هم پتانسیل ۲۶
سیستم شبکه ارت ۲۷
اتصال به زمین (ارت)ذاتی ۲۹
سیستم حفاظتی برای مخازن سقف شناور ۳۰
باندینگ (اتصال سقف بدنه)مخزن ۳۲
باندینگ سقف بوسیله شانت ۳۳
باندینگ سقف با استفاده از مسیر عبور ۳۵
باندینگ سقف با استفاده از کابل اتصال سقف بدنه ۳۶
اهم نکات حفاظت از مخازن سقف شناور در برابر صاعقه ۴۰
سیستم تخلیه بار الکتریکی تاسیسات بارگیری ۴۶

- **فصل دوم**

اصول محافظت مخازن ازتغییرات فشار ۴۷
حفاظت مکانیکی مخازن از فشار و خلاء زیاد ۴۹
شیر تنفسی یا شیر تخلیه فشار/ خلاء ۵۰
مکانیزم عملکرد شیر تنفسی ۵۲
الزامات APIدرخصوص شیرهای تنفسی مخازن ۵۳
راپچردیسک ۵۶

- **فصل سوم**

اصول محافظت از خوردگی تجهیزات انبار ۶۱
تئوری خوردگی ۶۶
انواع خوردگی در تاسیسات انبارهای نفت ۶۷
خوردگی ناشی از حمله یکنواخت ۶۸
خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی ۶۹

خوردگی شیاری ۷۴
خوردگی آبشویی ترجیحی ۷۶
خوردگی حفره ای ۷۷
خوردگی سایشی ۷۸
خوردگی توام با تنش ۷۹
خوردگی درحضورآب ۸۰
حفاظت مخازن از اثرات آب ۸۱
روش‌های بازدارندگی ازخوردگی ۸۴
روش بازدارنده‌های شیمیائی کاتدی و آندی ۸۴
روش حفاظت آندی ۸۶
روش حفاظت کاتدی ۸۷
انواع روشهای سیستم حفاظت کاتدیک ۸۸
سیستم حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان ۹۱
معیارهای حفاظت کاتدی در حفاظت لوله‌های مدفون ۹۴
آزمایش عملکرد يك سیستم حفاظت کاتدی ۹۵
پیشگیری از خوردگی در انبار نفت ۹۷
خوردگی سطوح داخلی ، خارجی وکف مخازن ۹۸
شرایط خاک و زیرلایه مخازن ۱۰۱
حفاظت کاتدی کف مخازن ۱۰۳
حفاظت کاتدی کف مخزن با روش MMO ۱۰۴
حفاظت کاتدی کف مخزن با توزیع پتانسیل (بسترآندی مناسب) ۱۰۵
حفاظت کاتدی پیرامون (بسترآندی کم عمق در اطراف مخزن) ۱۰۶
حفاظت کاتدی کف (آند افقی درزیر کف مخزن) ۱۰۷
حفاظت کاتدی ضمن عایق سازی الکتریکی مخازن از یکدیگر ۱۰۸
توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی با پوشش مناسب زیر کف مخزن ۱۰۸
تلفیق حفاظت کاتدی و پوشش ۱۰۹
روش VCI درحفاظت خوردگی کف مخازن ۱۱۳
ممانعت از خوردگی سطوح بیرونی مخازن ۱۱۶
حفاظت لوله‌های تاسیسات انبار از خوردگی ۱۱۸
خوردگی سطوح داخلی لوله‌ها ۱۱۸
خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها ۱۲۱
ممانعت از خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها با کاربرد پوشش ۱۲۲
ممانعت از خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها با نوار پیچ کردن ۱۲۶
ممانعت ازخوردگی لوله‌ها با استفاده ازحفاظت کاتدیک ۱۲۸

عملیات سندبلاست مخازن ۱۳۱
تمیزکردن با جریان شن یا دانه‌های فلزی ۱۳۶
روش کار (دستورالعمل) با جریان شن ۱۳۷
اقدامات ایمنی تمیزکردن با جریان شن یا د انه‌های فلزی ۱۳۸
روش و شرایط اجرایی عملیات سندبلاست مخازن ۱۳۹
اصول اساسی پوشش دهی مخازن و تاسیسات با رنگ ۱۴۱
مراحل و مشخصات رنگ آمیزی ۱۴۳
نکات رنگ آمیزی ۱۴۵
تمیزکردن با وسائل دستی ۱۴۷
تمیزکردن با وسائل مکانیکی ۱۴۹
مرحله ۱ : آماده و تمیزکردن سطح فلز ۱۵۴
مرحله ۲: پوشش آستری اولیه ۱۵۵
مرحله ۳: پوشش لایه میانی ۱۵۶
مرحله ۴: رنگ نهائی ۱۵۶
بازرسی حین و بعد رنگ آمیزی ۱۵۷

- **فصل چهارم**

اصول عایق کاری ۱۶۱
نقش عایق‌ها درصنایع نفت ۱۶۳
عایق‌های ضدآتش ۱۶۴
عایق‌های دمای بسیار بالا (نسوز) ۱۶۵
عایق‌های متوقف کننده آتش ۱۶۶
عایق‌های محافظت کننده در مقابل آتش ۱۶۷
درجه بندی مقاومت در مقابل آتش ۱۶۸
محاسبات عایق‌های حرارتی ۱۶۹
محاسبه ضخامت عایق ۱۷۱
جنس ومحدوده موثربودن عایق‌ها ۱۷۳
عایق‌های گرم ۱۷۵
عایق‌های سرد ۱۷۶

- **ضمیمه ۱**

آیین نامه ارت(Earth) ۱۷۷

- **ضمیمه ۲**

روش‌های اجرای ارت ۲۱۵

- **ضمیمه ۳**

تجهیزات و مصالح مورد نیازانواع سیستم ارتینگ ۲۲۵

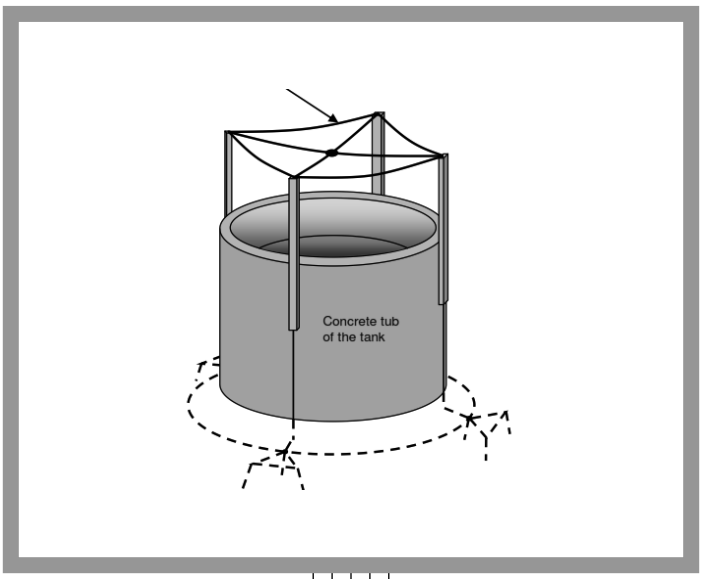
- **ضمیمه ۴**
  پاره‌ای از اهم اتصالات و تجهیزات ارت ۲۲۸
- **ضمیمه ۵**
  صاعقه گیر الکترونیکی ۲۳۲
- **منابع و مراجع** ۲۳۴

فصل اول

اصول محافظت مخازن از صاعقه و بارهای الکتریکی

(سیستم‌های ارتینگ در انبارهای نفت)

Oil Depot Earthing Systems



استانداردهای مرتبط با این فصل عبارتند از:

- NFPA 70.National electrical code.
- NFPA 780.Standard For The Installation Of Lightning Protection.
- API 545. Lightning Protection for Above Ground Storage Tanks.
- IPS-E-PR-370.Engineering Standard For Process Design Of Loading And Unloading Facilities.
- IEC 62305 Protection against lightning.
- ...

سیستم‌های ارتینگ درانبارهای نفت به منظور حفاظت جان افراد و ممانعت از آسیب به دستگاه‌ها، ممانعت از حریق مخازن نگهداشت فرآورده‌های نفتی اجرا گردیده و اضافه ولتاژهای تولید شده در بدنه تجهیزات و مخازن و... که باعث وقوع حوادث فوق می‌شود و همچنین ولتاژهای بسیار زیاد و خطرناك ناشی از برخورد صاعقه با تجهیزات، مخازن و ... را خنثی می‌نماید. استفاده از سیستم ارت(Earth) که تکنیکی جهت تسهیل تخلیه ایمن و استاندارد بار اضافی تجهیزات به دریای الکترون یا بیکرانه بارالکتریکی زمین است، حفاظت ازحوادث احتمالی پیش گفته را مقدور می‌سازد.

ازطرفی باتوجه به افزایش کاربرد سیستم‌های دیجیتالی و حساس، لزوم بازنگری در طراحی، نصب و نگهداری سیستم‌های حفاظتی یا همان ارتینگ (Earthing) بیش از پیش احساس می‌گردد.

بطور کلی اتصال به زمین عبارتست از اتصال تمامی المان‌های الکتریکی و تجهیزات همبند شده، به پتانسیل زمین. برای تضمین حفاظت حداکثری، از سیستم صاعقه‌گیر به همراه مقاومت پایین و روش‌های زمین کردن، از جمله همبندی مسیر قوس الکتریکی استفاده می‌شود. همبندی نیز به مفهوم هم پتانسیل کردن تمامی تجهیزات الکتریکی و فلزی در یک مخزن و اتصال آنها به‌هادی نزولی، هم پتانسیل کردن تمامی آنها و اتصال آن به سیستم زمین است. این همبندی باعث جلوگیری از قوس الکتریکی، که منجر به احتراق مواد قابل اشتعال مخازن می‌شود، به کار می‌رود.

به طور خلاصه اهم اهداف بکارگیری سیستم ارتینگ یا گراندینگ (Grounding Earthing) را می‌توان در چند جمله زیر خلاصه نمود:

۱ .حفاظت و ایمنی جان افراد
۲ .حفاظت و ایمنی وسایل و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
۳ .فراهم آوردن شرایط ایمن وایده‌ال جهت انجام فعالیت
۴ .ممانعت ازایجاد ولتاژ تماسی
۵ .حذف ولتاژ اضافی
۶ .جلوگیری از ولتاژهای ناخواسته و صاعقه
۷ .اطمینان از قابلیت کار الکتریکی

اصول حفاظت مخازن انبارنفت در مقابل صاعقه

مهمترین استانداردهای مورد استفاده در سیستم‌های ارتینگ مخازن شامل استاندارد NFPA۷۸۰ و گزارش API۵۴۵ می‌باشد که استاندارد NFPA۷۸۰، ارتینگ سازه‌ها و مخازن را تعیین نموده و ۵۴۵ API نیز درخصوص محافظت مخازن فرآورده‌های نفتی از صاعقه، توصیه‌های لازم را ارائه داده است. تأسیسات مخازن ذخیره‌سازی فرآورده‌های نفتی باید در برابر صاعقه حفاظت شوند. بدون شک، عملکرد ایمنی سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی، از جمله مهمترین برنامه‌ها دراین تاسیسات می‌باشند. لذا این سیستم‌ها باید در برابر عوامل تهدیدکننده از قبیل امواج صاعقه و بارهای ناخواسته اضافی، حفاظت گردند.

اولین علت از علل حریق‌های ناشی از صاعقه، برخورد مستقیم صاعقه به تاسیسات است. زمانی که یک مخزن ذخیره در ناحیه ی برخورد مستقیم صاعقه می‌باشد، بخارات قابل اشتعال در مواجهه با گرمای زیاد تخلیه الکتریکی در نقاط برخورد، ممکن است مشتعل گردند. محتمل ترین مکان برای مشتعل شدن در اثر اصابت صاعقه، ناحیه نشت‌بند (Mechanical Seal) در مخزن دارای سقف شناور می‌باشد.

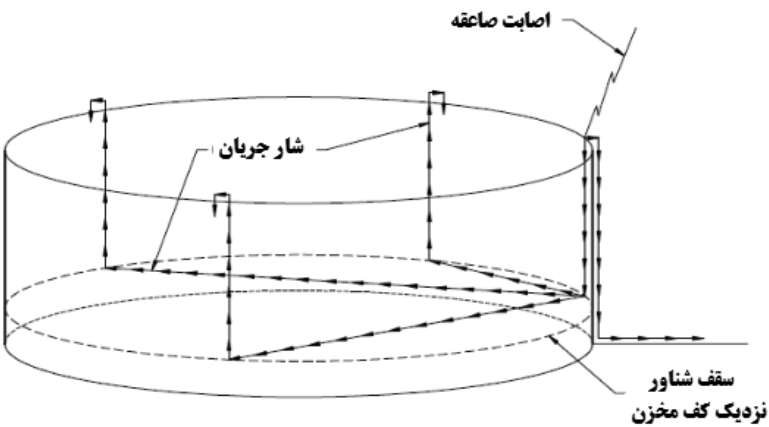
همچنین شیر تخلیه یا ونت بخش درزبندی، مکان محتمل مشتعل شدن می‌باشد و باید روی آن، بازدارنده شعله نصب گردد.

برخورد صاعقه ممکن است مخزن سقف شناور را در حالات زیر در معرض خطر قرار دهد:

- برخورد صاعقه با سقف
- برخورد با بخش درزبندی سقف مخزن
- برخورد با بدنه ی مخزن
- برخورد با هر تجهیز اضافی متصل به سقف یا بدنه، نظیر Gauge Pole و...
- برخورد با یک سازه هم ارت و نزدیک مخزن با سقف شناور

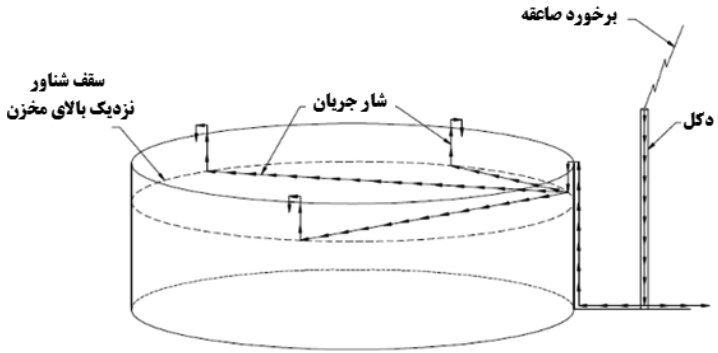
درصورت برخورد صاعقه با سقف، سقف از جریان الکتریکی اشباع شده و بین سقف و دیواره مخزن،اختلاف پتانسیل بسیار زیادی ایجاد گردیده و تخلیه اجباری جریان بصورت جرقه از فاصله بین سقف و دیوار مخزن پرش می‌نماید. این فاصله یا همان بخش مکانیکال سیل مخزن، بالاترین پتانسیل را برای

اشتعال دارد(تکمیل مثلث حریق بواسطه وجود جرقه).درصورت برخورد صاعقه به هر یک از مکان‌های فوق الذکر، نسبتی از جریان کل صاعقه از محل اتصال سقف وبدنه عبور خواهد یافت.درصورت برخورد رعدوبرق به بدنه مخزن) چنانکه در شکل زیر نشان داده شده است(، جریان قابل ملاحظه ای در نقاط اتصال بدنه به سقف یا همان ناحیه مکانیکال سیل مخزن جاری خواهد شد. شکل زیر شار جریانهای حاصل از برخورد صاعقه با بدنه مخزن سقف شناور را نشان می‌دهد.



لازم به ذکر است که جریان از میان نقاط اتصال بدنه به سقف در مکان‌های متعدد جریان می‌یابد همانگونه که در شکل فوق نشان داده شده است، در صورت برخورد صاعقه به محدوده مجاور یک مخزن سقف شناور (هم به زمین و هم به سازه متصل به زمین)، مقادیر اندکی از جریان در نقاط اتصال بدنه به سقف جاری خواهد شد. در هر دو مورد، جریانهای مرتبط به صاعقه در سرتاسر نقاط اتصال بدنه به سقف جاری خواهد شد.

بنابراین درصورت زیاد بودن اختلاف ولتاژ بین سقف و بدنه، در سرتاسر نشتبندی نقاط اتصال بدنه به سقف، قوس الکتریکی رخ خواهد داد. شکل زیر شار جریانات ناشی از برخورد صاعقه با دکل مجاور مخزن را نشان می‌دهد.



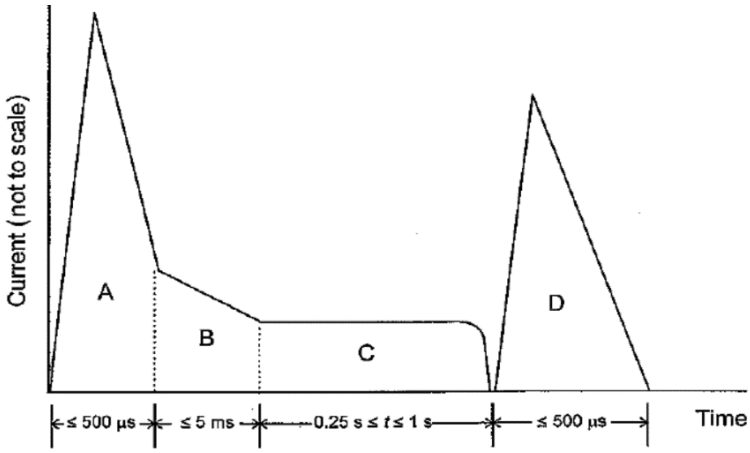
توجه به این نکته که جریان از میان نقاط اتصال بدنه به سقف در چندین موقعیت جریان می‌یابد،می‌تواند وجود ارتینگ و اتصالات سقف به این سیستم را درحدلازم و کافی تا پتانسیل مورد نظرخاطرنشان سازد.

درمخازن سقف ثابت، بدلیل یکپارچه بودن بدنه و سقف، مشکلات و حوادث ناشی از صاعقه به مراتب کمتر است.لذا درزمان برخورد صاعقه با سقف بدلیل عدم اختلاف پتانسیل بین سقف و بدنه و بدلیل اتصال کامل آنها، تخلیه جریان الکتریکی هجوم آورده از آسمان به سقف مخزن از سراسر دیواره آن عبور نموده و به زمین منتقل می‌گردد.تنها موضوع مهم دراین خصوص، حداکثر جریان الکترونهای برخورد نموده از صاعقه به سقف است که دربدترین شرایط تا ۶ کیلوآمپر نیز جریان به سقف تحمیل نموده است. به همین خاطر استانداردهای مربوطه حداقل جداره مخزن را برای مخازن سقف ثابت حداقل ۴٫۸ میلیمتر لازم دانسته اند که درصورت برخورد چنین صاعقه ای، دربدترین شرایط که ۲٫۵ میلیمتر ضخامت درآستانه ذوب قرارگیرد، ۲میلیمترآن را به منطقه داغ تبدیل نموده و با افزایش ۰٫۳ میلیمتر، این ضریب اطمینان را به ضخامت دیواره مخزن جهت بالا بردن تاب و تحمل مخزن دربرابر این حجم جریان الکترونی ارائه نموده اند.مقاومت ارت برای این مخزن، درصورتیکه ارتینگ آن فقط مربوط به مخزن بدون تجهیزات دیگر باشد کمتر از ۱۰ اهم قابل قبول است اما اگرتجهیزاتی چون ابزار دقیق و ولوها و اتصال‌ها و .... نیز لازم به تخلیه بارهای اضافی داشته باشند،مقاومت ارت آن می‌بایست زیر ۵ اهم باشد.

مولفه‌های الکتریکی صاعقه

Lightning Electric Components

یک صاعقه معمولی، حاوی مؤلفه‌های الکتریکی متعددی است.شکل زیر مؤلفه‌های برق صاعقه ازحیث جریان و زمان رخداد آن را نشان می‌دهد.



درشکل فوق:

مؤلفه A : جزء یا مؤلفه ی سریع، فوق العاده کوتاه بوده و درعین حال حاوی جریان حداکثر می‌باشد.

مؤلفه B: بین مؤلفه A و مؤلفه C یک فاز انتقالی است که جریان را از سریع به آهسته منتقل می‌کند.

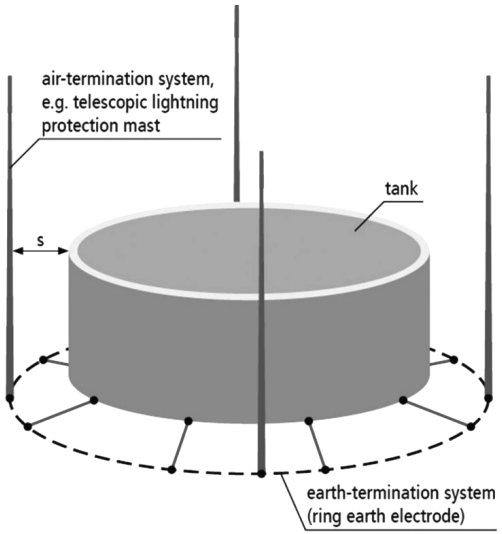
مؤلفه C : جزء یا مؤلفه‌ی کندو طولانی بوده و حاوی جریانی کمتر از مؤلفه A می‌باشد. این مؤلفه به عنوان مؤلفه ی جریان پیوسته تعریف شده است. جزء یا مؤلفه‌ی C، بسیار طولانی تر از سایر مؤلفه‌ها بوده و دارای انرژی بیشتری نسبت به آنها است. مدت زمان مؤلفه C، ۵۴۴ تا ۲۴۴۴ برابر، مدت زمان مؤلفه A است.

مولفه D: به دنبال مؤلفه C، به طورمعمول اصابت‌های برگشتی مضاعف بعدی یعنی مؤلفه D رخ می‌دهد که به طورمعمول ادامه می‌یابد تا زمانی که کل جریان صاعقه مصرف شود.

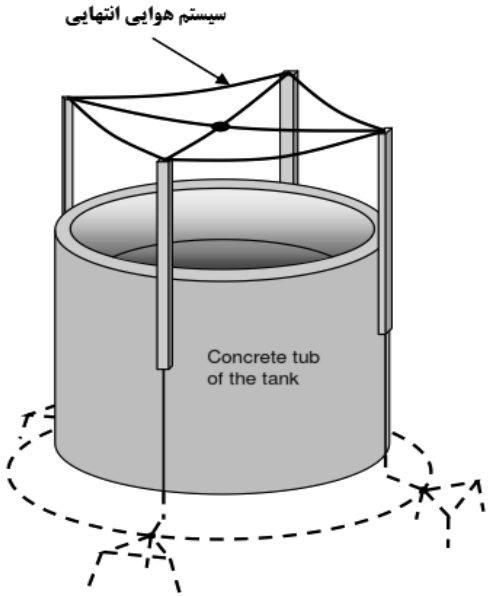
سیستم‌های حفاظتی در برابر صاعقه

سیستم تقسیم یا شبکه هوایی

Air Termination System



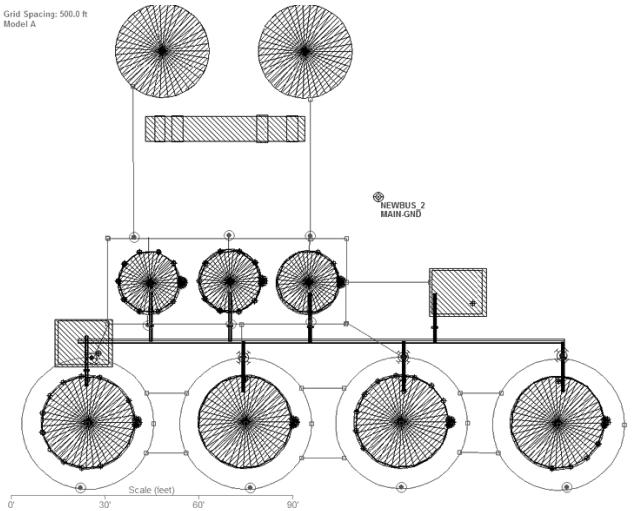
به طورکلی در صورتی که مخزن از مواد نارسانای الکتریسیته باشد و یا در صورتی که ضخامت مخزن فولادی از ۵ میلیمتر کمتر باشد درجهت حفاظت مخزن دربرابر صاعقه، همواره به نصب یک سیستم شبکه هوایی روی مخازن نیاز می‌باشد. در این مورد، سیستم شبکه هوایی شامل، سیم‌ها یا کابل‌های شبکه هوایی هستند که در بالای مخازن،؛ به گونه‌ای نصب می‌شوند که این سیستم در داخل ناحیه ی حفاظتی واقع گردیده و از استقرار مستقیم مخازن در برابر اصابت صاعقه جلوگیری نماید.شکل‌های قبل و زیر نمایی از یک سیستم هوایی انتهایی را نشان می‌دهند.



سیستم شبکه هوایی برای یک مخزن استفاده کننده ازهادی‌های شبکه هوایی بعلاوه، نصب یک سیستم شبکه هوایی روی مخازن با سقف شناور و اتصال ساختارهای فوقانی مخزن با یک رابط به داخل مخزن، (به منظور کمک به پیشگیری از رسیدن جرقه به داخل مخزن) توصیه شده است.

باندینگ هم پتانسیل

Equipotential Bonding



یک باندینگ هم پتانسیل بکارگیری تکنیک‌هائی است که به منظور همبندی همه مخازن،تاسیسات و تجهیزات یک سیستم تحت محافظت طراحی و اجرا می‌گردد.این باندینگ شامل اقدامات عمومی و اجتناب ناپذیری است که بطورخاص جهت باندینگ هم پتانسیل توسط استانداردهای مربوطه توصیه گردیده و شامل موارد ذیل است:

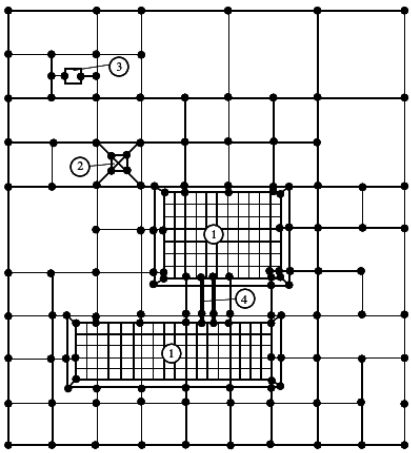
- افزایش تعدادهادی‌های تحتانی برای تقسیم بیشتر جریان
- عدم قرارگیری هادی تحتانی در داخل ساختار (در صورت امکان)
- وجود سطح مقطع کافی برای هادی‌ها
- استفاده ازاتصالات و مفصل‌های بادوام و قابل اعتماد جهت این همبندی
- هم پتانسیل سازی‌های ایمن، به واسطه ی شبکه ای نمودن تأسیسات برقی و همبندی همه مخازن،تجهیزات و تأسیسات فلزی.

هریک از موارد فوق دربخش‌های بعد شرح داده خواهند شد.

سیستم شبکه ارت

Earth Termination System

درصورت شبکه ای نبودن ارت‌های منفرد، بین آنها اختلاف پتانسیل بوجودآمده و اختلاف پتانسیل ایجاد شده خود منشاء ایجاد مقاومت و عدم تخلیه از ارت‌های مختلف ضمن ایجاد نیروهای الکترومغناطیس بین ارت‌های منفرد بواسطه فواصل محدود آنها خواهد گردید.به منظور اجتناب از ایجاد اختلاف پتانسیل بین سیستم‌های ارت منفرد، باید همه ی سیستم‌های ارت، به سیستم شبکه ارت جامع که کاملاً هم پتانسیل است، متصل گردند. این سیستم، به واسطه ی ترکیب سیستم‌های ارت سازه‌ها، ساختمانها یا تأسیسات مختلف به هم دیگر انجام می‌شود. چنین سیستمی یک مقاومت پایین در بین همه ی سازه‌ها فراهم مینماید و مزایای قابل توجهی در ارتباط با تطابق با الزامات الکترومغناطیس دارد.شکل زیر یک سیستم شبکه ارت را که متشکل از ساختمانها، تجهیزات مستقل و فرایندی می‌باشد، نشان می‌دهد که درآن ساختمانها با شبکه متصل تقویت شده(۱)، برج(۲)، تجهیزات مستقل(۳)،سینی کابل(۴) نشان داده شده است.



Meshed earth-termination system of an industrial plant

1: buildings with meshed network of the reinforcement 2: tower inside the plant
3: stand-alone equipment 4: cable tray

یک سیستم شبکه ارت معمولاً شامل موارد زیر می‌باشند:

- ارت حفاظتی الکتریکی برای حفاظت افراد و اشیاء
- ارت حفاظتی صاعقه برای انتقال جریانات صاعقه به زمین
- ارت هم پتانسیل سازی، برای کارکرد عملیاتی(ایمن و پیوسته) تأسیسات الکتریکی و الکترونیکی

استفاده از ساختارهای مجزای (ساختارهای به هم متصل نشده با قابلیت قوس الکتریکی بین آنها بواسطه فواصلشان)سیستم‌های ارت شبکه‌های برای ارت حفاظتی در تأسیسات نفت و گاز، به علت احتمال وقوع قوس الکتریکی یا همان نیروهای الکترومغناطیس ناشی از مقاومت‌های مختلف بوجودآمده بسیار خطرناک خواهد بودو ممنوع است.

مطابق استاندارد NFPA ۷۸۰،هرمخزن با هر قطری، حداقل می‌بایست از دو مسیر به شبکه ارت متصل باشد.اما به ازاء هر بیست متر نیز بایستی ارتباط با مش نیز داشته باشد.

جنس مش‌ها از تسمه یا سیم مسی یا استنلس استیل و یا فولادگالوانیزه انتخاب می‌شود که دراین میان استنلس استیل بیشترین طول عمر را از خود نشان می‌دهد.

درصورتیکه سیستم مش را به ابعاد کوچکتر ببندند، مقاومت یا اهم اندازه‌گیری شده از بیرون مش کاهش خواهد یافت.

درسیستم استاندارد انگلیسی BS از RODنیز استفاده می‌گردد.ارتباط این میله‌ها را به توسط مش برقرار می‌نمایند. نکته مهم اینکه درنقاطی که امکان ROD کوبی وجود ندارد ابعاد کوچکتر مش مقاومت را کاهش خواهد داد.

درصورت میله کوبی، دور مخزن به فاصله نیم متری مخزن کانالی حفر می‌نمایند و هربیست متر یک میله کوبی صورت می‌پذیرد، بطوری که کلا به مقاومت زیر ۵ اهم دسترسی یابند(استاندارد NFPA). این دسترسی به مقاومت حداقل دراستاندارد APIبه زیر ۳ اهم می‌رسد.

اتصال به زمین (ارت)ذاتی

Inherent Grounding

مخازن، تجهیزات و سازه‌هایی فلزی که به طور معمول در صنعت نفت یافت می‌شوند و در تماس مستقیم با زمین هستند (یعنی فاقد ورق‌های نارسانا می‌باشند) به لحاظ فنی تایید شده است که این تجهیزات به اندازه کافی ذاتا ارت شده‌اند تا در مواقع اصابت صاعقه، انتشار ایمن صاعقه را به زمین فراهم نمایند.

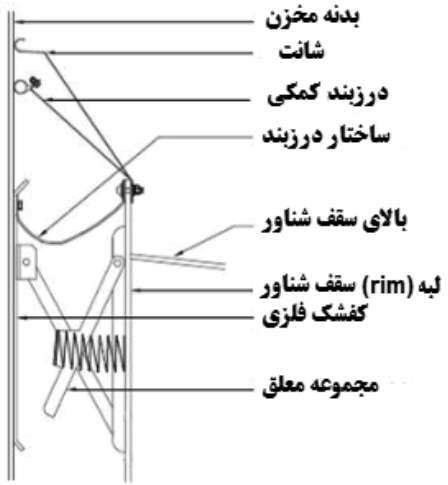
تجهیزات فلزی که به طور مستقیم روی زمین قرار ندارند، اما به سیستم لوله کشی ارت ذاتی بوده و متصل هستند،معمولاً برای انتشار صاعقه‌ی برخوردی به زمین، ایمن می‌باشند. این تجهیزات ممکن است برای پیشگیری از آسیب به فونداسیون آنها، نیاز به ارتینگ تکمیلی داشته باشند.

برای مخازن با قطر بزرگتر از ۱۰متر و یا مخازنی که نیم متر درزمین فرورفته اند و یا زمین‌هائی که بواسطه ترکیبات رسانای آن مقاومت خاک درآنها کمتر از ۲۰۰ میلی‌اهم باشد، ارتینگ ذاتی برقرار شده است.

سازه‌هایی که از مواد عایقی نظیر چوب، پلاستیک، آجر یا سیمان تقویت نشده ساخته شده اند، به طور ذاتی برای حفاظت در برابر صاعقه، ارت نمی شوند. این سازه‌ها، می‌توانند به واسطه ی سیستم‌های حفاظت در برابرصاعقه، از اصابت مستقیم صاعقه در امان باشند. اطلاعات بیشتر در خصوص سیستم حفاظت در برابر صاعقه در استانداردهای NFPA ۷۰, NFPA ۷۸۰ در دسترس می‌باشد.

سیستم حفاظتی برای مخازن سقف شناور
Tank storage Grounding

همانطور که در قسمت آشنائی با مخازن در جلد دوم این مجموعه اشاره گردید، نشت‌بندها (مکانیکال سیل)ی قابل انعطاف در محدوده‌ی لبه‌ی سقف برای پیشگیری از فرار بخارات، گنجانده می‌شود. این نشتبندها از مواد نارسانا مانند لاستیک، نئوپرن و غیره ساخته شده‌اند. لذا این مواد درنشتبند، نارسانا بوده و سقف را از بدنه مجزا (ایزوله) می‌نماید. شکل زیر برش عرضی از نقاط اتصال بدنه به سقف مخزن سقف شناور را نشان می‌دهد.



باتوجه به فراریت موادقابل اشتعال، این مواد در مجاورت منافذ دیواره لبه‌ها و در خود مخزن وجوددارند. برای به حداقل رساندن خطراشتعال مخزن و تجهیزات جانبی،باید به طور کامل تمامی آنها همبندی شده و به زمین متصل شوند.

ممکن است، نشتبندها پوسیده شده، ترک برداشته و یا در طی زمان صدمه ببینند. علاوه براین، بدنه مخزن به دلیل پر شدن، تخلیه، گرم و سرد شدن مکرر و غیره به تدریج از حالت مدور، خارج می‌شود. سطح داخلی بدنه همچنین در اثر

خوردگی یا مواد باقیمانده نظیر پارافین و قیر ناهموار می‌شود.

به دلیل نقص‌های ذکر شده، در نشت‌بندی نقاط اتصال بدنه به سقف، بخارات مواد هیدروکربنی در برخی مواقع به بیرون نشت کرده و با هوا مخلوط شود. به صورت طبیعی، این بخارات می‌توانند فوق العاده قابل اشتعال باشند از این رو ناحیه بالایی داخل سقف یک مخزن سقف شناور به عنوان کلاس یک ناحیه یک طبقه‌بندی می‌شود. طبقه‌بندی کلاس یک ناحیه یک از سقف تا بالای بدنه ادامه دارد. لازم به توضیح است NFPA ۷۰ سه گروه از طبقه‌بندی برای مواد خطرناک را تعریف می‌کند که به صورت کلاس یک (I)، کلاس دو (II) و کلاس سه(III) معرفی می‌شوند.کلاس‌ها نوعی از مواد انفجاری یا قابل اشتعال تعریف می‌شوند که در اتمسفر حضور دارند و به شرح ذیل می‌باشند:

- کلاس یک(I)، مکان‌هایی هستند که در آنها بخارات و گازهای قابل اشتعال ممکن است حضور داشته باشند.
- کلاس دو(II)، مکان‌هایی هستند که در آنها گردوغبار قابل احتراق ممکن است یافت شود.
- کلاس سه(III)، مکان‌هایی هستند که به علت حضور الیاف قابل اشتعال خطرناک هستند.

براساس این کلاس بندی مکان‌ها، ناحیه یک (Division ۱)، مکان‌هایی هستند که در آن مکان‌ها گازها و بخارات قابل اشتعال تحت شرایط نرمال وجود دارند یا جایی که بخارات یا گازهای قابل اشتعال فرار ممکن است به وفور به علت عملیات تعمیرات و نگهداری یا نشتی حضور داشته باشند، یا جایی که شکست یا نقص عملکرد تجهیزات یا فرایندهای الکتریکی ممکن است غلظتهای قابل اشتعال گازها یا بخارات قابل اشتعال را رها سازد.

ناحیه دو (Division ۲) نیز مکان‌هایی هستند که در آن مکان‌ها حضور غلظت‌های قابل احتراق گازها یا بخارات قابل اشتعال در شرایط نرمال محتمل نمی‌باشد. یا مکان‌های مجاور کلاس یک ناحیه یک که مانعی برای مجزا کردن فضای ناحیه یک از این محل بی‌خطر وجود ندارد. لذا با توجه به تعاریف فوق توسط این استاندارد، ناحیه یادشده در مکانیکال سیل یا درزبند سقف مخزن یاد شده در کلاس یک این تقسیم‌بندی واقع می‌گردد.

باندینگ (اتصال سقف بدنه)مخزن

Tank Storage Bonding

درخصوص ضرورت انجام باندینگ (Bonding) یا اتصال سقف بدنه، به علت این که پتانسیل الکتریکی سقف باید برابر با پتانسیل الکتریکی بدنه مخزن نگه داشته شود، ضرورت یافته است که سقف شناور به‌صورت الکتریکی به بدنه مخزن متصل گردد. در صورتیکه سقف و بدنه هم پتانسیل نباشند و در صورتی که ولتاژ بین این دو به اندازه کافی بزرگ باشد، امکان وقوع قوس الکتریکی بین این دو سطح وجود خواهد داشت. بدین منظور از سه روش مرسوم باندینگ سقف بدنه شامل:

- باندینگ سقف بوسیله شانت(Shunt Bonding)
- باندینگ سقف بااستفاده ازمسیرعبور(Walkway Bonding)
- باندینگ سقف با استفاده از کابل اتصال سقف بدنه (Roof-Shell Bonding Cable)

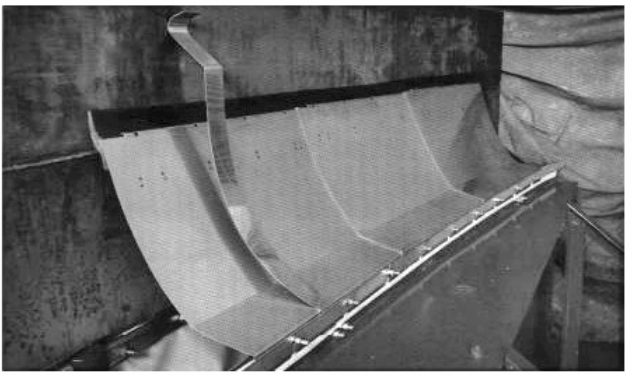
استفاده گردیده که در ادامه شرح داده خواهند شد.

باندینگ سقف بوسیله شانت

Shunt Bonding

برای ایجاد باندینگ سقف بدنه، سازندگان مخازن سقف شناور به طور معمول وسایلی نصب می‌کنند که شانت(shunt) خوانده می‌شود. شانت‌ها از فولاد فنری محکم (spring-tensioned) ساخته می‌شوند. این شانت‌ها به سقف متصل می‌شوند، به گونه‌ای که ضمن تغییر موقعیت لحظه ای سقف شناوربواسطه تغییر سطح مایع درون آن، در تماس پیوسته با بدنه مخزن باشند. اتصال پایدار بستگی به ویژگی‌های مواد شانت، فشار تماسی و وضعیت بدنه مخزن دارد.

شانت‌ها به لبه سقف شناور پیچ شده و خم می‌شوند، به‌گونه‌ای که به بدنه‌ی داخلی فشار آورده و یک ارتباط تماسی با بدنه ایجاد می‌کنند. شکل زیر برش عرضی از شانت‌ها را در بالای نشت‌بندی‌های سقف شناور نشان می‌دهد.



شانت‌ها به چند دلیل، اتصال مقاومت‌های پایین مثبت با بدنه ی مخزن را فراهم نمی کنند، از جمله ی این دلایل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- اجزاء سنگین نفت خام مثل واکس، قیر، پارافین و غیره دیوار داخلی مخزن را پوشش می‌دهند، بنابراین یک مانع مقاومتی بین بدنه و شانت‌ها تشکیل می‌دهند.
- خوردگی(زنگ زدگی) روی بدنه ی داخلی، یک اتصال با مقاومت بالا بین بدنه و شانت‌ها ایجادمی نماید.

- در صورتی که داخل مخزن رنگ شده باشد، رنگ، بدنه را از شانت ایزوله خواهد کرد.
- سطح مقطع مخازن بزرگ به طور معمول در حدود چند اینچ از حالت دایره‌ای انحراف دارد. درنتیجه در برخی موارد، شانت‌ها در ابعاد بلند مخزن از بدنه دور خواهند شد.
- قوس الکتریکی بین شانت‌ها و بدنه داخلی مخزن، تحت همه شرایط (کثیف، تمیز، جدید، کهنه، خوب نگهداری شده یا نادیده گرفته شده، دیواره‌های داخلی رنگ شده یا پوشش داده شده، زنگ خورده)، چه شانت‌ها بالای سقف باشند یا غوطه ور در داخل مخزن، می‌تواند رخ دهد.
- هنگامی که شانت‌ها در بالای سقف قرار داشته باشند، موقعیت قوس الکتریکی خطرناکترین مکان ممکنه است، زیرا در روی سقف ممکن است غلظتهای بالایی از مخلوط انفجاری به ویژه در هوای گرم و خشک ایجاد گردد.

بنابراین بطور کلی شانت‌ها بر اساس استاندارد NFPA ۷۸۰ (کد حفاظت در برابر صاعقه) لازم است که روی مخازن سقف شناور در بالای نشتبند بر روی لبه سقف شناور (در ناحیه نشت‌بند) نصب شوند. هدف اصلی از نصب این شانتها تأمین یک مسیرهادی از سقف مخزن به دیوار مخزن است.

مطابق استاندارد NFPA، حداکثر مقاومت مخازن نسبت به خاک برابر ۱۰ اهم توصیه شده است که این شانت‌ها در مجموع این مقاومت را برای سیستم مهیا نمایند کفایت می‌نماید .برای دریافت جزئیات تکمیلی به NFPA ۷۸۰ و API ۵۴۵ مراجعه گردد.

باندینگ سقف با استفاده از مسیر عبور

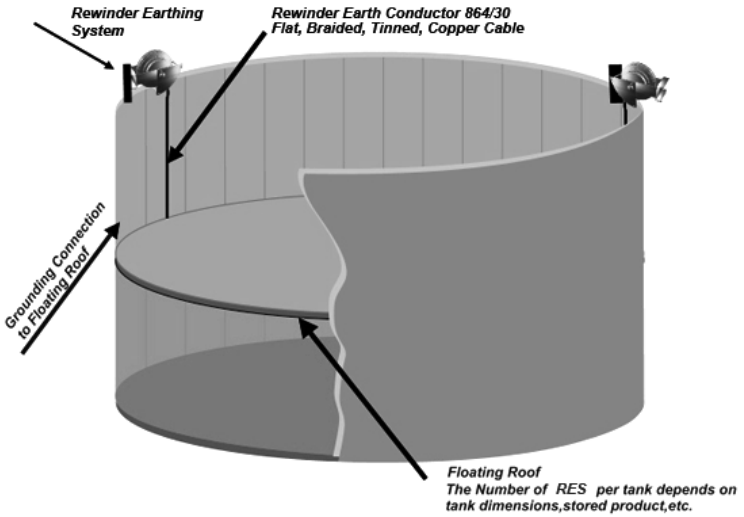
Walkway Bonding

روش دیگر برای ایجاد ارتباط بین سقف و بدنه، مسیر عبور(Walkway) است. تقریباً همه ی مخازن سقف شناور، یک مسیر عبور یا نردبان با انتهای فوقانی متصل به دیواره مخزن دارند و انتهای تحتانی روی ریل نصب شده به سقف مخزن حرکت می‌کند.

کیفیت ارتباط الکتریکی از طریق این راهکار حفاظتی، سوال برانگیز است زیرا انتهای فوقانی مسیر عبور، یک لولای پیچی بوده و در معرض شل شدن اتصالات، خوردگی و رنگ شدن و جرم گرفتگی می‌باشد. از طرف دیگر ارتباط الکتریکی روی انتهای تحتانی، یک ارتباط فشاری است که صرفاً به واسطه ی دو چرخ متحرک روی ریل‌ها می‌باشد تصویر زیر مکانیزم حرکت و چرخش دو چرخ مربوط به مسیرعبور روی سقف شناوررا نشان می‌دهد.

این ارتباط نیز در معرض خوردگی و رنگ شدن می‌باشد.بنابراین حصول اطمینان مداوم از تمیزبودن و برقراری اتصال‌های یاد شده ازجمله مواردی است که این نوع باندینگ را همواره با عدم اطمینان مواجه می‌نماید.

باندینگ سقف با استفاده از کابل اتصال سقف بدنه
Roof-Shell Bonding Cable



راه سوم برای اتصال سقف بدنه، نصب یک کابل اتصال بین بالای بدنه و قسمت میانی سقف است. کابل اتصال سقف بدنه معمولاً از یک طرف به بالای Rim نزدیک قسمت بالایی مسیر عبور و از طرف دیگر به مرکز سقف بسته می‌شود. بنابراین، کابل باید برای رسیدن به پایین‌ترین وضعیت سقف، طول کافی داشته باشد.

بطور کلی دو نوع کابل اتصال سقف بدنه وجود دارد:

- نوع طول ثابت متداول
- نوع‌هادی جمع شونده (RGA)

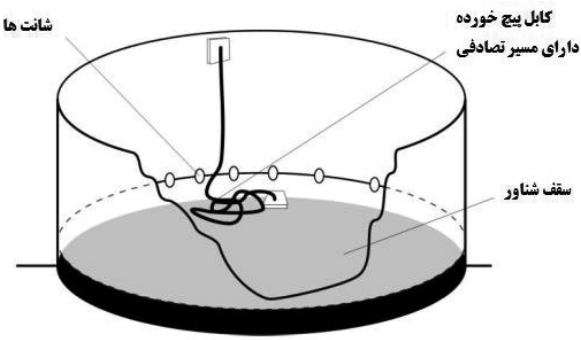
استاندارد IEC یک مکانیسم اتصال سقف بدنه که تمام این الزامات را تأمین می‌کند، پیشنهاد نموده است. کابل اتصال جمع‌شونده (Retractable Grounding Assembly) کمترین مقاومت ممکنه اتصال بین سقف شناور و بدنه مخزن را فراهم می‌کند. تصویر زیر کابل اتصال جمع شونده RGA روی مخازن سقف شناوررا نشان می‌دهد.

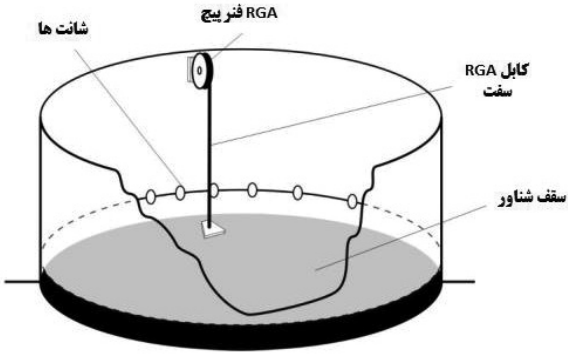
همانگونه که گفته شد RGA دارای یک کابل جمع‌شونده می‌باشد که بین سقف و بدنه بسته می‌شود. کابل اتصال در RGA از یک کابل مسی نواری مسطح عریض، ساخته شده است. محفظه‌ی RGA کاملاً از فولاد ضد زنگ برای محافظت در برابر خوردگی ساخته شده است.

کابل RGA به صورت فنری است، به این معنی که به صورت اتوماتیک، زمانی که تحت کشش نباشد روی قرقره جمع می‌شود، بنابراین کابل، صرفنظر از ارتفاع قرارگیری سقف تا حد ممکن همیشه کوتاه است.

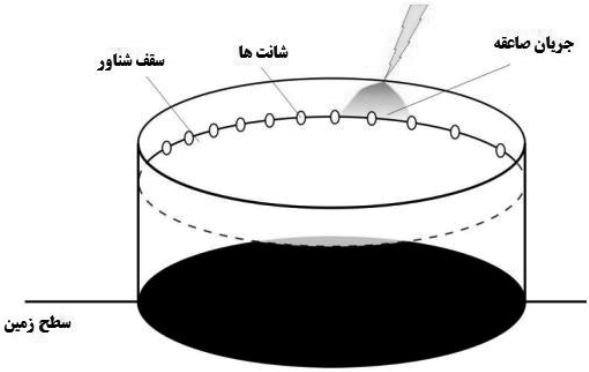
به علت اینکه بدنه RGA به بالای بدنه و نیز سقف متصل می‌شود، بنابراین از هر شانتی مستقل است. همچنین در صورتیکه هیچ شانتی وجود نداشته باشد، کار می‌کند. نظر به اینکه مخازن سقف شناور معمولاً قطر خیلی بزرگی دارند، حائز اهمیت است که امپدانس یا مقاومت ظاهری سقف به بدنه به واسطه نصب تعدادی RGA در فواصل مختلف محدود گردد.

دراشکال زیر به ترتیب کابل با طول ثابت متداول و نوع کابل جمع شونده RGA نشان داده شده است.



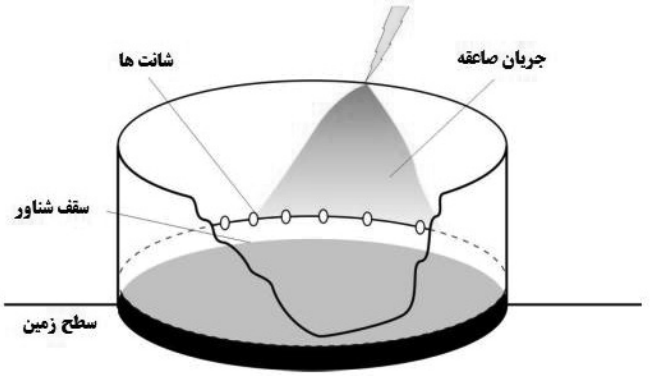


یک سقف شناور همیشه در معرض بیشترین ریسک است و زمانی که سقف در بالاترین ارتفاع می‌باشد، خطرات ناشی از صاعقه محتمل تر می‌باشد. تحت این شرایط (زمانی که مخازن پر یا تقریباً پر هستند)، چنانکه در شکل زیر نشان داده شده است شار جریان صاعقه در شانت‌ها (Shunt) بطور مستقیم زیر مکان اصابت صاعقه، متمرکز خواهد شد. این شکل نشان دهنده تمرکز جریان صاعقه در سقف در وضعیت بالا ست.



برای مثال، زمانیکه سقف در بالاترین ارتفاع قرار دارد، یک صاعقه‌ی برخوردی ۳۴ kA، به طور مستقیم بالای یک شانت برخورد کند، حدود ۱۱ kA

از میان هر یک از دو تا از نزدیکترین شانتها، عبور خواهد کرد و اگر بین دو شانت برخورد کند، جریان عبوری بین دو شانت حدود ۷ kA خواهد شد. اما زمانیکه سقف مخزن پایین باشد، صاعقه‌ی برخوردی به روی مخزن منتهی می‌شود و جریان صاعقه پراکنده می‌شود و بیشتر در میان اتصالاتِ در دسترس سقف بدنه توزیع می‌شود. پراکندگی جریان صاعقه با سقف در وضعیت پایین درشکل زیر نشان داده شده است.



درمقایسه مقاومت دو نوع کابل‌هادی (کابل نوع متداول طول ثابت و نوع جمع شدنی)، در شرایط سقف بالا و سقف پایین، در شرایط سقف بالا، مخزن در بالاترین ریسک قرار دارد، زیرا درزمان استفاده از کابل یاهادی، جریان صاعقه مقاومت یکسانی دروضعیت بالا و پائین سقف مشاهده شده و علاوه بر این در صورتی که‌هادی عایق نباشد، جرقه احتمالی نیز امکان وقوع داشته که اتصالات خودهادی و سایر بخش‌های احتمالی را ممکن است سست نماید.

اما در نوع جمع‌شونده، برای هنگامی سقف بالاست، طول‌هادی جمع شونده (RGA) تا حد ممکن کوتاه خواهد بود و مقاومتی در حدود یک ششم مقاومت کابل‌های اتصال متداول یا همان کابل طول ثابت را فراهم خواهد کرد.

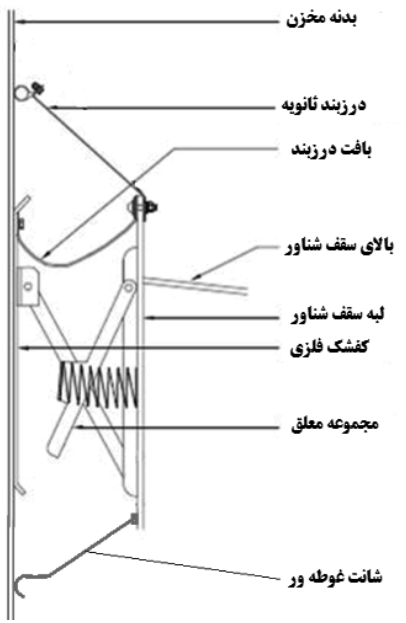
API ۵۴۵ الزام می‌کند که‌هادی‌های فرعی طول ثابت حداقل طول ضروری را داشته باشند. بنابراین زمانی که مخزن در معرض بیشترین ریسک است، نوع RGA کمترین مقاومت ممکنه را نسبت به نوع طول ثابت خواهد داشت.

اهم نکات حفاظت از مخازن سقف شناور در برابر صاعقه
Tank Storage Bonding Important Note

استانداردهای مرتبط با محافظت مخازن ذخیره مواد نفتی سقف شناور در برابر صاعقه عمدتا IEC ۶۲۳۰۵، NFPA ۷۸۰ و API RP ۵۴۵ می‌باشند که برخی از زیربخش‌های آنها شامل موارد زیر می‌باشد.

API برای بهبود ایمنی مخازن ذخیره نفت و فرآورده‌های آن با سقف‌های شناور خارجی در برابر صاعقه توصیه‌هایی به شرح زیر دارد:

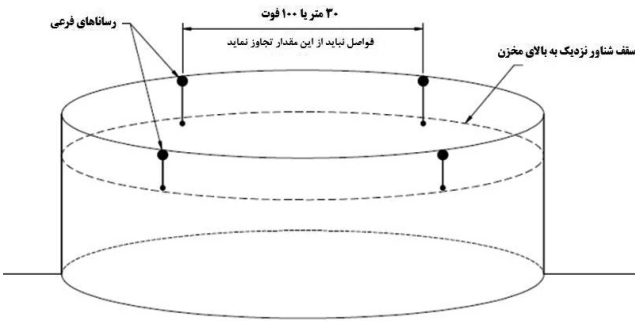
یکی از راه‌های بهبود ایمنی این است که بین سقف و بدنه در اطراف محیط سقف، شانت غوطه ور(Submerged Shunt) نصب شود. دراین تکنیک، شانت‌ها باید غوطه ور شوند و در صورتی که شانت‌ها بالای نشت بندی وجود داشته باشد، باید برداشته شوند.شکل زیر نمائی از شانت غوطه ور را نشان می‌دهد.



کل اجزای مونتاژ شده‌ی نشت‌بندی(شامل فنرهاSeal ،Scissor Assemblies

Membranes وغیره) و همه‌ی gauge poles و gudie poles به لحاظ الکتریکی باید از سقف مخزن ایزوله شود.

رساناهای فرعی باید بین سقف و بدنه، دورتا دور مخزن نصب گردد (به شکل زیر توجه نمائید). این رساناهای فرعی باید تا حد ممکن کوتاه باشند و در اطراف محیط سقف مخزن قرار گیرند. درشکل زیرهادی‌های فرعی (Bypass Conductors) نشان داده شده است.



هر ظرف فرایندی (Vessel)، مخزن(Tank) یا دیگر ظروفی که این مواد قابل احتراق را در برمی‌گیرد و در فضای باز مستقراست، مانند مخازن روزمینی فشار اتمسفری که حاوی بخارات قابل‌اشتعال یا مایعات با قابلیت متصاعدنمودن بخارات قابل‌اشتعال می‌باشدالزام به استفاده از سیستم حفاظت در برابر صاغقه را شامل می‌شود.

درمخازن سقف شناور. در جایی که سقف شناور به قلاب‌هایی مجهز است که در فضای تجمع بخارات قرار داشته باشند، لازم است که سقف به لحاظ الکتریکی به کفشک‌های Seal متصل گردد. این اتصال باید با مسیرهای الکتریکی مستقیم، با فواصلی کمتر از ۳ متر، دورتا دور مخزن برقرار باشد. نکات اساسی این اقدام به شرح زیر هستند:

- این شنت‌ها باید نوارهای قابل انعطاف و از نوع فولاد ضدزنگ ۳۰۲ (۵۰×۴ میلی‌متر) یا معادلی که ظرفیت انتقال جریان و مقاومت خوردگی یکسان داشته باشد، باشند.
- کفشک فلزی باید در تماس مداوم با بدنه مخزن بوده و فضای باز (مانند:

سوراخ‌های ناشی از خوردگی) نداشته باشد.

- درمخازنی که درقسمت Seal فضای تجمع بخارات راندارند، به شنت نیازنیست.
- در جایی که Seal با Weather Shield فلزی پوشانده شده است، این پوشش باید در تماس مداوم با بدنه مخزن باشد.
- هنگامی که سقف شناوری مجهز به Primary Seal و Secondary Seal است، فضای بین این دو می‌تواند حاوی مخلوط بخارات قابل‌اشتعال و هوا باشد که در محدوده اشتعال‌پذیری قرار دارد. بنابراین اگر طراحی این قبیل سیستم‌های Seal،مواد رسانا را از لحاظ الکتریکی پیوسته نموده و فاصله‌ای برای جرقه‌زدن در داخل این فضا وجود داشته یا بر اثر حرکت سقف بتواند جرقه ایجاد گردد، شنت‌ها بایستی به‌گونه‌ای نصب شوند که بطور مستقیم با بدنه مخزن در بالای Secondary Seal تماس داشته باشند.
- فاصله بین شنت‌ها نباید بیشتر از ۳ متر باشد و باید به‌گونه‌ای نصب گردند که تماس فلزی سقف شناور و بدنه مخزن در تمامی موقعیت‌های عملیاتی سقف شناور حفظ و برقرار باشد.

API RP ۵۴۵ به‌منظور حفاظت در برابر صاعقه مخازن ذخیره روزمینی که حاوی مایعات قابل‌اشتعال‌اند رویه‌ای را توصیه نموده است. این رویه برای تمامی مخازنی که در API ۶۵۰) مخازن جوش‌شده برای ذخیره نفت) توصیف شده‌اند، کاربرد دارد.برخی از بندهای این رویه به شرح زیر است:

- حفاظت از انواع خاصی از مخازن، مخازن با سقف شناور خارجی با شنت‌ها به‌منظور رسانش الکتریکی صورت می‌پذیرد.
- شنت‌ها به‌منظور هدایت الکتریکی جریان صاعقه در یک بازه زمانی بسیارکوتاه بکار می‌روند.
- شنت‌ها با بدنه مخزن باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر زیر سطح مایع باشد.
- شنت‌ها باید مسیری به اندازه کافی کوتاه و مستقیم بین سقف شناور رسانا و بدنه مخزن ایجاد نمایند.
- فاصله شنت‌ها از یکدیگر، دورتا دور سقف نباید بیش از ۳ متر باشد.
- هنگامی که مخازن موجود با شنت‌های مستغرق به‌روز شدند، شنت‌های بالای DECK باید برداشته شود.

- شنت‌ها بایدهادی‌هایی باشند از جنس فولاد ضدزنگ آستنیتی، با سطح مقطع عرضی حداقل ۲۰ میلی‌متر مربع یا جنس دیگری که هدایت جریان و مقاومت خوردگی معادل داشته باشد.
- پهنای حداقل شنت باید ۵۱ میلی‌متر باشد.
- شنت‌ها باید به اندازه کافی کوتاه باشند تا اجازه عملکرد به Seal سقف شناور بدهند.
- شنت‌ها باید دارای حداقل طول ضروری برای تماس مداوم با بدنه مخزن، در تمام حالات حرکت سقف شناور، براساس طراحی باشند.

این استاندارد جهت هدایت‌کننده‌های جنبی (Bypass) توصیه‌های زیر را نیز نموده است:

- هدایت‌کننده‌های جنبی برای هدایت جریان صاعقه در دوره میانی و طولانی استفاده می‌شوند.
- تعداد، طول و مقاومت الکتریکی سقف شناور باید بوسیله یک اتصال الکتریکی مستقیم از طریق تعداد مناسبی هدایت‌کننده‌های جانبی به بدنه مخزن وصل گردد.
- هر هدایت‌کننده شامل اتصالات باید مقاومت الکتریکی سر به سر حداکثر ۰/۰۳ اهم داشته باشد. هدایت‌کننده‌های جنبی باید کوتاه‌ترین طول لازم را داشته باشند تا اجازه حرکت کامل سقف شناور را بدهند.
- حداقل دو هدایت‌کننده‌های جانبی دورتادور سقف نصب گردد که فاصله بین آنها بیش از ۳۰ متر نباشد.
- مسیرهای هدایت‌کننده موازی هریک از اجزاء Seal بطور کامل مستغرق نباشد.
- فنر، قیچی، MembraneSeal و غیره باید به لحاظ الکتریکی از سقف عایق شده باشند. حد عایق‌شدن بایستی برای ۱ کیلوولت یا بیشتر باشد.
- درخصوص عایق‌نمودن Gauge Pole یا Guide Pole لازم به توضیح است که، هر جزء از Guide Pole که به سقف شناور مخزن رخنه کرده باشد، باید به لحاظ الکتریکی عایق شود. حد عایق‌شدن بایستی برای ۱ کیلوولت یا بیشتر باشد. این مسئله به جریان تخلیه صاعقه جاری از سقف به بدنه مخزن اجازه می‌دهد تا مسیر ترجیحی شنت‌ها و هدایت‌کننده جانبی را برگزینند.

بازرسی و نگهداری سیستم محافظت مخزن از صاعقه
Tank Storage Bonding Inspection

در خصوص بازرسی و نگهداشت سیستم‌های محافظت مخزن از صاعقه بعنوان یک افزاینده ضریب اطمینان از عملکرد سیستم باندینگ درمواقع لزوم، نکاتی را می‌توان درنظر داشت. پاره ای ازاهم این نکات عبارتند از:

- تمامی متعلقات اتصال کوتاه و اتصال به زمین، باید در انطباق با API ۶۵۳ بازرسی و نگهداری شوند.
- بررسی اینکه شنت و بدنه مخزن بطور انعطاف پذیری برای شنت به یکدیگر وصل باشند. بنا به هر دلیلی دستیابی به اتصال الکتریکی خوب با بدنه مخزن مشکل است. زیرااجزاء سنگین نفت خام مثل: واکس، تار، پارافین و غیره می‌توانند پوششی را روی سطح داخلی بدنه ایجاد نمایند که مانعی عایق بین شنت و بدنه شکل می‌گیرد.
- اگر سطح داخلی بدنه مخزن رنگ شده باشد دستیابی به اتصال الکتریکی خوب با بدنه مخزن مشکل است.
- زنگ‌زدگی سطح داخلی، اتصالی با مقاومت بالا بین شنت و بدنه ایجاد می‌کند.
- مخازن بزرگ نوعاً به اندازه چندین اینچ از حالت مدور خارجند. در ابعادی که ازحالت مدور دورتر باشند، شنت از بدنه دور می‌شود. بنابراین اگر شنت‌ها و لوازم، تماس کامل با بدنه نداشته باشند، طی اصابت صاعقه، بارهای مجاور جرقه را بین شنت و بدنه مخزن ایجاد می‌کنند که درصورت وجود مخلوط قابل‌اشتعال، آتش‌سوزی مخزن رخ می‌دهد.

ساختار Primary Mechanical Seal با شنت مشابه است، چون اساساً با قطعات فلزی ساخته می‌شوند. اما این قطعات فلزی نمی‌توانند اتصال الکتریکی قابل‌اطمینان را تضمین نمایند. در نتیجه، شکاف‌های تخلیه بار الکتریکی بین Sealing Shoe و بدنه مخزن تشکیل می‌شود. از طرفی مدوربودن بدنه مخزن بر عملکرد Mechanical Seal موثر است.

تمامی دلایل ذکرشده فوق، ما را به سمت غلظت گاز و نفت موجود در فضای

بین Primary و Secondary Seal هدایت می‌کند، جایی که غلظت به اندازه کافی بالاست تا به محدوده انفجار برسد. فضای بین guide pole و سقف شناور، به سادگی شکاف تخلیه بار الکتریکی را شکل می‌دهد و غلظت بخارات در این قسمت به دلیل نشتی، می‌توانند هنگام اصابت صاعقه موجب آتش‌سوزی مخزن گردد.

این استانداردها بیان می‌کنند جهت مطالعه تجربی این تحقیق، یک مخزن سقف شناور کوچک به‌عنوان مدل ساخته شد و شبیه‌سازی اصابت صاعقه و جرقه‌زدن شنت‌ها در اثر تخلیه بار در آزمایشگاه انجام پذیرفت. قطر این مخزن ۲ متر و سقف شناور آن ۱/۶ متر بود. شنت‌ها از قطعات فولاد ضدزنگ الاستیک انتخاب شد که دارای ضخامت ۱ میلی‌متر، طول ۳۰۰ میلی‌متر و پهنای ۱۵ میلی‌متر بوده و با دور تا دور بدنه مخزن در تماس بودند.

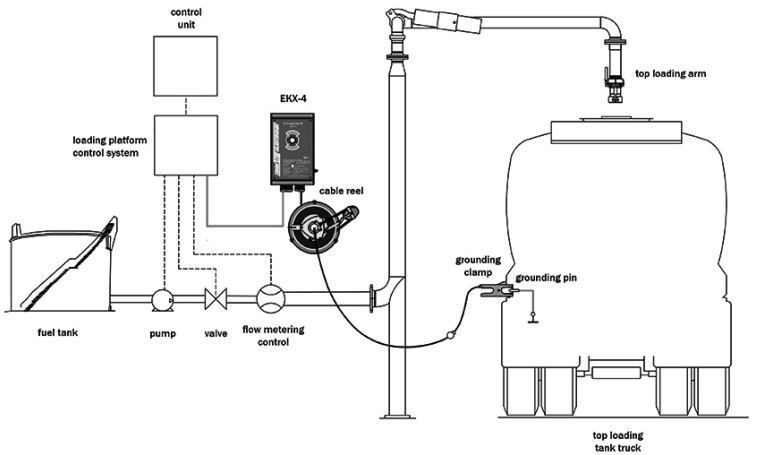
مدل مخزن سقف شناور مورد آزمایش نتیجه آزمایش نتیجه آزمایش نشان داد که یک شنت که با انعطاف خود به بدنه مخزن چسبیده بود، هنگامی‌که جریان صاعقه ۱۰/۳۵۰ میکروثانیه یا ۸/۲۰ میکروثانیه به پیک ۴۰۰ آمپر رسید، تولید جرقه نمود. با بزرگ‌شدن جریان صاعقه، سطح تخلیه جرقه شنت‌ها افزایش یافت.

نکات عمومی ایمنی: سایر موارد ایمنی در عملیات بهره‌برداری و حفظ و نگهداری مخازن موارد زیر بایستی قبل از انجام کار بر روی مخازن مورد توجه قرار گیرند.

بسته به سطح سقف و سیستم طبقه‌بندی فضاهای محصور، محوطه بالای مخازن ممکن است جزء فضای محصور محسوب شوند و نیازمند مجوز باشد، لذا باید مورد ملاحظه قرار گیرند (به دستورالعمل ورود و کار در فضای محصور MOP-HSED-IN-۲۰۲ مراجعه گردد).

اصول پیشگیری از سقوط که استفاده از سیستم‌های پیشگیری از خطر سقوط را الزام مینماید، درحین کار در ارتفاع باید ایجاد و اجرا گردد (به دستورالعمل کار در ارتفاع MOP-HSED-IN-۲۰۱ رجوع گردد).

سیستم تخلیه بار الکتریکی تاسیسات بارگیری
Loading Unit Grounding



طبق استاندارد IPS-E-PR-۳۷۰، درجهت به حداقل رساندن خطر ناشی از وجود الکتریسیته ساکن در سیستم بارگیری فرآورده‌های نفتی، لازم است تجهیزات منصوبه در این سیستم دارای ارتینگ لازم در این خصوص باشند. به همین منظور سازندگان این تجهیزات الزامات ارتینگ این بازوها را رعایت نموده و اتصالات این سیستم به نحوی است که از انباشت جریان در مسیرهای لوله‌های بارگیری ممانعت خواهد نمود. ایمنی بارگیری مستلزم هم پتانسیل بودن باراالکتریکی نفتکش و تاسیسات بوده که با اتصال چنگک ارت این اطمینان حاصل می‌گردد.

فصل دوم

اصول محافظت مخازن ازتغییرات فشار

Storage Tank pressure protection

مهمترین استانداردهای مرتبط با این فصل عبارتند از:

- API 2521.Use Of Vacuum Vent Valve For Atmospheric Loss.
- API 2000 .venting Atmospheric and loss pressure Storage Tank.
- API RP526.Flanged Steel Pressure Relief Valve.
- API RP520.Sizing Selection and Snstallation of Sressure Selieving Sevices in Sefineries.
- SAE AS27166.Valve Pressure Equalizing ,Gaseous Product.
- ASME Sec. VIII Div.1.Rules For Construction of Pressure Vessels.
- ISO 6718Bursting Discs and Bursting Devices.
- ISO 4126-Safty Devices for Protection Aginst Excessive Pressure.

حفاظت مکانیکی مخازن از فشار و خلاء زیاد

Protect of Pressure/vacuum

شاید بتوان مخرب‌ترین اثر نیروهای مکانیکی در مخازن ذخیره سوخت سقف ثابت را پارگی ناشی از فشار یا مچالگی ناشی ازخلاء مخزن درنظر گرفت. هرچند محافظت از پیچیدگی سقف نیز در مخازن سقف متحرک نیز اهمیتی بسیار قابل ملاحظه دارد. استفاده از شیرهای تنفسی تحت عنوان سوپاپ‌های فشار و خلاء مخزن بعنوان سیستم‌های حفاظت مکانیکی مخازن سقف ثابت و تجهیزاتی چون کابل ضد چرخش سقف برای مخازن سقف متحرک از این دسته‌اند.

در بین طیف گسترده‌ای از شیرهایی که درصنعت مورد استفاده است شاید یکی از مهمترین آنها همین شیرهای تنفسی باشند که در واقع نوعی شیر ایمنی معکوس هستند که بیشتر برای جلوگیری از بروز خلاء در داخل مخازن بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند (هر چند ممکن است بصورت شیر فشار شکن هم باشند) و چون این شیرها بر روی مخازن بزرگ و در ارتفاع نصب می‌شوند و چندان دچار خرابی هم نمی شوند. تعمیرکاران زیاد با آنها سر و کار ندارند.

اما همین شیرهای ساده نقش بسیار مهمی دارند زیرا اگر تعبیه نشوند و مخزن بدلیل خالی شدن سیال درون آن و به‌واسطه وجود نشت‌بندی دچار خلاء شود، فشار هوای اتمسفر می‌تواند باعث مچاله شدن مخزن شود.

شیرهای تنفسی که گاهی اوقات بواسطه جنبه کنترل افزایش فشارمخزن، به‌عنوان شیرهای فشارشکن (Pressure Relief Valves) نیز یاد می‌گردند برای جلوگیری از ایجاد فشار بیش از اندازه یا خلاءای که در مخازن و محفظه‌های کاملا نشت‌بندی شده پدید می‌آید بکار می‌روند. درادامه این شیرها بطور کامل شرح داده خواهند شد.

شیر تنفسی یا شیر تخلیه فشار/خلاء

Pressure/vacuum relief valve Breather valve or

یکی از مهمترین شیرهای مورد استفاده در انبارهای نگهداری فرآورده‌های نفتی شیرهای تنفسی است.شیرهای تنفسی که با نام شیر تخلیه فشار/خلاء مستقیم نیز نامیده می‌شوند ازدسته شیرهای تخلیه هستند که به طور ویژه برای محافظت از مخازن طراحی و مورد استفاده واقع می‌گردند. ازلحاظ ایمنی، شیر تنفسی وسیله ای محافظت‌کننده است که برروی نازل فلنج دار روی سقف ثابت یک مخزن ذخیره فرآورده‌های نفتی نصب می‌گردد. هدف اصلی از استفاده از شیر تنفسی محافظت مخزن در مقابل انفجارناشی از افزایش فشار بخارات حاصل از تبخیر فرآورده و یا مچالگی ناشی از کاهش فشار بدلیل کندانس شدن بیش از حد بخارات درون مخزن است. دریک مخزن با سقف ثابت، هنگام افزایش فشار ناشی از پمپاژ فرآورده نفتی به درون مخزن یا فشار بخار ناشی از تغییرات دمایی امکان انفجار وجود دارد. مچالگی مخزن هم در صورت کاهش سطح مایع درون مخزن بواسطه سرعت تخلیه و بارگیری نفتکش‌ها و یا کاهش فشار بخار به زیر فشار اتمسفر بدلیل سردی هوا رخ می‌دهد. در این حالت خلاء مخزن باید از طریق بازشدن شیر تنفسی به سمت مخزن کنترل گردد. با توجه به اینکه مخازن برای ممانعت از انفجار و مچالگی، باید توانایی تنفس داشته باشد، این شیر را

جهت کاربرد درمخازن شیر تنفسی نامیده‌اند.

این شیرها به صورت اتصال با فلنج و به نحوه نصب تخلیه شیر به اتمسفر در سه حالت محافظت مخزن ازفشار، محافظت مخزن ازخلاء و یا ترکیب مکانیزم محافظت ازفشار/خلاء مورد استفاده واقع می‌گردند. شیرهای تخلیه فشار/خلاء به طور وسیعی در مخازن ذخیره بزرگ با سقف ثابت یا سقف متحرک برای کاهش تلفات ناشی ازتبخیرفرآورده درمخزن مورد استفاده واقع می‌گردند. شیرهای تنفسی با جلوگیری از ایجاد فشار(اجازه تخلیه شدن درصورت افزایش از حد تعریف شده برای مخزن ونزدیک شدن به آستانه تحمل فشار توسط مخزن) یا خلاء اضافه (کاهش فشار مخزن بدلیل کندانس شدن بخارات و نزدیک شدن به حد تحمل مکش جهت ممانعت از مچالگی مخزن)مانع از آسیب به سیستم یا مخزن تحت فشار و درسرویس دهی بسته نسبت به محیط می‌گردند. عملیات کنترل میزان فشارتاحد تحمل تعریف شده توسط دیسک‌های وزنی تعادلی با فشار تعریف شده و خلاء در مخزن توسط فنرهائی با نیروی متعادل با حد تحمل مکش درمخزن صورت می‌پذیرد و از ترکیب نمودن این دو مکانیزم شیر تنفسی فشار/خلاء را طراحی و ایجاد نموده‌اند. چگونگی تعیین وانتخاب شیر تنفسی برای مخازن، می‌بایست براساس استاندار موسسه نفت آمریکا API ۲۰۰۰ و یا دیگر استانداردهای پذیرفته شده در این خصوص صورت پذیرد. انتخاب سایز یا اندازه شیر تنفسی مخزن از منحنی‌های جریان (Flow Curves) بدست می‌آید. دراین منحنی‌ها، ظرفیت خلاء و فشار مخزن را می‌توان پیدا نموده و سایز شیر را انتخاب نمود.

مکانیزم عملکرد شیر تنفسی

Breather valve Action Mechanism

شیر تنفسی (Breather valve) و یا PVRV که گاهی اوقات سوپاپ مخزن نیز نامیده می‌شود جهت تخلیه فشار اضافی مخازن و یا تعدیل خلاء مخازن بکار می‌رود .نحوه عملکرد شیر تنفسی را در اشکال زیر می‌توان مشاهده نمود. درهنگام افزایش فشار در مخزن، عمل بازدم یا خروج مازاد فشار تا رسیدن به نقطه تحمل فشار ایجاد شونده توسط این شیر صورت می‌پذیرد.درزمان افت فشار نیز با انجام عمل دم، مکش هوا یا یک گاز بی اثر(درموارد ریسک بالای اکسیژن)موجب حفاظت مخزن از مچالگی بدنه آن می‌گردد.جهت انتخاب شیر تنفسی، سایز، فشار کاری و Set pressure جهت هر دو بخش تخلیه فشار و مکش اهمیت اساسی دارد.

اکثر مخازن اتمسفریک نیازمند یک شیر تخلیه هستند که مقدار زیادی بخار در شرایط بالا رفتن فشار را بتواند از مخزن خارج نماید. بیشتر مخازن بزرگ ذخیره فرآورده‌های نفتی دارای یک فشار کاری مجاز (Working Pressure) نسبتا پایین می‌باشند. بدین سبب فشار تنظیم شده (Set Pressure) برای هر دوحالت فشار مثبت(فشارهای بیشتر از اتمسفر) و خلاء درون مخزن(فشارهای کمتر ازاتمسفر) بر اساس اینچ ستون فشار آب($in\ H_2O$) بیان می‌گردد.

استاندارد API ۲۰۰۰ مشخصات و الزامات انتخاب شیرهای تخلیه فشار و خلاء یا همان شیر تنفسی نرمال و اضطراری برای نصب در مخازن ذخیره فرآورده‌های نفتی فراهم می‌کند. ظرفیت نرمال تخلیه شیر تنفسی بدون عبور از خلاء یا فشاری که سبب آسیب یا مچاله شدن یا آسیب پارگی ناشی از انفجارمخزن بشود محاسبه می‌گردد.

در انتخاب سایز یک شیر تنفسی باید به مقدار تخلیه نرمال و تخلیه اضطراری شیر توجه نمود. مطابق تعریف بعمل آمده در API ۲۰۰۰، منظور از مقدار تخلیه نرمال (Normal Relief)، مجموع جابجایی بخار حاصل از پرشدن یا خالی شدن مخزن و تخلیه یا تنفس مخزن است. همچنین تخلیه اضطراری (Emergency Relief)، به مقدار توانایی تخلیه مخزن هنگام قرار گرفتن در معرض آتش دلالت

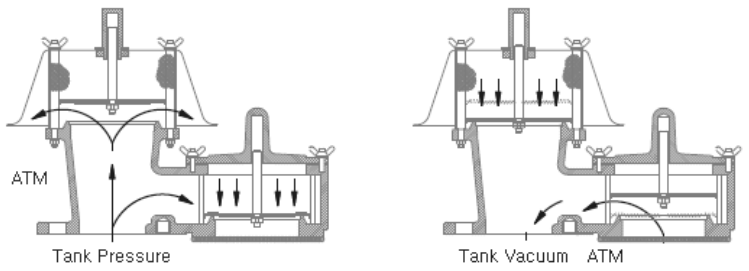
دارد. بنابراین با توجه به تفاوت وضعیت مخزن در شرایط فوق، برای تمام مخازن لازم است که یک شیر تخلیه فشار/ خلاء (شیر تنفسی) و یک شیر تخلیه اضطراری به صورت جداگانه طراحی و نصب گردد.

الزامات API درخصوص شیرهای تنفسی مخازن

طبق پیشنهاد OSHA انتخاب سایز شیر تنفسی می‌بایست بر مبنای استاندارد API ۲۰۰۰ و API ۱۲ که تمام الزامات در آن تشریح شده است صورت پذیرد. لذا باید شیر تنفسی فشار/ خلاء (شیر تنفسی) نصب شده روی مخازن سقف ثابت روی فشار یا خلاء نیم اوز (oz) بر اینچ مربع تنظیم شود. نتایج آزمایش بعمل آمده از عملکرد تنظیمی شیر نشان می‌دهد که هر افزایش ۱ oz بر اینچ مربع در فشار تنظیمی، تلفات تنفسی مخزن از طریق شیر را به صورت پیوسته در بازه‌های کوچکتر کاهش خواهد داد. انتخاب فشار و خلاء تنظیمی برای یک شیر تنفسی باید براساس مشخصات ساختاری مخزن و همچنین محدوده‌های ایمنی مجاز کاری صورت پذیرد. اندازه یا سایز و تنظیمات مناسب شیر تنفسی را می‌توان به صورت کامل از API ۲۰۰۰ که مربوط به تخلیه اتمسفری و مخازن ذخیره فشار پائین (ویرایش۱۹۹۲) مشخص ساخت.

مطابق استاندارد API ۱۲ تنظیم فشار (Pressure Setting) برای شیر تنفسی جهت نصب روی مخازن بزرگ به صورت زیر است:

جهت تنظیم فشار شیر تنفسی برای مخازن بزرگ تمام جوشی (Large Welded Production Tanks) تا ۰٫۵ اوز(oz) بر اینچ مربع باید درنظر گرفت، زیرا صفحات سقف این مخازن در فشارهای بالاتر از ۱ oz بر اینچ مربع شروع به جابجا شدن می‌نمایند.



مخازنی که حاوی مواد نفتی هستند و بدون مانع با هوای خارج مرتبط باشند مقدار قابل ملاحظه ای از محتویات آنها به تدریج در نتیجه تغییرات جوی تبخیر و همچنین هنگام پرکردن آنها به صورت گاز از مخازن خارج و تلف می‌شوند.

برای آنکه بتوان به‌حدی از اتلاف مواد نفتی جلوگیری نمود تعداد معینی سوپاپ فشار و خلاء بر روی این مخازن نصب شده است که از وارد شدن هوا به داخل و خروج گازهای فراورده‌های نفتی تا حدی می‌کاهد. اما چنانچه این شیرها به طور رضایت‌بخش کار نکنند و نتوانند فشار و خلاء مخزن را تا حد معینی نگهدارند ممکن است باعث ترکیدن یا فرورفتگی مخازن شوند و خسارات جبران ناپذیری به وجود آورند. شکل زیر عملکرد ناصحیح شیر تنفس یک مخزن را نشان می‌دهد.

برای آنکه متصدیان مربوطه بتوانند از بروز این گونه خطرات جلوگیری کنند مقررات ذیل بایستی مراعات شود:

- شیرهای تنفسی باید درتمام مواقع به خوبی نگهداری شوند. بدین منظور بازرسی دوره‌ای آنها در زمان‌های متناوب الزامی است.
- درهوای سرد که احتمال یخ زدن شیر تنفس یا همان شیر فشار و خلاء وجود دارد باید درتمام مدت عملیات بارگیری و تخلیه، دریچه اندازه‌گیری مخزن باز گذاشته شود تا فضای داخلی آن با هوای خارج مستقیما مربوط شود و برای

جلوگیری از تبخیر اضافی باید پس از خاتمه عملیات، دریچه اندازه‌گیری فورا بسته شود. دلیل این امر، کاهش مخاطرات یخ‌زدگی شیر تنفسی و عواقب مخرب آن است.

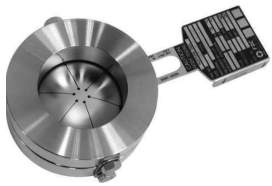
- هر بار که سرپوش دریچه اندازه‌گیری برای انجام کار باز می‌شود باید فوراً پس از انجام کار محکم بسته شود ودرصورت لزوم ممکن است آچار مخصوص برای سهولت باز کردن و بستن درپوش‌ها روی آنها نصب شود.
- کلیه سرپوش‌های دریچه‌های اندازه‌گیری مخازن فرآورده‌های نفتی همیشه باید گسکت سالم داشته باشند.درغیراینصورت شیرهای تنفسی بلااستفاده عمل نموده وتلافات تبخیری بالاخواهد رفت.

انواع شیرهای تنفسی برای جلوگیری از وارد شدن گرد و خاک و آب و شن و ماسه به داخل مخازن نیزطراحی شده اند. این شیرهای تنفسی با استفاده از استانداردهایی چون SAE AS۲۷۱۶۶ ساخته شده‌اند. از جمله آنها انواع این شیرها می‌توان موارد زیر را نام برد:

- شیرهای فشار شکن یک طرفه(One-Way Pressure Relief Valves)
- شیرهای پر کننده(Filler Valves)با مهره‌های پوشش داده شده(RFI/EMI Shielded Nut Assemblies)
- درپوش‌های تخلیه(Drain Plugs) که از طریق فلنج نصب می‌شوند(Mounting Flanges)و کاملا ضد آب هستند(Immersion Proof Breathers)
- معمولاً بواسطه اهمیت نصب شیر، همه این شیرهای تنفسی به همراه مهره و واشر و گسکت مربوطه توسط سازندگان ساخته و ارائه می‌شوند. برخی از این شیرها دارای رزوه هستند و برخی نیز با استفاده از فلنج بر روی مخازن نصب می‌شوند.

راپچردیسک

Rupture Disc



راپچر دیسک (Rupture Disc) که دیسک انفجاری (Burst Disc) و یا دیافراگم انفجاری هم نامیده می‌شود، یک وسیله کنترل فشار است که در کاربردهای مختلف برای محافظت از مخازن تحت فشار و یا تجهیزات و سیستم‌هایی که احتمال وجود فشار بسیار زیاد و یا خلا ناگهانی وجود دارد. یک راپچر دیسک قطعه ای است متشکل از دیسک، هولدر و سایر متعلقات که از جنس فولاد ضد زنگ (۳۰۴ SS، ۳۱۶ SS، ۳۱۷ SS، ...)، فولاد کربنی، آلومینیم، نیکل، تیتانیم، تانتالیم، مونل، Hastelloy ،Inconel، گرافیت و یاتفلون ساخته می‌شود.

درهنگامی که:

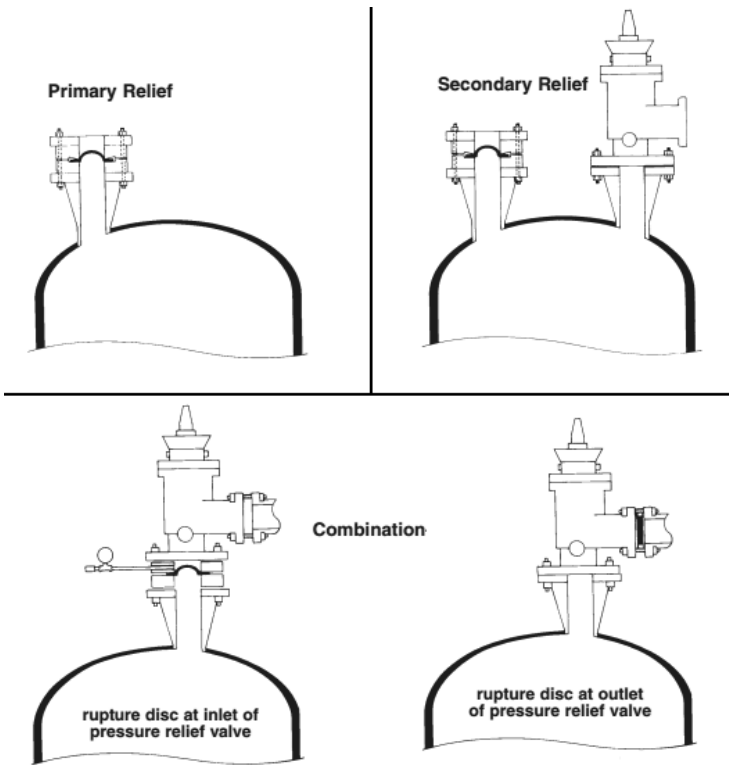
- احتمال افزایش ناگهانی فشار وجود داشته باشد
- احتمال عمل نکردن سایر تجهیزات ایمنی وجود داشته باشد
- وجود هرگونه نشتی در سیستم مجاز نباشد
- محیط عملکردی دارای خصوصیات خورندگی باشد
- شرایط سختی نظیر دمای بسیار بالا و یا پایین حاکم باشد

وجود راپچر دیسک بعنوان یک اقدام محافظتی برای نگهداشت فنی مخزن مورد نیاز است.

مهمترین مشخصات مورد انتظار از یک راپچر دیسک، عملکرد یکنواخت از لحظه اول تا خروج تمام مواد،سرعت بالا در رسیدن به ظرفیت اسمی تخلیه فشار،قابلیت بکارگیری در انواع شرایط محیطی سخت و خورنده و دماهای مختلف و همچنین نداشتن نشتی است.

کاربردهای مهم راپچر دیسک درمخازن و خطوط ارتباطی با مخازن عبارتست از:

- حفاظت اولیه
- حفاظت ثانویه
- حفاظت ترکیبی

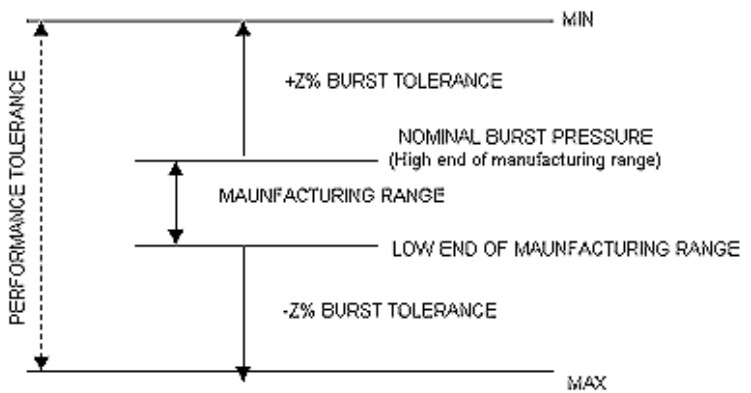


حفاظت اولیه بعنوان تنها وسیله این نمودن افزایش فشار یا کاهش بیش از حد فشاریا ایجاد خلاء بسیار بوده که درصورت بروز این حالات، این قطعه بعنوان اولین و آخرین وسیله اطمینان از ممانعت ازخسارت ناشی از بروز شرایط نامطمئن، عمل می‌نماید.

نقش حفاظت ثانویه رابچر دیسک به مفهوم عملکرد این وسیله پس از شیر اطمینان است. یعنی درصورتیکه شیر اطمینان نتواند شرایط نامطمئن پدیدآمده را به شرایط ایمن مبدل نماید، رابچردیسک بعنوان دومین اقدام حفاظتی ازبروز خسارات ممانعت بعمل آورد.

نقش حفاظت ترکیبی رابچر دیسک به استفاده ترکیبی شیراطمینان و این قطعه اشاره دارد.درصورت افزایش فشار ودرنتیجه پاره شدن دیسک شکست، شیر اطمینان بعنوان کنترل مسیر بخارات بعنوان عامل هم وظیفه با این قطعه با تنظیمات مرتبط با شرایط فرایند، سرویس دهی خواهد نمود.

جهت انتخاب و تعیین نوع و مشخصات راپچر دیسک از دومحاسبه نسبت عملکردی و مینیمم فشار راپچر دیسک استفاده می‌نمایند.



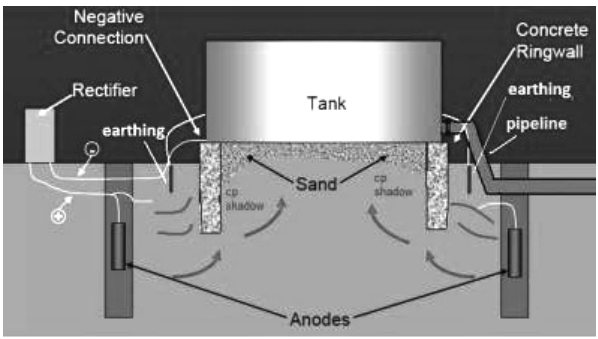
همانگونه که از نمودار عملکرد رابچر دیسک نمایش داده شده در فوق قابل مشاهده است، محدوده عملکرد رابچردیسک بین دوحد بالا و پائین که به فشاراسمی انفجار یا ترکیدن (حد بالای محدوده ساخت کارخانه ای) و حد پائین

محدوده ساخت توسط کارخانه قابل مرزبندی است، بعنوان محدوده ساخت موسوم گردیده است.تلرانس ترکیدن بصورت درصدی ازمحدوده بالاو پائین ساخت برای هردومحدوده در این نمودار نشان داده شده است. این تلرانس همان نسبت عملکردی رابچر دیسک است .نسبت عملکردی یک راپچر دیسک برابر است با ماکزیمم فشار عملکردی تقسیم بر مینیمم فشار راپچرشدن دیسک و همچنین مینیمم فشار راپچرشدن دیسک برابر است با فشار تعیین شده برای راپچر منهای تلرانس منفی راپچر. اطلاعات بیشتر دراین خصوص را می‌توان در استاندارد ISO ۶۷۱۸ مورد بررسی قرار داد.

فصل سوم

اصول محافظت از خوردگی تجهیزات انبار

Principle of Equipment Corrosion Protection



مهمترین استانداردهای مرتبط با این فصل عبارتند از:

- API651. Catodic Protection Of Aboveground Petroleum Storage Tanks.
- API652.Lining Of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms.
- API 1631.Interior Lining Of Underground Storage Tanks.
- SA2 1 /2.Sand Blasting Standard.Swedish.
- SSPC-PA2.Measurement Of Dry Coating Thikness With Magnetic Gases.
- Iso 8044.Crrosion of Metals and Alloys.
- NACE-RPO169-83 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NACE RP0193-2001, External cathodic protection of ongrade carbon steel storage tank bottoms
- IPS-E-TP-820 Engineering Standard for Corrosion Considreations in Matherial Selection.
- EN50014Electrical Apparatus For Potentially Explosive Atmospheres .
- James T. Lary, Corrosion Control /Cathodic Protection for Aboveground StorageTanks, Corrpro Companies Inc., 1990
- Ashish Gandhi, Storage tank bottom protection using Volatile corrosion inhibitors,VCI corrosion control, Jan. 2001

استاندارد ایزو ۸۰۴۴، خوردگی را بدین شکل تعریف می‌کند:

واکنش فیزیکی شیمیایی متقابل بین فلز و محیط اطرافش که معمولاً دارای طبیعت الکتروشیمیایی است و نتیجه‌اش تغییر درخواص فلز می‌باشد. این تغییرات خواص ممکن است منجر به از دست رفتن عملکرد فلز، محیط یا دستگاهی شود که این دو، قسمتی از آن را تشکیل می‌دهند. در تعریف کاربردی خوردگی می‌توان گفت، فلزات، پس از استخراج، از نظر ترمودینامیکی ناپایدار بوده و در صورت وجود شرایط محیطی مناسب مجدداً میل به برگشت به حال پایدار اولیه خود را دارند. به این تبدیل از حالت ناپایدار به پایدار اصطلاحاً خوردگی گفته می‌شود.

در حقیقت بروز خوردگی باعث به هدر رفتن مواد مورد نظر و هزینه ساخت آنها می‌شود. اینجاست که حفاظت از مواد و بهره‌وری بهتر از آنها ابعاد تازه‌ای می‌یابد. بنابراین باید بتوان به نوعی دلایل تخریب فلز و همچنین شرایط جلوگیری از این تخریب را بدست آورد. خوردگی یکی از عمده ترین محدودکننده‌های عمر قطعات و دستگاه‌ها می‌باشد.

خوردگی یک واکنش الکتروشیمیایی بین فلز و محیط اطراف آن است. این عمل با واکنش کاتدی(احیاء اکسیژن و یا متصاعد شدن گاز هیدروژن) همراه است. شرایط خوردگی به دلیل حضور دائمی آب، هوا و رطوبت محیط همواره فراهم بوده و در نتیجه خوردگی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این میان نقش مهندسی خوردگی انتخاب موادی است که در برابر عوامل خورنده مقاومت داشته باشند و همچنین باید تلاش کنند که اثرات خورندگی عوامل محیطی را کاهش دهند. شکل زیر شمای زنگ زدن، آشناترین مثال از خوردگی یک سطح فلزی درتماس با سیال را نشان می‌دهد. خوردگی، اثر تخریبی محیط بر فلزات و آلیاژها می‌باشد. خوردگی، پدیده‌ای خودبه‌خودی است و در جهتی پیش می‌رود که به حالت پایدار برسد. مانند زنگ زدن آهن، انواع مواد هیدروکسیدی و اکسیدی نیز می‌توانند محصولات جامد خوردگی باشند که همگی گونه فلزی هستند. لازم بذکر است فلزات در اثر اصطکاک، سایش و نیروهای وارده دچار تخریب می‌شوند که خوردگی نمی‌باشد. محصولات خوردگی مثل سولفات آهن، اکسید روی و غیره، همان ترکیباتی هستند که در سنگ معدن فلز یافت می‌شود.

درحوزه خوردگی و خسارات و مخاطرات ناشی ازآن، یکی از صنایع که دارای محیط‌های خورنده فراوان می‌باشد واحدهای مختلف صنعت نفت است، که دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشد که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

- خوردگی توسط گاز خورنده دی اکسید کربن : این گاز در آب حل شده و تولید اسید کربنیك می‌نماید.
- خوردگی توسط مایعات خورنده مخازن نفتی : بدن ترتیب که خوردگی می‌تواند همچنین بدون فشار جزئی قابل توجه به وسیله تولید مایعات خورنده مخزن رخ بدهد. آب مخزن می‌تواند با انحلال مقادیر زیادی در دمای مخزن به PH برابر ۲ یا کمتر برسد همچنین اسیدهای ارگانیك از مواد خارجی مخازن و تولید شده توسط میکروارگانیسم‌های موجود در آب مخزن می‌تواند موجب حمله به سطح فولاد گردند.
- خوردگی توسط گاز خورنده سولفید هیدروژن : این نوع خوردگی فقط در حضور آب و سولفید هیدروژن رخ می‌دهد و بدون حضور آب شروع نخواهد شد. بیشتر در تجهیزات چاه‌ها، خطوط لوله و تجهیزات فرآیندی با آن مواجه می‌شویم.

بطور کلی خوردگی در صنعت نفت را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم نمود:

- خوردگی در بخش تولید
- خوردگی در بخش حمل و نقل و نگهداری
- خوردگی در بخش عملیات پالایش

دربخش تولید یا بالادستی صنایع نفت اشاره به همین یک مورد را بعنوان نمونه ای از این بخش از نظر می‌گذرانیم. یکی از مهم‌ترین محیط‌های خورنده در بخش تولید صنعت نفت سکوهای حفاری در دریا(off shore drilling)می‌باشند. حفاری در دریا، مسائل خوردگی قابل توجهی به بار می‌آورد .سکوهای حفاری به وسیله ستون‌های فلزی که در کف اقیانوس فرو برده شده‌اند نگهداری می‌شوند. هر ستون به وسیله یك جداره لوله برای حفاظت در برگرفته می‌شود. آب دریا درصد نمك بالادارد و PH حدود ۸ داشته یعنی محیط اندکی قلیائی است، بنابراین الکترولیت خوبی بوده و باعث خوردگی گالوانیکی و شیاری می‌گردد.

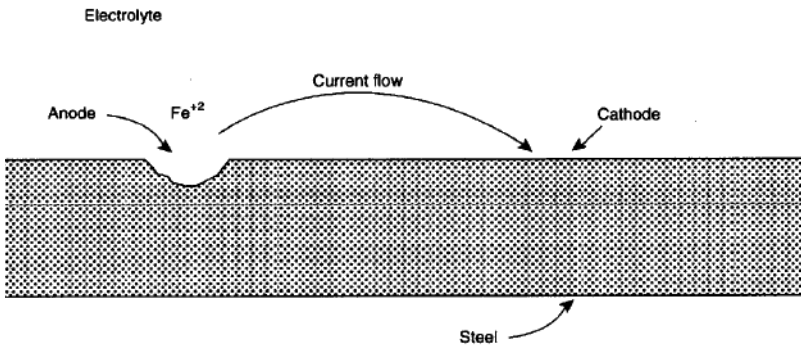
در بخش حمل و نقل و نگهداری، مواد نفتی به وسیله تانکرها، خطوط لوله، تانکرهای قطار و کشتی حمل و نقل می‌شوند. قسمت‌های بیرونی تانك‌ها یا لوله‌های زیرزمینی به وسیله پوشش مناسب و حفاظت کاتدی محافظت می‌گردند. حفاظت کاتدی همچنین برای قسمت‌های داخلی تانك‌ها استفاده می‌گردد. تانکرهای حمل بنزین نسبت به تانکرهای نفتی مسائل خوردگی بیشتری دارند، زیرا بنزین سطح فلز را خیلی تمیز نگه می‌دارد. نفت یك پوسته نازك روی سطح فلز باقی می‌گذارد که تا حدودی آن را محافظت می‌کند. قسمت‌های بیرونی تانکرها و کشتی حمل و نقل برای جلوگیری از خوردگی اتمسفری پوشش داده می‌شوند.

اکثر مسائل خوردگی در پالایشگاه‌ها در اثر مواد معدنی مثل آب، اسید سولفوریك و کلرور سدیم به وجود می‌آید. مواد خورنده در عملیات تصفیه را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم نمود:

- موادی که در نفت‌خام وجود دارند
- موادی که به همراه فرآیند یا کنترل وجود دارند.

تئوری خوردگی

Theory Of Corrosion



جهت ایجاد خوردگی، چهار جزء اساسی لازم است که عبارتند از:

- آند
- کاتد
- الکترولیت
- اتصال الکتریکی

آند، فلزی است که در آن محل خوردگی صورت می‌گیرد. کاتد، فلزی است که معمولاً خورده نمی‌شود اگر چه ممکن است تحت شرایط ویژه‌ای خورده شود که بعداً شرح داده خواهد شد. دو واکنش مهم در کاتد، احیاء هیدروژن در محیط‌های اسیدی و احیاء اکسیژن در محیط‌های خنثی و بازی می‌باشد. الکترولیت نیز محلولی است که قادر است جریان الکتریکی بین آند و کاتد را برقرار نماید.عامل برقراری جریان الکتریکی نیز اتصال الکتریکی است. با توجه به این چهار عامل واضح است که برای جلو گیری از خوردگی باید یکی از این چهارتا را حذف نمود.

انواع خوردگی در تاسیسات انبارهای نفت

Type Of Corrosion

در بین انواع خوردگی می‌توان ۸ نوع منحصر به فرد پیدا نمود، لذا تمام آنها کم و بیش وجه تشابهی دارند. این ۸ نوع خوردگی عبارتند از:

- خوردگی یکنواخت یا سرتاسری (uniform attack)
- خوردگی دو فلزی (galvanic or two metal corrosion)
- خوردگی شیاری (crevice corrosion)
- خوردگی حفره دار شدن (pitting)
- خوردگی بین دانه ای (intergranular corrosion)
- جدایش انتخابی (selective leaching)
- خوردگی سایشی (erosion corrosion)
- خوردگی توام با تنش (stress corrosion)

این طبقه‌بندی تمام انواع مشکلات و انهدام‌های ناشی از خوردگی را شامل می‌شود. درادامه تعدادی از فراوان‌ترین آنها شرح داده خواهد شد.

خوردگی ناشی از حمله یکنواخت

Uniform Attack

خوردگی یکنواخت یا سرتاسری معمول‌ترین و متداول‌ترین نوع خوردگی درهمه بخش‌های صنعت است. این نوع خوردگی بیشترین حجم و وزن فلزات خورده شده را درفعالیت‌های مختلف شامل می‌گردد. این نوع خوردگی معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی که به طور یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول یا درمعرض محیط خورنده قرار دارد، مشخص می‌شود. نرخ این نوع خوردگی از طریق انجام آزمایش تغییر ضخامت قابل پیش‌بینی است. فلزتحت خوردگی به مرور زمان طی عملیات و سرویس دهی نازک و نازکتر شده و نهایتا درصورت عدم توجه و بررسی وضعیت آن، از بین می‌رود. این نوع خوردگی از نقطه نظر فنی اهمیت چندانی ندارد، زیرا عمر تجهیزاتی که تحت این نوع خوردگی قرار می‌گیرند را دقیقا می‌توان با آزمایشات ساده ای تخمین زد و معمولاً شدت این خوردگی به گونه‌ای است که بندرت اتفاق می‌افتد که از پایان عمر تجهیزات پیشی گیرد.

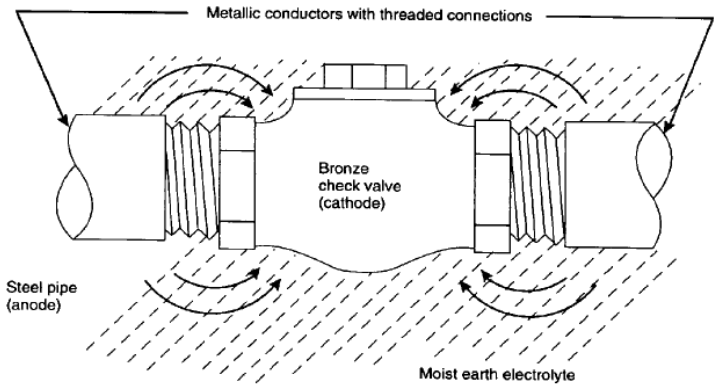
خوردگی یکنواخت را به طریق زیر می‌توان متوقف نمود یا کم کرد:

- انتخاب مواد و پوشش صحیح سطوح درتماس با محیط خورنده
- به وسیله استفاده از ممانعت‌کننده از خوردگی در محلول در تماس با سطوح یا به عبارتی کم نمودن خورندگی محیط
- با استفاده از حفاظت کاتدی تجهیز یا ورود به مکانیزم خوردگی و تغییر آن به نحو دلخواه

روش‌های فوق را درجهت مبارزه با این نوع خوردگی می‌توان به تنهائی یا با یکدیگر به کار برد.

خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی

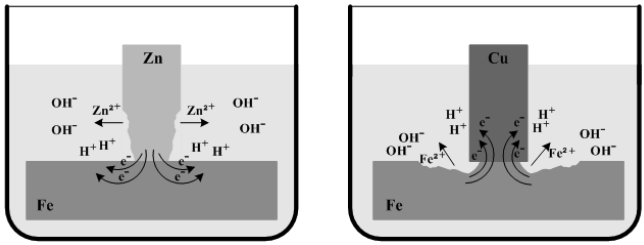
Galvanic Or Two Metal Corrosion



این نوع خوردگی وقتی رخ می‌دهد که دو فلز یا آلیاژ متفاوت (یا دو ماده متفاوت ازدیگر مانند برنز و استیل) در حضور یک جزء خورنده با یکدیگر تماس پیدا کنند. در منطقه تماس دوفلز، فرایندی الکترو شیمیایی به وقوع می‌پیوندد که در آن یکی از دو فلز به‌عنوان کاتد عمل کرده و فلز دیگر آند می‌شود. در این فرایند کاتد در برابر اکسیداسیون محافظت شده و آند اکسید می‌شود. خصوصیات جهت و چگونگی برقراری جریان الکتریکی بین فلزات غیر همجنس باعث گردیده است که این نوع خوردگی، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی نامیده شود. اساس این نوع خوردگی بر این است که هنگامی که دو فلز غیر همجنس، در تماس الکتریکی با یکدیگر باشند و در معرض یک محلول‌هادی یا خورنده قرارگرفته باشند، اختلاف پتانسیل بین این دو فلز در تماس الکتریکی با یکدیگر وجود نداشته باشد، فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد، افزایش خوردگی یافته و فلزی که مقاومت بیشتری در مقابل خوردگی دارد کاهش خوردگی می‌یابد.

به عبارت دیگر فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد آند شده و فلز مقاومتر (از نظر خوردگی) کاتد می‌گردد. معمولاً کاتد یا فلز کاتدی در این نوع خوردگی یا اصلاخورده نمی شود و یا اگر خورده شود، مقدار خوردگی آن ناچیز است. مثال‌های دوفلزی روی-آهن و نیز مس-آهن دراین نوع خوردگی را که آهن دو

نقش متفاوت را بازی نموده است، دراشکال زیر می‌توان مشاهده نمود.



معمولاً فلز فولاد و فلز روی درصورتی که به تنهائی دریک محیط خورنده قرار گیرند خورده می‌شوند، ولی هنگامی که آنها را به یکدیگر متصل می‌نمایند فلز روی خورده شده و فلز فولاد حفاظت می‌گردد. بطور کلی هنگامی که دوفلز مختلف دریک محیط خورنده به یکدیگر متصل می‌گردند، یکی از فلزها تحمل بیشتری نموده و فلز دیگرشروع به خوردگی می‌نماید.جدول زیر بعنوان یک مرجع تشخیص ریسک خوردگی دوفلزی را جهت انتخاب سیستم خوردگی و یا محافظت از تجهیزات و تاسیسات، نشان می‌دهد.

Metal Corroding \ Contact Metal	Magnesium & alloys	Zinc & alloys	Aluminium & alloys	Cadmium	Steel-carbon	Cast iron	Stainless steels	Lead, tin and alloys	Nickel	Brasses, nickel silvers	Copper	Bronzes, cupro-nickels	Nickel copper alloys	Nickel- Chrome_Mo Alloys Titanium, silver, graphite Graphite, gold,platinum
Magnesium & alloys		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zinc & alloys			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aluminium & alloys				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cadmium					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Steel-carbon				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cast iron					X		X	X	X	X	X	X	X	X
Stainless steels					X	X		X	X	X	X	X	X	X
Lead, tin and alloys							X		X	X	X	X	X	X
Nickel										X	X	X	X	X
Brasses, nickel silvers						X	X	X	X		X	X	X	X
Copper							X	X	X			X	X	X
Bronzes, cupro-nickels													X	X
Nickel copper alloys														X
Nickel-Chrome-Mo Alloys Titanium, silver, graphite Graphite, gold,platinum														

X = Galvanic Corrosion Risk

خوردگی گالوانیکی در محیط اتمسفر یا همان هوای مرطوب با آلودگی‌ها و ترکیبات گازی خورنده نیز صورت می‌پذیرد. شدت خوردگی گالوانیکی به نوع و مقدار رطوبت موجود در هوا نیزبستگی دارد. بررسی‌های آزمایشگاهی درهوای آزاد در نقاط مختلف اثبات نموده است که فلز روی در تمام موارد نسبت به فولاد آند خواهد بود. دراین بررسی‌ها، فلز آلومینیوم وضعیت متغیری را نشان داده است و فلزات قلع و نیکل همواره کاتد شده‌اند. هنگامیکه فلزات کاملا خشک و بدون رطوبت بوده و درمحیط مرطوب واقع نشوند، خوردگی گالوانیکی رخ نخواهد داد، زیرا شرط خوردگی یعنی الکترولیتی برای حمل جریان بین سطوح الکترودها وجود نخواهد داشت.

شدت خوردگی گالوانیکی نزدیک محل اتصال دو فلز عموما شدیدتر بوده وبا دور شدن از این نقطه خوردگی نیز کم می‌گردد. خوردگی گالوانیکی از موضعی بودن آن در نزدیکی محل اتصال دو فلز به سهولت قابل تشخیص است.

نسبت سطح کاتد به سطح آند درخوردگی گالوانیکی به شدت تاثیر گذار است. هر چه دانسیته جریان در یک منطقه آندی بزرگ تر باشد، سرعت خوردگی بیشتر است. خوردگی نواحی آندی ممکن است ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از حالتی باشد که سطح آند و کاتدبرابرند.

براساس تحقیقات و تجربیات کسب شده برطبق جدول گالوانیک، تعداد ۱۰ روش کاهش خوردگی گالوانیکی مطرح است که بعضی مواقع ممکن است یک یا چند تا از این روش‌ها جهت ممانعت کامل از خوردگی لازم باشد. این روش‌ها به شرح زیر می‌باشند:

۱- بهتر است با استفاده از اتصال دهی با جوش برنج یا آلیاژی که حداقل نسبت به یکی از دو فلز تحت اتصال نجیب تر باشد خوردگی گالوانیکی را کاهش داد.

۲-استفاده از فلزات با موقعیت نزدیک به هم در جدول گالوانیکی: در صورت نیاز به کاربرد فلزات غیر همجنس حتی الامکان بایستی سعی گردد که موقعیت آنها در جدول گالوانیکی به یکدیگر نزدیک‌تر باشد.

Metal	Volts[a]
Commercially pure magnesium	−1.75
Magnesium alloy (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	−1.6
Zinc	−1.1
Aluminum alloy (5% Zn)	−1.0
Commercially pure aluminum	−0.8
Mild steel (clean and shiny)	−0.5 to −0.8
Mild steel (rusted)	−0.2 to −0.5
Cast iron	−0.5
Lead	−0.5
Mild steel in concrete	−0.2
Copper, brass, bronze	−0.2
High-silicon cast iron	−0.2
Mill scale on steel	−0.2
Carbon, graphite, coke	+0.3

۳- اجتناب از استفاده آند با سطح کوچک و کاتد با سطح بزرگ: استفاده از آند با سطح کوچک و کاتد با سطح بزرگ سبب افزایش سرعت خوردگی گالوانیکی می‌گردد. قطعات کوچک مانند پیچ و مهره‌ها یا میخ پرچ‌ها برای نگهداشتن فلزات فعال تربه یکدیگر (مانند ورق روی و استیل گالوانیزه طبق جدول گالوانیکی مانند جدول زیر) مورد قبول و به لحاظ خوردگی محافظت پذیرترند.

Magnesium	Active (Anode)
Zinc	
Galvanized Steel	
Aluminum	
Mild Steel	
Cast Iron	
Lead	
Brass	
Copper	
Bronze	
MONEL Alloy®	
Nickel (passive)	
Stainless Steel 304 (passive)	
Stainless Steel 316 (passive)	
Silver	
Titanium	
Gold	
Graphite	
Platinum	Noble (Cathode)

۴- عایق نمودن فلزات غیر همجنس جهت ممانعت از ایجاد سیستم گالوانیکی: فلزات غیر همجنس را تا آنجا که ممکن است می‌بایست از یکدیگر جداسازی کرده و بین آنها را عایق بندی(واشر لاستیکی و رنگ و ...) نمود.

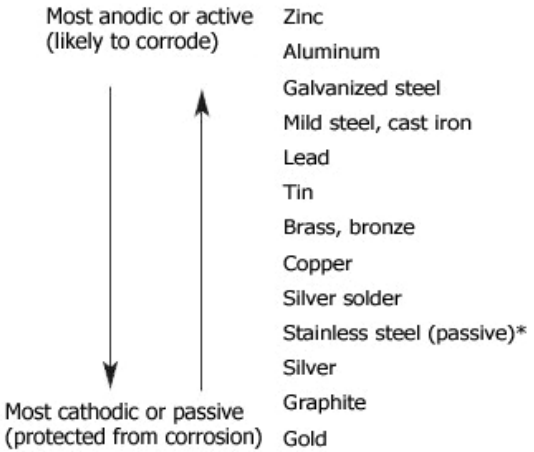
۵- استفاده از آند ضخیم یا انتخاب جنسی که طول عمر بیشتری داشته و سیستم برای مدت زیادی پایدار باشد روش دیگری در کاهش خوردگی گالوانیکی است.

۶- متصل نمودن فلزی که نسبت به دو فلز متصل به هم آند شود، روش دیگری در کاهش خوردگی گالوانیکی است.

۷- آند را تا آنجا که ممکن است می‌بایست پوشش مناسب داد.

۸- استفاده از ممانعت‌کننده از خوردگی در مواردی که سیال خورنده در تماس با دو فلز است، تکنیک بسیار مهمی در خصوص این سیستم‌هاست.

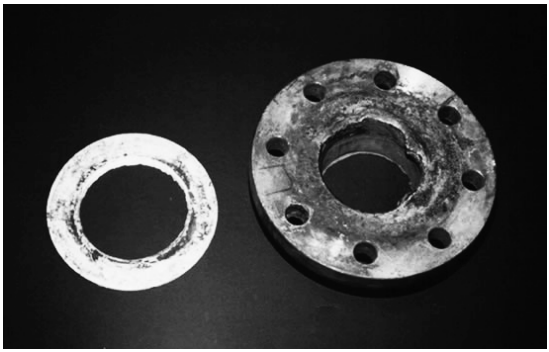
۹- ازمتصل نمودن فلزاتی که در جدول گالوانیکی دور از یکدیگر قرار گرفته‌اند (به جدول زیر توجه نمائید) با پیچ و مهره می‌بایست اجتناب نمود. زیرا سبب کنار هم قراردادن آند و کاتد قوی شده و خوردگی تشدید می‌گردد.



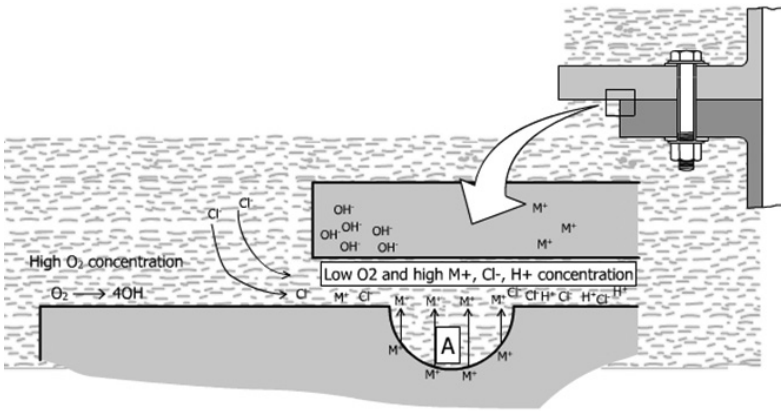
۱۰- جهت اتصال دو فلز استفاده از الکترود هم جنس با فلز زمینه‌ای که جوشکاری در آن صورت می‌گیرد، خوردگی گالوانیکی را به شدت کاهش می‌دهد.

خوردگی شیاری

Crevice Corrosion

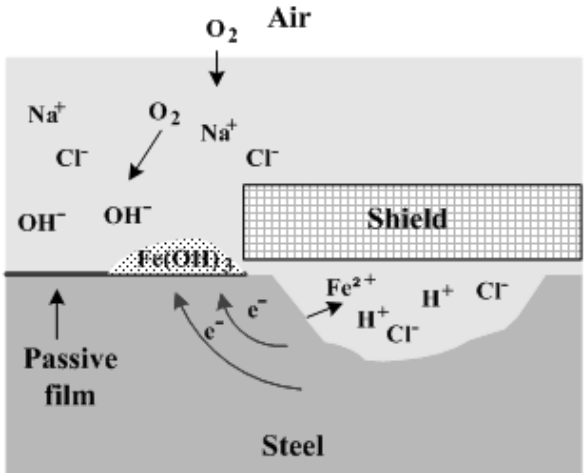


هنگامی که یک ذره خورنده در فاصله‌ای باریک، بین دو جزء با قابلیت خوردگی‌گیر کند خوردگی شیاری اتفاق می‌افتد. با پیشرفت واکنش خوردگی، غلظت عامل خورنده افزایش می‌یابد. در تصویر زیر مکانیزم این نوع خوردگی قابل مشاهده می‌باشد.



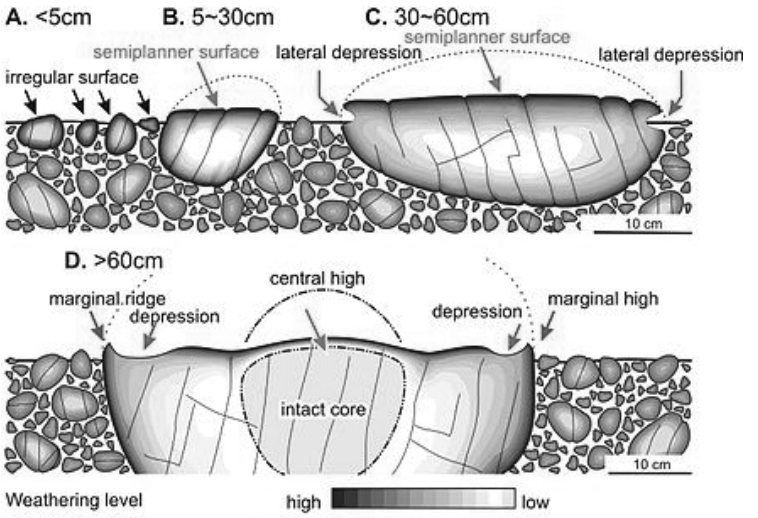
Mechanism of crevice corrosion.

بنابراین درخوردگی نوع شیاری، واکنش خوردگی با نرخ فزایندهای پیشروی خواهد نمود و در سراسر شکاف تداوم خواهد یافت تا اینکه شکاف را عمیق‌تر نموده و شیاری را بین دو جزء اولیه ایجاد نماید.



خوردگی آبشویی ترجیحی

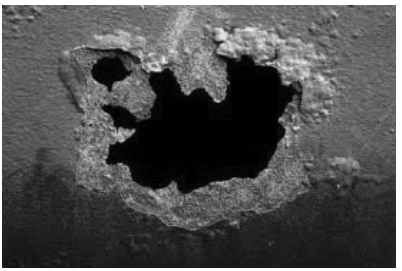
Selective Leaching Corrosion



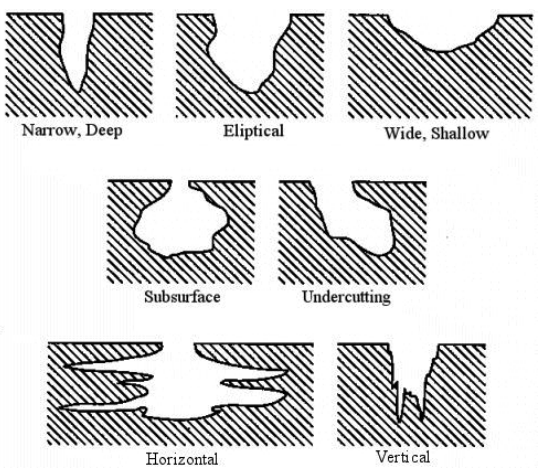
این نوع خوردگی انتخابی وقتی رخ می‌دهد که عنصری از یک آلیاژ جامد از طریق یک فرایند خوردگی ترجیحی و عموما با قرار گرفتن آلیاژ در معرض اسیدهای آبی خورده می‌شود. متداول ترین مثال جدا شدن روی از آلیاژ برنج است ولی آلومینیوم، آهن، کبالت و زیرکونیم نیز این قابلیت را دارند. هنگامی که یک عنصر از یک آلیاژ جامد ما نند روی در برنج ا ز طریق یک فرایند خوردگی ترجیحی و عموماً با قرار گرفتن آلیاژ در معرض محیط اسیدی با پایه آب خورده می‌شود این نوع خوردگی مطرح می‌گردد.

خوردگی حفره‌ای

Pitting Corrosion

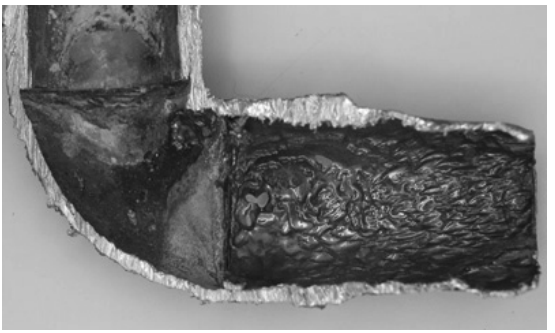


این نوع خوردگی در صنایع نفت بیشترین فراوانی را نشان می‌دهند. خوردگی حفره ای نوعی خوردگی است که معمولاً به وسیله یون‌های کلرید ایجاد می‌گردد. این نوع خوردگی برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است؛ چون در این خوردگی، سازه با چند درصد کاهش وزن نسبت به وزن واقعی‌اش، به راحتی دچار شکست می‌شود. معمولاً عمق این حفره‌ها برابر یا بیشتر از قطر آنهاست و با رشد حفرات، سازه یا تجهیز سوراخ می‌شود. سوراخ شدن کف مخزن و نفوذ فرآورده‌های نفتی به زمین بدلیل این نوع خوردگی گزارشات زیادی را به خود اختصاص داده است. شکل زیر انواعی از این خوردگی را نشان می‌دهد.

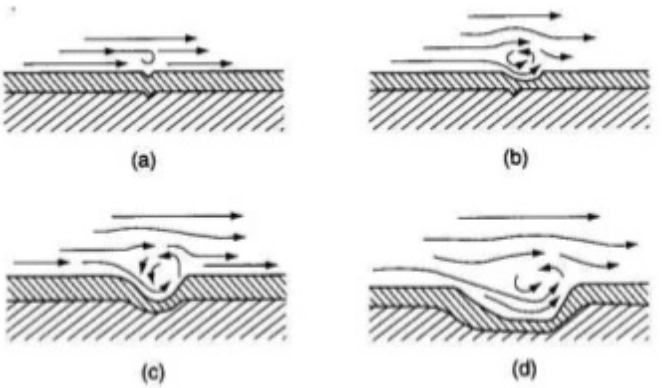


خوردگی سایشی

Erosion Corrosion



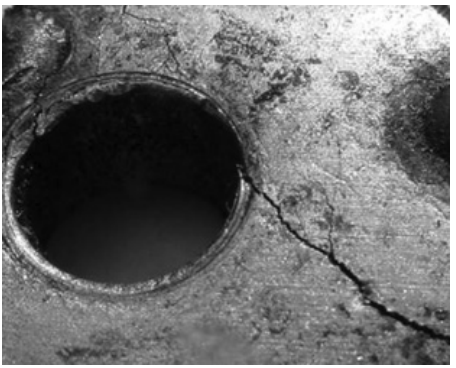
خوردگی سایشی هنگامی ا تفاق می‌افتد که سیالی خورنده و دارای اصطکاک سایشی نسبت به یک سطح یا تجهیز ثابت دیگر حرکت نموده و موجب سایش آن شود. همانگونه که در ترتیب پیشرفت خوردگی از شکل a تا شکل d در اشکال زیر قابل مشاهده است، اغتشاش جریان موجب تسریع این نوع خوردگی می‌گردد.



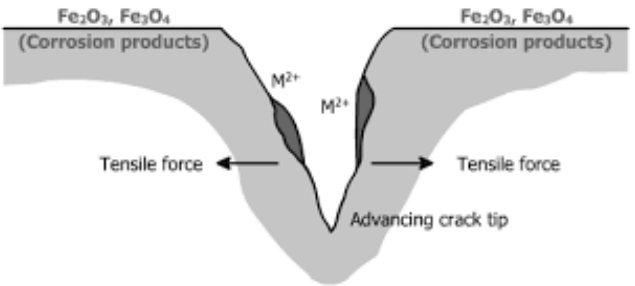
خوردگی سایشی خطوط لوله و ا نتقال انواع فرآورده‌های نفتی، بالاخص فرآورده‌های دارای ذرات ریز معلق، کثرت این نوع خوردگی را درصنایع نفت دامن زده اند. یکی از مهمترین تکنیک‌های کاهش این نوع خوردگی، کم کردن سرعت حرکت سیال خورنده می‌باشد.

خوردگی توام با تنش

Stress Corrosion



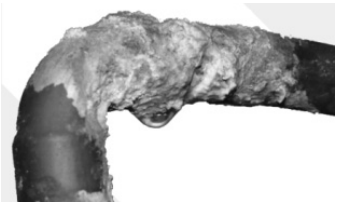
خوردگی توام با تنش هنگامی صورت می‌پذیرد که ماده ای تحت تنش کششی در معرض یک محیط خورنده قرار گیرد. ترکیب این عوامل با هم، ترک‌هایی را در جزء تحت تنش آغاز می‌کند.



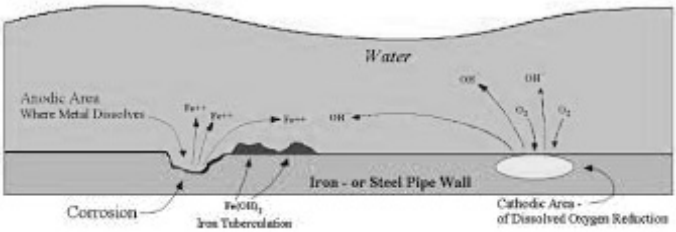
ضربه‌های قوچ در خط لوله بین مخازن و تجهیزات تحت تنش‌های فشاری و... از این جمله‌اند.درشکل فوق جهت نیروهای تنشی رابه شکاف ایجاد شده می‌توان مشاهده نمود. این نیروها سبب پیشرفت و بزرگتر شدن شکاف ناشی ازاین نوع خوردگی در سطوح فلزات و تجهیزات می‌گردند.

خوردگی درحضورآب

Corrosive Water



خوردگی فلزات در محیط مائی بستگی زیادی به کیفیت و املاح آب دا رد. از جمله پارامترهای مهم در این ارتباط عبارتند از:



- هدایت الکتریکی آب بواسطه یون‌های مختلف موجود درآن
- PH آب که نشان دهنده میزان اسیدی یا بازی بودن محیط آب است.
- غلظت آب که نشان‌دهنده میزان آب در دسترس سطوح خورنده است.
- نوع نمک‌های موجود درآب، به طوری پاره‌ای از نمک‌ها به شدت خورنده و پاره‌ای دیگر از واکنش‌پذیری کمتری برخوردارند.
- گازهای موجود در آب که بسته به نوع خاصیت اسیدی (گازکربنیک و کلر و ...) و یا بازی (مانند آمونیاک) محیط خورنده‌ای را به وجود می‌آورند. مواد آلی موجود در آب، حاصل از ارگانیزم‌های زنده، سوخت و ساز و یا زوال آنها ست. این مواد آلی غالبا به صورت کربنیک اسید و بنزوئیک اسید یافت‌شده و باعث کاهش pH آب و تسریع خوردگی فلزاتی مثل آهن، سرب، و مس می‌شوند. ارگانیزم‌های زنده شامل باکتریها، لجنها، قارچها و جلبک‌ها و ... می‌باشند.
- مسایل رسوب‌گذاری که گاهی اوقات مناسب و به نفع ضد خوردگی (کربنات کلسیم) و گاهی اوقات رسوبات خورنده ایجاد می‌نمایند.

حفاظت مخازن از اثرات آب

Tank Storage Protecting Of Water Effects

با توجه به اینکه غالب مشکلات ناشی ازخوردگی در مخازن به علت حضور آب در داخل مخزن است، لذا جلوگیری از ورود آب و کنترل آن مهمترین بحث در نگهداری مخازن می‌باشد.

از مهمترین مشکلات و عارضه‌های حادث شده ناشی از حضور آب در مخزن فرآورده‌های نفتی، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ایجاد خوردگی و زنگ زدگی در کف تانک ذخیره، پرواضح ترین آسیب ناشی از حضور آب در داخل مخزن است.
- افزایش رشد میکروبی، تشکیل کولونی، لجن‌های بیولوژیک که خود باعث خوردگی بیولوژیکی تانک (خوردگی ناشی از باکتری‌های احیاکننده یون سولفات) گردیده، ضمن ایجاد بوی تعفن سبب افزایش آلودگی‌های نیمه جامد بعنوان جزئی از لجن‌های هیدروکربنی می‌شود.
- پیوند آب موجود با ترکیبات گوگردی موجود در سوخت، تشکیل اسید سولفوریک و خوردگی اسیدی در داخل مخزن را سبب می‌شود.
- اکسیداسیون سوخت درکنار آب بصورت یک واکنش طبیعی که باعث شکست و تخریب سوخت و تشکیل ذرات غیر محلول و لجن‌ها می‌گردد. این فرایند همچنین سبب افت کیفیت و از بین رفتن خواص بنزین و گازوئیل می‌شود.

اهم راه‌های جلوگیری از ورود آب به مخازن:

چنانچه مطابق نتایج ارسال شده از آزمایشگاه، میزان آب آزاد در داخل سوخت بیشتر از ppm ۱۰۰۰ باشد (و یا رنگ نمونه کدر باشد) سوخت مورد نظر یک سوخت آلوده محسوب می‌شود. و هر زمانی که مقدار آب و لجن زیادی در سوخت تشخیص داده شود، باید در جهت رفع آن به کمک روش‌های مطرح شده در بخش آب‌گیری اقدام نمود.

اگر نمونه اخذ شده در زمستان، دارای واکس و یا کریستال‌های یخ باشد، حضور ذرات آب در فرآورده داخل داخل تانک، قطعی است که در این صورت نیز

باید در جهت رفع آن اقدام نمود.

به طور کلی، حضور آب در داخل هر هیدروکربن، شرایط رشد و نمو را برای انواع میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند.لذا کنترل و جداسازی آب موثرترین روش در جهت جلوگیری از رشد میکروبی در داخل مخازن می‌باشد.ازمهمترین راه‌های ممانعت از ورود آب به مخازن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نصب فیلتر هوای جاذب رطوبت در مسیر تنفس مخزن، یک راه جهت جلوگیری از ورود آب ناشی از رطوبت محیط به داخل مخازن، بالاخص درمناطقی است که رطوبت هوا درآنجا بسیار بالا می‌باشد.
- نیتروژن بلنکتینگ یا تنفس بداخل(دم) مخزن و بازدم آن به سیستم‌های بازیافت بخارات، روش دیگری دراین خصوص است.
- بررسی سالم بودن سالم بودن اتصالات یا فیتینگ‌ها و آب‌بندی مخزن درمواردی که تنفس با نیتروژن یا هوای رطوبن زدائی شده است.
- در رویکردهای جدید در هنگام پر نمودن مخزن از سوخت، از سیستم فیلتر کوالسر (جداکننده آب از سوخت) بعنوان رطوبت زدائی از فاز مایع نیزاستفاده می‌شود.

بنابراین کنترل آب در داخل مخازن، شامل ممانعت از ورود آب و جداسازی آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. ظرفیت‌های بالا در بخش توزیع سوخت، زمان کمتری برای جای گیری و ماندن و تجمع آب در کف مخازن در اختیار قرار می‌دهد.

خصوصاً این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که در مناطقی که رطوبت هوا بیشتر است، بدلیل تنفس مرطوب مخزن، آب پتانسیل بیشتری برای تجمع دارد و در این مناطق جداسازی آب و اعمال کنترل‌های لازم در این خصوص بیشتر باید صورت پذیرد.

علت اصلی به وجود آمدن آب در مخازن، جذب رطوبت هوا و چگالش آن می‌باشد. سوخت‌ها به خصوص سوختهای شامل مواد آروماتیک به علت داشتن مولکول‌های قطبی مستعد جذب آب می‌باشند.

در دماهای بالاتر میزان حلالیت سوخت بالاتر بوده و رطوبت بیشتری را جذب می‌کند که با کاهش دما، این میزان آب محلول به صورت آب آزاد ظاهر شده، در

ته تانک جمع می‌شود. بنابراین عامل حضور آب در سیستم‌های ذخیره، جذب رطوبت هوا و تغییرات دمایی نیز می‌باشد. رطوبت هوا از طریق هواکش تانک (ونت) واتصالات خراب و سایر نقاط بازبه داخل تانک نفوذ می‌کند.

ورود و تجمع آب از طریق ظروف و تانکرهای حمل و نقل آلوده نیز از موارد دیگری است که بعنوان منبع ورود آب به مخازن مطرح است.

رشد میکروبی داخل مخازن سوخت و همچنین تجهیزات و تاسیساتی که ضمن ماندن آب، فعالیت مداوم ندارند (تاسیسات آب آتش‌نشانی)، سبب بروز مشکلاتی خواهد شد که ازجمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تشکیل لجن‌های بیولوژیکی که درصورت تلاطم مخزن، گرفتگی و انسداد سریع فیلترها، گرفتگی شیرها، لوله‌ها، تخریب شیلنگ‌ها و آب بندها را موجب می‌شود.
- این گروه باکتری‌ها باعث احیا یون سولفات موجود در سوخت به یون سولفید می‌شوند. یون سولفید ضمن ترکیب با فلز تانک (آهن)، خوردگی بیولوژیکی سیستم را سبب می‌شوند.

بدین منظور خواهیم دید لازم است مخازن ذخیره سوخت و آب مطابق دستورالعمل‌های استاندارد که در بخش لایروبی بیان گردیده است، لجن زدائی و گندزدایی گردند. توجه باید نمود، حتی مقدار کم توده میکروارگانیسم که در داخل تانک باقی مانده باشد، خود منبع جدیدی برای تکثیر و نمو میکروب‌ها در مخزن می‌باشد. لذا در مرحله تمیز نمودن و شستشوی تانک باید دقت نمود.

ذرات گرد و غبار از طریق تنفس مخزن و همچنین از طریق آلودگی‌های همراه فرآورده‌های رسیده، به داخل مخزن راه پیدا می‌کنند. در صورت عدم کنترل، این ذرات باعث افزایش لجن و بعضا خوردگی‌های ویژه ای می‌شوند.

از روش‌های کنترل آلودگی ذرات جامد می‌توان به نصب فیلتر هوا در هواکش مخزن، چک کردن فیتینگ‌ها و سایر نقاط باز اشاره نمود.

روش‌های بازدارندگی ازخوردگی
Corrosion Inhibitor Method

روش‌های جلوگیری از خوردگی عموماً شامل انتخاب فلز با آلیاژ مناسب، خالص کردن فلز، روکش غیرفلزی، تغییر محیط خورنده و کاربرد ممانعت‌کننده و تکنیک‌های الکتروشیمیائی می‌باشد. بطور کلی جهت تمامی روش‌های خوردگی شرح داده شده در قبل، سه روش زیر جهت بازدارندگی تجهیزات از خوردگی مورد استفاده واقع می‌گردند:

- روش بازدارنده‌های شیمیائی کاتدی و آندی
- روش حفاظت کاتدی
- روش حفاظت از آندی

روش بازدارنده‌های شیمیائی کاتدی و آندی
Chemical Corrosion Inhibitor Method

بازدارنده‌های شیمیائی موادی هستند که وقتی به مقادیر کم به یک محیط خورنده اضافه گردند، باعث کاهش سرعت خوردگی می‌شوند. اثر یک بازدارنده بستگی زیادی به محیط اطراف و نوع فلز دارد. بازدارنده‌های خوردگی درد و دسته کاتدی و آندی طبقه‌بندی می‌گردند.

این طبقه‌بندی براساس آن که ماده کندکننده سبب افزایش قطبش واکنش آندی (کند نمودن حل شدن آهن) یا واکنش کاتدی (مثل کم شدن احیا اکسیژن در محلول‌های خنثی و یا کاهش تصعید هیدروژن در محلول‌های اسیدی) می‌شوند، صورت پذیرفته است. در محیط خنثی عمده ترین واکنش کاتدی، احیاء اکسیژن محلول و تولید یون هیدروکسید می‌باشد و سطح فلز از فیلم‌های اکسیدی، هیدروکسیدها، یا نمک‌های کم محلول پوشیده می‌شود.

در محیط‌های اسیدی اکسیدهای ایجاد شده محلول می‌باشند و عمده‌ترین واکنش کاتدی احیاء هیدروژن به گاز هیدروژن احیاء می‌شود. به دلیل این اختلاف مکانیسم، بازدارنده‌های محیط‌های خنثی و اسیدی از یکدیگر متمایزند. اساس محافظت و بازدارندگی در محیط‌های خنثی، ایجاد

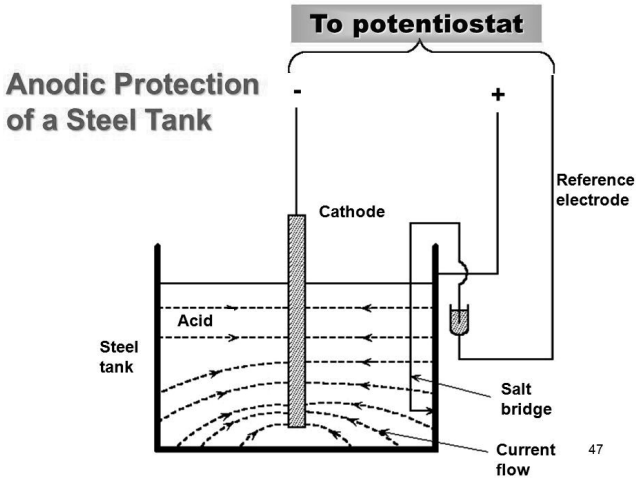
ترکیبات پایدار روی سطح فلز می‌باشد.

از آنجا که در محلولهای خنثی واکنش کاتدی عمدتا احیاء اکسیژن و تولید هیدروکسید می‌باشد، بنابراین با کاهش انتقال اکسیژن به سطح فلز، می‌توان شدت خوردگی را تا حد زیادی کاهش داد. در این مورد استفاده از نمک‌های فلزاتی مثل روی، منیزیم، منگنز یا نیکل باعث می‌شود تا یون این فلزات با یون هیدروکسید تولید شده در کاتد ترکیب شده و هیدروکسیدهای نامحلول ایجاد نماید که به صورت فیلمی نازک سطح کاتد را بپوشانند. نمک‌های منیزیم و کلسیم که همواره در آبهای طبیعی حضور دارند نیز ممانعت‌کننده کاتدی می‌باشند.

بازدارنده‌های کاتدی جزء بازدارنده‌های بی‌خطر محسوب می‌شوند. حضور آنیون‌های کلرید و سولفات تاثیر چندانی بر آنها نداشته و فیلم تشکیل شده توسط آنها غالباً ضخیم و قابل روئیت است. باید توجه نمود که هر گونه کاهش pH یا افزایش CO_2 محلول می‌تواند این اثر را از بین ببرد. مکانیسم عمل بازدارنده‌های آندی براساس واکنش یون‌های فلزی خورده شده با بازدارنده و ایجاد فیلم محافظ (روئین) روی آند می‌باشد. این گروه شامل آنیون‌های اکسیدان نظیر کروماتها، نیترات‌ها و آنیون‌های غیراکسیدان مثل فسفات‌ها، سیلیکات‌ها، بنزوات‌ها و مولیبدات‌ها می‌باشند. این مواد در محیط‌های خنثی و قلیایی به کار می‌روند. عواملی مثل درجه حرارت بالا، مقدار زیاد کلریدها و یا غلظت زیاد یون‌های هیدروژن، می‌توانند سبب ناپایداری لایه و افزایش حلالیت آن شوند. این دسته از بازدارنده‌ها جزء بازدارنده‌های خطر ناک محسوب می‌شوند و در صورت ناکافی بودن باعث خوردگی شدید حفرهای می‌گردند.

روش حفاظت آندی

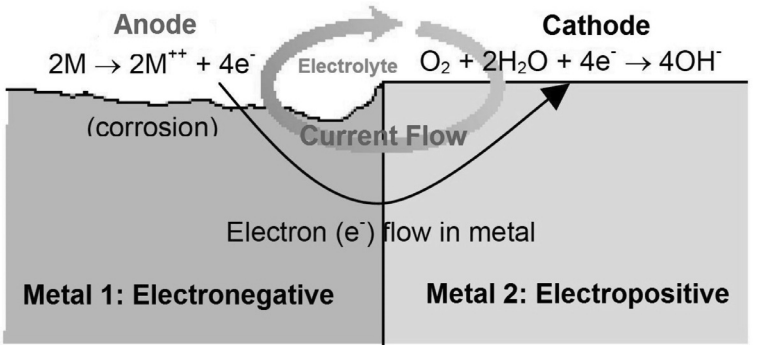
Anodic Protection Method



اساس حفاظت آندی بر پایه روئین شوندگی سطح فلز در محیط می‌باشد. روش حفاظت آندی نوعی حفاظت است که در آن فلزات ازحالت فعال به غیرفعال تبدیل می‌شوند مورد استفاده واقع می‌گردد. دراین روش لایه محافظی برروی فلز تشکیل می‌شود که از خوردگی آن جلوگیری می‌کند. حفاظت آندی از جمله روش‌های کنترل خوردگی است که با استفاده از تغییر پتانسیل سطح صورت می‌پذیرد. دراین روش پتانسیل را کاهش داده و قطب منفی منبع را به فلز محافظت شونده وصل می‌کنند.حفاظت آندی را برای فلزات خاصی می‌توان انجام داد. بیشترین تحقیقات علمی درحوزه حفاظت آندی در جهت حفاظت مخازن و تجهیزات از خوردگی اسید سولفوریک محدود شده است. حفاظت آندی ازجمله روش‌های نوین محافظت از خوردگی است و توسعه چندانی در صنعت تا به حال نداشته است.

روش حفاظت کاتدی

Catodic Protection Method



با فراهم نمودن الکترون برای فلزی که بایستی محافظت شود حفاظت کاتدی صورت می‌پذیرد. خوردگی توسط انتقال جریان الکترون از فلز به الکترولیت صورت میگیرد که به دنبال آن یون‌های مثبت به سمت الکترولیت و الکترون‌ها به سمت فلز حرکت می‌کنند. نواحی که این جریان از آنها عبور می‌کند را مناطق آندی و واکنش مربوطه را واکنش آندی می‌نامند.

اکثر اوقات یون‌های فلزی با یون‌های منفی داخل الکترولیت واکنش داده و محصولات خوردگی تشکیل شوند (برای مثال زنگ آهن در فولاد). بطور عمده این واکنش‌ها اثری بر روی واکنش خوردگی نمی گذارند مگر در زمانیکه محصولات ناشی از خوردگی، مقاوم در برابر تهاجمات خوردگی باشند. در نهایت بایستی از نظر بار الکتریکی یك تعادل برقرار شود. جهت متعادل شدن واکنش از نظر بار الکتریکی، باید یك جریان از محلول (الکترولیت) به سمت فلز حرکت کند و الکترون‌ها در محیط دیگری که منطقه کاتدی نامیده می‌شود، مصرف شوند. میزان انتقال جریان در این واکنش‌ها سرعت خوردگی را تعیین می‌نماید.

لازمه انجام واکنشهای مربوط به خوردگی وجود مناطق آندی و کاتدی می‌باشد. اگر الکترون‌های مخزن یا لوله از یك منبع خارجی تامین شوند، میزان حرکت یون‌های مثبت از سطح فلز کاهش و سرعت واکنش کاتدی افزایش

می‌یابد. اگر پتانسیل فلز با اعمال الکترون‌های خارجی از مقدار Ecorr (پتانسیل خوردگی فلز در حالت طبیعی) به مقدار Ep (پتانسیل حفاظتی فلز پس از اعمال حفاظت کاتدی) کاهش یابد (این مقادیر در نمودارهای مربوط به پلاریزاسیون فولاد موجود است)، در نتیجه جریان آندی و یورش خوردگی متوقف شده و حفاظت کاتدی حاصل می‌گردد. جریان کاتدی (IP) توسط یك منبع خارجی تامین می‌گردد، که این منبع خارجی یا یك آند فلزی (روش آندهای فدا شونده) و یا یك منبع ولتاژ برق DC (روش اعمال جریان) می‌باشد. درادامه هر یک از این دو روش تشریح خواهند گردید.

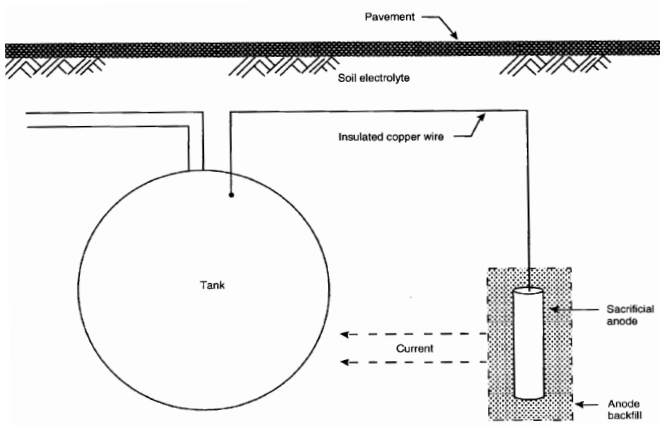
انواع روش‌های سیستم حفاظت کاتدیک
Catodic Protection Methods Type

با توجه به نوع آند بکار رفته و نحوه عملکرد، سیستم حفاظت کاتدی به دو روش عمده زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- روش آند فداشونده (Sacrificial Anodes)
- روش اعمال جریان (Impressed Current)

هریک از این دو روش درادامه شرح داده خواهند شد.

سیستم حفاظت کاتدی به روش آندهای فدا شونده
Sacrificial Anodes Catodic Protection



آندهای فدا شونده شامل آلیاژهایی از منیزیم، روی و آلومینیوم می‌باشند. این آندها در خاك یا در آب به صورت ساده و یا همراه با یك پشت بند (Back Fill) مخصوص نصب می‌شوند.

این نوع آندها در سیستم‌های حفاظت کاتدیک مربوط به مخازن یا خطوط لوله بصورت انفرادی و یا گروهی به مخازن یا خط لوله تحت حفاظت کاتدی نصب میگردند. محدودیتهایی در استفاده از این نوع آندها وجود دارد که مربوط به اختلاف پتانسیل فصل مشترك سازه با آند و میزان مقاومت الکتریکی خاك است. از این روش جهت حفاظت کاتدی سازه‌های که به جریان کمی نیاز داشته و یا در خاکی با مقاومت الکتریکی پائین مستقر می‌باشد، استفاده می‌گردد. می‌توان از این نوع آندها به صورت نواری شکل که در تمام طول مسیر خط لوله نصب می‌شوند نیز جهت جلوگیری از خوردگی استفاده کرد.

طبق استانداردهای IPS-D-TP-۷۱۱, IPS-E-TP-۸۲۰. از آندهای فداشونده در موارد زیر می‌توان استفاده نمود:

الف - خطوط لوله با پوشش خوب که نیاز به جریان حفاظتی خیلی کمی دارند.

ب - رفع مشکلات مربوط به تداخل و جریان‌های سرگردان
ج -خطوط لوله کوتاه با پوشش خوب
د - در نقاط مشخصی بر روی خطوط لوله (نقاط بحرانی) که ممکن است تنها چند فوت از خط لوله نیاز به حفاظت داشته باشد.
ه- فراهم نمودن حفاظت موقتی قسمتی از خط لوله مدفون که در شرایط خوردگی موضعی قرار دارد. مانند منطقه عبور خط لوله از عرض رودخانه .
و - جهت حفاظت کف مخازن رو زمینی که دارای سطح وسیعی نباشند.
انواع آندهای مورد مصرف در روش فدا شونده عبارتند از:
۱) آندهای روی ۲) آندهای منیزیم ۳) آندهای آلومینیوم
با توجه به الکترولیت موجود در یك منطقه نوع آند مصرفی برای محیط متفاوت است و این تفاوت ناشی از شرایط ویژه الکترولیت از جمله مقاومت ویژه، PH، رطوبت و همچنین خواص و قابلیتهای هر یك از آندهای یاد شده می‌باشد. به‌عنوان نمونه آندهای فداشونده با توجه به الکترولیت و مقدار مقاومت آن به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

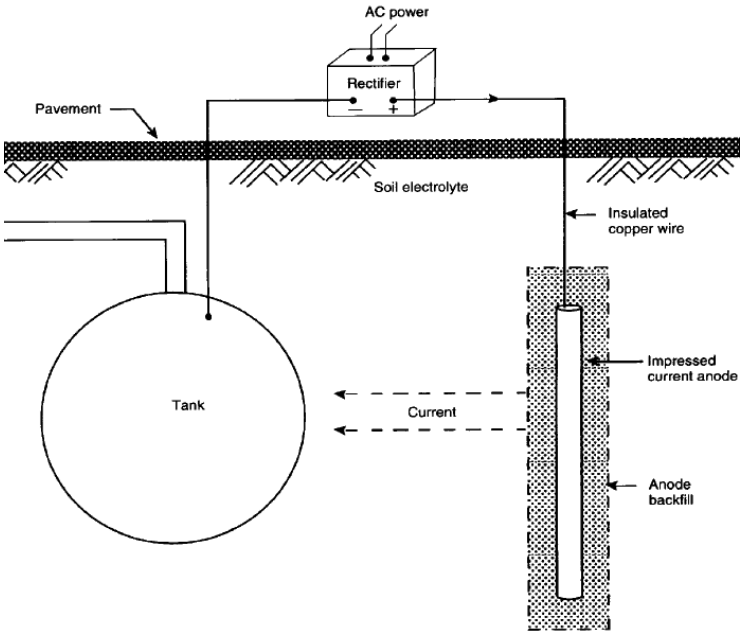
الف) آندهای مصرفی در آب:

مقاومت الکتریکی آب (Ohm-Cm)	نوع آند مصرفی
کمتر از ۱۵۰	آلومینیوم
کمتر از ۵۰۰	روی
بیشتر از ۵۰۰	منیزیم

ب) آندهای مصرفی در خاك:

مقاومت الکتریکی آب (Ohm-Cm)	نوع آند مصرفی
کمتر از ۱۵۰۰	روی
کمتر از ۵۰۰۰	منیزیم (استاندارد)
کمتر از ۶۰۰۰	منیزیم (پتانسیل بالا)

سیستم حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان
Impressed Current Catodic Protection



یك سیستم حفاظت کاتدی از نوع اعمال جریان باید شامل یك یا چند ایستگاه به عنوان منبع جریان، بستر آندی و کابل‌هادی جریان باشد. جهت تامین الکترون مورد نیاز و اعمال اختلاف پتانسیل لازم بین کاتد و الکترولیت (در روش اعمال جریان) از یك منبع تغذیه DC استفاده می‌شودکه بوسیله یک رکتیفایر یکسو یا مستقیم می‌گردد. این منبع تغذیه، جریان مستقیم مورد نیاز جهت حفاظت سازه را تأمین می‌کندموقعیت این ایستگاه‌ها در طول خط لوله یا محوطه مخازن بستگی به امکان دسترسی به نیروی برق متناوب و میزان کاهش پتانسیل دارد. ازاین روش معمولاً جهت حفاظت مخازن استفاده نمی گردد. در مورد خطوط لوله، کاهش میزان حفاظت یك خط لوله از محل نصب سیستم

حفاظت کاتدی نیز بستگی به مقاومت طولی خط لوله و هدایت پوشش لوله دارد.

معیار احداث بسترهای آندی عمودی و افقی بایستی بر اساس استاندارد IPS-C-TP-۸۲۰ بوده و انتخاب محل بسترهای مذکور بایستی پس از بررسی نتایج مربوط به بازرسی و کنترل محیطی صورت پذیرد. حداقل فاصله بستر آندی از خط لوله مدفون یا سازه‌های مجاور بستگی به مقدار جریان مورد نیاز سیستم داشته و با افزایش مقدار جریان این فاصله نیز افزایش خواهد یافت. معیار این فاصله عبارت از:

- ۵۰ متر برای ۳۰ آمپر
- ۱۰۰متر برای ۵۰ آمپر
- ۲۰۰ متر برای ۱۰۰ آمپر
- ۳۰۰ متر برای ۱۵۰ آمپر

می‌باشد. کابل‌های مورد استفاده در این سیستم‌ها نیز از نظر ابعادی باید به گونه‌ای انتخاب شوند که در زمانیکه حداکثر جریان طراحی از مدار عبور می‌کند، میزان افت ولتاژ ایجاد شده کمتر از ۵ درصد باشد. اطلاعات مربوط به کابل‌ها و سیم‌های مورد مصرف در این نوع سیستم‌ها در استاندارد IPS-M-TP-۷۵۰ و DIN VDE-۰۲۷ موجود می‌باشد. تمامی کابل‌های مربوط به خروجی از قطب مثبت رکتیفایر به بسترهای آندی باید پیوسته بوده و حداکثر ۱۵۰ متر طول داشته باشند.

سیستم حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان بهتر است در خارج از محلی که خطر انفجار و آتش‌سوزی دارد طراحی و نصب گردد، مگر در حالات استثنا که بایستی بر اساس استانداردهای DIN-VDE-۰۱۶۵ و یا EN ۵۰۰۱۴ صورت پذیرد. به عبارت دیگر استفاده از ترانسفورمر رکتیفایر، جعبه‌های اتصال، جعبه‌های اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل (Test Point Or Test Box) بایستی از نوع ضدانفجار طراحی و مورد استفاده قرارگیرد.

آندهای مورد مصرف در روش اعمال جریان عبارتند از:

- آند چدن پر سیلیس (سیلیکون)
- آند آلیاژ دوریکلر

- آند چدن پر سیلیس کروم دار
- آند پلاتینیوم
- آند چدن پرسیلیس مولیبدن دار
- آند گرافیتی

عمده‌ترین آندی که در روش اعمال جریان مورد استفاده دارد آند چدن پرسیلیس می‌باشد، این نوع آندها در پشت بندهای کربنی کارآیی آندهای گرافیتی را داشته و در خاکهایی با مقاومت ویژه کم نسبت به آندهای گرافیتی ارجحیت دارند. همچنین امکان استفاده از این آندها در دانسیته جریان‌های بالا وجود دارد. عناصر تشکیل دهنده این نوع آلیاژ عبارتند از ۰٫۹۵درصد منگنز، ۰٫۷درصد سیلیس، ۱۴٫۴درصدکربن ومابقی آهن.

کارآیی یك آند با نحوه نصب آن دارای رابطه مستقیم می‌باشد، به قسمی که یك عایق بندی ضعیف در محل اتصال به واسطه خوردگی حفره‌ای به مقدار قابل توجهی از کار آیی آند می‌کاهد. عمر مفید آندهای مذکور معمولاً تا زمانی در نظر گرفته می‌شوند که قطر آنها در حدود ۳۳٪ کاهش یابد که البته این مقدار بستگی به قطر اولیه و میزان خوردگی حفره‌ای و همچنین تنش‌های مکانیکی دارد. بنابراین دو برابر کردن سطح مقطع آند عمر مفید را بیش از دو برابر افزایش خواهد داد.این نوع آلیاژ دارای مقاومت بسیار بالایی در بسیاری از محیط های خورنده می‌باشد. استثنا قابل توجه در این مورد اسید فلوریدریك است، در حقیقت این چدن‌ها مقاوم ترین فلزات و آلیاژهای تجارتی (غیر گرانبها) می‌باشند.

معیارهای حفاظت کاتدی در حفاظت لوله‌های مدفون
Catodic Protection Criterion

اکثر فلزات در برابر خوردگی با اعمال جریان حفاظت می‌شوند، بطوریکه پتانسیل آنها در پتانسیل منفی‌تر از پتانسیل سازه نسبت به محیط قرار گیرد. جریان مستقیم از طریق آندهای فداشونده (Sacrificial Anodes) و یا سیستم اعمال جریان(Impressed Current) فراهم می‌شود. تعیین و اندازه‌گیری پتانسیل تحت حفاظت نسبت به محیط اطرافش می‌تواند نمایانگر درجه و میزان حفاظت آن سازه باشد. از استاندارد NACE-RPO۱۶۹-۸۳ به عنوان معیار سیستم حفاظت کاتدی سازه‌های غوطه ور یا مدفون استفاده می‌شود. در خیلی از شرایط می‌توان خوردگی را در مقادیر کمتر نیز حفاظت کاتدی نمود. این معیار در استاندارد یادشده تحت عنوان " کنترل خوردگی خارجی سیستم‌های خطوط لوله فلزی غوطه ور یا مدفون" بیان شده است. پتانسیل ۸۵۰- میلی ولت برای اولین بار توسط R.J.Kuhn در سال۱۹۳۳ بیان شده و جهت حفاظت کاتدی سازه‌های فولادی غوطه ور و یا مدفون پذیرفته شد.

کاربردی ترین معیار، معیار ۸۵۰- میلی ولت می‌باشد.

معیار پتانسیل حفاظت کاتدی عبارتست از اندازه‌گیری پتانسیل خط لوله – خاك که این اختلاف پتانسیل توسط الکترود مرجع مس ـ سولفات مس اندازه‌گیری می‌شود. در انتخاب معیار حفاظت کاتدی باید مسائل مربوط به هزینه‌های بالای تعمیرات و حفظ سرمایه‌های ملی در نظر گرفته شود که در نهایت به شرایط محیطی، پوشش سازه و در دسترس بودن نیروی برق بستگی دارد. یك محیط خورنده که سازه موجود در آن دارای پوشش ضعیفی باشد و یا نیروی برق در دسترس نباشد، دلالت بر استفاده از یك معیار با ضریب احتیاط بالا میکند. عدم تغییر در اصل طراحی نیز اشاره بر این امر دارد که حفاظت کاتدی برای سازه‌های حفاظت شده، به راحتی انجام شده است. به هر حال تکنیك‌های مراقبت و مونیتورینگ قادر به حل و فصل مطلوب هزینه‌های کنترل خوردگی بدون کاهش اثرات جلوگیری از خوردگی آنها می‌باشد.

آزمایش عملکرد یك سیستم حفاظت کاتدی
Catodic Protection Action Test

پس از نصب یك سیستم حفاظت کاتدی، جهت حصول اطمینان از عملکرد سیستم، باید اختلاف پتانسیل بین خاك و سازه فلزی مدفون اندازه‌گیری شود. اساس این اندازه‌گیری اعمال یك جریان (حاصل از اختلاف پتانسیل بین خاك و سازه تحت حفاظت) می‌باشد. اختلاف پتانسیل مذکور در اثر افت ولتاژ سازه مدفون، مقاومت بین سازه و خاك و در نهایت پلاریزاسیون می‌باشد. واضح است که با توجه به شرایط خاك از نظر مقاومت الکتریکی و درجه عایقی پوشش مصرفی و سطح لوله، مقدار جریان مورد نیاز جهت جلوگیری از خوردگی سطح سازه مدفون، متفاوت خواهد بود. لذا نمی‌توان مقدار جریان را به عنوان معیاری جهت ارزیابی نحوه عملکرد سازه مدفون تحت حفاظت کاتدی استفاده نمود. بنابراین پتانسیل جدیدی را که لوله بعد از اعمال جریان حفاظتی اختیار خواهد کرد به عنوان معیار محسوب مینمایند. استانداردهایی جهت کمك به اندازه‌گیری نحوه عملکرد یك سیستم حفاظت کاتدی تهیه شده است که در بخش معیارهای حفاظت کاتدی به آن اشاره گردید. معیار فوق برای سازه ای از جنس فولاد در الکترولیتی مانند خاك برابر۸۵۰mv- می‌باشد. مقدار منفی بیانگر این واقعیت است که سازه نسبت به خاك از پتانسیل منفی تری برخوردار بوده و جریان حفاظت کاتدی به سمت محیط های آندی جریان دارد.

اندازه‌گیری این اختلاف پتانسیل بایستی در فواصل مکانی و زمانی مشخص که توسط طراح سیستم تعیین می‌گردد انجام پذیرد. در فواصل مکانی مشخصی که حداقل هر ۵۰۰ متر و حداکثر هر ۱۰۰۰ متر می‌باشد با نصب یك ایستگاه اندازه‌گیری پتانسیل سهل تر خواهد گردید. این ایستگاه که تست پوینت نامیده می‌شود شامل جعبه ای است که کابل متصل شده به لوله (و یا هر سازه فلزی تحت پوشش سیستم حفاظت کاتدی) به روش جوش احتراقی (Cadweld) در آن مستقر گردیده است. تا اندازه‌گیری مذکور توسط یك ولتمتر و نیم پیل مرجع مس ـسولفات مس انجام پذیرد. استفاده از نیم پیل مرجع دائمی در کف مخازن روزمینی با قطر زیاد از جمله مواردی است که طراح جهت سهولت و امکان انجام

این اندازه‌گیری بایستی به آن توجه داشته باشد.

معیار اختلاف پتانسیل یاد شده بستگی به شرایط محیطی متفاوت خواهد بوده به عنوان نمونه در صورتیکه وجود خوردگی میکروبیولوژی در خاك منطقه به اثبات رسد این معیار یعنی ۸۵۰- میلی ولت حداقل ۱۰۰- میلی ولت شیفت پیدا کرده و به ۹۵۰- mV می‌رسد. به عبارت دیگر در مناطقی که خوردگی میکروبیولوژی در خاك منطقه وجود داشته باشد این معیار حداقل ۹۵۰- mV خواهد بود. همانطور که این معیار دارای حداقل می‌باشد بدیهی است که دارای رنجی به عنوان حداکثر مقدار مجاز نیز باشد. حداکثر مقدار این معیار بستگی به نوع پوشش لوله دارد. بدین ترتیب که اگر پوشش لوله از نوع سرد باشد این مقدار نبایستی ازمنفی ۱۶۰۰ mV تجاوز نماید و در صورتیکه پوشش لوله از نوع گرم باشد حداکثر مقدار مجاز این معیار ۲۲۰۰mV- خواهد بود. در صورتیکه حداکثر معیار فوق رعایت نشود پوشش لوله آسیب دیده و عواقب بعدی را به دنبال خواهد داشت. مطابق اطلاعات فوق، برای داشتن حفاظت در لوله پوشیده شده با کولتار اپوکسی، پتانسیل منفی ۱۵۰۰میلی ولت و برای پوشش پلی اورتان به منفی ۱۱۰۰ می‌توان درخصوص حداقل معیار اختلاف پتانسیل اشاره نمود.

COATING SYSTEM سامانه پوشش		OFF POTENTIALS, VOLT (Ref. $Cu/CuSo_4$) پتانسیل ها در حالت خاموش، ولت (مرجع مس/سولفات مس)
Epoxy powder fusion-bonded	پیوند همجوشی پودر اپوکسی	- 1. 1
Asphalt and coal tar enamel	لعاب کولتار و آسفالت نفتی	- 2.0
Tape wrap (laminated tape system)	نوار پیچشی (سامانه نوار لایه لایه)	- 1.1
Epoxy coal tar	کولتار اپوکسی	- 1.5
Polyethylene (2 layers)	پلی اتیلن (دولایه)	- 1.0
Polyethylene (3 layers)	پلی اتیلن (سه لایه)	- 1.1
Polyurethane pu	پلی اورتان(PU)	- 1.1
Cold applied petrolatum and petroleum wax tape نوار موم نفتی و ژله نفتی سرد اجرا		- 1.1
3 ply cold applied plastic tape نوار پلاستیکی سرد اجرای سه لایه		- 1.1

پیشگیری از خوردگی در انبار نفت

Corrosion Inhibition in Depots

پیشگیری از خوردگی لوله‌های مدفون، کف مخازن روزمینی و مخازن زیرزمینی و ...با استفاده از دو روش به کاربردن انواع پوشش، استفاده از سیستم حفاظت کاتدیك و یا استفاده همزمان این دوروش صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه هیچ یک از پوشش‌های موجود دارای راندمان ۱۰۰ درصد نمی‌باشند لذا داشتن یك سیستم مکمل لااقل جهت حفاظت از خوردگی سازه‌های مدفون اقدامی مهم به نظر می‌رسد. روش تکمیلی یاد شده سیستم حفاظت کاتدیك می‌باشد که در این روش با کاتد کردن سازه در حال خورده شدن (که قبلاً آند بوده است) می‌توان از خوردگی آن جلوگیری نمود.

عوامل بسیاری در تعیین و انتخاب روش حفاظت کاتدی موثر می‌باشند که از آن جمله می‌توان به:

- شرایط الکترولیت
- امکان دسترسی به برق
- امکان وجود بازرسی‌های آتی
- شرایط سازه‌های مجاور
- جریانهای سرگردان
- نوع و کیفیت پوشش
- مدت زمان طراحی سیستم
- شرایط اقتصادی

و. . . اشاره نمود. شرایط اقتصادی یکی از مهمترین عوامل موثر در انتخاب سیستم می‌باشد که در نهایت باید یك حالت بهینه فنی اقتصادی ایجاد شود.

در اصل، طراحی یك سیستم حفاظت کاتدی زمانی موفقیت آمیز خواهد بود که تمامی شرایط فوق درآن مد نظر قرار گرفته باشد. یکی از موارد مهم در خصوص ایمنی مخازن جلوگیری از خوردگی‌های سطوح داخلی و خارجی آن می‌باشد. هنگامی که به علل خوردگی مخازن دقت می‌نمائیم، بیشترین دلایل خوردگی را به سه دلیل اصلی زیر می‌توانیم محدود کنیم:

- خوردگی ناشی از زوج دو فلزی (Bi-Metallic)
- خوردگی ناشی ازمحیط غیر همگن (Non-Homogeneous Environment)
- خوردگی نوع میکروبی (Microbially)

خوردگی سطوح داخلی، خارجی وکف مخازن
Tank Storage Inner,Outer and Floor Corrosion

استاندارد API ۶۵۱، برای حفاظت از مخازن ذخیره روزمینی توصیه‌های اساسی و مناسبی را ارائه نموده است. حوزه‌هایی نظیر ساخت مخازن، تعمیر و تعویض مخازن، خطوط لوله مرتبط و هرگونه تجهیزات مرتبط دیگر که می‌بایست توسط حفاظت کاتدی از خوردگی محافظت شونددراین استاندارد توصیف شده است. هدف از انتشار این استاندارد، معرفی روش‌هایی برای دستیابی به یك روش کنترل خوردگی موثر برای حفاظت کف مخازن ذخیره روزمینی می‌باشد که از حفاظت کاتدی استفاده می‌کنند که شامل مقررات برای استفاده از حفاظت کاتدی در مورد مخازن موجود وجدید است. هدف دیگر ارائه اطلاعات وراهنمایی‌های خاص در مورد صنعت مخازن روزمینی ذخیره‌سازی فولاد می‌باشد که در سرویس هیدروکربن‌ها قرار خواهند گرفت. برخی از اعمال توصیه شده در اینجا ممکن است برای مخازن در سایر خدمات نیز قابل اجراء باشد. این استاندارد تنها یك راهنما برای افرادی است که در حوزه حفاظت کاتدی فعالیت دارند و اطلاعات کاملی در مورد طراحی سیستم حفاظت کاتدی به شخص نمی‌دهد. همچنین این استاندارد تمامی تانك‌ها با هر شرایطی را پوشش نمی‌دهد، زیرا حفاظت کاتدی بسیار وابسته به شرایط بوده، قابل تعمیم نمی‌باشد.خوردگی کف ودیواره داخلی مخازن را می‌توان با به کارگیری حفاظت

کاتدی تحت کنترل قرار داد.خوردگی کف مخازن نفتی یکی از مشکلات مهم ذخیره سازی نفت و مایعات هیدروکربنی است. نشت مخازن بزرگ نفتی موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و وارد آمدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر به محیط زیست می‌شود. شایع‌ترین نوع خوردگی درمخازن، خوردگی ناشی از زوج دو فلزی است. برای کنترل خوردگی مخازن ازاین جنبه، از سیستم‌های حفاظت کاتدی استفاده می‌شود.

اساس کار بدین صورت است که از موادی که نسبت به فلز دیواره و کف مخزن، تمایل بیشتری به اکسید شدن دارد استفاده کرده و با اتصال این دو با هم یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل میدهند. در این پیل الکتروشیمیایی، مخزن به عنوان کاتد و فلز متصل شده به مخزن در نقش آند بوده و در صورت ایجاد شرایط خوردگی، فلز آند خورده شده و بدین طریق کاتد یا همان مخزن از خوردگی در امان می‌ماند.

تعاریفی که دراین استاندارد برای اجزاء و متعلقات و ملحقات حفاظت کاتدی بعمل آمده است عبارتند از:

- آند: الکترودی در یک سل الکتروشیمیایی که اکسید می‌شود و خوردگی در آن اتفاق می‌افتد (متضاد کاتد).
- بسترآندی: شامل یک یا چند آند که زیر سطح زمین دفن می‌شوند و به منظور حفاظت کاتدی کاربرد دارند.
- پشت بند (Backfill): موادی یکنواخت که در داخل حفره قرار می‌گیرند تا فاصله بین و اطراف آندها را پر کنند. البته این مواد نقش یکنواختی جریان‌دهی و نیز یکنواختی خوردگی را نیز ایفا می‌کنند. هم‌چنین آندها می‌توانند به صورت از قبل بسته شده (Pre-packed) و ساده‌تر نیز استفاده شوند.
- بسترآندی عمیق: یک یا چند آند که به طور عمودی در عمق حدود ۱۵ متر (۵۰ فوت) و یا بیش‌تر در زیر زمین و در یک حفره نصب می‌شوند.
- بسترآندی گسترده: یکی از روش‌های توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن به کارگیری بستر آندی است. به گونه‌ای که موجب توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن شود که شامل، به کارگیری آندهای کم عمق در اطراف مخزن، آندهای افقی و سیمی در زیر کف مخزن است.

- الکترولیت: ماده شیمیایی شامل یون‌ها که در یک میدان الکتریکی مهاجرت می‌کنند و می‌تواند شامل خاک، آب و یا هرگونه ماده دیگری باشد که کف تانک بر روی آن قرار می‌گیرد.
- مدار خارجی: شامل سیم و کابل‌ها، کانکتورها و ابزار اندازه‌گیری، منابع جریان و غیره می‌باشد.
- سازه خارجی: هرگونه سازه فلزی که در محدوده حفاظت کاتدی مورد نظر نبوده و به نوعی مزاحم تلقی می‌شود.

در یک تقسیم بندی از انواع سیستم‌های حفاظت کاتدی، این سیستم‌ها را به دودسته سیستم‌های گالوانیک و سیستم‌های اعمال جریان تقسیم میکنند. اطلاعات جامع در خصوص انواع حفاظت کاتدی برای مخازن در استانداردهای مختلفی نظیر ۶۵۱ API، ۶۵۲ API، ۱۶۳۱ API قابل دستیابی می‌باشد. بطور کلی مواردی که کف تانک باید به صورت کاتدی حفاظت گرددعبارتند از:

- مخازن ذخیره جدید
- مخازن ذخیره ساخته شده
- داخل مخازن

سطوح زیرین مخازن ممکن است به دلیل تماس باپرکننده‌های ماسه آغشته به آسفالت تا اندازه ای پوشش شده در نظر گرفته شوند. به هرحال، تماس با خاك همراه با خم شدن پایه تغییر خواهد کرد.

شرایط خاک و زیرلایه مخازن

Tank Storage Under Floor Ground

شرایط خاک: روش‌های بسیاری برای تعیین مقاومت الکتریکی ویژه خاک وجود دارند. این روش‌ها مطابق با استاندارد ASTM G۵۷ می‌باشد و شرایط خورندگی خاک بعد از تعیین مقاومت به شرح جدول (ارتباط میزان خوردگی با مقاومت الکتریکی خاک) است:

مقاومت خاک بر حسب اهم- سانتی‌متر	میزان خوردگی
کم‌تر از ۵۰۰	بسیار خورنده
۵۰۰-۱۰۰۰	خورنده
۱۰۰۰-۲۰۰۰	ملایم
۲۰۰۰-۱۰۰۰۰	متوسط
بیش‌تر از ۱۰۰۰۰	بسیار کم

زیرلایه ماسه‌ای: ماسه شسته شده، رایج‌ترین ماده مورد استفاده در زیر تانک‌ها و زیر ورق کف مخزن می‌باشد. استفاده از ماسه شسته شده، نیاز به حفاظت کاتدی را از بین نمی‌برد. زیرا به علت حضور آب در اثر شرایط جوی مانند باران و برف و یا آب‌های سطحی، خوردگی اتفاق خواهد افتاد. شرایط مورد پذیرش ماسه عبارتند از:

- ماسه باید شسته شده، غربال شده و فاقد هرگونه مواد باقیمانده مانند تکه‌های چوب، گیاهان، سنگ، خاک رس، کاغذ و حتی تکه‌های الکترود جوشکاری باشد.
- استفاده از آب شهری قابل شرب برای شستن ماسه‌ها با توجه به میزان کلر موجود در آب به هیچ عنوان قابل قبول نیست.
- ماسه مورد پذیرش باید یکی از استانداردهای ASTM C ۷۷۸ نوع ۳۰-۲۰ و یا معادل آن، ASTM C ۱۴۴ و یا معادل باشد.
- گاهی اوقات سیمان پرتلند به نسبت تقریبی ۳۳:۱ و نیز آهک به نسبت تقریبی

۹۵:۵ برای تنظیم PH ماسه و نیز تراکم مناسب ماسه به آن اضافه می‌شود. استفاده از سیمان پرتلند زیاد و آهک بیش از حد باعث مخدوش شدن شرایط مورد پذیرش ماسه شده و شرایط خوردگی را تشدید می‌کند.

- مقاومت الکتریکی ویژه ماسه نیز می‌بایست تعیین گردد. با استفاده از استاندارد ASTM G۵۷ و روش‌های ذکر شده در آن، این مقدار مشخص به طراح سامانه حفاظت کاتدی اعلام می‌شود. مقدار مورد پذیرش معمولاً به مقدار رطوبت و یا مواد محتوی ماسه بستگی شدیدی دارد.
- اندازه‌گیری PH خاک، مقدار هیدروژن موجود در خاک را نشان می‌دهد. زمانی که این عدد بین ۵ تا ۸ تغییر می‌یابد خوردگی فولاد به طور مستقیم به pH بستگی پیدا می‌کند. میزان خوردگی در PHهای پایین‌تر از ۵ به شدت افزایش می‌یابد در حالی که این میزان در PHهای بالاتر از ۸ شروع به کاهش می‌نماید. برای تعیین pH خاک از استاندارد ASTM G۵۱ استفاده می‌شود.
- کلر بر مقاومت ویژه خاک تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین به عنوان عامل دپلاریزه کننده، مقدار جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی را بالاتر می‌برد. در مقادیر بیش‌تر از ۱۰ppm کلر می‌تواند منجر به خوردگی حفره‌ای شود. مقدار کلر موجود در خاک توسط استاندارد ASTM D ۵۱۲ و یا معادل آن تعیین می‌گردد. در حقیقت هیچ گونه پیش‌زمینه صنعتی برای مقدار قابل قبول کلر در خاک مورد استفاده کف مخازن وجود ندارد و کارفرمای پروژه می‌بایست مقدار قابل قبول را تعیین نماید.
- غلظت سولفات بیش‌تر از ۲۰۰ppm نشان‌دهنده غلظت بالای مواد آلی در خاک است. با استفاده از ASTM D ۵۱۶ مقدار سولفات موجود در خاک تعیین می‌گردد. همانند کلر، در مورد مقدار قابل قبول سولفات در خاک هیچ گونه پیش‌زمینه صنعتی وجود ندارد.
- غلظت سولفات کمتر از ۰/۱ppm نشان‌دهنده فعالیت باکتری SRB در خاک است. بر اساس استاندارد EPA ۰۳۷۶/۱ مقدار سولفات کم تعیین و در صورت وجود شرط بالا به طراح سامانه حفاظت کاتدی اعلام می‌شود (از کیت‌های تشخیص SRB نیز می‌توان استفاده نمود).

حفاظت کاتدی کف مخازن
Tank Storage Floor Cathodic Protection

یکی از مهمترین و فراوان‌ترین نوع خوردگی در مخازن نفت، خوردگی کف مخازن مدفون و یا کف مخازن روزمینی می‌باشد که گزارشات زیادی در خصوص نشتی مواد نفتی به منابع آب زیرزمینی و آلودگی‌های زیست‌محیطی و خسارت‌های مادی فراوان به انبارها و مخازن نگهداشت نفتی شده است. خوردگی کف مخازن مواد نفتی درسه حوزه تاثیر گذار قابل بررسی است:

- خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان (خوردگی تداخلی) :خوردگی که بر اثر ورود و خروج جریان‌های ناخواسته به سازه رخ می‌دهد. در این نوع خوردگی، منبع جریان به کف تانک به طور الکتریکی متصل نمی‌باشد.
- خوردگی گالوانیک:مربوط به اتصال فلزات متفاوت از هم (شامل تفاوت در ترکیب شیمیایی، پتانسیل الکتریکی مختلف و ...) می‌باشد.
- خوردگی داخلی:این خوردگی بستگی شدیدی به هدایت الکتریکی، مواد معلق، pH خاک، گازهای محلول (CO_2 و...)، باکتری SRB، دما و سایر شرایط محیطی دارد.

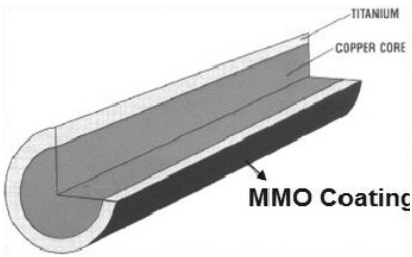
حفاظت کاتدی به عنوان روشی برای کنترل خوردگی زمانی موثر است که امکان عبور جریان الکتریکی بین آند و کاتد برقرار باشد. فاکتورهای بسیاری وجود دارند که محدودیت عبور جریان را ایجاد کرده، در عمل کنترل خوردگی با استفاده از حفاظت کاتدی را مشکل و غیرممکن می‌کنند. این موارد عبارتند از :

- زیرلایه غیرهادی کف تانک‌ها نظیر بتنی یا آسفالت و یا ماسه روغنی.
- لایه غیر قابل نفوذ بین پایین مخزن و آند مانند سامانه‌های مهار ثانویه.
- ماسه یا سنگ با مقاومت الکتریکی بسیار بالا و یا زیرلایه‌های خورنده
- کف قدیمی تانک‌ها که پس از نصب کف جدید بر جای مانده‌اند.

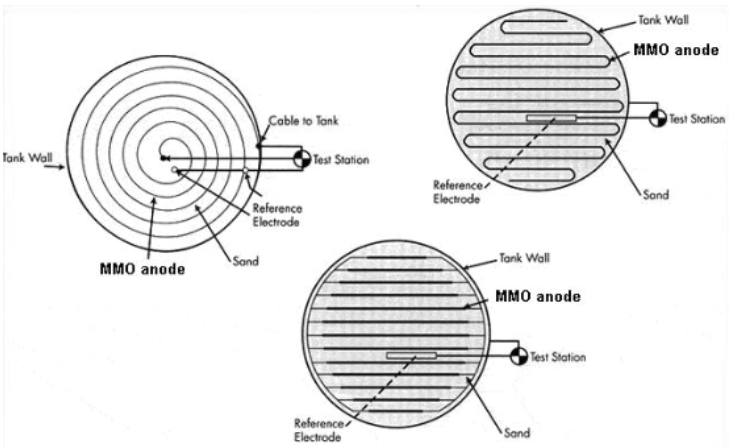
با توجه به موارد مطروحه فوق، در مخازن روزمینی،با توجه به وجود آب و برقراری شرط موجود بودن الکترولیت جهت استفاده از حفاظت کاتدی، کف این مخازن می‌تواند از طریق این نوع حفاظت، حفظ گردد. روش‌های متفاوتی برای ایجاد توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی مناسب در کف مخازن روی زمین بکار گرفته می‌شود که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

حفاظت کاتدی کف مخزن با روش MMO

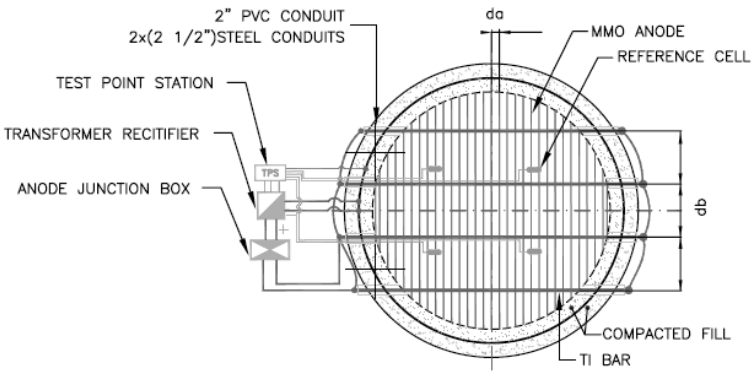
مطابق استاندارد API ۶۵۱، برای حفاظت کاتدیک کف مخازن بهترین روش استفاده از ریبون‌های آند MMO درکف مخازن می‌باشد.این ریبونها توسط یک سری میله‌های مسی با روکش تیتانیوم به قطب مثبت ترانس رکتیفایر متصل می‌گردند.این روش به روش بکار گیری توزیع موضعی آندها دراطراف یا کف مخزن ضمن استفاده از آندهای کم عمق دراطراف مخزن یا استفاده از آندهای افقی در زیر مخزن و یا پرکاربردترین حالت آن یعنی بکارگیری آندهای سیمی مارپیچ در کف مخزن در زمان ساخت مخزن معروف است.



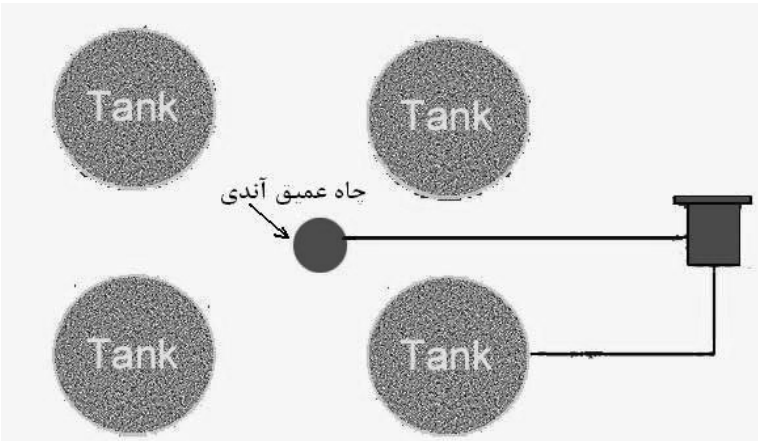
آندهای MMO یا Mixed Metal Oxid، سیم‌های مسی با هسته تیتانیوم بوده که ساختاری به شدت محافظ برای کف مخزن مهیا نموده‌اند. آندهای MMO به اشکال زیر می‌توانند در کف مخزن بکار گیری شوند.



درتصویر زیر نیز چیدمان آندها و سایر ملزومات این روش را می‌توان مشاهده نمود.



حفاظت کاتدی کف مخزن با توزیع پتانسیل (بسترآندی مناسب)

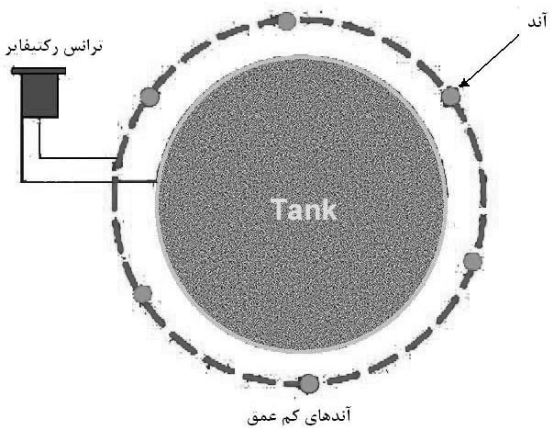


یکی از روش‌های توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن به کارگیری بستر آندی در موقعیتی مناسب و به گونه‌ای است که موجب توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخازن شود .درچنین بستری، آندهای

کم عمق در اطراف مخزن، آندهای افقی و سیمی در زیر کف مخزن جهت حصول نتایج بهتر بکار برده می‌شوند.

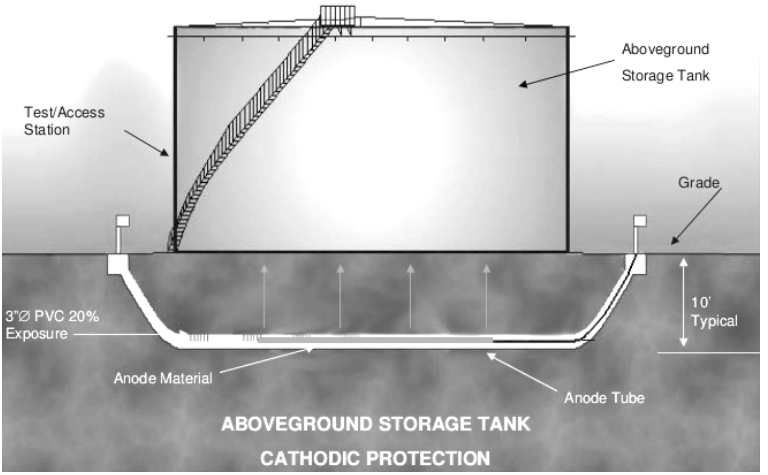
درانبارهای فرآورده‌های نفتی که چندین مخزن روی زمینی (Above Ground) دریک باند با موقعیت‌های مربعی و تجمعی هندسی وجود دارد، موقعیت بستر آندی نسبت به مخازن بگونه‌ای انتخاب می‌گردد که هر یک ازمخازن فوق برای مخزن دیگرمانند یک سپر الکتریکی (Electrical shield) عمل نکند. بعنوان مثال مرکز شکل هندسی ای که مخازن می‌سازند بعنوان چاه آندی انتخاب گردیده و هیچ یک از مخازن بین چاه عمیق آندی و مخزن دیگر قرار نمی گیرد و جریان حفاظت کاتدی بر اساس درصد نواقص موجود در پوشش کف مخازن، بین آنها تقسیم می‌شود. بکارگیری چاه عمیق آندی دربین مخازن، موجب توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی درکف آنها می‌شود. لازم است درکلیه مخازنی که از این نوع حفاظت بهره می‌گیرند، این موضوع مورد بررسی مجدد واقع گردد.

حفاظت کاتدی پیرامون (بستر آندی کم عمق در اطراف مخزن)



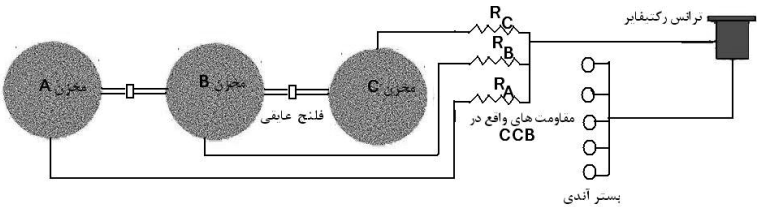
در این روش آندهای کم عمق در اطراف مخزن توزیع می‌شوندوجریان در خطوط حفاظت کاتدی در لایه سطحی زمین (Over Protection) تخلیه می‌شود وشبیه حالت لوله مدفون در خاک و مجاور مخازن عمل می‌نماید.

حفاظت کاتدی کف (آند افقی درزیر کف مخزن)



این روش برای مخازن درحال ساخت قابل اجراست.دراین روش، به کمک دستگاه‌های حفاری سوراخی افقی و در امتداد کف مخزن ایجاد می‌کنند و سپس آندها را بصورت افقی در داخل آن نصب می‌کنند. بدین ترتیب توزیع پتانسیل یکنواختی در کف مخزن ایجاد می‌شود. علاوه بر این بطور مشابه سوراخی برای هدایت الکترود مرجع در زیر کف مخزن تعبیه می‌کنند.در داخل این محل، لوله ای شیاردار دار و از جنس پی وی سی قرار می‌دهند. الکترود مرجع از دو طرف به طنابی مدرج متصل است و می‌توان آنرا از دو Test Point واقع در دو طرف مخزن، در لوله مزبور حرکت داده و توزیع پتانسیل در نقاط مختلف کف مخزن اندازه‌گیری شود. قبل از حرکت الکترود، بایستی داخل لوله پی وی سی توسط آب پر شود تا ارتباط الکترولیتی مناسب با خاک کف مخزن برقرار شود. دراین روش آندها بصورت مارپیچ درفونداسیون کف مخزن قرار می‌گیرند.

حفاظت کاتدی ضمن عایق سازی الکتریکی مخازن از یکدیگر



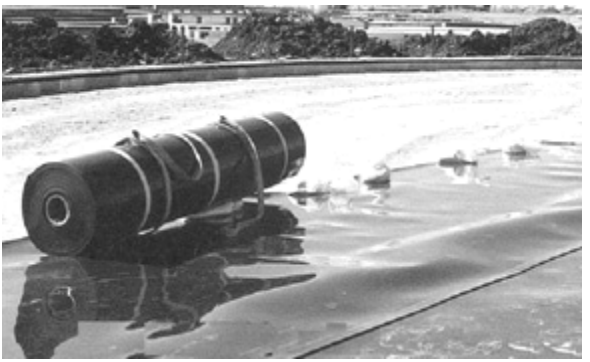
یکی دیگر از روش‌های توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی در کف مخزن عایق سازی الکتریکی هر یک از مخازن از یکدیگر است. در این روش هر یک از مخازن توسط فلنج عایقی به همراه مقاومت الکتریکی از یکدیگر جدا می‌شوند.

در این روش هر یک از مخازن از لحاظ الکتریکی توسط فلنج عایقی از یکدیگر جدا می‌شوند.. برای هر یک از مخازن کابل تخلیه الکتریکی به همراه مقاومت الکتریکی مناسب در نظر گرفته می‌شود.بدین ترتیب مخزنی که فاصله آن تا بستر آندی کمتر است، مقاومت الکتریکی بیشتری در مسیر کابل تخلیه آن قرار می‌دهند. این روش به روش عایق سازی الکتریکی هر یک از مخازن از یکدیگر و بکارگیری مقاومت الکتریکی مناسب نیز موسوم است.

توزیع پتانسیل حفاظت کاتدی با پوشش مناسب زیر کف مخزن

یکی از راههای توزیع مناسب پتانسیل حفاظت کاتدی، بکارگیری پوشش مناسب بر روی سازه‌های فلزی مدفون در خاک می‌باشد. اعمال پوشش در زیر کف مخزن با مشکلات اجرایی روبرو می‌باشد بنابر این پس از ایجاد فوندآسیون مناسب برای نصب مخزن، محل مزبور توسط لایه ای شامل الیاف شیشه و قیر بخوبی پوشش داده می‌شود. کف مخزن بر روی پوشش مزبور قرار می‌گیرد و پس از نصب مخزن، اطراف آن بخوبی آب بند می‌کنند تا از نفوذ آب بین لایه مزبور و کف مخزن جلوگیری بعمل آید. همچنین کف مخزن کمی بالاتر از زمین‌های اطراف بوده و دارای شیب ۱٪ به طرف بیرون می‌باشد تا شیب طبیعی مانع از نفوذ آب به این ناحیه شود در این شکل بکارگیری دو ردیف

آندهای اعمال جریان و نیز لوله مانیتوریگ واقع در زیر کف مخزن نیز بکار گرفته می‌شود.



تلفیق حفاظت کاتدی و پوشش

سطح داخل مخازن نفت معمولاً توسط تلفیقی از حفاظت کاتدی و پوشش حفاظت می‌شود. در سالهای اخیرخطرات الکتریسته ساکن در طراحی پوشش مخازن نفتی مد نظر قرار گرفته است. تجمع الکتریسته ساکن می‌تواند منجر به ایجاد جرقه و در نتیجه انفجار مخزن شود. بر اساس منابع علمی برای جلوگیری ازایجاد جرقه در نتیجه تمرکز الکتریسته ساکن، بایستی مقامت سطح پوشش درونی مخزن کمتر از ۱۰ اهم باشد. بعبارت دیگر پوشش مخزن می‌بایست دارای خاصیت آنتی استاتیک(Antistatic) باشد.دراستاندارد ASTM F۱۵۰ به روش تست خاصیت آنتی استاتیک پوشش‌ها اشاره شده است. پوشش‌های با خاصیت آنتی استاتیک به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- رنگ‌های با هدایت کربنی
- رنگ‌های با هدایت توسط پودر فلزات روی و نقره
- رنگ‌های کامپوزیت‌های سبک‌هادی

در رنگ‌های‌هادی کربنی و پودر فلزی، پایه پوشش، رزینهای اپوکسی، پلی اورتان و یا رزینهای دیگر می‌باشد .با اصافه کردن پودرهای‌هادی جریان الکتریسته مثل روی، کربن و نقره و... انجام برخی فرایندهای دیگر، مقامت

پوشش به کمتر از ۱۰اهمرسانده می‌شود .

ذرات کربن با ایجاد پل بین ذرات فلزی، باعث کاهش مقاومت اهمی پوشش می‌شوند. مورد سوم کامپوزیت‌های‌هادی الکتریسته است .این کامپوزیت‌ها درساختار شبکه ای خود موجبات انتقال و عدم تجمع الکترون‌ها را فراهم می‌نمایند.

پیشرفت‌های اخیر سبب استفاده از پوشش‌های اپوکسی بدون نیاز به حلال آمین(Solvent Free) بجای پوشش‌های پایه حلال قبلی برای پوشش دهی داخل مخازن گردیده است.دراین تکنیک، رزین مربوطه بصورت دوجزئی بوده که به اندازه مانور موجود درپوشش دهی با هم مخلوط شده و بعد از مدت معینی پوشش سخت می‌گردد.معمولاً دمای بین ۱۰ تا ۴۰درجه و رطوبت زیر۶۰درصد هوا، شرایط مطلوبی برای این نوع پوشش دهی مخزن است.

پوشش اپوکسی :دراین روش پوشش‌دهی، جهت پوشش دیواره داخلی و کف مخازن فرآورده‌های نفتی از پوشش اپوکسی فنولیک باهاردنر آمین(جهت شبکه ای ساختن پوشش) و با خاصیت آنتی استاتیک(بواسطه عدم تجمع بارالکتریکی درسطوح وختلف دیوار و کف)استفاده شودکه این پوشش به دلیل ایجاد ساختارشبکه ای بالا (High Cross -linK)، منجر به ایجاد پوشش سخت و مقاوم خواهد شد.مقاومت این پوشش حدود ۱۰اهم بوده و خاصیت نارسانائی دارد.هرچند تخلیه بارالکتریکی توسط آند فداشونده بکاررفته در داخل مخزن موجب عدم تجمع بارالکتریکی ساکن در بدنه مخزن می‌شود.

یکی از مهمترین خواص پوشش‌های اپوکسی چسبندگی مطلوبی است که روی سطوح مختلف فلزی می‌دهند. پوشش اپوکسی از دو جزء رزین اپوکسی وهاردنر پلی آمید تشکیل شده می‌گردد که به دلیل مقاومت بالایی که در برابر رطوبت، اصطحکاک و عوامل جوی و شیمیایی دارد بعنوان پوشش مناسبی برای سطوح داخلی مخازن نفتی است. پوشش اپوکسی پس از خشک شدن کامل، نسبت به آب نفوذناپذیر بوده و بواسطه انعطاف پذیری در مقابل تغییر شکل‌های سطحی دیوارهای، بسیار ضربه‌پذیر و مقاوم است.

در پوشش‌های کولتاراپوکسی(Coal Tar Epoxy)افزایش مقداری قیرزغال یا

کولتار به رزین اپوکسی مقاومت آن را در مقابل آب و زنگ زدگی افزایش می‌دهد.

آستر زینکریچ اپوکسی(Zincrich Epoxy) نیز بواسطه موقعیت فلز روی در جدول گالوانیک، با ایجاد حفاظت کاتدی روی سطح فولاد و آهن از زنگ زدگی آنها جلوگیری و سطح مخزن در مقابل عوامل خورنده برای مدت و طولانی محافظت می‌نماید.

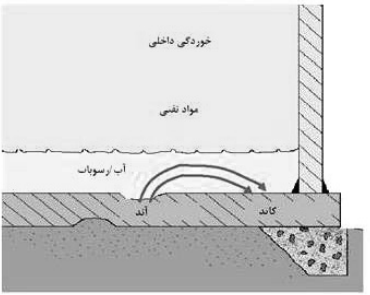
پوشش با پلی اورتان: دراین روش پوشش دهی، جهت دیواره داخلی مخازن فرآورده‌های نفتی از پوشش پلی اورتان با خاصیت آنتی استاتیک استفاده می‌شود. معمولاً دراین حالت، کف مخزن توسط کامپوزیت اپوکسی شیشه ای (Glass-Epoxy) یا پلی استرشیشه ای (Glass-Polyester) دارای خاصیت آنتی استاتیک روکش می‌شود.مقاومت این پوشش بین ۹ تا ۱۱ اهم است که یک نارساناست واین مقاومت مانع از ایجاد جرقه ناشی از انباشته شدن الکتریسیته ساکن دربدنه مخزن می‌شود.

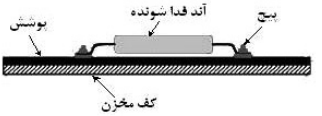
در رابطه با پوشش درونی مخازن ذخیره نفت سیستم زیر توصیه شده است:

- جهت دیواره و کف از پوشش اپوکسی فنولیک باهاردنر آمین وبا خاصیت آنتی استاتیک استفاده شود .این پوشش بدلیل ایجاد خاصیت شبکه ای(Cross-link) منجر به ایجاد پوشش سخت و مقاوم خواهد شد.
- جهت دیواره مخزن می‌توان از پوشش پلی اورتان با خاصیت آنتی استاتیک استفاده کرد.
- چنانچه کف مخزن توسط کامپوزیت اپوکسی یا پلی استر شیشه ای روکش شده است، لازم است کوتینگ سطحی آن دارای خاصیت آنتی استاتیک باشد.
- مقاومت پوشش‌های مزبور در حدود ۱۰اهم است و چنین مقاومتی تنها مانع از بروز جرقه توسط انباشته شدنالکتریسته ساکن می‌شود و از لحاظ الکتریکی چنین موادی تقریبا در ردیف مواد نیمه رسانا قرار دارند.

نکته پایانی این که آندهای فدا شونده که در داخل مخازن بکار می‌رود علاوه بر جلوگیری از خوردگی، عامل تخلیه بارهای الکتریسته ساکن نیز محسوب می‌شود. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود همیشه مقداری آب همراه

فرآورده‌های نفتی وجود دارد. آب بدلیل آنکه سنگین تر از مواد نفتی می‌باشد، در کف مخازن جمع می‌شود و موجب بروزخوردگی در این ناحیه می‌شود. برای جلوگیری از خوردگی این ناحیه، تلفیقی از پوشش یا لاینر به همراه آندهای فدا شونده استفاده می‌گردد.



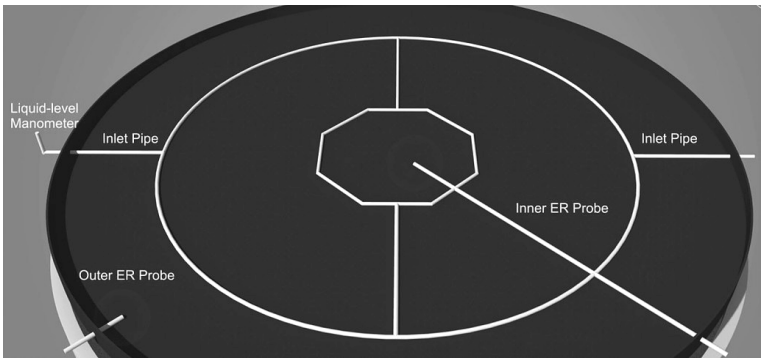


دستورالعمل‌های پوشش دهی نیز ترکیبی از دستورات ترتیبی آماده‌سازی سطح (حداقل با درجه استاندارد Sa۲٫۵ که یک استاندارد سوئیسی است و دربخش بعد توضیح داده خواهد شدوهمچنین ایجاد پروفایل سطح با ضخامت ۷۰ تا ۱۰۰ میکرون و بعد ازآن ایجاد پرایمر اپوکسی با ضخامت ۳۰ میکرون و سپس ایجاد رنگ گلاس اپوکسی به ضخامت ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون می‌باشد.ضخامت‌ها بسته به پیشنهاد سازندگان و تضمین کنندگان کیفیت پوشش‌ها و سایر آزمایشات پوشش‌ها تا حدود معینی قابل تغییر است.

روش VCI درحفاظت خوردگی کف مخازن
Tank Storage Floor Corrosion Protection VCI Method

امروزه می‌توان خوردگی کف مخازن را با به کارگیری همزمان حفاظت کاتدی و ممانعت کننده خوردگی از نوع فاز بخار و یا تنها با به کارگیری وی سی آی (VCI) یا(Volatile Corrosion Inhibitors) تحت کنترل قرار داد.مواد وی سی آی، ممانعت کننده خوردگی فاز بخار، می‌توانند در محیط بسته سطح فلز را در برابر عوامل خورنده مثل آب، بخار، کلریدها، سولفید هیدروژن و مواد خورنده دیگر در محیط های صنعتی حفاظت کنند.فشار بخار مواد مذکور کم است، بنابراین در فشار اتمسفر و دمای محیط بخار می‌شوند. در محیط بسته بخارهای ایجاد شده بر روی سطح میعان کرده و توسط مولکول‌های سطح قطعات جذب شده و منجر به توقف یا تاخیر در انجام واکنش‌های خوردگی می‌شوند. روش مذکور به عنوان یکی از روش‌های استاندارد محافظت کف مخازن نفتی مطرح شده است.

در روش تزریق مداوم وی سی آی از طریق شبکه ای از لوله‌های سوراخ در زیر مخزن و در داخل فوندانسیون بتنی کف، مواد بازدارنده خوردگی از طریق لوله‌های مزبور در کف مخزن تزریق می‌شود.



بدین ترتیب با توزیع وی سی آی در کف مخزن، از خوردگی آن جلوگیری می‌شود.برای جلوگیری از ایجاد جرقه در نتیجه تمرکز الکتریسیته ساکن، باید مقاومت سطح پوشش درونی مخزن کمتر از ۱۰ اهم باشد.

مواد VCI ممانعت‌کننده فاز بخار قادرند در محیط بسته،سطح فلز را در برابرعوامل خورنده مثل آب، بخار، اکسیدهای نیتروژن و مواد دیگر خورنده موجود مانندکلریدها، سولفید هیدروژن محافظت کنند .این مواد به صورت‌های پودر،مایع،فیلم‌های پلاستیکی،لایه کاغذی جهت استفاده در بسته‌بندی قطعات و مواد روانساز حاوی بازدارنده، تولید و به بازار عرضه می‌شود. حدودا بیش از ۵۰ سال است که از این مواد برای کنترل خوردگی در صنایع شیمیایی و نفت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه فشار بخار مواد مذکور کم است،بنابراین در فشار اتمسفر و دمای محیط بخار می‌شوند. در محیط بسته بخارات ایجاد شده بر روی سطوح میعان کرده وتوسط مولکول‌های سطح قطعات جذب شده و منجر به توقف یا تاخیر در انجام واکنش‌های خوردگی می‌شوند .

این نوع ممانعت کننده‌های خوردگی جهت مواد آهنی و برخی دیگر جهت مواد غیر آهنی ساخته شده اند. بر اساس تجارب VCI برخی از مواد علمی، این مواد قادرند در محیط بسته بیش از ۱۵ سال قطعات را تحت حفاظت خود قرار دهند. بنابراین روش مذکور به عنوان یکی از روش‌های استاندارد محافظت کف مخازن نفتی مطرح شده است.

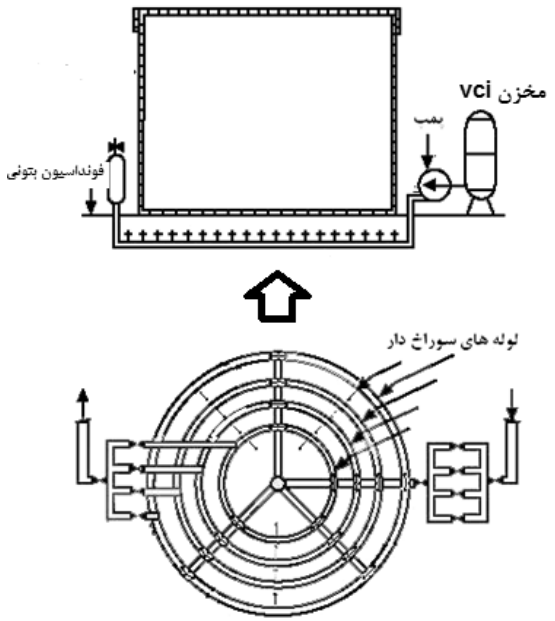
در خصوص کف مخازن پس از نصب کف اول، روی آنرا بخوبی پوشش می‌دهند. بر روی آن لایه ای از بتن ریخته می‌شود و محل‌هایی برای نصب آندهای اعمال جریان و الکترود مرجع در نظر گرفته می‌شود.

پس از نصب آندها و الکترود مرجع، بر روی آن لایه ای از شن پخش می‌کنند و بر لایه مزبور به میزان یک الی دو کیلوگرم پودروی سی آی بر ۱۰ مترمربع می‌ریزند. سپس کف دوم جوشکاری می‌شود. همچنین می‌توان ابتدا فونداسیون بتنی کف مخزن را پوشش داده سپس بر روی پوشش مزبور بتن ریزی کرده و محل‌هایی را برای نصب آندهای اعمال

جریان و الکترود مرجع در نظر گرفت و در ادامه مطابق روش اشاره شده پودر وی سی آی برروی آن استفاده شودودر نهایت ورق فلزی کف مخزن بر روی آن قرار گیرد. در این حالت کف مخزن دارای یک لایه فلزی می‌باشد.

روش دیگرتزریق مداوم VCI ازطریق شبکه ای از لوله‌های سوراخ دار می‌باشد. این لوله‌ها در زیر مخزن و در داخل فونداسیون بتنی کف تعبیه می‌شوند. مواد

بازدارنده خوردگی مطابق شکل زیراز طریق لوله‌های مزبور در کف مخزن تزریق می‌شود و بدین ترتیب از خوردگی مخزن جلوگیری می‌شود.



ممانعت از خوردگی سطوح بیرونی مخازن
Tank Storage Outer Side Corrosion Protection

خوردگی سطوح بیرونی مخزن به مراتب ساده تر از خوردگی داخلی آن کنترل می‌شود. با انجام عملیات تمیز کاری و سند بلاست (دربخش بعدی توضیح داده خواهد شد)و اجرای چند لایه پوشش ازرنگ‌های مقاوم دربرابر شرایط جوی و تابش خورشید، این حفاظت به سهولت قابل دسترسی است.یکی از معمولی ترین راهها برای حفاظت مخازن در مقابل عوامل خورنده محیط، پوشش به وسیله رنگها، رزینها و عایق‌هاست. داشتن یک سطح مناسب، تمیز و عاری از هرگونه زنگ زدگی جهت اجرای پوشش لازم و ضروری می‌باشد.

برای تمیز کاری سطوح در ابعاد کوچک روش‌های سنگ زنی،سمباده زنی و برس زنی و در ابعاد وسیع تجاری آن یعنی سند بلاست(ماسه‌پاشی) انجام می‌گیرد. پس از انجام عملیات سند بلاست و تمیز کاری، سایر اقدامات تکمیلی همچون رنگ‌کاری و روکش‌کاری تجهیزات تمیز شده صورت می‌پذیرد. بعنوان یک مثال از سیستم پوشش خارجی مخازن می‌توان به جدول زیر توجه نمود.لازم است توجه نمائید هریک از ضخامت‌های نشان داده شده براساس استانداردهای حاکم بر این نوع عملیات حفاظت از مخازن و همچنین سیستم استانداردی که سازنده رنگ انتخاب نموده است صورت می‌پذیرد.

سیستم حفاظت سطوح خارجی مخازن	
درجه آماده‌سازی سطح	حداقل Sa ۲٫۵
میزان پروفایل سطح	۵۰ تا ۷۰ میکرون
پرایمر زینک ریچ اپوکسی	۷۰ میکرون
رنگ میانی اپوکسی	۱۰۰ میکرون
رنگ رویه پلی اورتان	۷۰ میکرون

این سیستم پوشش، سیستمی سه جزئی بوده که آستر اپوکسی غنی شده از روی جهت محافظت کاتدی مخزن در تمام سطح آن انتخاب شده است و ضخامت حداقل ۵۰ میکرون، اطمینان مطلوبی جهت ایجاد حفاظت مورد نظر بدست می‌دهد.

رنگ میانی نیز با توجه به همخوانی ساختار شیمیائی رنگ آستر و میزان چسبندگی بالای آن به بیس قبلی، رنگ اپوکسی با مشخصات تقویتی و ضد تنشی بالا بوده وضخامت حداق ۱۰۰ میکرون این رنگ، استحکام مطلوبی به پوشش خواهد داد.با توجه به استفاده پوشش برای محافظت از مخزن در شرایط جوی و تابش خورشید و ممانعت از شکسته شدن ساختار رنگ میانی و پوشش محافظ، استفاده از یک پوشش پلی اورتان ضمن توجه به خواص مقاومت در برابرuv آن، حداقل ضخامت ۷۰ میکرون کفایت حفاظت از لایه‌های زیرین را تامین می‌نماید.هریک ازموارد فوق در بخش‌های بعدی شرح بیشتری داده خواهند شد.

حفاظت لوله‌های تاسیسات انبار از خوردگی

خوردگی سطوح داخلی لوله‌ها

Pipe Inside Corrosoin

این نوع خوردگی نسبت به سایر خوردگی‌های خطوط لوله حمل و جابجائی فرآورده‌های نفتی، از کمترین فراوانی برخوردار است .خوردگی سطح داخلی لوله‌های انبار نفت صرفنظر از خوردگی سایشی و سایر خوردگی‌های محتمل، عمدتا در اثر عوامل زیر بوجود می‌آید :

- آب و اکسیژن همراه فرآورده نفتی
- باکتری‌های همراه فرآورده در نقاط به دام افتاده

با توجه به تداوم حرکت فرآورده‌های نفتی در مسیر خطوط لوله، این نوع خوردگی بیشتر به لجن‌ها و رسوبات گیر کرده در نقاطی که پروفیل حرکت سیال مستقیما با آنها در تماس نیست منتهی می‌گردد.همچنین بیشترین گزارشات این نوع خوردگی مربوط به خطوط بای پاس و غیرعملیاتی و خطوط با استفاده‌های موردی است .فرآورده بدون آب به ندرت ایجاد خوردگی می‌کند، بر

عکس وجود آب به صورت آزاد یا به صورت معلق در فرآورده به طور قطع موجب پیدایش خوردگی می‌شود. آب اگر به صورت ذرات معلق همراه با مواد نفتی درون لوله تلمبه گردد، بالاخره بعد از تنزل دمای فرآورده، از آن جدا می‌گردد. مخصوصاً اگر فرآورده مسافتی طولانی را بپیماید. آب پس از جدا شدن از فرآورده با سطح داخلی لوله تماس پیدا می‌کند.

وجود آب باعث ایجاد پیل گالوانیک گردیده و در نتیجه آهن به هیدروکسید آهن تبدیل می‌شود.

یکی دیگر از موادی که وارد مواد نفتی تلمبه شده در لوله می‌شود اکسیژن است که همراه با هوا درون لوله راه می‌یابد. وجود اکسیژن در فرآورده باعث تشدید عملیات فوق گردد. بنابراین آب و اکسیژن از عوامل خوردگی سطح داخلی لوله می‌باشند.

درخصوص عامل بعدی، مهم ترین باکتری ایجاد کننده خوردگی در نقاط به دام افتاده که در خط لوله دیده شده است، باکتری کاهش دهنده سولفات می‌باشد. این باکتری‌ها در حضور آب تکثیر نموده و چون غیر هوازی است، بعد از اتمام اکسیژن موجود در خط لوله یعنی بعد از واکنش‌های مشروح در قسمت قبل شروع به فعالیت می‌کند. این باکتری سولفات سدیم موجود در مایع را به سولفور تبدیل نموده و این سولفوریک الکترولیت ساده برای عملیات گالوانیک می‌گردد.

هیدروژن لازم برای واکنش بالا از تجزیه مواد آلی موجود در فرآورده‌های نفتی تولید می‌گردد.

نکته مهمی که در این بخش قابل بررسی است، ورود تکنولوژی استفاده از لوله‌های پلی اتیلن فشار قوی برای کاربردهای پایپینگ سیستم‌های آب آتش نشانی و حتی حمل فرآورده‌های نفتی طبق مشخصات و ویژگی‌های لحاظ شده در خصوص این لوله است که با توجه به این موضوع، تحول بنیادینی در بحث خوردگی لوله‌های انتقال آب و فرآورده‌های نفتی روی داده است.

این لوله‌ها با ابعاد و سایزهای مختلف جهت حمل انواع فرآورده‌های نفتی و رینگ‌های توزیع آب آتنش نشانی و ... و درگریدهای با پوشش ضد یو وی و لاینر داخلی و خارجی پلی اتیلن مقاوم در برابر سائیدگی و رشد میکروبی و ... در چند

سال اخیر رویکردهای انتخاب خطوط لوله را به شدت تحت تاثیر قرار داده اند.

وجود انواع اتصالات از جنس پلی اتیلن سنگین و مقاوم با خصوصیات مطرح شده سبب افزایش طول عمر انواع خطوط انتقال به حد بیش از۳۰ سال نیز خواهد گردید که دراین خصوص نگاه قبلی بر خوردگی خطوط لوله را کم رنگ تر خواهد نمودو این سیرپیشرفت بازهم ادامه خواهد داشت.

خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها

Pipe Outside Corrosoin

خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها دراثر شرایط جوی و برداشته شدن پوشش‌ها و... برای لوله‌های روی زمین و خوردگی ناشی از ارتعاشات روی ساپورت‌ها و اتصالات و نگهدارنده‌ها و نقاط ناپیدا که بدلیل شرایط جوی، خوردگی درآنها توسعه می‌یابدبرای لوله‌های بیرون از خاک قابل بررسی است. خوردگی سطح خارجی لوله‌های مدفون عمدتا نتیجه واکنش‌های الکتروشیمیایی است که در نتیجه به وجود آمدن پیل گالوانیک تحقق می‌یابد، به این معنی که عدم تشابه در جنس و میزان فشردگی ذرات و خواص فلز و یا عدم تشابه در جنس خاک و وجود رطوبت و یا هوا در آن موجب می‌گردد جریان ضعیفی به وجود آمده و رفته رفته موجب خوردگی سطح خارجی لوله گردد. تغییر جنس خاک در مسیر طولانی خط لوله‌ای که از انواع مختلف خاک‌ها عبور می‌نماید یکی از علل و عوامل اصلی خوردگی لوله می‌باشد. جریان‌های سرگردان نیز باعث تشدید عمل پیل گالوانیک می‌گردد. منظور از جریان‌های سرگردان جریان‌هایی است که به علل مختلف وارد خاک شده و در هر مسیری که مقاومت خاک کمتر باشد روان می‌گردد و جریان‌هایی داخل زمین می‌فرستند که در تماس با سطح خارجی لوله موجب تشدید جریان‌های گالوانیک می‌گردند.

عمدتا روش‌های زیر برای متوقف ساختن خوردگی خارجی لوله بکار گرفته می‌شود:

- ممانعت از خوردگی لوله‌های رو زمینی(Over Ground) با استفاده از رنگ وپوشش دهی
- ممانعت از خوردگی سطوح خارجی لوله‌های مدفون(Under Ground) با نوار پیچ کردن و پوشش‌های خاص
- ممانعت خوردگی لوله‌های مدفون با استفاده ازحفاظت کاتدیک برای هردو حالت بصورت تکمیل هریک از روش‌های فوق

درادامه هریک از این روش‌ها شرح داده خواهند شد.

ممانعت از خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها با کاربرد پوشش
Pipe Corrosoin Protection with Coating

در هر دو مورد لوله‌های غیر دفن شده درخاک یا روی زمینی (Above Ground) برای کاربردهای بین تاسیات و سیستم‌های پمپاژ فرآورده‌های نفتی، یکی از معمولی‌ترین راه‌های حفاظت از خوردگی سطوح بیرونی آنها، پوشش به وسیله رنگها و پوشش‌هاست. پوشش‌های پلی‌اورتان بواسطه خواص مکانیکی و مقاومت مطلوب آنها در شرایط جوی و... از مقاومت بسیار خوبی برای این هدف برخودارند.لازمه کارائی یک پوشش پلی اورتان، داشتن یک سطح مناسب، تمیز و عاری از هرگونه زنگ زدگی جهت اجرای این پوشش است. معمولاً این نوع پوشش در یک سیستم دو جزئی و ترجیحا سه جزئی صورت می‌پذیرد. درسیستم سه جزئی یک لایه رنگ میانی جهت استحکام و حفاظت بیشتر از آستر ارزشمند اپوکسی غنی از روی (جهت حفاظت کاتدیک گسترده در تمام سطح لوله) مورد استفاده قرار می‌گیرد که خواص و استحکام مکانیکی و ضربه پذیری را نیز افزایش می‌دهد.هرچند که خواص ضربه پذیری و استحکام و مقاومت مطلوب پلی اورتان بعنوان پوشش نهائی با هیچ پوشش دیگری قابل قیاس نیست.

برای تمیز کاری سطوح در ابعاد کوچک روش‌های سنگ‌زنی، سمباده‌زنی و برس‌زنی و در ابعاد وسیع تجاری آن یعنی سند بلاست(ماسه پاشی) انجام می‌گیرد. لوله‌های غیر دفنی درخاک یا روی زمینی، پس از عملیات تمیزکاری و سندبلاست، آماده رنگ کاری می‌گردند.

معمولاً فیلم محافظ را بر روی سطح مورد حفاظت ایجاد می‌کنند. این پوشش می‌تواند درهر زمان که لازم گردید نوسازی و ترمیم شود. استانداردهای مختلف درخصوص میزان عملیات تمیز کاری و نوع و کیفیت و مشخصات این گونه رنگ‌ها دستورات لازم را تدوین نموده اند که توسط سازندگان این رنگ‌ها رعایت و معرفی و تضمین می‌گردد.درجدول زیر نمونه ای ازاین ترتیب پوشش دهی لوله‌های روزمینی را که برای انبارهای نفت نیز قابل اجراست می‌توان مشاهده نمود.۵ عمل آماده‌سازی سطح (تحت استانداردهای مرتبط با انجام سند بلاست)، پروفایل سطح به ضخامت ۵ تا ۷۰ میکرون، پرایمر اپوکسی غنی از

روی، رنگ میانی اپوکسی و رنگ رویه پلی اورتان، سیستمی استاندارد برای رنگ کاری لوله‌های رو زمینی است. جدول زیر نمونه ای از این ترتیب لایه‌ها را نشان می‌دهد.

رنگ کاری سطوح خارجی لوله‌های روی سطح زمین		
۱	درجه آماده‌سازی سطح	حداقل Sa ۲٫۵
۲	میزان پروفایل سطح	۵۰ تا ۷۰ میکرون
۳	پرایمر زینک ریچ اپوکسی	۷۵ میکرون
۴	رنگ میانی اپوکسی	۱۵۰ میکرون
۵	رنگ رویه پلی اورتان	۷۰ میکرون

برای لوله‌های مدفون در خاك (Under Ground)، این امکان وجود ندارد که پوشش آنها همانند دیگر سازه‌ها در بازه زمانی کوتاه تعویض شود و پوشش باید حداقل بالغ بر ۲۰ سال دوام داشته باشد.

به همین منظور ویژگی‌هایی که یك پوشش برای لوله‌های مدفون نیاز است داشته باشد عبارتند از:

- مقاوم بودن پوشش نسبت به حضورآب و رطوبت : حتی خاك‌های خشك نیز درصدی رطوبت دارند و پوشش خط لوله در اکثر اوقات مرطوب است به همین دلیل پوشش نباید قابلیت جذب رطوبت داشته باشد. چون جذب آب باعث افزایش وزن و همچنین کاهش مقاومت الکتریکی خواهد شد. همین الزام و خصوصیت لازم برای پوشش سبب رویکردهای استفاده از پوشش‌های کولتار(حاوی قیر) و یا روکش‌های قیری برای لوله‌های مدفون شده است.
- مقاوم بودن نسبت به فشارهای متغیر : قرار گرفتن لوله در زیر بستر خاك منجر به ایجاد فشار بر روی لوله می‌شود. همچنین وجود ذرات سنگ، حرکت خاك در اثر رطوبت و همچنین دیگر ذرات موجود در خاك باعث بوجود آمد این فشار متغیر و ناهماهنگ می‌شود. پوشش در حقیقت باید یك محافظ فیزیکی بوده واز سطح جدا نشود. ضخامت و استحکام پوشش برای تحقق این خصوصیت لازم است.
- مقاومت به باکتری‌ها، قارچ‌ها و کپك‌ها: در خاك باکتری‌های زیادی وجود

دارد که به مواد مختلف حمله می‌کنند و باعث از بین رفتن مواد می‌شوند. البته حمله توسط قارچ‌ها و یا کپک‌ها زیاد شایع نیست. هرچه ساختار پوشش از موادی که برای باکتری‌ها و قارچ‌ها جاذبه دارند کمتر محتوی باشد، مقاومت ذاتی در مقابل این موضوع ایجاد می‌گردد.درموارد مختلفی، ممانعت کننده‌های این واکنش‌ها به ساختار پوشش اضافه می‌گردند.

- مقاوم بودن نسبت به اثر موییینگی آب : نفوذ آب در اثر موییینگی باعث جدا شدن پوشش از فولاد می‌شود هر گونه شکاف یا سوراخ ریز باعث بوجود آمدن این اثر می‌شود. مگر اینکه تماس بین پوشش و لوله محکم و بسیار چسبنده باشد. در حقیقت رنگ پرایمر چنین وظیفه ای دارد که چسبندگی زیادی بین لوله و پوشش ایجاد کرده و از نفوذ آب و جدا شدن پوشش جلوگیری کند.
- مقاوم بودن نسبت به تغییرات دما : تغییرات دمایی می‌تواند برکارائی پوشش تاثیر گذار باشد زیرا نرخ انبساط فولاد و پوشش متفاوت است. انبساط و انقباض منجر به حرکت در لوله می‌شود. ولی معمولاً این حرکت یکنواخت و آهسته است. به همین دلیل پوشش باید به تغییرات دمایی مقاوم بوده و در اثر آن از لوله جدا نشود.به عبارت دیگر هر چه ضرائب انبساط و انقباض پوشش ایجاد شده به ضرائب انبساط و انقباض لوله نزدیک تر باشد، تغییرات دما تاثیر ناچیز و حتی فاقد اثر بر روی پوشش خواهد بود.
- مقاوم بودن نسبت به حل شدن : آب قادر به حل کردن بعضی از مواد است ولی معمولاً پوشش‌ها در آب غیر قابل حل هستند. همچنین باید بررسی شود که پوشش علاوه بر غیر قابل حل بودن در آب نسبت به دیگر حلال‌ها نیز مقاوم باشد. بخصوص مقاومت در برابرنفت و مشتقات آن در محیط هائی که احتمال نشتی آب به زمین امکان داشته باشد می‌بایست بررسی گردد .
- مقاوم بودن نسبت به خاصیت جاذب بودن خاک : خاك ممکن است بعضی مواد را جذب کند. خاك رس، سیلکا ژل، ذغال چوب و بعضی ترکیبات دیگر خاصیت جاذب بودن را دارند. خاك با پوشش به طور کامل در تماس است و جذب برخی عناصر از پوشش توسط خاك ممکن است پوشش را ترد، متخلخل و یا مقاومت آنرا نسبت به خوردگی کم کند.خاصیت جذب خاک به املاح و عناصر موجود درخاک ارتباط دارد که بعضی از این عناصر، پتانسیل

واکنش در سطح با پاره ای از این مواد داشته و تا جائی که قابلیت نفوذ داشته باشد پیش می‌روند.

- مقاوم بودن نسبت به صدمات مکانیکی : همانگونه که بارها ذکر گردیده است پوشش لوله باید مقاومت به تنش‌های مکانیکی در حین نصب و یا انبار داری را داشته باشد. پوشش‌های پلی اورتان خواص بسیار مطلوبی را در این زمینه از خود نشان داده‌اند.

در پایان لازم به ذکر است در مورد لوله‌هایی که مورد حفاظت کاتدی قرار می‌گیرند مقاومت الکتریکی پوشش نیز یك فاکتور تعیین کننده است. هر چه کیفیت و مقاومت الکتریکی پوشش بیشتر باشد. جریان کمتری برای حفاظت کاتدی مورد نیاز است. یك پوشش کامل و عالی کسر کوچکی از یك آمپر برای هر مایل از لوله نیاز دارد. با توجه به رعایت الزامات فوق، درمقایسه با سیستم پوشش دهی لوله‌های رو زمینی، برای لوله‌های مدفون، داده‌های نمونه جدول زیر را می‌توان مورد مقایسه قرار داد.

پوشش اپوکسی سطوح خارجی لوله‌های فولادی مدفون در خاک		
۱	آماده‌سازی سطح	بادرجه حداقل Sa ۲٫۵
۲	میزان پروفایل سطح	بین ۴۰ تا ۶۰ میکرون
۳	پرایمر زینک ریچ اپوکسی	حداقل ۷۵ میکرون
۴	رنگ رویه کولتار اپوکسی	۴۰۰ تا ۴۵۰ میکرون

آماده‌سازی سطح که با استفاده از وسایل سند بلاست صورت می‌پذیرد، حداقل روش آماده‌سازی با Sa۲٫۵ را به نحوی که ضخامت سنج تنظیم شده در صفر قبل از سند بلاست نمودن سطح لوله، پروفایلی بین ۴۰ تا ۶۰ میکرون لایه برداری را نشان دهد صورت می‌پذیرد.این میزان لایه برداری و تمیزکاری سطح لوله، اطمینان از پوشش کامل سطح لوله از آستر غنی شده با روی را بعنوان عامل محافظت لوله بدست می‌دهد.همانگونه که از جدول فوق پیداست سیستم پوشش لوله مدفون می‌تواند شامل یک پوشش دوجزئی از اپوکسی غنی شده از روی بعنوان عامل حفاظت کاتدیک به ضخامت حداقل ۷۵ میکرون و رویه

نهائی اپوکسی کولتار جهت مقاومت بالا در برابر رطوبت به ضخامت حداقل ۴۰۰ میکرون باشد. استفاده از رویه کولتار(Coal Tar) اپوکسی با ضخامت ۴۰۰ الی ۴۵۰ میکرون، نشان از بکارگیری حد مطمئنی از اپوکسی حاوی قیر زغال بعنوان عامل ممانعت‌کننده از نفوذ آب داشته که در شرایط مرطوب زیر زمین، پوشش را نسبت به رطوبت نفوذ ناپذیر و مقاوم نماید.

هنگام استفاده از پوشش‌ها بهترین تکنیک و اقتصادی ترین پوشش‌ها ضمن توجه به دیگر مسائل خوردگی لوله که از اهمیت زیادی برخوردارند، باید انتخاب شود، چرا که اشتباه در انتخاب مواد پوششی می‌تواند باعث خسارات زیادی در طول عمر مفید خط لوله شود. بعبارت دیگر کاربرد صحیح مواد پوششی جنبه‌های دیگر کنترل خوردگی را نسبتاً آسان می‌کند.

درپایان لازم به ذکر است این نوع سیستم پوشش توام با حفاظت کاتدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ممانعت از خوردگی سطوح خارجی لوله‌ها با نوار پیچ کردن

Spiral Pipe Band Corrosoin Protection

این روش به منظور کنترل خوردگی خطوط لوله مدفون مبتنی بر قطع تماس خطوط لوله از خاک اطراف بوده و دراین روش از پوشش‌های نواری برپایه الاستومرهای قیری استفاده می‌گردد. این تصور در مورد پوشش‌ها در جهت قطع خوردگی کاملاً مؤثر است اگر:

۱) ماده پوششی یک عایق الکتریکی مؤثر باشد تا خوردگی کاتدیک را حداقل نماید.

۲) بدون پارگی اعمال شود و روی سطوح و در هنگام پر کردن کانال سالم باقی بماند تا قسمتی از لوله لخت نباشد و محل شروع تبادل جریان شود.
۳) فیلم کامل اولیه تشکیل دهد و همینطور با گذشت زمان باقی بماند و اثرا رطویت و ... خواص آن را برهم نزند.

در مورد خطوط لوله قابل دفن مانند سیستم کولینگ انبار، از تکنیك‌های پوشش دهی و نوار پیچ کردن برای پوشش لوله‌ها استفاده می‌شود.

نوارهای مورد استفاده دارای ترکیب تجاری می‌باشند و جزء نوارهای پلیمری محسوب می‌شوند. این نوارها را می‌توان به دو دسته سرد و گرم تقسیم‌بندی نمود. برای نصب نوارهای گرم احتیاج به حرارت است. همچنین نوارها را می‌توان با توجه به شرایط مورد استفاده طبقه‌بندی کرد. به طور مثال نوارهای مناطق کوهستانی با نوارهای مناطق بیابانی متفاوت است.

برای نوار پیچ کردن لوله‌های دفن شونده درزیر خاک ابتدا باید تمیز کاری سطحی انجام شود. عملیات تمیز کاری برای لوله‌های سایز بزرگ و با سطح ناصاف توسط سند بلاست انجام می‌شود و بلافاصله بعد از عملیات سند بلاست باید بر روی لوله رنگ پرایمر اعمال شود. رنگ پرایمر دارای غلظت بالایی بوده و باید توسط قلم مو و نیروی انسانی اعمال شود. رنگ پرایمر دارای ترکیب کاملا تجاری بوده و با توجه به نوع نوار تعیین می‌شود معمولاً بر روی سطح ۲ بار رنگ پرایمر اعمال می‌شود تا هیچ فضایی خالی باقی نماند.

قبل از اینکه رنگ کاملا خشك شود باید عملیات نوار پیچی را شروع کرد این کار توسط استوانه‌ها و قرقره‌های نوار پیچ انجام می‌شود. مقدار اورلپ (Overlap) نوار نیز توسط اپراتور تنظیم می‌شود. در مناطقی که میزان خوردگی زیاد است از اورلپ ۵۰٪ استفاده می‌شود. بعد از نوار پیچی تست دیسباندینگ (Disbanding) روی پوشش انجام می‌شود و بعد لوله در زیر خاك مدفون می‌شود.

برای لوله‌های با سایز کم و تازه تولید شده، عملیات تمیزکاری منتهی به برادشتن جرم و آلودگی‌های روی لوله بوده و عملیات نوارپیچی روی آنها صورت می‌پذیرد.

باز هم تحولات اخیر در صنعت ساخت لوله، علاوه بر تولید لوله‌های کاملاً پلی‌اتیلنی مقاوم شده با شبکه‌های داخلی که تا ۶۰ اتمسفر را هم تحمل

می‌نمایند، تولید لوله‌های استنلس استیل با روکش ضخیم و فوق‌العاده مقاوم پلی‌اتیلن با طرحی ستبر و غیر قابل نفوذآن موجب بروز تحول در این بخش از پوشش دهی خطوط لوله گردیده است.اما بهره برداری و تعمیرات خطوط قبلی، هوشمندی بکارگیری روش‌های استاندارد پوشش دهی لوله‌های موجود را درجهت تداوم عملیات و استفاده حداکثر از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده مشروط بر صرفه اقتصادی و پائین بودن ریسک مخاطرات ناشی از این تعمیر و نگهداشت را طلب می‌نماید.

ممانعت ازخوردگی لوله‌ها با استفاده ازحفاظت کاتدیک

Catodic Protection System of the Pipline

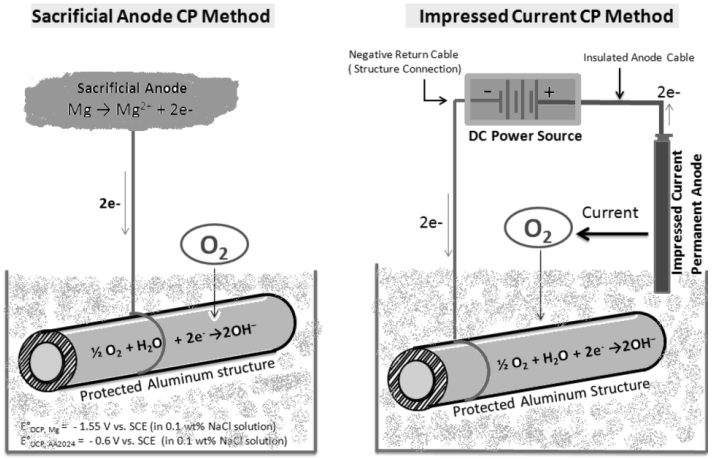
با وجود این که پوشش‌ها به تنهایی جوابگوی کنترل خوردگی نمی‌باشند (هرچند تکنولوژی‌های جدید تحولاتی در این خصوص ایجاد نموده‌اند)، لیکن چنانچه درست اعمال شوند نقش مؤثری ایفا می‌کنند. از این رو پوشش‌ها را بعنوان برنامه ای معمول برای خطوط مهم در نظر می‌گیرند. پوشش صحیح انتخاب شده و درست به کار رفته بیش از ۹۹درصد حفاظت لازم را بر روی سطوح لوله فراهم می‌کند.

با وجود پوشش، از جریان خوردگی به مقدار زیادی کاسته خواهد شد اما گاهی اوقات بدلایل طراحی و لزوم اطمینان از طول عمر خطوط و یا وجود ترکیبات نفوذکننده حفاظت با پوشش‌ها تنها کافی نبوده و بنابراین همراه با پوشش از حفاظت کاتدی نیز استفاده می‌شود تا قسمت‌هائی از لوله را که پوشش آن خراب و ناکارا گردیده است، در معرض محیط خورنده را محافظ نماید. انرژی الکتریکی مورد نیاز جهت حفاظت کاتدی بخش عریان شده لوله ممکن است هزار بار بیشتر از انرژی باشد که برای همان بخش اما پوشش شده نیاز است.لذا این اصل بعنوان یک نکته کنترلی برای اطمینان ازسالم بودن پوشش به کار می‌رود.

بطور کلی بهترین روش در کنترل مدرن خوردگی خطوط لوله، استفاده از پوشش‌های مناسب همراه با حفاظت کاتدی بوده، برای اطمینان بیشتر تدابیر تکمیلی مانند استفاده از اتصالات عایق، کنترل محیطی و غیره نیز ممکن است

به کار گرفته شود اساس حفاظت لوله‌ها از خوردگی، استفاده از جریان مستقیم الکتریسیته حاصل از یک منبع خارجی است که در مقابل با جریان خروجی خوردگی از نواحی آند قرار می‌گیرد. زمانی که یک سیستم حفاظت کاتدی نصب می‌گردد. کلیه قسمت‌های ساختار حفاظت شده، جریان حفاظتی را از الکترولیت اطراف اخذ کرده و تمام سطوح لخت و بدون پوش کاتد می‌شوند. همانگونه که قبلا بطور مفصل شرح داده شد، حفاظت کاتدیک لوله‌های مدفون به دو روش آند فداشونده (Sacrificial Anodes) و روش اعمال جریان (Impressed Current)صورت می‌پذیرد. هریک از این دور روش بطور خلاصه تری درادامه شرح داده شده اند.در صورتی که آند کمکی نسبت به فلزی که باید حفاظت شود بر طبق جدول سری گالوانیکی فعالتر باشد پیل گالوانیکی به وجود می‌آید. در صورت استفاده از این نوع آندها که آنها را آندهای از بین رونده می‌نامند و دیگر نیازی به منبع جریان خارجی یا یکسو کننده نمی‌باشد. اختلاف پتانسیل بین آندهای از بین رونده و فلز مورد حفاظت سبب تخلیه جریانی از طرف محیط به سمت فلز وجود داشته می‌گردد. فلزات از بین رونده که برای حفاظت کاتدی به کار می‌روند اغلب منیزیم و آلیاژهای آن و در برخی موارد روی و آلومینیوم می‌باشند. اصولاً آندهای از بین رونده به عنوان منابع انرژی الکتریکی عمل می‌نمایند، اهمیت آنها مخصوصاً در مواردی است که امکان دسترسی به نیروی برق وجود نداشته ویا در نقاطی که نصب خطوط نیرو با صرفه نباشد.

برخلاف روش آندهای فداشونده در روش جریان اعمالی به یک منبع خارجی جهت تأمین جریان مورد نیاز برای حفاظت نیاز می‌باشد. جنس آندهای استفاده در این روش به دلیل عدم تجزیه آنها مهم نمی‌باشد. در این روش آندها نسبت به سازه مثبت نگه داشته شده که این عمل توسط یک منبع جریان مستقیم انجام می‌گیرد؛ لذا در این روش بر خلاف روش آندهای فداشونده که آندها منفی بودند، آندها از سازه مثبت تر هستند. منبع جریان یکسو را به این ترتیب در سیستم قرار می‌دهند که قطب مثبت آن متصل به آند کمکی و قطب منفی آن به فلز دستگاه مورد نظر وصل شود. به طوریکه یون‌های مثبت در داخل الکترولیت از آند به سمت فلز مورد نظر برمی‌گردد.



ولتاژ اعمال شده باید به مقداری تنظیم شود که بتواند شدت جریان کافی برای تمام نقاط دستگاهی که تحت حفاظت کاتدی قرار گرفته‌است تأمین نماید. در مورد خاکها یا آبهای با مقاومت زیاد ولتاژ اعمال شده باید بیشتر از محیط‌هایی با مقاومت کم باشد. همچنین هنگامی که طول زیادی از یک خط لوله فقط به وسیله یک آند حفاظت شود به ولتاژ اعمال شده بیشتری نیاز دارد. اجرای سیستم حفاظت کاتدی اغلب در مورد لوله‌ها و پوشش کابل‌های زیر زمینی بکار می‌رود.

عملیات سندبلاست مخازن

Blast Cleaning Of Tank Storage

سندبلاست یک کلمه لاتین است که متشکل از دو بخش Sand به معنی ماسه و blast به معنی پاشیدن، انفجار و پرتاب می‌باشد که در طی این فرایند ماسه از طریق فشار باد که توسط کمپرسورهای برقی و یا دیزلی تأمین می‌شود به سطوح مورد نظر که می‌تواند چوب و یا شیشه، فلز، دیوار بتنی و ... باشد پاشیده می‌شود. بطور کلی عملیات سند بلاست عمدتا جهت نیل به دو هدف انجام می‌شود.

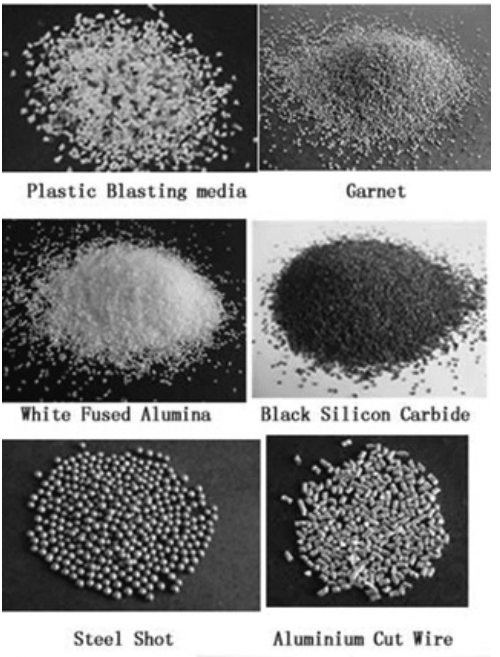
- زدودن و برطرف نمودن جرمهای خارجی و زنگ زدگی و رسیدن به سطح فلز
- ایجاد پروفیل(زبری)مناسب در سطح فلز جهت چسبندگی بهتر فیلم پوشش

در طی این عمل کلیه گرد و غبار و چربی و رسوب موجود بر سطوح تمیز گردیده و سطحی عاری از هر نوع آلودگی می‌گردد. سطح تمیز شده آماده هر گونه فرایند دیگری از قبیل رنگ آمیزی، عایق‌کاری، نوارکاری و ... می‌باشد. به کلیه مراحل فوق یعنی پرتاب ماسه و شن با فشار بسیار زیاد هوا را فرایند سندبلاست گویند.

پایان عملیات سند بلاست سطح مخزن نقره ای رنگ وخشن خواهد بود. این کار به صورت مقطعی انجام شده واز دانه‌های سیلیس با دانه‌بندی خاص استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از سرباره مس به عنوان ماده سند

بلاست نیز متداول شده است. بلافاصله بعد از عملیات سند بلاست باید بر روی مخزن رنگ پرایمر اعمال شود .

روش کار سندبلاست به این صورت است که ماسه‌های ساینده که عمدتا از جنس سیلیس، مس باره و اکسید فلزات، گریت آهن، پودر اکسید آلومینیوم و.. هستند با استفاده از فشارباد کمپرسور شتاب گرفته و بر روی سطح قطعه پاشیده می‌شوند.



همانگونه که ذکر گردید عملیات سند بلاست با استفاده از ذرات یادشده انجام می‌پذیرد که هر کدام سطح مخصوص به خود را از حیث رنگ و درجه صافی ارائه میدهند.هر قدر دانه بندی و مش ذرات درشت تر باشد پروفایل ایجاد شده سطح، زبرتر خواهد بود؛ البته این امر به عوامل دیگری مانند فشار هوای مصرفی و فاصله یا زاویه برخورد ذرات نیز بستگی دارد.

عملیات سند بلاست براساس روش‌های استاندارد زیر قابل اجرا است:

آماده‌سازی سطح یا درجه تمیز کردن با Saنشان داده می‌شود.

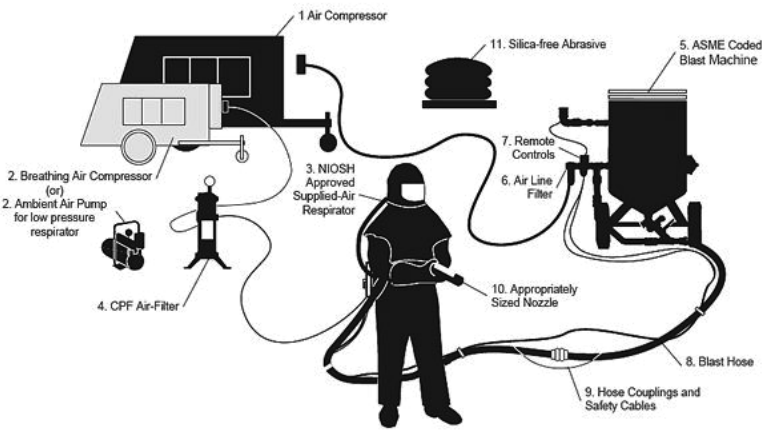
استاندارد Sa۳: تمیزکاری تا درجه فلز سفید: رنگ و پوسته، اکسیدهای فلزی و مواد خارجی باید برداشته شود. از جاروبرقی، هوای فشرده و یا برس برای تمیز کردن سطح استفاده می‌شود. در این حالت باید سطح دارای فام فلزی یکنواخت باشد.

استاندارد $Sa۲\frac{۱}{۲}$: تمیز کاری کامل بروش بلاست: پوسته ضعیف زنگ، اکسیدهای فلزی و مواد خارجی برداشته بطوریکه فقط لکه‌هایی بصورت نقطه و نوار روی فلز باقی بماند. در پایان سطح فلز با استفاده از جارو برقی، هوای فشرده و یا برس تمیز خواهد شد.

استاندارد Sa۲: تمیزکاری مناسب با روش بلاست : تقریباً تمام پوسته فلزی ریز، زنگ آهن و مواد خارجی از سطح فلز برداشته و در نهایت با استفاده از جارو برقی یا هوای فشرده یا برس سطح تمیز خواهد شد. در این حالت رنگ سطح فلز باید خاکستری شود.

استاندارد Sa۱: تمیزکاری با روش بلاست ملایم: رسوب ذرات ضعیف، اکسیدها و مواد خارجی برداشته می‌شود.

تصویر زیر شمایی از چگونگی نصب و بهره‌برداری ملزومات عملیات سندبلاست را نشان می‌دهد.



جداول زیر مقایسه درجه آمادگی سطح در استانداردهای شناخته شده بین‌المللی را نشان می‌دهد.

Type Of Surface Preparation نوع آماده کردن سطح	ISO 8501-1	SSPC & NACE USA استانداردهای SSPC و NACE آمریکا	BS 4232 UK استاندارد BS 4232 انگلیس	DIN 18364 GERMANY استاندارد DIN 18364 آلمان	REMARKS ملاحظات
Manual Cleaning تمیز کاری به روش دستی	St 2 Thorough Scraping,Brushing,Grinding etc. تراش ، برس کاری، سنگ زدن سرتاسری و غیره بطور کامل	Sp 2 Handtool Cleaning تمیز نمودن با ابزار دستی	---	---	St2 Or Sp2 And Hand Tool Cleaning Is Recommended Only For Spot Cleaning ST2 یا SP 2 و تمیز کاری با ابزار دستی فقط برای تمیز نمودن موضعی مورد استفاده قرار میگیرند.
	St 3 Very Thorough Scraping ,Brushing , Grindin etc. تراش ، برسکاری ، سنگ زدن بطورخیلی کامل	Sp 3 Power-Tool Cleaning تمیز نمودن با ابزار قدرتی	---	---	
Blast Cleaning تمیزکاری با روش بلاست	Sa 3 Pure Metal فلز سفید	Sp 5 Tmo1-70-No1 White Metal فلز سفید	First Quality کیفیت درجه اول	---	
	Sa 2 1/2 Very Thorough بطور خیلی کامل	Sp 10 Tmo1-70-No2 Near White نزدیک به سفید	Second Quality کیفیت درجه دوم	Entrostungs Grad 2	
	Sa 2 Thorough بطور کامل	Sp 6 Tmo1-70-No3 Commercial تجاری	Third Quality کیفیت درجه سوم	Entrostungs Grad 3	
	Sa 1 Light ملایم	SP 7 Tmo1-70-N04 Brush-Off تمیزکاری با برس	---	---	
Chemical Cleaning تمیزکاری شیمیایی	Acid Pickling اسید شویی	SP 8	---	---	
		Sp 1 Solvent Cleaning تمیز کاری با حلال	BS 5493 CP 3012		

در عملیات سندبلاست با پاشش دانه‌های شن، مهمترین وسایل مورد استفاده درعملیات سندبلاست شامل کمپرسور دورانی هوا،مخزن شن،شیلنگ شن، نازل شن پاش،برس رنگ آمیزی، پیستوله (اسپری)،پارچه روی غلتک است که هر یک ازنظر استانداردهای مطرح شده ویژگی‌های خاصی می‌بایست داشته باشند.ویژگی‌های وسائل یاد شده را استانداردهای سوئیسی حاکم براین

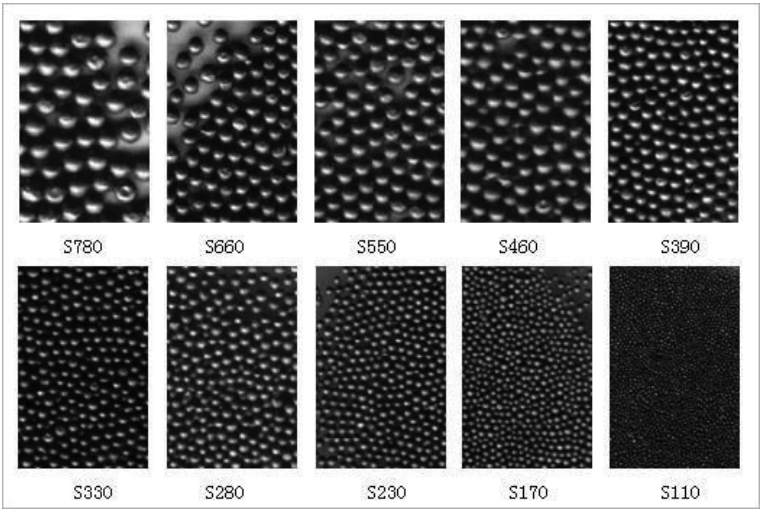
عملیات به شرح زیر بیان نموده‌اند:

- ظرفیت کمپرسورها (ازنوع دورانی) بایدبه اندازه ای باشد که پیوسته حداقل ۲۵۰ فوت مکعب هوا در دقیقه معادل (۷/۰۸ متر مکعب در دقیقه) را تامین نماید. فشار سنج باید طوری تنظیم شود که فشار را به طور مداوم در حد PSI ۱۰۰ (۷ kg /cm) حفظ نماید.
- مخزن شن دستگاه شن زنی باید دارای حداقل گنجایش ۶۰۰ پوند (۲۷۲ کیلوگرم) شن بوده و به وسائل رطوبت گیری و اندازه‌گیری شن مجهز باشد.
- تمام شیلنگ‌های هوا باید دارای قطر داخلی ۳/۲ سانتی متر باشند به جز ۱۰فوت (۳ متر) آخر منتهی به شن پاش (Nozzel) که می‌تواند قطر یک اینچ (۲/۵سانتی متر) داشته باشد.
- طول شیلنگ‌های هوای بین مخزن هوا و مخزن شن نباید بیشتر از ۵۰ فوت (۱۵متر) بوده و شیلنگ هوای بین ظرف شن و دستگاه شن پاش (Nozzel) نباید از ۶۰ فوت (۱۸ متر) بیشتر باشد مگر در مواردیکه به علت سهولت کار طول بیشتری مورد نیاز باشد که در این صورت برای هر ۵۰ فوت (۱۵ متر) طول اضافی افزایش PSI ۵ (۰/۳۴ kg / cm) فشار ضروری است.
- به طور کلی فشار در سر شن پاش (Nozzel) هیچ گاه نباید از PSI ۹۵ (kg/cm ۶/۵) کمتر بوده و تمام شیلنگ‌ها باید دارای لایه ای از ماده ضد الکتریسیته ساکن باشند.
- شن پاش باید بلند و دارای دهانه وانتوری (Venturi) و یا راندمان زیاد بوده و مجهز به شیری باشد که به محض بلند کردن دست از دکمه نازل به طور خودکار بسته شود. بدنه شن پاش باید از فولادی با رویه کادمیم بوده و دارای پوششی از کربوتنگستن باشد.
- شن مورد مصرف باید گوشه دار، دا نه بندی شده، خشک، بدون گرد و خاک و کثافت و از نوع سنگ چخماق یا سیلیس خالص باشد.

الزامات یاد شده برای دانه‌های فولادی، مسی و ...با اندازه‌های ۴۰ تا ۵۰ مش نیز ممکن است به جای شن به کار برده شود (Grit Blast) اما گلوله‌های فولادی جهت این سیستم قابل قبول نمی‌باشند.

تمیزکردن با جریان شن یا د انه‌های فلزی

Blast Cleaning



در این روش سطح فلز توسط برخورد شدید با دانه‌های شن و یا دانه‌های فلزی که از طریق نازل یا چرخشهای گریز از مرکز به سطح فلز پاشیده می‌شوند تا حد فلز سفید تمیز می‌گردد. فلز سفید اصطلاحاً عبارت است از سطحی از فلز با رنگ متالیک سفید مایل به خاکستری و کمی زیر آماده برای رنگ آمیزی، این سطح با دید غیر مسلح نباید دارای هیچ گونه مواد خارجی از قبیل زنگ، اکسیدهای فلزی، رنگ و غیره باشد. تمیزکردن با این روش باید مطابق با آخرین چاپ استاندارد سویسی SIS ۵۵۹۰۰ برای درجه $Sa\frac{۱}{۲}$ باشد.

روش کار (دستورالعمل) با جریان شن
Blast Cleaning Procedure

تمیز کردن سطح به طریقه جریان شن یا دانه‌های فلزی تا حد فلز کاملا تمیز با سطح براق فلزی شامل مراحل زیر خواهد بود:

۱. درصورت وجود مقادیر زیاد روغن و گریس می‌بایست با استفاده از یک حلال فرار پاک شود. مقادیر کم روغن و گریس را می‌توان توسط عملیات بلاستینگ از بین برد در این صورت چنانچه احتمال آلودگی وجود داشته باشد شن مصرف شده قابل استفاده مجدد نخواهد بود.

۲. رسوبات زیاد زنگ روی فلز می‌بایست توسط وسائل دستی یا مکانیکی ضربه ای زدوده شود.

۳. کلیه رسوبات زنگ، رنگ و مواد خارجی باقی مانده باید با یکی از روش‌های زیر از سطح فلز زدوده شود. بلاستینگ سطح فلز با استفاده از سیستم هوای فشرده و شن خشک به اندازه‌های حداکثر ۱۶ مش با استاندارد آمریکائی. بلاستینگ سطح بوسیله دانه‌های فلزی (Grit Blasting) با استفاده از سیستم هوای فشرده که این دانه‌ها، ذرات گوشه دار ساخته شده از چدن، آهن چکش خوار فولاد یا مواد مصنوعی با اندازه‌های حداکثر ۱۶ مش با استاندارد آمریکائی می‌باشند.

تمیز کردن سطح فلز با برس موئی یا نایلونی و سپس دمیدن با هوای فشرده خشک و تمیز و با استفاده از وسائل مکنده، برای تمیز کردن بقایای گرد و خاک موجود در گوشه‌ها، زوایا شکاف‌ها و اتصالات اقدام بعدی خواهد بود. هوای فشرده ای که برای کلیه عملیات فوق استفاده می‌شود باید عاری از آلودگی‌های آب یا روغن بوده و برای این منظور باید از جداکننده‌ها و تله‌های مایع گیری مطمئن استفاده نمود.

تمیز کردن سطح فلز با روش‌های فوق باید طوری انجام شود که هیچ‌گونه خسارتی به جسم مورد نظر وارد نگردد. تمیز کردن با روش‌های فوق نباید بر روی سطوحی که بعد از عملیات تمیز کاری و قبل از رنگ شدن تر خواهند شد و یا مواقعی که درجه حرارت سطح کمتر از ۵ °F (۳ °C) بالای نقطه شبنم و یا وقتی

که رطوبت نسبی هوا بیش از ۸۵ درصد است انجام شود. مگر آن که رنگ آمیزی قبل از بروز هر گونه زنگ زدگی مجدد انجام گیرد. سطح تمیز شده باید عاری از هر گونه آلودگی روغن و گریس باشد و در صورت وجود این آلودگی باید توسط یک حلال فرار تحت نظارت مهندس یا نماینده او از بین برود. سطح تمیز شده بلافاصله پس از پایان عملیات تمیز کاری باید یا رنگ آستری پوشانده شود. هیچ فاصله بین تمیز کاری و آستری زدن قابل قبول نمی‌باشد .

اقدامات ایمنی تمیز کردن با جریان شن یا د انه‌های فلزی

Blast Cleaning Safety Procedure

- در صورتی که شعله و خطر آتش‌سوزی وجود داشته باشد پیش گیری‌های لازم باید ملحوظ گردد و چنان چه اشیا و وسائلی که باید رنگ شود آغشته به مواد آتش گیر باشند باید قبلاً تمیز گردند و اگر اشیا و تاسیساتی که برای رنگ کردن تمیز می‌شوند در مجاورت آتش زا قرار داشته باشد نباید از وسائل و لوازمی که تولید جرقه می‌تمیاد استفاده نمود.
- کارگرانیکه باید از کلاه ایمنی و ماسک استاندارد شده متصل به هوای فشرده تمیز استفاده نمایند.
- کار کنانی که در معرض گرد و غبار قرار دارند باید از ماسک صافی هوا استفاده نمایند و نیز همه کارکنان باید در مقابل ذرات شن یا فلزی که در فضا پراکنده می‌شوند کاملاً محافظت گردند.
- تمام کسانی که در مجاورت محل تمیز کاری رفت و آمد داشته و یا کار می‌کنند باید از عینک ایمنی استفاده نمایند.
- شیلنگ متصل به نازل باید برای تخلیه الکتریسیته ساکن، به زمین وصل گردد.

روش و شرایط اجرایی عملیات سندبلاست مخازن
Tank Storage Blast Cleaning Procedure

روش اجرای سند بلاست بسته به الزامات سازنده تجهیزات و نظر کارفرما دارد. برای داخل مخازن نگهداری انواع فرآورده‌های نفتی از کف مخزن و یک متر بالا و پائین مخزن تا کل مخزن را می‌تواند تحت عملیات سند بلاست و پوشش دهی قرار دهد.

معمولاً این عملیات با استفاده از روش استاندارد SA ۳ که درآن از مش نیم تا یک ذرات سیلیس یا مسباره (جهت آلودگی و خطرات تنفسی کمتر) استفاده می‌گرددصورت می‌پذیرد.بکار گیری این نوع مش از ذرات مسباره یا سیلیس، زبری سطح را با پروفایل بین ۵۰ تا ۷۰ میکرون بدست می‌دهد.

بعد از داربست بندی و آماده‌سازی سطح جهت سند بلاست و درپی آن رنگ آمیزی مخزن به شرح و تحت شرایط ذیل کار اجرا می‌گردد.

ابتدا کلیه وسایل و تجهیزات و مصالح مورد نیاز از قبیل کمپرسور باد، میکسر بادی، همزن، پمپ ارلس، ماسه و داربست به کنارمخزن انتقال می‌یابد. کلیه ماشین آلات، تجهیزات، ابزار و مصالح مورد استفاده در عملیات‌های سند بلاست و رنگ آمیزی باید مطابق استانداردهای ذیربط بوده و مورد تایید واحد نظارت پروژه باشد.

درصورت مساعدبودن شرایط جوی و مساعد بودن هوا، عملیات سندبلاست که عمدتاً براساس استاندارد سوئدی $Sa۲\frac{۱}{۲}$ انجام می‌گیرد، شروع و پس از اتمام سندبلاست هر ناحیه در همان روز ۲۰ دقیقه بعد از هواگیری و تمیز نمودن سطح کار لایه اولیه رنگ (پرایمر) اتیل سیلیکات یا زینک ریچ اپوکسی اعمال می‌گردد.

اجرای رنگ آمیزی مراحل بعدی و لایه‌های میانی و نهایی باید پس از ششوی سطح کار با دستگاه واتر جت و خشک شدن سطح صورت می‌پذیرد.

البته قبل از رنگ آمیزی هر لایه، عملیات تاچ آپ(برداشتن رنگ‌های تازه و معیوب)در محل‌هایی مثل لبه‌ها و گوشه‌های کار و محل درز جوشها و نقاطی که احیاناً عیوبی وجود داشته باشد انجام می‌شود. در هر مرحله و پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت بر روی سطح خارجی مخزن (ضمن رعایت مسائل فنی از قبیل ضخامت

مناسب لایه، تمیزی کار و عدم وجود شُره رنگ، اسپری زیاد (Over Spray)، خلل و فرج سطح رنگ و هر نوع عیب دیگر) عملیات رنگ آمیزی لایه بعدی اجرا می‌شود.

سطوح حساس و تجهیزات متصل به محل اجرای عملیات و سطوحی که از جنس غیر کربن استیل هستند قبل از سندبلاست باید توسط کاور پوشانده شود.

به منظور رعایت ایمنی و بهداشت کار در داخل مخزن (درمواردی که سند بلاست سطوح داخلی مخزن انجام می‌گردد) باید از فن‌های ضد جرقه استاندارد و داربست بندی مطمئن استفاده گردد.

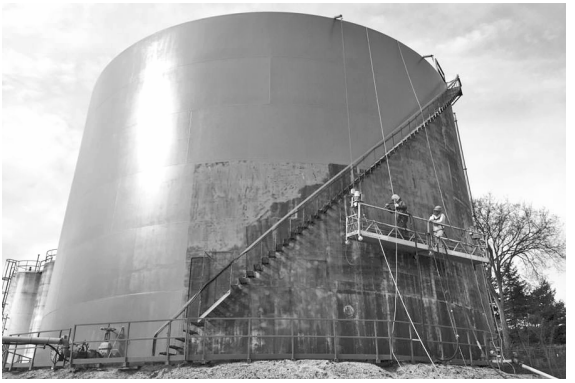
سندبلاست نوع $Sa۲\frac{۱}{۲}$ با مس باره باید بطوری انجام گردد که تمامی رسوبات و زنگ زدگی‌ها روی سطح کار و درون خلل و فرج سطح خارج شده و کاملاً تمیز شود، بطوری که سطح تماماً به رنگ درخشان آلومینیومی گردد.

در زمانهایی که سطح فلز دچار رطوبت و شبنم می‌باشد اجرای سندبلاست ممنوع می‌باشد. همچنین اجرای عملیات سند بلاست با سلیس یا مس باره خیس یا شبنم زده مجاز نمی‌باشد.

دستگاه‌های پاشش علاوه بر نوع نازل پاششی شامل دستگاه ساینده پاششی یا پاشش مواد ساینده متحرك (Shot Blast) نیز می‌باشند که با استفاده از هوای فشرده کار می‌کنند.هوای فشرده عامل ایجاد حرکت یا پرتاب مواد ساینده بوده که بسته به اندازه ذرات نسبت تنظیم فشارهوای فشرده اقدام می‌گردد.

شکل فوق نمایانگر برس سیمی دوار استانداردST می‌باشد. در این شکل قابلیت مانور دستگاه مورد اشاره در جهت حرکت‌های افقی و عمودی مطابق با نوع و حجم کار نشان داده شده است.

اصول اساسی پوشش دهی مخازن و تاسیسات با رنگ
Tank Storage Painting Principal



رنگ مورد استفاده در پوشش دهی مخازن و تاسیسات می‌بایست بر اساس استانداردهای تدوین شده دراین خصوص بصورت بسته بندی با تاریخ مصرف معتبرو انبارداری مطلوب درتمام مراحل پس از تولید باشد.از این رو می‌توان موارد زیر را درخصوص کیفیت مطلوب ساخت و نگهداشت رنگ‌ها برشمرد:

- رنگ باید در ظروف سالم که دارای اسم سازنده و کد مشخص‌کننده است بسته‌بندی شده باشد.
- آستری، رنگ اصلی و رنگ نهائی هر سیستم رنگ‌آمیزی باید از یک سازنده باشد.
- رنگها، حلال‌ها و مواد کاتالیزور رنگ باید در محل‌هایی که دارای هواکش بوده و بتوان درجه حرارت آن را به دلخواه تنظیم نمود ا نبار شده و ظروف در قفسه‌های فلزی و دور از اشعه آفتاب قرار گیرد. درجه حرارت انبار باید طبق پیشنهاد سازنده تنظیم گردد.
- آماده کردن رنگ و نیز رقیق کردن آن باید بر اساس پیشنهاد سازنده انجام گیرد.

ازمهمترین رنگ‌های مورد استفاده در رنگ آمیزی مخازن می‌توان به رنگ‌های پلی‌اورتان بدلیل مقاومت عالی مکانیکی و تا حدزیادی مقاومت شیمیائی جهت رنگ بیرون مخازن اشاره نمود. این رنگ با مقاومت بالا دربرابر اشعه ماوراء بنفش حفاظت بسیار خوبی را درشرایط سخت جوی و محیطی ازلایه‌های محافظ قبل

از کار شده خود بعمل می‌آورد.این پوشش بعنوان پوشش مطلوبی برای فضای باز درنظر گرفته می‌شود.

رنگ پرکاربرد دیگر دررنگ کاری بیرون و داخل مخازن،رنگ‌های اپوکسی زینک ریچ یا رنگ‌های غنی از روی هستند.این رنگ‌ها برپایه رزین‌های اپوکسی-پلی آمید پودر روی خالص برای حفاظت طولانی مدت ارمخازن دربرابر خوردگی طراحی شده اند.این پوشش بدلیل شامل بودن بیش از ۹۰ درصد پودر روی درفیلم خشک ازسطوح مخزن در برابر خوردگی به طریق کاتدیک حفاظت می‌نماید.پس می‌توان گفت که سرعت خشک شدن این رنگ صنعتی نیز بالا و مناسب است.

رنگ پر کاربرد دیگر در سیستم رنگ‌کاری مخازن، رنگ اپوکسی گلاس فلیک (Glass Flake Epoxy Coating) است که رنگ تخصص یافته برای رنگ آمیزی مخازن و خطوط لوله برپایه رزین اپوکسی است. این رنگ‌ها پس از اجرای یک لایه آستر، بعنوان لایه میانی و پوشش نهائی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در پوشش‌های کولتاراپوکسی(Coal Tar Epoxy)افزایش مقداری قیرزغال یا کولتار به رزین اپوکسی مقاومت آن را در مقابل آب و زنگ زدگی جهت کاربردهای داخل مخازن افزایش می‌دهد.

وسائل مورد لزوم جهت رنگ کاری مخازن و تاسیسات به شرح زیر است:

کمپرسور دورانی هوا، برس رنگ آمیزی، پیستوله (اسپری)،پارچه روی غلتک

ویژگی‌های وسائل مورد لزوم به شرح زیر است :

- برس‌های رنگ آمیزی باید از موی حیوانی، نایلون و یا هر ماده دیگری که بتواند حداکثر میزان رنگ را به خود گرفته توسط حلال‌های رنگ خراب نمی شود ساخته شده باشد.
- پیستوله (Spray) باید دارای مشخصات پیشنهادی سازنده رنگ بوده و مجهز به تله یا دستگاه‌های جدا کننده ای برای جمع کردن روغن و آب جدا شده از هوای فشرده باشد. ظروف تحت فشار نیز باید به فشارسنجهای دقیق و شیرهای اطمینان مجهز گردند.
- پارچه روی غلطک باید از پشم طبیعی، نایلون یا هرماده دیگری که بتواند حداکثر مقدار رنگ را روی غلطک نگه دارد بوده و توسط حلال‌های رنگ خراب نشود.

مراحل و مشخصات رنگ آمیزی

Painting Spesification and Steps

مراحل و مشخصات رنگ‌آمیزی و سیتم رنگ برای کلیه مخازن، لوله‌ها، فلنچ‌ها، شیرها، اتصالات، دستگاه‌های اندازه‌گیری، پایه‌های پل عبور لوله و تاسیسات فلزی روی زمین معمولاً به صورت سیستم سه لایه (مگر درحالتی که سازنده یا کارفرما شرایط دیگری را مطرح نماید) بصورت زیر اجرا می‌گردد.

۱. اجرای سند بلاست جهت تمیز کردن وآماده‌سازی سطح

سطح فلز باید با روش شن زنی (Sand Blast) و یا با دا نه‌های فولادی (Grit Blast) کاملاً تمیز گردد .این مرحله حداقل می‌بایست با استفاده از یکی از روش‌ها بسته به شرایط سطح، مانند روش SA۳ پروفایل ۵۰ تا ۷۰ میکرون را درسطح ارائه نماید.

۲. تمیز نمودن سطح سند بلاست شده از هرگونه سستی، گرد و خاک، گریس و روغن و ...

۳. اجرای لایه آستر که این لایه معمولاً تحت عنوان پرایمر زینک ریچ اپوکسی(اپوکسی غنی شده با فلز روی) بکار می‌رود.به طوری که ضخامت این لایه پس از خشک شدن کمتر از ۷۰ میکرون نباشد.

۴. اجرای لایه نهائی متناسب با ضخامت استانداردکه معمولاً از اپوکسی گلاس فلیک استفاده می‌گردد.

دراین مرحله رنگ نهائی از جنس پلی اورتان برای سطوح بیرونی مخزن و رنگ کولتاراپوکسی برای سطوح داخلی مخزن بر روی رنگ میانی پاشیده خواهد شد. ضخامت این لایه رنگ نیز پس از خشک شدن برای لایه بیرونی نباید کمتر از۷۰ میکرون و برای لایه داخلی نباید کمتر از۱۰۰ میکرون باشد.

از لحاظ فام رنگ، همانگونه که درفصل رنگ‌های این سری هند بوک اشاره گردیده است،فام رنگ‌های استاندارد برای تاسیسات مختلف می‌بایست از استاندارد مربوطه احصاء و بکار گیری شوند.بعنوان مثال رنگ تمام مخازن نگهداشت فرآورده‌های مفتی بواسطه خاصیت بازتاب نور و حرارت می‌بایست

سفید باشد.

به طور کلی رنگهای استاندارد برای قسمت‌های مختلف به شرح زیر می‌باشد:

- سفید: لوله‌های ارتباطی و مخازن ذخیره
- آبی: شیر(ولو) مسیر نفت سفید
- قرمزتیره:شیربنزین معمولی
- زرد:شیرمسیر نفتگاز
- سبز:شیرمسیربنزین سوپر
- سیاه:شیر مسیرنفتکوره
- قرمزروشن:وسائل آتش نشانی
- خاکستری: دستگاه‌ها

روی تمام خطوط لوله،جهت جریان فرآورده بوسیله علامت نشانه (Arrow) باید مشخص شود.

نکات رنگ آمیزی

Painting Notes

سطوحی را که احتیاج به رنگ‌آمیزی دارند باید پس از تمیز کردن با یکی از روش‌های فوق‌الذکر و یا رنگ آستری پوشانده و سپس رنگ اصلی را بر روی پوشش آستری بکار برد. تمام فعالیت‌های رنگ کاری می‌بایست با استفاده به روز ترین روش‌های رنگ آمیزی انجام شده و سطح رنگ شده دارای ظاهری خوب و تمیز باشد. می‌بایست دقت شود که درجهت زیبائی نهائی کار نیز سطوح مجاو سطحی که رنگ می‌شود رنگی نگردد.

- شیرها و اجزا برنجی، درجات و پلاک‌ها باید قبل از رنگ آمیزی کاملاً پوشانده شوند تا روی آنها رنگی نشود.
- پیچ و مهره‌ها باید با روش تمیز کردن با حلال تمیز شوند.
- در صورتی که رنگ زده شده توسط کارخانه (رنگ فابریک) در بعضی قسمت‌ها خسارت دیده باشد باید رنگ ان قسمت‌ها را با برس و سمباده تمیز کرده و با پوششی از آن نوع رنگی که به عنوان رنگ میانه به کار برده می‌شود پوشانده و سپس رنگ نهائی روی آن زد.
- رنگ آمیزی باید با برس، غلطک، پیستوله یا با ترکیبی از این وسائل انجام

شود و در جائی که امکان رنگ کردن خوب با وسائل فوق وجود نداشته باشد می‌توان از پوست گوسفند استفاده کرد.

- رنگ امیزی باید تحت بهترین شرایط ممکن انجام گیرد، به طور کلی وقتی درجه حرارت هوا زیر ۴۰°F (۴/۴ C°) باشد یا زمانی که احتمال افت درجه حرارت به زیرصفر (۳۲) قبل از خشک شدن رنگ وجود داشته باشد رنگ آمیزی نباید انجام شود. در هوای داغ باید دقت کرد ضخامت مورد نظر به دست آید و در مواردی که درجه رطوبت هوا بالاتر از ۸۵٪ باشد نباید رنگ آمیزی صورت گیرد. ضمناً فولاد را در درجه حرارت بیش از ۱۲۰ °F (۵۲ C°) یا هر درجه حرارتی که مضر برای رنگ باشد نباید رنگ کرد. در هوای بارانی، مه آلود، برفی و بخار دار رنگ کردن مجاز نمی‌باشد و چنان چه رنگ قبل از خشک شدن در معرض یخ بندان، رطوبت زیاد، باران یا برف قرار گیرد باید صبر کرد تا رنگ خشک شود سپس رنگ قسمت‌های خراب شده را پاک کرده و بعد از آماده نمودن سطح مجدداً رنگ نمود.
- هر لایه از رنگ را باید گذاشت تا خوب خشک شده و سپس لایه بعدی را شروع کرد.
- در صورتی که رنگ (Color) نهائی به خصوصی مورد نظر باشد باید تطابق رنگ‌های لایه‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد.
- در صورتی که لایه آستری در بعضی نقاط صدمه دیده باشد قبل از تمیز کردن و تعمیر کردن محل‌های آسیب دیده از به کار بردن لایه رنگ نهائی باید پرهیز نمود.
- مجموع ضخامت لایه‌های رنگ باید مطابق با میزان پیش بینی شده در پروژه رنگ آمیزی باشد.
- در حالتی که اتصالات عایق با رنگ‌های دارای رنگینه‌های فلزی رنگ می‌شوند باید دقت کافی به عمل آید تا هیچ گونه آسیبی به عمل عایقی اتصالات فوق وارد نگردد.
- در مواقعی که از پیستوله بدون هوا برای رنگ آمیزی استفاده می‌شود باید امتحان کرد که نوک پیستوله و دکمه تنظیم فشار، خوب کار کنند. برای این منظور لازم است توصیه‌های زیر مورد توجه قرار گیرد:

- فشار مایع باید ۱۸۰۰ تا ۲۳۰۰ PSI (۱۲۷ kg/cm تا ۱۵۵ kg/cm) باشد.
- قطر سوراخ نوک فشار سنج باید بین ۰/۱۵ اینچ تا ۰/۳۳ اینچ (۰/۰۳۸ سانتی‌متر تا ۰/۰۸۴ سانتی‌متر) بوده و پیستوله دارای صافی ۶۰ یا ۱۰۰ مش باشد.
- شیلنگ دستگاه باید در مقابل فشار و مواد شیمیایی مقاوم بوده و قطر داخلی آن ۰/۲۵ اینچ (۰/۶۴ سانتی‌متر) باشد.
- برای شروع رنگ آمیزی مخزن، ابتدا باید سطح مخزن آماده‌سازی گردد و تمام آلودگی‌های آن برداشته شود و مطابق دستورالعمل واستاندارد مربوطه جهت رنگ کاری تحویل داده شود. پس از تایید سطح، لایه‌های رنگ یکی یکی و طی فاصله‌های زمانی مشخص اعمال می‌گردد.

درمرحله آماده‌سازی سطح، لازم است نسبت به آماده‌سازی با اقدامات دستی و اقدامات مکانیکی، آمادگی سطوح را برای سند بلاست مهیا نمود. همچنین پس از عملیات سند بلاست ممکن است به اقدامات دستی و مکانیکی برای آماده‌سازی جهت رنگ کاری نیاز شود.

تمیزکردن با وسائل دستی(st)

Cleaning with Hand

آماده‌سازی سطح با دست بوسیله برس زدن و سمباده و تمیزکاری با ابزار دستی، stنامیده می‌شود. برای تجهیزات و قطعات و لوله‌ها،تمیز کردن دستی عبارت از روشی است که بتوان مواد زائد روی سطح فلز نظیر رسوبات باقی مانده از کارخانه، رنگ‌های فلزی شل، رنگ‌های با چسبیدگی کم و غیره را با برس دستی، شن، سمباده و کاردک و یا وسائل ضربه‌ای نظیر چکش لاستیکی و یا ترکیبی از وسائل دستی فوق تمیز نمود. در این روش، هدف تمیز کردن کامل سطح فلز از رسوبات کارخانه، زنگ، رنگ و غیره نموده بلکه فقط باید مواد زائد شل را که کاملاً به سطح فلز نچسبیده اند پاک نمود.

روش کار (دستورالعمل) با وسائل دستی
Cleaning with Hand Procedure

تمیز کردن با وسائل دستی شامل مراحل زیر می‌باشد :

۱. مقادیر زیاد روغن یا گریس باید توسط یک حلال فرار تمیز گردد.
۲. زنگ‌های فلزی باید با چکش‌های لاستیکی، سمباده و یا سایر وسائل مناسب با ترکیبی از وسائل فوق تمیز نمود.
۳. رسوبات و تمام زنگ‌های فلزی شل باید با برس، سیمی، شن، سمباده و یا ترکیبی از وسائل فوق تمیز گردد.
۴. برای رنگ کردن مجدداً سطوح قبلاً رنگ شده باید با کاردک رنگ‌های قبلی را که چسبندگی کافی به سطح فلز ندارند را جدا کرد به طوری که رنگ‌های باقی مانده چسبندگی لازم و کافی را دارا باشند.
۵. عاج جوش‌ها و نظائر آن را باید با وسائل دستی مالشی یا ضربه ای نظیر سوهان، سمباده یا چکش‌های لاستیکی از سطح فلز کنده و سپس با برس سیمی تمیز کرد.
۶. اجزاء فولادی متصل به تاسیسات باید کاملاً تمیز گردند. در مورد تاسیسات جدید قسمت‌هائی که بعد از نصب دسترسی به آنها مشکل خواهد بود باید قبل از نصب تمیز شوند.
۷. کلیه پرچها، جوش‌ها، گوشه‌ها، اتصالات و دهانه باید کاملاً تمیز گردند سیم‌های فولادی برس‌های سیمی باید به اندازه کافی مقاومت برای تمیز کردن سطح فلز داشته باشند ضمناً خود برس باید تمیز بوده و به محض آن که کارآئی آن کم شود دور انداخته شود. وسائل تراش (نظیر سوهان و سمباده) باید از مواد مناسب ساخته شده و دارای کارآئی کافی باشد. به طور کلی با وسائل دستی باید طوری کار کرد که نه برآمدگی‌های نوک تیز روی سطح فلز ایجاد شود و نه بریدگی بر جای ماند.
۸. زیر سازی رنگ (در صورتی که لازم باشد) و یا پوشش آستری باید بلافاصله بعد از تمیز کردن سطح و قبل از رنگ زدن مجدد انجام گیرد.

اقدامات ایمنی درتمیزکردن با وسائل دستی
Cleaning with Hand Safety Procedure

- در صورتی که شعله و یا خطر آتش‌سوزی وجود داشته باشد پیشگیری‌های لازم می‌بایست ملحوظ گردد و چنانچه اشیاء و وسائلی که باید رنگ شود آغشته به مواد آتش گیر باشند باید قبلاً تمیز گردند و اگر اشیاء و تاسیساتی که برای رنگ کردن تمیز می‌شوند در مجاورت مواد آتش گیر قرار داشته باشند نباید از وسائل و لوازمی که تولید جرقه می‌کنند استفاده نمود.
- کسانی که با عملیات تمیز کاری سر و کار دارند باید از عینک ایمنی استفاده نمایند.
- در جائی که گرد و غبار وجود دارد استفاده از ماسک‌های هوای صافی دار ضروری است .

تمیزکردن با وسائل مکانیکی (St۲ و St۳)
Mechanical Cleaning

تمیزکاری دستی و ماشینی را با St۲ و تمیزکاری دستی و ماشینی خیلی کامل را با St۳ نشان می‌دهند. این روش زنگ، رسوبات باقی مانده از کارخانه، رنگ‌های پوسته شده و غیره را توسط ماشین‌های مکانیکی نظیر برس‌های سیمی، سنگ سمباده، ماشین‌های ضربه‌ای و یا وسائل ماشینی دیگر و یا مجموعه‌ای از وسائل فوق از سطح فلزیکه باید رنگ شود جدا می‌ماند. هدف از تمیزکردن با این روش از بین بردن کامل زنگ، رسوبات و رنگ نبوده بلکه زنگ‌ها، رسوبات و رنگ‌های شل که چسبندگی کافی ندارند و نیز مواد آلوده‌کننده موجود باید تمیز گردند.

روش کار (دستورالعمل) با وسایل مکانیکی
Mechanical Cleaning Procedure

تمیز کردن با وسائل مکانیکی شامل مراحل زیر می‌باشد :

۱. روغن و گریس باید توسط حلال سبک تمیز گردد.
۲. رسوبات زنگ روی سطح فلز باید توسط وسائل مکانیکی تمیز شود.
۳. کلیه رسوبات و تمام رنگ‌های شل و رنگ‌های پوسته شده باید به طرق زیر از روی سطح فلز زدوده شود. رسوبات، زنگ‌ها و رنگ‌های شل آن‌هایی هستند که توسط برس‌های سیمی مکانیکی که با موتور الکتریکی یا هوای فشرده کار می‌کنند تحت شرایط ۳۴۵۰ دور در دقیقه و یا برس پیاله ای به قطر ۶ اینچ تمیز شوند. نیروی وارده بر برس در این شرایط باید ۱۶ پوند و سرعت تمیز کردن دو فوت مربع در دقیقه باشد این آزمایش باید بر روی سطحی که قبلاً با برس و یا وسائل دیگر تمیز نشده باشد انجام گیرد ولی آلودگی‌ها و روغن و گریس روی سطح فلز باید قبلاً تمیز شده باشد. با استفاده از ماشین‌های برس سیمی با برس‌های دوار با اشکال گوناگون و اندازه‌های متناسب به طوری که بتوان تمام دهانه‌ها، زوایا و اتصالات و گوشه‌ها را تمیز نمود. سیم‌های برس باید به اندازه کافی سخت و تمیز بوده و بر سیم‌هایی که کارآئی کافی ندارند باید دور انداخته شوند. به کار بردن ماشین‌های تمیز کننده ظربه ای نظیر انواع ماشین‌های چکش دار (چکش لاستیکی) و غیره که رنگ و رسوبات روی سطح فلز را به روش ضربه ای تمیز می‌نمایند.
۴. هنگام آماده کردن سطح رنگ شده برای رنگ آمیزی مجدد باید تمام رنگ‌هایی که چسبندگی کافی ندارند از سطح فلز جدا شوند و رنگ‌هایی که روی سطح باقی می‌مانند می‌باید آنچنان به سطح چسبیده باشند که با کاردک و یا تیغ به صورت ورقه از سطح فلز کنده نشوند.
۵. عاج جوش‌ها باید با ماشین از سطح فلز زدوده شوند.
۶. کلیه قسمت‌های وابسته به تاسیسات که دسترسی به آنها ممکن باشد نیز باید تمیز گردند و در مورد تاسیسات جدید قسمت‌هایی که ممکن است پس از نصب غیر قابل دسترسی بشوند باید قبل از نصب تمیز شوند.

۷. پرچها، شکاف‌ها، درزها، نقاط اتصال، سر جوشها و کلیه زوایا باید با برس مکانیکی، رنده و یا چکش‌های لاستیکی سنگ سمباده و یا مجموعه ای از وسائل مکانیکی فوق تمیز گردند.
۸. قسمت‌هایی که تمیز کردن آنها با وسائل مکانیکی امکان نداشته باشد باید با وسائل دستی نیز تمیز شوند.
۹. بعد از تمیز شدن سطح فلز با روش‌های فوق الذکر، گرد وخاک یا مواد دیگر روی سطح نیز مجدداً باید تمیز گردد و چنا نچه هنوز در بعضی نقاط سطح فلز مقادیری روغن یا گریس باقی مانده باشند آنها را به طور موضعه‌ای با حلال باید تمیز کرد.
۱۰. عملیات زبر سازی رنگ (در صورت لزوم) و یا پوشش رنگ آستری باید بلافاصله پس از تمیز کردن انجام پذیرد.

اقدامات ایمنی با وسایل مکانیکی
Mechanicaly Cleaning Safety Procedure

کلیه نکات ایمنی ذکر شده در روش تمیز کردن با وسائل دستی در این روش نیز باید دقیقاً مراعات گردد.

بدلیل بزرگ بودن سطح مخزن نمی‌توان در یک روز، تمام سطح را آماده‌سازی و رنگ‌آمیزی نمود، سطح مخزن را به اندازه‌ای که می‌توانند در یک روز رنگ نمایند آماده‌سازی نموده و همان قسمت را که آماده‌سازی کرده‌اند رنگ می‌نمایند و ادامه کار را در روز بعد انجام می‌دهند. زیرا اگر سطح آماده‌سازی شده را رنگ نزنند بدلیل عریان و فاقد پوشش بودن سطح، سریعاً سطح شروع به زنگ زدن خواهد نمود.

تمیزکاری با شعله(FL)

آماده‌سازی سطح با استفاده از شعله شامل تمیز کردن با شعله و استفاده از شعله جهت سوزاندن مواد چسبیده به سطح و ایجادهاله‌ای از اثر تمیزی با شعله

روی سطح است.

جدول روبرو مقایسه تمیزکاری و آماده‌سازی سطوح درچندین استاندارد بین المللی را نشان می‌دهد.همانگونه که نشان داده شده است استانداردهای آلمان، ایزو و سوئد سختگیرانه ترین دستورات را برای آماده‌سازی سطوح درنظر گرفته اند. این استانداردها برای مخازن نفتی که سرمایه گذاری بالائی را به خود تخصیص می‌دهند، انتخابی هوشمندانه درخصوص اطمینان از نگهداشت و حفاظت از مخزن می‌باشد.

نکته دیگر اینکه درصورتیکه هر یک از استانداردهای فوق، جهت هر پوشش انتخاب شده نیز توصیه‌هائی را جهت آماده‌سازی سطح ارائه نموده‌اند که می‌بایست مطابق آن دستورات، تمیزکاری و آماده‌سازی سطح صورت پذیرد. بعنوان مثال استاندارد ایزو ۸۵۰۱، نوع بسته به نوع پوشش برای درجه‌ای از آماده‌سازی سطح را بصورت جدول زیر تعیین نموده است.

Paint Type نوع رنگ		Required Surface Preparation In Accordance With ISO 8501-1 آماده سازی سطح مورد نظر مطابق استاندارد ISO 8501-1
Zinc Oxide	اکسید روی	Grade Sa 3
Zinc Silicate	سیلیکات روی	Grade Sa 3
Epoxy	اپوکسی	Grade Sa $2\frac{1}{2}$
Oil-Based (Alkyd)	پایه روغنی (الکیدی)	Grade Sa $2\frac{1}{2}$
Others	سایر رنگها	Grade Sa $2\frac{1}{2}$

روش آماده‌سازی	استاندارد آلمان DIN ۵۵۹۲۸	استاندارد بین‌المللی ISO ۸۵۰۱-۱	استاندارد سوئد SIS۰۵۵۹۰۰	استاندارد انگلستان BS ۴۲۳۲	استاندارد آمریکا SSPC (SP۱To۱۰, VISI)	استاندارد ژاپن SPSS
تمیزکاری به روش پاشش	Sa۱	Sa۱	Sa۱	Brush Off Finish Sp۷ برس کشیده	Brush Off Finish Sp۷ برس کشیده	Sd۱ Sh۲
	Sa۲	Sa۲	Sa۲	Third Quality کیفیت سه	Commercial Sp۶ تجاری	Sd۲ Sh۲
	Sa۲$\frac{۱}{۲}$	Sa۲$\frac{۱}{۲}$	Sa۲$\frac{۱}{۲}$	Second Quality کیفیت دو	Near White Sp۱۰ مایل به سفید	Sd۳ Sh۳
	Sa۳	Sa۳	Sa۳	First Quality کیفیت یک	White Metal Sp۵ فلز سفید	---
تمیزکاری با ابزار دستی یا ماشینی	St۲	St۲	St۲	---	تمیزکاری دستی Sp۲	Pt۲
	St۳	St۳	St۳	---	تمیزکاری با ابزار ماشینی Sp۳	Pt۳
تمیزکاری با شعله	FL	FL	FL	---	Sp۴	---
اسیدشویی	Be	---	---	---	Sp۸	---

مرحله ۱: آماده و تمیز کردن سطح فلز
Step 1:Surface preparation and Cleaning

این بخش ازکار با نصب داربست‌های ایمن و مناسب جهت تسلط مطلوب افراد بمنظور شروع عملیات رنگ کاری صورت می‌پذیرد.البته با توجه به نیاز استفاده از داربست جهت سندبلاست نمودن سطوح بیرونی مخزن، و با توجه به توالی عملیات سند بلاست و رنگ‌کاری مخزن ضمن توجه به محدودیت‌های زمانی و رعایت فواصل زمانی این دو عملیات، داربست‌های عملیات سند بلاست تا پایان عملیات رنگ کاری باقی خواهند ماند.

بسته به سطح سقف و سیستم طبقه‌بندی فضاهای محصور، محوطه بالای مخازن ممکن است جزء فضای محصور محسوب شوند و نیازمند مجوزباشد، لذا باید مورد ملاحظه قرار گیرند (به دستورالعمل ورود و کار در فضای محصور MOP-HSED-IN-۲۰۲ مراجعه گردد).

اصول پیشگیری از سقوط که استفاده از سیستم‌های پیشگیری از خطر سقوط را الزام می‌نماید، درحین کار در ارتفاع باید ایجاد و اجرا گردد) به دستورالعمل کار در ارتفاع MOP-HSED-IN-۲۰۱ رجوع گردد).

همانگونه که در بخش سندبلاست توضیح داده شد، قاعده کلی این است که در لوله‌ها و تاسیسات می‌بایست سطح فلز باید با روش شن زنی (Sand Blast)

و یا با دا نه‌های فولادی (Grit Blast) با استفاده از یکی از روش‌های بیان شده Sa، کاملاً تمیز گردد .زیرا زبری سطح مهمترین عامل چسبندگی پوشش بوده وهمچنین قبل از رنگ کردن ابتدا باید سطح آن را خوب تمیز کرده تمام مواد خارجی از قبیل رزین و غیره را از سطح آن پاک نمود، ممکن است رنگ قبلی ترک خورده و وضعیت مطلوبی نداشته باشد که باید با روش‌های دستی و سندبلاست با مش بزرگ آن را برداشت.

مرحله ۲: پوشش آستری اولیه

Step 2:Primery Coating

برای تجهیزات و قطعات غیر از مخازن، روی سطح تمیز شده فلز یک لایه آستری مانندکرومات روی (Zinc Chromate) و در سیستم‌های پلی‌اورتان از اپوکسی غنی شده از روی پوشش می‌شود. به طوری که ضخامت این لایه پس از خشک شدن بین ۷۰تا ۱۰۰میکرون باشد.

برای مخازن لایه اول که بعضا هولدینگ پرایمر نیز نامیده می‌شود، رنگ اپوکسی غنی از روی می‌باشد که خاصیت ضد خوردگی دارد و بدلیل وجود فلز روی (Zn) در این رنگ، موجب حفاظت الکتروشیمیائی ازنوع کاتدی از سطح فلزی مخزن می‌گرددو درکل نوعی حفاظت کاتدی بشمار می‌رود. چسبندگی لایه پرایمر باید به گونه‌ای باشد که حداکثر یک دقیقه پس از اعمال رنگ نتوان با خراش ناخن یا شئی فلزی لایه رنگ را از سطح جدا کرد.

ضخامت رنگ اعمالی پرایمر حدود ۷۰ میکرون بوده و فام آن معمولاً خاکستری یا سفید است. لایه یا آستری عامل مهمی در بیشتر سامانه‌های رنگ می‌باشد و مسئولیت حفظ کیفیت فلز و مهار کل سامانه رنگ به فولاد را بعهده دارد. این عمل ممکن است توسط یکی از دو روش انجام شود که بستگی به طبیعت ناقل‌های آستری دارد. بیشتر رنگ‌ها با استفاده از خاصیت جذب فیزیکی به فلز می‌چسبند (مانند باندهای هیدروژنی)که با نزدیك شدن سطوح به یکدیگر توسعه پیدا می‌کند.ناقل‌های رنگ با گروه‌های قطبی (-COOH- , OH و غیره) خاصیت مرطوب‌شونده خوبی داشته از خود چسبندگی فوق‌العاده‌ای را نشان می‌دهند (اپوکسی، رنگ‌های روغنی، صمغ‌ها و غیره). قوی‌ترین چسبندگی

وقتی اتفاق می‌افتد که آستر عملاً با فلز فعل و انفعال داشته باشد .همان رفتاری که واش پرایمر در عملیات اولیه و یا یك فسفات در تغییر رنگ دارند.

مرحله ۳: پوشش لایه میانی

Step 3: Primery Painting

این آستری جهت سایر تجهیزات غیر از مخزن از نوع اکسید فلزی قرمز رنگ (Red Oxide Metal) از قبیل اکسید سرب است که باید بر روی لایه آستری اولیه زده شود. ضخامت این لایه نیز پس از خشک شدن باید بین ۷۰ تا ۱۰۰ میکرون باشد.

لایه دوم رنگ کاری سطح بیرون مخزن شامل پوشش کامل مخزن از رنگ‌های میانی ازجنس اپوکسی به ضخامت حدود۱۰۰ تا حتی ۵۰۰ میکرون(بسته به شرایط و اقلیم منطقه و نظر کارفرما) است.این رنگ با فام سفید خود،تمام سطح مخزن را مطابق شکل زیر پوشش داده و نفوذ ناپذیری رنگ را به بالاترین حد ممکن می‌رساند.برای سطوح داخلی مخزن ضخامت این لایه برای سیالات و فرآورده‌های نفتی تا حدود ۵۰۰ میکرون نیز پوشش داده می‌شود.

مرحله ۴: رنگ نهائی

Step 4: Final Painting

برای تجهیزات و لوله‌ها و بیرون مخازن، یک لایه رنگ پلی‌اورتان بر روی پوشش میانی پوشش می‌شود به طوری که ضخامت این لایه رنگ پس از خشک شدن حداقل ۱۰۰میکرون باشد.

لایه نهائی رنگ کاری سطح بیرون مخزن مجددا شامل پوشش کامل مخزن از رنگ‌های پلی اورتان به ضخامت حداقل ۱۰۰ میکرون است.دلیل این اقدام، افزایش ضخامت لایه نفوذناپذیر و مستحکم رنگ مخزن بوده و این رنگ نیز با فام سفید خود،تمام سطح مخزن را مطابق شکل زیر پوشش داده و نفوذناپذیری رنگ و مقاومت درمقابل تشعشعات خورشیدی را به ماکزیمم مقدار می‌رساند.

بازرسی حین و بعد رنگ آمیزی

Painting Inspecting

قبل از اعمال هر لایه وپس از اعمال بازرس رنگ سطح مخزن را بازرسی می‌کند و در صورت تایید وی و وضعیت جوی پایدار و آفتابی بدون گرد و خاک و... اجازه رنگ آمیزی داده می‌شود. بررسی‌های ایرادات حین رنگ‌کاری و بازرسی‌های پس از اتمام کار می‌بایست مطابق استانداردهای بازرسی این فعالیت صورت پذیرد. بطور خلاصه به اهم موارد زیر در این خصوص می‌توان اشاره نمود.

یادآوری ها	پیشنهادها	علت احتمالی	نحوه تعیین کردن	ایرادات بالقوه درمحیط	مرحله کار و آئین نامه
	دما را تا سطح قابل قبول اصلاح کرده ، اما جزء با محدوده مشخص شده هیچ گواهینامه ای مجاز نمی‌باشد.گرمکن‌های شعله ای را بکار نبرید.	تهویه مطبوع ضعیف در کارها یا هوای خارجی بسیار سرد و طوفانی	هوا و دماسنج‌های تماسی	خیلی سرد و زیر ۴ درجه سانتیگراد	۱
اگر لازم است برنامه را جهت اجتناب از شرایط داغ مجددا مرتب نمائید.	دما را تا زیر ۳۵ درجه سانتیگراد یا تا هرقدر کاهش دهید.	سطوح گرم شده	دماسنج تماسی	خیلی گرم	۲
سعی کنید قبل از اینکه رنگ آماده شود از برداشتن شبنم خودداری کنید.	تهویه مطبوع را تا میزان قابل قبول اصلاح کنید.	تهویه مطبوع ضعیف در کارها یا هوای خارجی بسیار سرد و طوفانی	رطوبت سنج چشمی	خیلی مرطوب	۳
نواحی مجاور به محل تمیزکاری و رنگ آمیزی روکش اضافی لازم است. -برای جلوگیری از آلوده شدن رنگ به روکش‌ها نیاز است	عملیات را با ورق‌های مناسب حفاظت کنید. اما از ایجاد چگالش اجتناب کنید. تهویه مناسب تهیه نمائید.	باران –تگرگ –برف و یا چگالش	دیدن با چشم و یا با مشاهده رطوبت	خیلی تر	۴

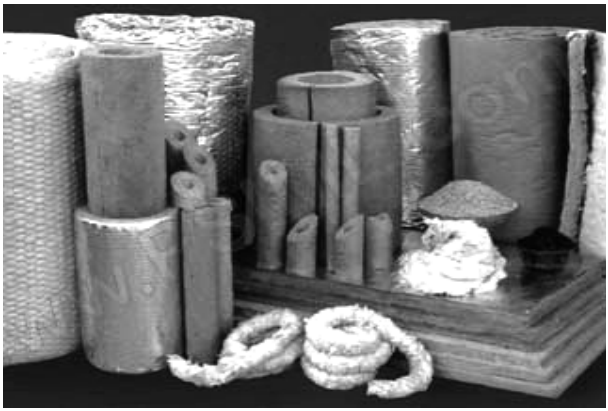
جائی که مناسب است را با روشنائی سنج تائید کنید.	روشنائی را اصلاح و شیشه‌ها را تمیز نمائید.	کافی نبودن روشنائی و یا گرد روی روکش شیشه‌ای	روئیت چشمی	خیلی تاریك	۵
	قطعه کار را محافظت کنید یا تا فروکش کردن به تاخیر بیاندازید. قطعه کار را از گرد و خاك ناشی از بلاست حفاظت نموده یا تهویه را اصلاح کنید.	وزش باد خیلی زیاد و یا خارج کردن ضعیف گرد و خاك	روئیت چشمی	گرد و خاك زیاد	۶
	tlvتهویه را تا نقطه ای که حلال‌ها بیشتر نشود و یا تامین هوای تازه برای کارکنان بهبود یابد ادامه دهید.	تهویه ضعیف	احساس بو داشتن و یا با وسایل ابزار دقیق	آلودگی هوا	۷
	-ماده را به طور صحیح سازگار نمائید -ابزارهای پاشش را موازی شیء نگهدارید. -ابزارپاشش آماده بکار انتخاب نمائید. -از رقیق کننده‌های سازنده استفاده کنید -مطمئن شوید که به اندازه کافی جریان زیاد شسته می شود. - پیشنهادات کاربردی مندرج در اوراق داده‌های فنی را دنبال کنید.	گرانروی غلط پاشش ، روش فنی پاشش - دمای محفظه پاشش - نصب ناقص ابزار پاشش –مناسب نبودن رقیق کننده‌ها	روئیت چشمی	ابری شدن	۸

	-همیشه تزئین خارجی را حذف کنید. -با وزش هوا به دقت خشک کنید. -بطور مرتب تجهیزات تهیه هوا را آزمایش کنید. -از تبخیر / عمل آوری محصولات آب دار مطمئن شوید. -قبل از فرآیند و پاشش ، مطابق با دستورالعمل ها تمیز کنید. -تمام کار تکمیلی آلوده را برداشته و مجددا رنگ آمیزی کنید.	- ته نشست آب ماسه دار در گوشه‌ها، لبه‌ها، فاق‌ها و زیر نوارهای تزئینی -ورود هوای آلوده -کافی نبودن جداسازی پلی استرها -رطوبت هوای خیلی زیاد -محصولات حامل آب به طور کامل تبخیر یا عمل آوری نشده اند - باقی مانده‌های نمک خشک شده	روئیت چشمی	رطوبت موجب تاول زدن	۹

- کلیه مراحل رنگ‌آمیزی باید توسط نماینده کارفرما مورد بازرسی دقیق قرار گیرد.
- کار و موادی که توسط نماینده کارفرما به دلیل عدم تطابق با مشخصات مردود شناخته شود باید توسط پیمانکار تصحیح شده و جایگزین گردد.
- هنگام رنگ‌آمیزی می‌بایست با استفاده از یک دستگاه رطوبت سنج در میزان رطوبت مجاز هوا جهت امکان تداوم رنگ کاری دراختیار باشد وهمچنین بااستفاده ازیک دستگاه ضخامت سنج، ضخامت رنگ در مراحل مختلف اجرا مورد ارزیابی قرارگیرد تا میزان پاشش رنگ بر روی سطح را کنترل گردد. کلیه تستها از قبیل ضخامت سنجی بایستی بر اساس روش‌های اعلام شده در استاندارد SSPC-PA۲ انجام گیرد. دستگاه میکرو تست باید بعد از هر اندازه‌گیری توسط کالیبراسیون آن دستگاه کالیبره شود.
- همچنین میزان چسبندگی رنگ پس از اعمال هر لایه و سفت شدن آن می‌بایست بوسیله ابزار تست چسبندگی از قبیل نوار سنجش چسبندگی بر اساس استانداردهای ذیربط مورد ارزیابی قرار گیرد.
- تمامی دستگاه‌های مورد استفاده در تستها باید بطور مداوم کالیبره شود.

فصل چهارم

اصول عایق‌کاری
principles of insulating



استانداردهای مورد استفاده در عایق‌ها

- ISO 23993. EN. Thermal insulation products for building equipment and industrial installation
- ASTM Practice C 680.Standard Practice for Stimate of the Heat Gain ...
- ASTM E 119.Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials
- EN ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installation

استانداردهای عایق‌های رطوبتی

- ASTM E 96 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials
- ASTM E 1643 Standard Practice for Installation of Water Vapor Retarders Used in Contact with Earth or Granular Fill Under Concrete Slabs
- ACI 302.2R-06 Guide for Concrete Slabs that Receive Moisture-Sensitive Flooring Materials

نقش عایق‌ها درصنایع نفت

عایق‌های حرارتی ترکیبی از موادی هستند که هدف از کاربرد آنها ممانعت از انتقال حرارت و انرژی است. ممکن است دلایلی چون جلوگیری از اتلاف انرژی، کنترل دمای سطح تجهیزات جهت حفظ ایمنی افراد، حفظ تجهیزات از سرما و یخبندان محیط ،افزایش راندمان سرد سازی و گرم سازی سیستم‌ها،جلوگیری از خوردگی تجهیزات،جلوگیری ازآتش‌سوزی و ضد حریق نمودن تجهیزات،کاهش میزان مصرف انرژی و ... بعنوان اهداف اصلی کاربرد عایق‌ها قلمداد شوند.موادی که بالای ۸۰۰ درجه سانتیگراد تحمل نموده و سرویس می‌دهند بعنوان مواد نسوز یا رفراکتوری (Refractory) وموادی که کمتر از ۷۰ درجه زیر صفرسرویس دهی نمایند مواد کرایوژنیک اتلاق می‌گردد.هیچکدام از این دو دسته مواد درانبارهای شرکت پخش فرآورده‌های نفتی درشرایط عادی سرویس‌دهی نمی‌نمایند. لذا عایق‌هائی که این دماها را حمایت نمایند نیزقابل استفاده درفرایندهای جاری این انبارها نیستند.

نکته قابل توجه در این خصوص استفاده از عایق‌های رفراکتوری در جهت ایمنی تجهیزاتی است که ممکن است درمعرض حریق ناخواسته ای واقع شده و به منظور محافظت از ذوب، خرابی و عدم سرویس در شرایط حریق توسعه یافته، ازاین دسته عایق‌ها استفاده گردد.

کاربرد عایق‌ها درصنایع گوناگون، بسته به انتظاری که از کاربرد آن عایق می‌رود، شامل دو دسته کلی زیر است:

- کاربرد جهت سرویس‌دهی بعنوان ضدحریق یاعایق‌های ضدآتش (Fire-retardant)
- کاربرد بعنوان مانع از اتلاف حرارت یا سرما یا عایق‌های حرارتی نسوز(Refractory)

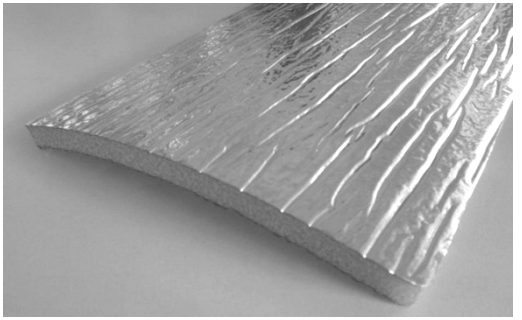
درکاربردهای ضد حریق، هدف از استفاده عایق، ایجاد و افزایش مقاومت تاسیسات و تجهیزات و ممانعت عدم سرویس دهی پاره ای از تجهیزات بواسطه حرارت، درصورت بروزآتش‌سوزی تا زمان کنترل حریق و خاموش سازی آتش است.

درکاربردهای ممانعت ازاتلاف گرما یا سرما،هدف اصلی ازکاربرد عایق، حفظ گرما یا سرمای فرایند و یا ممانعت از گرم شدن دراثر تابش خورشیدی یا سرد شدن ویخ زدگی دراثر سرمای محیط است.

بدین منظور دردودسته مشروحه فوق، کاربردعایق‌ها شرح داده خواهند شد.

عایق‌های ضدآتش

Fire-Retardant Insulation

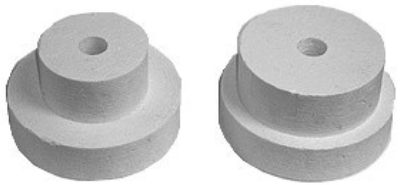


درحقیقت ماده‌ای به نام عایق ضد آتش (Fire-proof) یا ترکیبی که واقعا نسوز باشد، وجود ندارد. هرماده‌ای، وقتی دما به اندازه کافی بالا رود می‌سوزد یا اگر شعله‌ور نشود، ذوب می‌شود. اما دمای سوختن مواد مختلف با هم فرق می‌کند. در حالت کلی، عایق‌های ضدآتش (Fire-proof) یا جلوگیری‌کننده آتش (Fire-retardant)، به موادی گفته می‌شود که می‌توانند مدت زمان بسیار بیشتری در مقابل حرارت ناشی از شعله‌های آتش معمولی مقاومت کنند و یا نقش اصلی آنها، جلوگیری از انتشار آتش به قسمت‌های دیگر باشد. باید توجه داشت که عایق‌های ضدآتش، الزاما نرخ انتقال حرارت را کاهش نمی دهند و به عنوان عایق حرارتی عمل نمی‌کنند و تنها وظیفه مقابله با آتش را دارند. به عبارت دیگر عایق‌های Refractory و عایق‌های ضدآتش (Fire-retardant) با هم تفاوت دارند.

بطور کلی منظور از عایق ضدآتش (Fire-Retardant)، عایق یا سیستمی است که به اطفای حریق کمک کرده و یا از انتشار آتش جلوگیری کرده و یا آن را تا حد امکان به تعویق انداخته و یا بطور کلی در مقابل شعله آتش، مقاوم است. این دسته از عایق‌ها، دامنه وسیعی از مواد و مکانیزم‌ها را شامل می‌شوند. از جمله این عایق‌ها می‌توان به عایق‌های پف کننده (Intumescent)، املاح نسوز شامل آجر و سیمان نسوز، انواع پارچه‌های نسوز، تخته‌های پلی وود و پشم سنگ و غیره اشاره نمود.

عایق‌های دمای بسیار بالا (نسوز)

Refractory Insulation



منظور از عایق نسوز (Refractory)، عایقی است که نرخ انتقال حرارت را در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰۰C به مقدار قابل توجهی می‌کاهد. از آنجایی کاهش ضریب مقاومت حرارتی یا افزایش ضریب انتقال حرارتی عایق‌ها (و به طور کلی هر ماده دیگری در طبیعت)، با دمای کاری نسبت مستقیم دارد، بسیاری از عایق‌ها در دماهای بسیار بالا، خاصیت عایق بودن خود را از دست می‌دهند. بنابراین عایق‌هایی که در این گونه دماها می‌توانند کار کنند، عایق‌های مخصوص بوده و به آنها اصطلاحا نسوز یا Refractory گفته می‌شودکه مثال پرکاربرد آنها الیاف سیلیکات کلسیم یا پشم سرامیک می‌باشد. گرچه به این عایق‌ها اصطلاحا نسوز گفته می‌شود، اما این دسته از عایق‌ها عملا در مقابل شعله آتش مقاوم نبوده و الزاما جلوی انتشار شعله را نمی گیرند. عایق‌های نسوز در زمره عایق‌های حرارتی قرار می‌گیرند.

این نوع عایق‌ها توانایی حمل دمای بسیار بالایی را دارند و بیشتر در صنایع خاص مانند کوره‌های ذوب و کوره‌های عملیات حرارتی و همچنین به عنوان عایق ضد آتش استفاده می‌شوند. نوع بسیار رایج این نوع عایق در بازار, پشم سرامیک است که نوع V آن تا دمای ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد را نیز تحمل می‌کند. همچنین سیلیکات کلسیم نیز از انواع عایق‌های نسوز محسوب می‌شود. برخی از انواع خاص پشم سنگ که رزین‌های مخصوص دارند, می‌توانند دماهای بسیار بالا را تحمل کرده و در این دسته بندی جای گیرند. بیشتر مواد نسوز که در مصارف ساختمانی و برای دماهای بسیار بالا (بالاتر از ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد) استفاده می‌شوند, شامل ماسه,شن,آجر نسوز می‌شود که در دسته خاصی از عایق‌ها قرار می‌گیرند.

در حالت مقابله با آتش به صورت غیرفعال، پوشش‌ها به دو دسته اصلی متوقف کننده‌های آتش (Fire-stop) و محافظت کننده‌ها در مقابل آتش (Fire-proofing) تقسیم بندی می‌شوند.

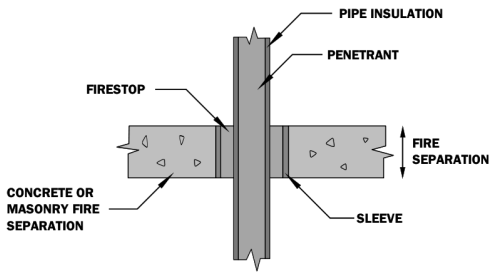
عایق‌های متوقف کننده آتش

Fire-stop Insulation

مفهوم عایق‌های متوقف‌کننده آتش در برگیرنده سیستم‌ها یا مواد محافظت‌کننده در مقابل آتش است که بر اتصالات و راهگاه‌ها، در دیوارها و سازه‌هایی که باید در مقابل آتش مقاوم باشند، اعمال می‌شوند. متوقف‌کننده‌ها درعمل، ازانتشارآتش ازقسمتی به قسمت دیگرسازه، جلوگیری می‌کنند یا سرعت انتشار را به شدت کاهش می‌دهند. در صورت عدم استفاده از متوقف‌کننده‌ها، اثر مواد محافظت‌کننده در مقابل آتش و عایق‌ها به شدت کاهش یافته و آتش از طریق منافذ و راه‌های ارتباطی و اتصالات، به دیگر قسمت‌ها سرایت می‌کند.

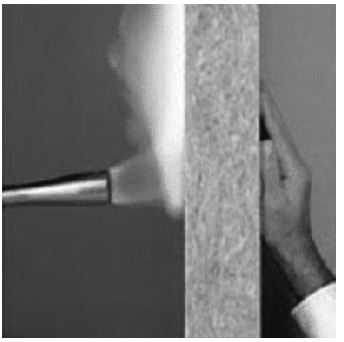
متوقف‌کننده‌های آتش عبارتند از: پف‌کننده‌ها (Intumescent)، ملات و ساروج ضدآتش، سیلیکن، بالشتک‌های متوقف‌کننده آتش، پشم‌های معدنی و ترکیبات لاستیکی.

محل‌هایی که معمولاً متوقف کننده‌های آتش باید نصب شوند، عبارتنداز: ورودی سیم‌ها و کابل‌های الکتریکی، اتصالات مکانیکی، اتصالات سازه‌ای، قسمت‌هایی که قرار است تجهیزات مکانیکی یا الکتریکی از آنها عبور کنند (مانند دریچه‌ها).



عایق‌های محافظت کننده در مقابل آتش

Fireproofing Insulation



عایق‌های محافظت‌کننده در مقابل آتش شامل مواد، فعالیت یا سیستمی است که نرخ مقاومت اجزاء ساختمان و سازه‌ها را در مقابل حریق، به صورت غیرفعال (Passive) افزایش می‌دهد. عبارت ضدآتش یا Fire-proof الزاما بدین معنی نیست که ماده در مقابل آتش اصلا نمیسوزد، بلکه رتبه بندی ماده در تست مقابله با آتش و حرارت تحت شرایط خاص را نشان می‌دهد.

مقاومت در مقابل آتش: میزان مقاومت در مقابل آتش، به یکی از روش‌های زیر تعریف می‌شود:

- مقاومت در مقابل فرو ریزش که عبارت است از حفظ استحکام مکانیکی المان تحت بار و در معرض شعله مستقیم، در مدت زمان مشخص
- مقاومت در مقابل نفوذ آتش که عبارت است از حفظ یکپارچگی المان در عدم سرایت آتش به سایر المان‌های ساختمان
- مقاومت حرارتی که عبارت است از جلوگیری انتقال حرارت از درون المان به سایر المان‌های ساختمان
- باتوجه به مطالب اخیر،مقاومت سازه در مقابل آتش‌سوزی را با کاربرد این نوع عایق می‌توان بهبود بخشید.هدف از مقاوم سازی ساختمان در مقابل آتش، عبارت است از:
- به حداقل رساندن خطر جانی برای افرادی که درون ساختمان در موقع

آتش‌سوزی گیر می‌افتند.

- به حداقل رساندن خطر جانی برای آتش نشان‌ها و نیروهای اطفای حریق
- به حداقل رساندن خطر جانی همسایگان و خطر آسیب سازه‌های مجاور

درجه بندی مقاومت در مقابل آتش

Fire-resistance Rating

درجه‌بندی مقاومت در مقابل آتش عبارت است از مدت زمانی که سیستم‌های غیرفعال محافظ آتش (Passive Fire Protection Systems) می‌توانند در تست مقاومت در مقابل آتش، دوام بیاورند. معیار گریدبندی می‌تواند زمان اندازگیری شده مقاومت در مقابل آتش و یا بسته به نیاز هر تست، هر پارامتر قابل اندازگیری دیگر باشد.

در کشورهای مختلف، رتبه‌بندی مواد مقاوم در مقابل آتش و عایق‌ها و پوشش‌های ضدآتش متفاوت بوده و صدها معیار و مدل رتبه‌بندی و گریددهی مواد وجود دارد.

در بیشتر کشورها، نمونه‌های مورد تست، از نوع نمونه‌های ساختمانی است، به خصوص قسمت‌های مربوط به لوله‌های پلاستیکی و محل عبور کابل‌ها. چرا که این قسمت‌ها، آتش را به صرعت به نواحی دیگر ساختمان منتقل می‌کنند. نمونه ساخته شده برای تست، مرکب است از قسمت شبیه سازی شده از ساختمان که لوله‌های پلاستیکی و کابل از مقاطعی از آن عبور می‌کند. پوشش غیرفعال ضدآتش، مانند ساروج ضدآتش یا پوشش‌های به اصطلاح پف کننده (Intumescent)، برروی قسمت‌های مورد نظر پوشش داده می‌شود. نمونه تست درون کوره تست قرار میگیرد به طوری که یک طرف آن در معض شعله آتش باشد. تست وقتی متوقف می‌شود که نمونه، مطابق با معیار سنجش انتخابی، در به حداقل رساندن نرخ پیشروی آتش و انتشار دود، موفق عمل کند.

Thickness of concrete for fire endurance, in.				
	Fire Resistance Rating, hr.			
Aggregate	1 hr.	2 hr.	3 hr.	4 hr.
All lightweight	2.47	3.56	4.35	5.10
Sand-lightweight	2.63	3.76	4.62	5.37
Carbonate	3.25	4.67	5.75	6.63
Siliceous	3.48	5.00	6.15	7.05

استاندارد رتبه بندی مصالح و املاح ساختمانی عبارت است از ASTM E ۱۱۹ می‌باشد که طبق آن ضخامت دیوارها و مصالح ساختمانی، نباید کمتر از مقدار حداقل عنوان شده در آزمایشات عنوان شده دراین استاندارد برای داشتن مقاومت حرارتی مورد نیاز باشد.

محاسبات عایق‌های حرارتی

Refractory Insulation Calculation

بر اساس تعاریف انتقال حرارت و همچنین استانداردهای ASTM C ۶۸۰ و EN ISO ۱۲۲۴۱ مقدار میزان انتقال حرارت از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$q=(\theta_i-\theta_a)/RT$$

که در آن:

عبارت θ_i دمای داخلی لوله و θ_a دمای خارجی لوله و محیط RT مجموع مقاومت حرارتی همه لایه‌های عایق روی لوله به اضافه مقاومت حرارت سطوحی خارجی و داخلی خود لوله هستند.

برای محاسبه میزان انتقال حرارت، اول لازم است مقاومت حرارتی هر لایه عایق را محاسبه نمود. ضریب مقاومت حرارتی عایق(R-value)با پارامترهای متعددی چون ضخامت، دمای متوسط کاری، قطر خارجی لوله، ضریب انتقال حرارت (k-value) تغییر می‌کند. در حالت ساده شده، می‌توان ضریب مقاومت

حرارتی هر لایه عایق را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$R = Ln(D_o/D_i)/2\pi\lambda$$

که در آن عبارت D_o بیانگر قطر خارجی عایق، D_i بیانگر قطر داخلی عایق و λ بیانگر ضریب انتقال حرارت عایق در دمای متوسط کاری است.

محاسبه ضریب مقاومت حرارتی سطوح داخلی و خارجی لوله‌ها، پیچیده بوده و نیازمند در اختیار داشتن ضریب انتقال حرارت سطوح داخلی و خارجی لوله است که این ضرایب با روش‌های تجربی بدست آمده و در استانداردهای مختلف متفاوت هستند. برای توضیحات بیشتر در مورد تخمین ضریب انتقال حرارت سطوح داخلی و خارجی لوله به استانداردهای ASTM C ۶۸۰ و EN ISO ۱۲۲۴۱ مراجعه نمائید.

تخمین مقدار حرارت از دست رفته و یا جذب شده:

در حالت یک بعدی و حالت پایدار (Steady State) نرخ جریان حرارت از درون عایق را می‌توان از رابطه فوریه به شرح زیر بدست آورد:

$$q = -k.A.dT/dx$$

که:

q نرخ انتقال حرارت است (J/hr- ژول بر ساعت)

A مساحت مقطعی است که حرارت از آن عبور می‌کند.

k ضریب انتقال حرارت ماده عایق است ($J/hr.m.^{\circ}K$- ژول بر ساعت متر درجه کلوین).

و dT/dx گرادیان دما در طول ضخامت عایق بوده و بیانگر اختلاف دما در دو طرف عایق می‌باشد.

برای سطوح تخت و ضخامت محدود، رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q = k.A.(T_1 - T_2)/X$$

که:

X ضخامت عایق است (m).

T_1 دمای ناحیه گرم‌تر (دمای بالاتر) بوده و T_2 دمای ناحیه سردتر (دمای پایین تر) است.

برای لوله‌ها و عایق‌های لوله ای، رابطه فوق به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$Q = k.A_2.((T_1-T_2) / (R_2.Ln(R_2/R_1))$$

که:

R_1 شعاع داخلی عایق لوله‌ای (m) و R_2 شعاع خارجی عایق لوله‌ای (m) هستند.

A_2 مساحت خارجی عایق لوله ای است (m^2) (با احتساب R_2 به عنوان شعاع خارجی، $A_2 = 2\pi R_2 L$ که L طول عایق لوله‌ای است.)

به عبارت $R_2.Ln(R_2/R_1)$ گاهی ضخامت معادل لایه عایق نیز می‌گویند.

محاسبه ضخامت عایق

Insulation Thickness Calculation

یکی از مسائلی که در عایق‌ها به وفور دیده می‌شود، محاسبه ضخامت مناسب عایق است به طوری که دما در سطح عایق به حد دلخواهی برسد. مثلاً می‌خواهیم ضخامت عایق مخزنی را حساب کنیم به طوری که دمای داخل آن ۳۰۰°C بوده و دمای سطح خارجی عایق به ۸۰°C برسد. دمای محیط نیز ۲۰°C است.

در انتقال حرارت به صورت حالت پایدار (Steady State)، مقدار حرارت جریان یافته از طریق انتقال از درون عایق برابر است با حرارتی که از سطح عایق به وسیله همرفت و تابش، محیط اطراف داده می‌شود. بنابراین:

$$q_{ins} = q_{surf}$$

و یا به عبارت دیگر:

$$(k/X).A.(T_{hot} - T_{surf}) = h.A.(T_{surf} - T_{amb})$$

که X ضخامت عایق است.

با مرتب کردن رابطه فوق برحسب X، رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$X = (k/h)[(T_{hot} - T_{surf}) / (T_{surf} - T_{amb})]$$

از آنجایی که بدست آوردن مقدار دقیق h دشوار است، در متون مهندسی، معمولاً نسبت k/h را، که عبارت است نسبت ضریب انتقال حرارت عایق به

ضریب سطحی عایق، تقریبا برابر ۰٫۰۰۱ الی ۰٫۰۱ درنظر میگیرند.

بنابراین با داشتن دماهای مطلوب و محیط و تقریب نسبت k/h می‌توان ضخامت عایق را محاسبه کرد. برای مثال فوق می‌توان نوشت:

$$T_{hot} = ۳۰۰^{\circ}C$$

$$T_{surf} = ۸۰^{\circ}C$$

$$T_{amb} = ۲۰^{\circ}C$$

$$X = (۰٫۰۰۷۵)\,[(۳۰۰-۸۰) / (۸۰-۲۰)] = ۰٫۰۲۷۵m = ۲۷٫۵mm$$

البته نسبت k/h تابع جنس و ضخامت و سطح عایق است و درصورت امکان، بهتر است نسبت دقیق k/h مشخص شود.

وقتی حرارت از طریق انتقال، به سطح خارجی عایق رسید، مکانیزم‌های انتقال حرارت به همرفت و تابش تغییر می‌کنند. معمولاً فرض می‌شود که این مکانیزم‌ها، همزمان با هم عمل می‌کنند و بنابراین برای سطح باید ضریب ترکیبی از هر دو مکانیزم درنظر گرفته شود:

$$h_s = h_c + h_r$$

که:

h_s ضریب انتقال حرارت ترکیبی است $(J/hr.m^{۲}.^{\circ}K)$

h_c ضریب انتقال حرارت همرفت می‌باشد $(J/hr.m.^{\circ}K)$

h_r ضریب انتقال حرارت تابشی از سطح است $(J/hr.m.^{\circ}K)$

با فرض اینکه تابش، در همان دمای محیط رخ می‌دهد، مقدار جریان حرارت از سطح عبارت است از:

$$q = hs.A.\,(T_{surf} - T_{amb})$$

که:

T_{surf} دمای سطح خارجی عایق و T_{amb} دمای محیط هستند.

ضریب انتقال حرارت تابشی hr را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد:

$$hr = \varepsilon.\sigma.\,(T_{surf}^{۴} - T_{amb}^{۴}) / (T_{surf} - T_{amb})$$

که:

ε ضریب تابش سطح است.

σ ضریب ثابت بولتزمان است و مقدار آن برابر$(J/hr.m^{۲}.^{\circ}K)$ ۰٫۱۷۱۴ * $۱۰^{-۸}$

می‌باشد. مقدار ضریب تابش هر سطح عبارت است از نسبت مقدار تابش آن سطح به مقدار تابش جسم سیاه. ضریب تابش تابعی از جنس ماده، شرایط و پرداخت سطح و دما است. مقدار این ضریب را می‌توان از کتب انتقال حرارت و استانداردها و مشخصات فنی و فیزیکی مواد مختلف استخارج نمود. همچنین ضریب انتقال حرارت همرفت h_s بسته به شرایط مسئله و دمای محیط، با تجربه و آزمایش بدست می‌آید و رابطه دقیقی ندارد. اطلاعات عمومی در مورد تخمین ضریب h_s را می‌توان در ASTM Practice C ۶۸۰ یافت.

جنس ومحدوده موثربودن عایق‌ها

Effectiveness Of Insulation

اینکه عایق از چه جنسی باشد، تاثیر مهمی در محاسبات و عملکرد عایق‌کاری لوله‌ها خواهد داشت. موادی که برای عایق کاری لوله‌ها استفاده می‌شوند، عمدتاً از انواع پشم معدنی، پشم شیشه، فوم‌های انعطاف‌پذیر الاستومری و فوم‌های صلب هستند.

پشم‌های معدنی، شامل پشم سنگ و پشم سرباره، از الیاف غیرارگانیک تشکیل شده اند که توسط رزین ارگانیک به هم متصل شده اند. پشم‌های معدنی مقاومت حرارتی بسیار بالایی داشته و تقریبا در تمامی اندازه‌های استاندارد لوله‌های صنعتی یافت می‌شوند. از پشم سنگ هم به عنوان عایق حرارتی و هم به عنوان عایق صوتی و ضدآتش استفاده می‌شود.

پشم شیشه نیز، مانند پشم سنگ از الیاف غیرارگانیک شیشه که بوسیله رزین ارگانیک به هم متصل شده‌اند، ساخته شده است. مانند عایق‌های الیاف معدنی، پشم شیشه نیز در هم در عایق‌کاری حرارتی و هم در عایق‌کاری صوتی بکار می‌رود. پشم‌های معدنی و پشم شیشه، عایق گرم محسوب می‌شوند.

فوم‌های انعطاف پذیر، فوم‌های نرم ساخته شده از لاستیک الاستومر NBR یا EPDM و یا فوم‌های پلی اتیلنی (XPE /EPE) هستند. اینگونه فوم‌ها، عایق سرد محسوب شده و مقاومت به نفوذ بخار بسیار بالایی دارند به طوری که دیگر نیاز به پوشش بخار خارجی ندارند. مقاومت بخار عالی فوم‌های انعطاف‌پذیر

به همراه تابش مناسب سطح لاستیک، فوم‌های انعطاف‌پذیر را عایقی ایده آل با ضخامت کم برای جلوگیری از چگالش و تبرید در عایق کاری لوله‌های سرد، معرفی می‌کند. به این ترتیب، فوم‌های انعطاف پذیر، به مقدار قابل توجهی در یخچال‌ها، مبردها، سردخانه‌ها و سیستم‌های تهویه مطبوع، استفاده می‌شود. از فوم‌های الاستومری و XPE در خطوط لوله گرم نیز استفاده می‌شود.

از فوم‌های صلب پلیمری مانند فنولیک و پلی یورتان و یاپلی استایرن نیز در عایق کاری لوله‌ها استفاده می‌شود. این گونه فوم‌ها، ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی دارند ولی خواص ضد آکوستیکی بسیار ناچیزی دارند. این فوم‌ها به صورت تزریقی یا پیش شکل‌های آماده در ابعاد استاندارد لوله‌ها، در بازار موجود هستند.

یکی از مهمترین پارامترها در انتخاب نوع عایق، محدوده دمای کارکردی عایق است. برای هر عایق، بسته به جنس آن، محدوده دمای کاری مشخصی تعریف می‌شود: بدین معنی که عایق در آن محدوده دمایی، بهترین عملکرد را خواهد داشت. برخی عایق‌ها، در خارج از محدوده دمای کاری, خواص خود را از دست می‌دهند. مثلاً عایق‌های سلولی پلی اولفینی، جزء عایق‌های ترمو پلاستیک (Thermoplastic) محسوب می‌شوند به طوری که اگر دما، به بیش از محدوده دمای کاری برسد، ناگهان دچار تغییر شکل پلاستیک شدید می‌شوند. بنابراین, قبل از عایق کاری باید شرایط و دمای محیط و سیستمی که قراراست عایق شود, مشخص شود و با توجه به محدوده دمای کاری، عایق مناسب انتخاب شود. عایق‌ها را می‌توان از نظر محدوده دمای کاری به سه دسته گرم و سرد و دما متوسط تقسیم‌بندی نمود.

عایق‌های گرم

High Temperature Insulation

عایق‌های گرم بیشتر برای عایق کاری نواحی و تجهیزاتی استفاده می‌شوند که دمای کاری آنها بیشتر از دمای اتاق است. همچنین این عایق‌ها به عنوان عایق حرارتی مخصوص ساختمان و عایق کاری دیوارها و سقف‌ها نیز استفاده می‌شوند. ازعایق‌های گرم می‌توان در عایق کاری خطوط انتقال گرم نیز, مانند موتور خانه‌ها, سیستم‌های گرمایش و دودکش‌هااستفاده کرد.محدوده دمای کاری این نوع عایق‌ها معمولاً بین ۲۵ درجه سانتی‌گراد الی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. انواع رایج عایق‌های گرم در جدول زیر ارائه شده‌اند:

نوع عایق گرم	محدوده دمای کاری (متوسط)
پشم سنگ	۲۰°C- الی ۶۰۰°C
پشم سرباره	۲۰°C- الی ۶۰۰°C
پشم شیشه	۲۰°C- الی ۴۵۰°C
پشم سرامیک	۲۵°C- الی ۱۰۰۰°C
فوم شیشه	۴۵۰°C- الی ۴۵۰°C
پرلیت قالب گیری شده	۷۵°C الی ۴۵۰°C
ایروژل	۵۰°C الی ۵۰۰°C
عایق فله ای	معمولاً از جنس پشم سنگ، شیشه یا پلی یورتان است

عایق‌های سرد

Low Temperature Insulation

عایق‌های سرد بیشتر برای عایق کاری خطوط سیستم‌های تهویه و کانال‌های انتقال گاز یا مایعات استفاده می‌شود. این نوع عایق‌ها معمولاً ضریب نفوذ آب و بخار بسیار پایینی دارند و در نتیجه از چگالش (تبرید) بخار جلوگیری می‌نمایند. این خاصیت آنها برای عایق‌کاری سردخانه‌ها، یخچال‌ها و خنک سازها، عایقی ایده آل معرفی می‌کند. محدوده دمای کاری این نوع عایق‌ها به طور متوسط بین ۱۰۰- الی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. در صورتی که دمای محیط یا خط انتقال لوله , از محدوده دمای کاری فراتر نرود، می‌توان از این نوع عایق‌ها در عایق‌کاری خطوط گرمایش مانند شوفاژ و موتورخانه نیزاستفاده کرد. انواع عایق‌های سرد موجود در بازار در جدول زیر ارائه شده‌اند:

نوع عایق سرد	محدوده دمای کاری (متوسط)
فوم‌های الاستومری (NBR & EPDM)	۱۸۰°C- الی ۱۰۰°C
پلی استایرن (EPS / XPS)	۱۸۰°C- الی ۷۵°C
فوم‌های پلی اتیلن (EPE / XPE)	۱۰۰°C- الی ۱۱۰°C
فوم پلی یورتان	۳۰°C- الی ۱۱۰°C
فوم شیشه	۴۵۰°C- الی ۴۵۰°C
فنولیک	۱۸۰°C- الی ۱۲۵°C
فوم پلی ایزوسیانورات	۱۷۰°C- الی ۱۵۰°C

ضمیمه ۱

آیین نامه ارت (Earth)

زمین (ارت: Earth):رسانندگی جرم زمین را در صورتی که پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از زمین به صورت قراردادی برابر صفر در نظر گرفته شود، زمین (ارت) می‌نامند.

سیستم اتصال به زمین (ارتینگ: Earthing):یك یا چند الکترود همراه با سیم‌های ارت را که قابلیت اتصال به ترمینال اصلی داشته باشند، سیستم اتصال به زمین (ارتینگ) می‌نامند.

الکترود ارت (زمین: Earth Electrode):رسانا یا گروهی از رساناهای متصل به هم است که اتصال الکتریکی به زمین را فراهم می‌کنند.

مقاومت الکترود ارت(Total Earthing Resestance) :مقاومت بین ترمینال اصلی زمین و کره زمین است.

امپدانس حلقه اتصال به زمین(Earthing Loop Resistance):

امپدانس حلقه جریان اتصالی زمین است که شروع و پایان آن نقطه اتصالی است و با ZS نشان داده می‌شود.

حلقه اتصالی زمین در سیستم‌های مختلف

سیستم‌های TN، نقطه شروع (محل اتصالی)، از بدنه دستگاه به ترتیب به سیم ارت، شینه ارت، شینه نول، نقطه ترانس، سیم‌پیچ ترانس، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصال به بدنه.

سیستم‌های TT و IT، نقطه شروع (محل اتصالی)، سیم اتصال به زمین، الکترود زمین، زمین، الکترود سیستم، شینه نول، نقطه صفر ترانس، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصالی.

اتصالی: حالتی از مدار است که جریان در مسیری غیرعادی یا بدون اینکه پیش‌بینی شده باشد یا در نظر گرفته شود، جاری می‌شود. این جریان امکان دارد از نقص در عایق‌بندی یا از بستهای به کار رفته بر روی عایق رساناها ناشی شود.

جریان اتصال به زمین (جریان اتصال کوتاه): اضافه جریانی است که در نتیجه بروز اتصالی با امپدانسی قابل چشم‌پوشی بین‌هادی‌های با پتانسیلهای مختلف در شرایط عادی کار برقرار شود.

جریان نشتی زمین: جریان جاری به زمین یا رساناهای دیگری را که مدار الکتریکی آنها به زمین راه دارد، جریان نشتی زمین می‌نامند. در صورت استفاده از خازن در مدارها، امکان دارد جریان مذکور دارای مقدار جزء خازنی هم باشد.

سیم اتصال به زمین (سیم ارت): سیم حفاظتی را گویند که ترمینال اصلی ارت تأسیسات را به الکترود ارت یا سایر قسمت‌های اتصال به زمین وصل می‌کند.

سیم خنثی (نول):سیمی متصل به نقطه خنثی در سیستم (صفر زمین) که قادر است انرژی الکتریکی را انتقال دهد.

هادی حفاظتی (PE): در بعضی از اقدامات حفاظتی برای تأمین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی لازم است با استفاده ازهادی حفاظتی قسمت‌های زیر به همدیگر وصل شوند:

- بدنه‌های‌هادی؛
- قسمت‌های‌هادی‌بیگانه؛
- ترمینال‌اصلی‌زمین؛
- الکترودزمین؛
- نقطه‌صفرترانس(نقطه‌خنثی)؛

سیم غلافدار فلزی به منظور زمین کردن:یك نوع سیستم سیم‌کشی است که در آن سرتاسر طول یك یا چند سیم عایق‌دار توسط نوار یا غلاف فلزی پوشانده شده و مانندهادی PEN عمل می‌کند.

سیم مشترك ارت ـ نول (PEN): سیمی را که به طور مشترك، هم کار سیم اتصال به زمین و هم کار سیم نول را انجام دهد، سیم PEN می‌نامند.

قسمت‌های بی‌حفاظ (روباز)هادی: قسمت بی‌حفاظ از تجهیزات را که قابل لمس بوده و حامل برق نیست، اما امکان برقدار شدن در شرایط اتصالی را دارد، قسمت بی‌حفاظ هادی می‌نامند.

ترمینال اصلی اتصال به زمین (ارتینگ): ترمینال یا شینه‌ای را گویند که برای اتصال به سیم‌های محافظ تهیه شده و سیم‌های هم‌پتانسیل‌کننده و سیم‌های اتصال به زمین (ارت)، یا هر وسیله‌ای که به عنوان اتصال به زمین (ارتینگ) به کار می‌رود، به آن وصل می‌شوند.

قسمت‌های برقدار: سیم یا قسمت‌هایی از رسانا را که برای استفاده‌های معمولی برقدار شده‌اند، قسمت‌های برقدار می‌نامند. سیم نول نیز شامل این قسمت‌هاست، اما طبق قرارداد، سیم PEN (سیم مشترك ارت ـ نول) به عنوان قسمت برقدار محسوب نمی‌شود.

پتانسیل زمین (ارت): پتانسیل الکتریکی ایجاد شده نسبت به جرم موجود زمین یا نسبت به سطح زمین اطراف الکترود ارت را هنگامی که جریان الکتریکی از الکترود به زمین جاری شود، پتانسیل زمین می‌نامند.

گرادیان پتانسیل (در یك نقطه از زمین): اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده بر واحد طول یك نقطه را در جهتی که پتانسیل بیشترین مقدار را داشته باشد، گرادیان پتانسیل می‌نامند.

دستگاه‌های سیار (قابل حمل): دستگاه‌های الکتریکی را می‌نامند که در حال حرکت کار می‌کنند یا اینکه می‌توانند به آسانی از محلی به محل دیگر حرکت داده شوند. در حالی که به پست توزیع برق متصل هستند.

قسمت‌هایی که به طور همزمان با هم قابل دسترسی هستند۱۷: سیم‌ها یا قسمت‌های رسانا که به طور همزمان در موقعیت‌های مخصوصی قابل لمس هستند. این قسمت‌ها شامل بدنه‌های برقدار، قسمت‌های بدون حفاظ (روباز)، هادی‌های بیگانه، سیم ارت و الکترودهای ارت هستند.

دستگاه پس ماند جریان RCD: دستگاه سوئیچینگ مکانیکی یا مجموعه‌ای از دستگاه‌ها که در شرایط مشخصی سبب بازنگه‌داشتن اتصالات در

مواقعی می‌شوند که پس‌ماند جریان به مقدار معینی رسیده باشد.

هادی بیگانه:قسمتی از رساناها را که احتمال ایجاد پتانسیل، به ویژه پتانسیل ارت در آنها وجود دارد و قسمت‌های شکل‌یافته‌ای از تجهیزات الکتریکی نیستند،هادی بیگانه می‌نامند.

وسایل قطع و وصل و کنترل۱۹ (قبل یا بعد از تابلو) تجهیزاتی است که برای وصل یك مدار الکتریکی با هدف ذیل پیش‌بینی می‌شود:

- حفاظت
- کنترل
- جداکردن
- انجام عملیات قطع و وصل

تابلو (مجموعه‌ای از تجهیزات قطع و وصل و کنترل):ترکیبی است از فیوزها، لوازم قطع و وصل و رله‌های کنترل که کلیه اتصالات الکتریکی و مکانیکی بین آنها و نیز وسایل اندازه‌گیری مانند آمپرمتر یا ولتمتر را نیز شامل می‌شود.

حصار:حفاظی است که از تماس مستقیم با ولتاژهای خطرناك جلوگیری می‌کند. مانند حصار ترانس پست برق فشار قوی.

باتری: یك سیستم الکتروشیمیایی است که قادر به ذخیره انرژی الکتریکی دریافتی به صورت شیمیایی است و آن را از طریق تبدیل، باز پس می‌دهد.

کانال کابل:محفظه یا پوششی است که بالای زمین یا داخل آن قرار دارد و در بعضی موارد دارای تهویه است و ابعاد آن اجازه ورود افراد را به داخل آن نمی‌دهد، ولی امکان دسترسی به‌هادی‌ها یا کابل‌ها در تمامی طول آن امکان‌پذیر است.

سینی کابل:تکیه‌گاه پایه داری برای کابل است که لبه‌های آن برگشته و بدون پوشش است و ممکن است دارای منافذ پرس شده باشد.

تونل کابل :محفظه‌ای است به شکل راهرو و آدم‌رو، حامی سازه‌های نگهدار برای‌هادی‌ها یا کابل‌ها و مفصل‌ها که دسترسی آزاد برای افراد در تمام طول آن ممکن باشد.

مدار (برقی دریك تأسیسات):مجموعه‌ای از تجهیزات الکتریکی که از منبعی واحد تغذیه کنند و در برابر اضافه جریانها به کمك وسیله واحدی حفاظت شوند.

مدار توزیع (از یك تأسیسات):مداری است که یك تابلوی برق را تغذیه

می‌کند.

کلید خودکار: وسیله مکانیکی قطع و وصل است که قادر است در شرایط عادی مدار جریان‌ها را قطع یا وصل کند و در شرایط غیرعادی مانند اتصال کوتاه، جریانی را به مدت کوتاه از خود عبور دهد یا قطع کند.

جریان طراحی (یك مدار): شدت جریانی است که پیش‌بینی می‌شود در حالت عادی از مدار عبور کند.

جریان مجاز حرارتی (یك‌هادی): حداکثر شدت جریان است که می‌تواند به طور دایم و در شرایط معین ازهادی عبور کند، بدون آنکه دمای دایمی آن از مقدار مشخص تجاوز کند.

اضافه جریان: هر شدت جریانی که از مقدار اسمی تجاوز کند. در موردهادی‌ها مقدار اسمی برابر جریان مجاز حرارتی است.

جریان اضافه بار (یك مدار): اضافه جریان در مداری است که خرابی الکتریکی ندارد.

شدت جریان عملیاتی قراردادی (مربوط به یك وسیله حفاظتی)۳۳: شدت جریان معینی است که سبب می‌شود وسیله حفاظتی در مدت مشخصی که به آن زمان قراردادی گویند، عمل کند.

تماس مستقیم: تماس افراد یا احشام است با قسمت‌های برقدار، مانند تماس با سیم فاز یا تماس با سیم فاز و نول.

تماس غیرمستقیم: تماس افراد یا احشام با قسمت‌های معیوب الکتریکی مانند تماس با کلید یا پریز معیوب یا بدنه فلزی برقدارشده که در حالت عادی برقرار نیستند.

ترمینال اصلی زمین (شینه ارت): ترمینال یا شینه‌ای است که برای وصل‌هادی‌های حفاظتی که شامل‌هادی‌های همبندی برای هم ولتاژ کردن وهادی‌های مربوط به اتصال زمین عملیاتی (در صورت وجود) به سیستم زمین است، پیش‌بینی می‌شود.

تجهیزات الکتریکی: شامل هر نوع مصالح و لوازم و وسایل و تجهیزاتی است که در تولید، تبدیل، انتقال، توزیع یا مصرف انرژی الکتریکی مورداستفاده قرار می‌گیرد، مانند ترانسفورماتورها، وسایل اندازه‌گیری، وسایل حفاظتی، تجهیزات

سیستم‌های سیم‌کشی و وسایل مصرف‌کننده انرژی الکتریکی مانند لوازم خانگی و غیره.

تجهیزات مصرف‌کننده جریان: تجهیزاتی است که برای تبدیل انرژی الکتریکی به نوعی انرژی دیگر در نظر گرفته می‌شود. مانند لامپ‌ها، بخاری‌های برق و دینام‌ها.

فیوز :وسیله‌ای است که به نحو مخصوصی طراحی و تناسب یافته و در صورتی که در یك مدار الکتریکی شدت جریان برق در مدت زمان معینی از مقدار کافی بیشتر شود از طریق ذوب یك یا چند المان، آن مدار را حفظ می‌کند.

تأسیسات الکتریکی:مجموعه‌ای از تجهیزات الکتریکی مرتبط با هم است که هدف یا هدفهای معینی را که دارای مشخصات هماهنگ هستند تأمین می‌کنند.

سرویس ورودی تأسیسات الکتریکی ۴۱: نقطه‌ای است که در آن انرژی الکتریکی به ساختمان، کارگاه یا کارخانه تحویل می‌شود.

عایق‌بندی: عایق‌بندی به قسمت‌های برقدار اعمال می‌شود تا در برابر برق‌گرفتگی ایمنی ایجاد کند.

عایق‌بندی کابل :مواد عایقی هستند که در ساختار کابل به کار می‌رود و کار اصلی آنها مقاومت در برابر ولتاژ است.

مفصل :وسیله‌ای است برای اتصال بین دو کابل که یك مدار مداوم را تشکیل می‌دهد.

سپر (شیلدینگ کابل) :لایه فلزی و زمین شده روی کابل است تا میدان الکتریکی کابل را به داخل آن محدود یا کابل را در برابر تأثیر عوامل الکتریکی خارج، حفاظت کند. (غلافهای فلزی، زره‌ها وهادی‌های هم مرکز زمین شده ممکن است به عنوان سپر نیز بکار روند.)

کلید قطع بار :وسیله مکانیکی قطع و وصل است که قادر به وصل، عبور دادن و قطع جریان برق مدار در شرایط عادی است. شرایط عادی ممکن است شامل وضعیتی با اضافه بارهای مشخص باشد و همین‌طور برای مدتی مشخص جریانهایی را در شرایط غیرعادی مدار، مانند اتصال کوتاه تحمل کند.

ولتاژ تماس : ولتاژی است که به هنگام بروز خرابی در عایق‌بندی بین

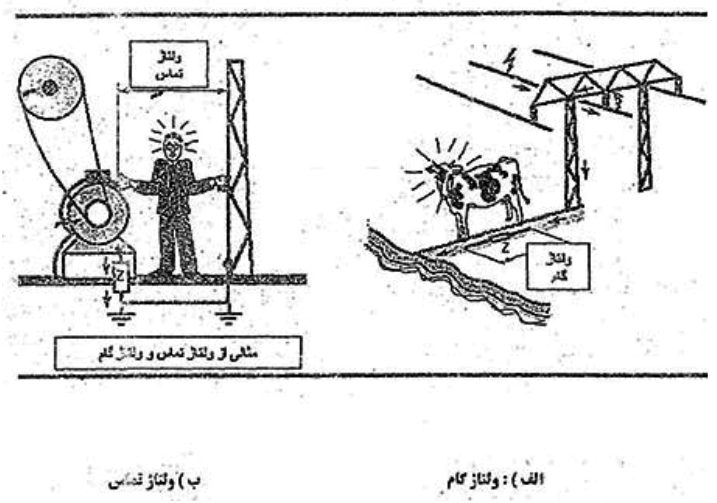
قسمت‌هایی ازهادی‌ها، بدنه‌های‌هادی، قسمت‌های‌هادی بیگانه و غیره که به طور همزمان در دسترس هستند، ظاهر می‌شود. (شکل۱)

ولتاژ تماس احتمالی: حداکثر ولتاژ تماس است که احتمال دارد در صورت بروز اتصال کوتاهی با امپدانس ناچیز، در تأسیسات الکتریکی ظاهر شود.

ولتاژ گام :ولتاژی است که براثر برخوردهادی فاز با زمین ایجاد می‌شود. این برخورد ممکن است در اثر پارگی‌هادی‌های فاز برق فشار ضعیف یا فشار قوی بوجود آمده و یا اینکه در اثر از بین رفتن عایق‌بندی سیم‌ها یا کابل‌های برقدار و نشت جریان برق به زمین حادث می‌شود. (شکل۱).

اضافه ولتاژ صاعقه: اضافه ولتاژگذرایی در نقطه‌ای از سیستم است که به علت اصابت صاعقه‌ای با مشخصات معین ظاهر می‌شود.

سیستم سیم‌کشی: مجموعه‌ای است متشکل از کابل و سیم یا کابل‌ها و سیم‌ها و یا شینه‌کشی و همچنین قسمت‌هایی که آنها را نگهداری می‌کند (لوله‌های پولیکای توی‌کار، روی کار، داکت‌ها، سینی‌ها و کانال‌ها).



شکل ۱- ولتاژ تماس و ولتاژ گام

مفاهیم بنیادین سیستم اتصال به زمین

اتصال به زمین از دو نظر مهم است:

۱ـ حفظ سلامت و ایمنی افرادی که از سیستم برق استفاده می‌کنند.

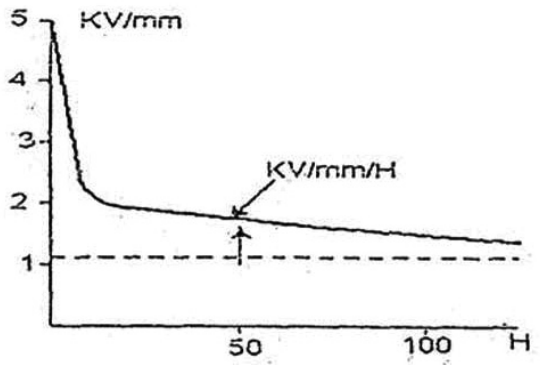
۲ـ حفظ سلامت سیستم، صرفنظر از مسایل مربوط به ایمنی.

اتصال به زمین از نظر انجام کار صحیح و سالم سیستم، دو هدف را دنبال می‌کند:

۱ـ ایجاد شرایطی که در آن، سیستم از نظر فنی درست عمل کند. این هدف با برقراری مسیری از طریق زمین به منبع تغذیه و اتصال به زمین با استفاده از رله‌های حساس به دست می‌آید.

۲ـ ایجاد شرایطی که در آن عایق‌بندی سیستم سالم می‌ماند. در ساده‌ترین تحلیل ممکن، یك سیستم از رساناها و عایق‌ها تشکیل می‌شود، رساناها باید تا جایی که ممکن است جلوی عبور جریان برق از مسیرهای ناخواسته را بگیرند. به عبارت دیگر، عبور جریان برق باید در مسیر دلخواه برقرار شود و در سایر جهات از آن جلوگیری به عمل آید. عایقها حساس‌تر ازهادی‌ها هستند و علاوه بر دمای زیادی که سبب انهدام عایق می‌شود، بالا رفتن بیش از حد ولتاژ و اثر آن به مدت طولانی، مخصوصاً در دمای بالا، عایق را زودتر از بین برده و سبب بروز خرابی در سیستم می‌شود.

به طور خلاصه، صرفنظر از اثر دما در تحلیل اولیه، عمر عایق‌بندی بستگی به شدت میدان و مدت زمان برقراری آن دارد. اگر شدت میدان کمی از مقدار مجاز آن بیشتر باشد، ممکن است پس از چند سال سبب خرابی عایق‌بندی شود و اگر این مقدار چند برابر مقدارمجاز باشد، در ظرف چند دقیقه یا ثانیه سبب از بین رفتن عایق‌بندی در ضعیف‌ترین نقطه سیستم می‌گردد. در شکل (۲) منحنی تغییرات ایستادگی عایق‌بندی یك کابل با توجه به تنش میدان الکتریکی و مدت زمان برقراری آن نشان داده شده است.



شکل ۲- تغییرات ایستادگی عایق بندی یک کبل با توجه به تنش میدان الکتریکی و مدت زمان برقراری آن

مشاهده می‌شود که تغییرات شدت میدان نسبت به زمان به گونه‌ای است که شدت میدان با خط افقط مجانب است و این مقداری است که در مدتی طولانی، عایق‌بندی در آن شدت میدان را نشان خواهد داد. قابل ذکر است که در دماهای مختلف محل خط مجانب تغییر خواهدکرد.

تغییرات ولتاژ در سیستمی که به زمین وصل نیست

در این بخش به بررسی اثر ولتاژها در حالت واقعی می‌پردازیم. شکل (۳) وضعیت ولتاژها را در صورت وصل نبودن یك نقطه از سیستم به زمین نشان می‌دهد:ولتاژ نقطه خنثی (N) نسبت به زمین در صورت سالم بودن سیستم، به علت وجود خازن‌های طبیعی بین فازهای سیستم و زمین، برابر صفر است و در این هنگام ولتاژهای موجود هیچ تنش اضافی را روی عایق‌بندی‌هادی خنثی وهادی‌های فازها در سرتاسر سیستم، به وجود نخواهدآورد.

$U_{N-E} = ۰$

$U_{L۱-E} = U_۰ = ۲۴۰\,V$

$U_{LZ-E} = U_۰ = ۲۳۰\,V$

$U_{L۳-E} = U_۰ = ۲۳۰\,V$

اما اگر به سبب بروز سانحه‌ای در سیستم، یکی از فازها (L۱) به زمین وصل

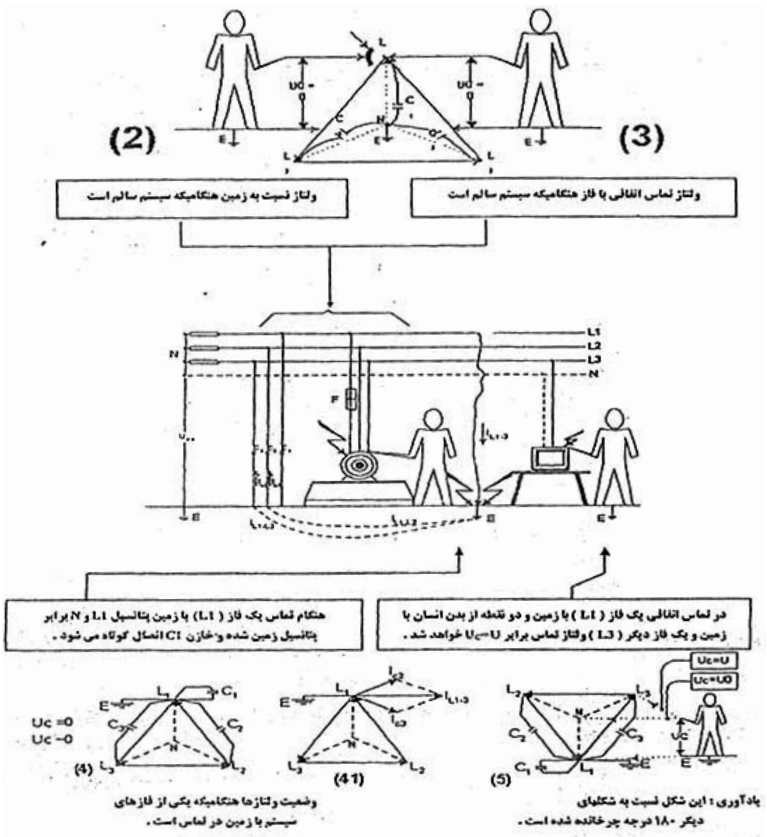
شود، وضعیت ولتاژهای سیستم به صورت ذیل خواهدبود: ولتاژ نقطه خنثی (N) نسبت به زمین در سیستمی که یك فاز آن به زمین وصل شده است، دیگر برابر صفر نبوده و برابر U۰ خواهدبود. در این هنگام ولتاژهای موجود تنشی را روی عایق‌بندی‌هادی خنثی وهادی‌های فازها در سرتاسر سیستم به وجود خواهند آورد:

$U_{N-E} = U_0 = ۲۳۰ V$

$U_{L۱-E} = U_0 = ۰ V$

$U_{L۲-E} = U_0 = ۴۰۰ V$

$U_{L۳-E} = U_0 = ۴۰۰ V$



شکل ۳- وضعیت ولتاژها در صورت وصل نبودن یک نقطه از سیستم به زمین

همچنین مقدار ولتاژ ممکن است در زمانی طولانی عایقی را که برای آن پیش‌بینی نشده است، از بین ببرد.

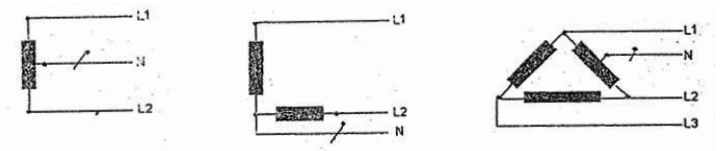
از طرف دیگر، قبل از اینکه عایق‌بندی در اثر بالا رفتن ولتاژها خراب شود، ممکن است باعث جرقه زدن بین نقاطی از سیستم شود که ولتاژ آنها نسبت به هم بیشتر از دوام عایق آنهاست.

انواع سیستم‌های توزیع فشار ضعیف:

۱.سیستم‌های سه فاز باهادی خنثی؛

۲.سیستم‌های تك فاز منشعب از سه فاز باهادی خنثی؛

دو سیستم مذکور در ایران معمول است، اما انواع دیگری سیستم‌های توزیع وجود دارند که در شکل (۴) نمونه‌هایی از آنها مشاهده می‌کنید.



شکل ۴- انواع سیستم‌های توزیع فشار ضعیف

شناسایی‌هادی‌ها در سیستم‌های جریان متناوب

برای مشخص کردن‌هادی فاز از حرف L (اولین حرف کلمه Live) استفاده می‌شود.

برای مشخص کردن‌هادی خنثی از حرف N (اولین حرف کلمه Neutral) استفاده می‌شود.

برای مشخص کردن‌هادی حفاظتی از حرف PE (اولین حرف کلمات Protective Earthing) استفاده می‌شود.

برای مشخص کردن‌هادی مشترك حفاظتی/خنثی از حروف PEN (اولین حروف کلمات Protective Earthing + Neutral) استفاده می‌شود.

بنابراین، سیستم‌های تك فاز به قرار ذیل خواهند بود:

الف) سیستم‌های دو سیمه L۱+N ; L۱+L۲ ; L۱+PEN

ب) سیستم سه سیمه L۱+N+PE

سیستم‌های سه فاز به صورت ذیل خواهند بود:

الف) سیستم سه سیمه L۱+L۲+L۳

ب) سیستم‌های چهار سیمه PEN یا PE یا(L۱+L۲+L۳+N)

ج) سیستم‌های پنج سیمه L۱+L۲+L۳+N+PE

سیستم‌های اتصال به زمین

انواع مختلف اتصال به زمین:در انواع مختلف سیستم‌های الکتریکی، وصل قسمت‌هایی از سیستم و بدنه‌های‌هادی لوازم الکتریکی به جرم کلی زمین از دو دیدگاه مورد توجه است:

الف) اتصال به زمین عملیاتی یا سیستم

در این روش وصل نقطه خنثای سیستم به زمین باعث قطع مدارهای معیوب احتمالی می‌شود و در نتیجه عایق‌بندی سیستم حفظ شده، صحت کار لوازم و دستگاه‌های الکتریکی تأمین و اضافه ولتاژها محدود می‌گردد و از این طریق به کار درست لوازم و مدارها کمك می‌شود.

ب) اتصال به زمین حفاظتی

در این روش بدنه‌های‌هادی به خنثی و زمین وصل می‌شود تا در مواقع اتصالی مدار معیوب را به سرعت قطع کند و بدین ترتیب ایمنی افرادی که بنا به وظیفه شغلی در تماس با تجهیزات سیستم‌های الکتریکی هستند و همچنین سایر افراد جامعه که مصرف‌کننده نهایی انرژی هستند، تأمین شود و خطر آتش‌سوزی نیز محدود گردد.

طبقه‌بندی سیستم‌های اتصال به زمین فشار ضعیف

انواع سیستم‌های اتصال به زمین فشار ضعیف عبارتند از:

۱. TN شامل TN-S، TN-C و TN-C-S

۲. TT

۳. IT

نامگذاری سیستم‌های الکتریکی مذکور به صورت ذیل است:

الف) از دو حرف اصلی شناسایی، حروف اول سمت چپ رابطه سیستم با زمین

را مشخص می‌کند. حرف اول از سمت چپ T (برگرفته از کلمه Terra (لاتین) به معنای زمین)؛ بدین معناست که یك نقطه از سیستم به زمین وصل است. حرف اول از سمت چپ I (برگرفته از کلمه Isolated) ؛ نشان می‌دهد که سیستم از زمین مجزاست یا با مقاومتی بزرگ به آن وصل است.

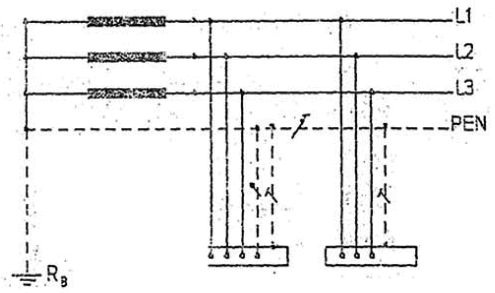
ب) از دو حرف اصلی شناسایی، حرف دوم از سمت چپ رابطه بدنه‌های هادی تجهیزات با زمین را مشخص می‌کند؛ حرف دوم از سمت چپ N : نمایانگر آن است که بدنه‌های هادی به‌هادی خنثای زمین شده، وصل هستند. حرف دوم از سمت چپ T : مشخص می‌کند که بدنه‌های هادی، مستقل از زمین سیستم، به زمین وصل هستند.

ج) حروف کمکی نشان‌دهنده زیر سیستم‌ها هستند (C و S). حرف سوم از سمت چپ S : بدنه‌های هادی از طریق یك‌هادی حفاظتی مخصوص (PE) در مبدأ به نقطه خنثای سیستم وصل می‌شود. (سیستم TN-S). حرف سوم از سمت چپ C : بدنه‌های هادی از طریق یك‌هادی حفاظتی مشترك مخصوص و خنثی (PEN) به زمین وصل می‌شود. (سیستم TN-C).

سیستم TN : در این سیستم منبع انرژی (ترانس پست یا ژنراتور برق) در یك یا چند نقطه ارت‌شده و قسمت‌های هادی در دستر و قسمت‌های هادی بیگانه تأسیسات تنها از طریق سیم‌های ارت به نقطه یا نقاط ارت شده منبع متصل می‌شوند. به عبارت دیگر مسیری رسانا برای عبور جریان‌های اتصال به زمین تأسیسات به نقطه یا نقاط ارت شده منبع وجود دارد.

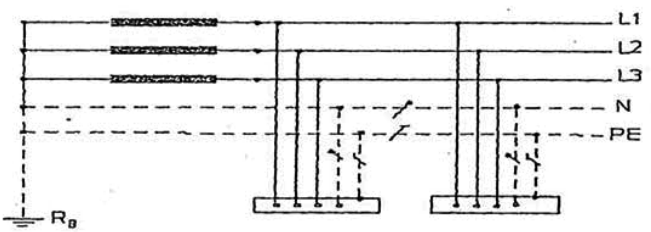
این سیستم به چند دسته تقسیم می‌شود:

الف) سیستم TN- C : (شکل ۵ .الف): در این سیستم، سیم ارت و نول مشترك هستند. به عبارت دیگر سیم نول که از شینه نول تابلوی اصلی به مصرف‌کننده‌ها برده می‌شود، هم به عنوان نول مورد استفاده قرار می‌گیرد و هم به عنوان سیم ارت یعنی یك انشعاب از سیم نول به بدنه‌هادی دستگاه‌های مصرف‌کننده به عنوان سیم ارت وصل می‌شود. کابل‌های هم مرکز ارت شده یا کابل‌های غلافدار فلزی ارت شده که مسیر برگشتی برای عبور جریان اتصال به زمین را فراهم می‌آورند، نمونه‌هایی از این سیستم هستند.



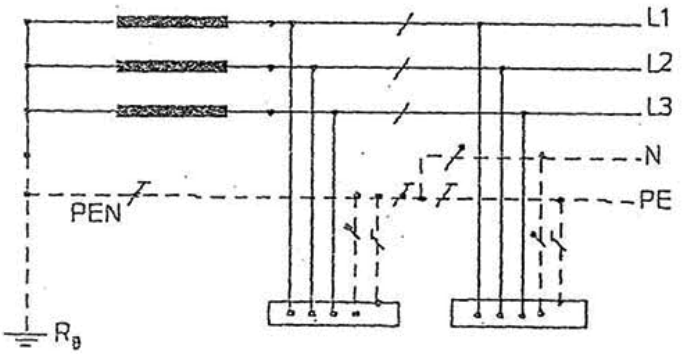
شکل ۵- سیستم اتصال به زمین TNC

ب) سیستم TN-S : (شکل ۵ .ب):در این سیستم، سیم‌های نول و ارت از یکدیگر جدا هستند. یعنی در محل تابلوی اصلی برق علاوه برشینه نول، شینه دیگری به نام شینه ارت وجود دارد که سیم ارت اصلی از الکترودهای زمین به آن وصول شده و از آنجا به موازات سیم‌های نول و فازها (به صورت پنج سیمه) تا دستگاه‌های مصرف‌کننده برده شده و به بدنه‌هادی آنها متصل می‌شود.



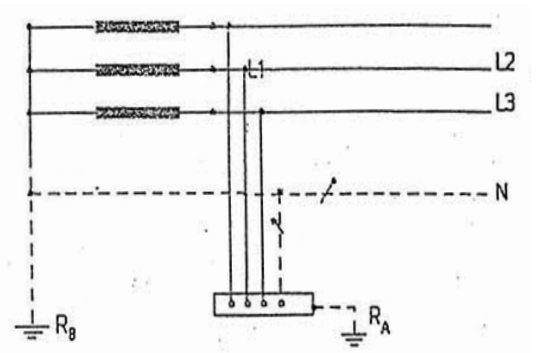
شکل ۵ ب - سیستم اتصال به زمین TN-S

ج) سیستم TN-C-S (شکل (۵ .ج)):تنها در بخشی از این سیستم (معمولاً در ابتدا)، سیم نول و ارت با یکدیگر مشترك هستند و از آن نقطه به بعد، سیم پنجمی از نول منشعب شده و جداگانه به بدنه دستگاه‌های مصرف‌کننده اتصال داده می‌شود.



شکل ۵ ج - سیستم اتصال به زمین TN-C-S

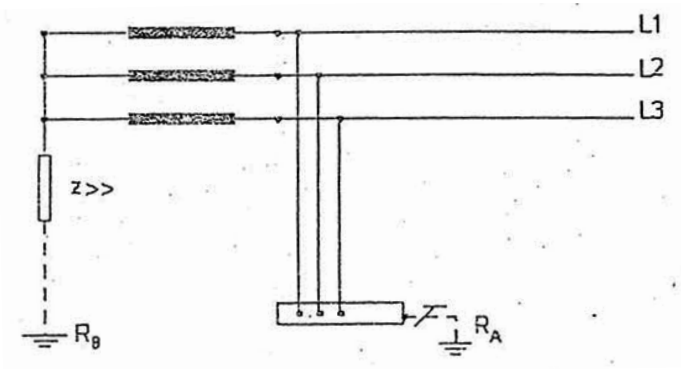
سیستم TT (شکل (۶)):در این سیستم منبع انرژی (ترانس پست یا ژنراتور برق) در یك یا چند نقطه ارت‌شده و قسمت‌های‌هادی در دسترس وهادی بیگانه تأسیسات به الکترود ارت محلی یا الکترودهایی که نقطه نظر الکتریکی مستقل از ارت‌های منبع سیستم هستند، متصل می‌شوند. یعنی اتصال به زمین حفاظتی هیچگونه ارتباطی با اتصال به سیستم ندارد.



شکل ۶ - سیستم اتصال به زمین TT

سیستم IT (شکل (۷)):در این سیستم منبع انرژی (ترانس پست یا ژنراتور

برق) یا به طور کلی ارت نشده، یا از طریق یك امپدانس بزرگ ارت می‌شود و قسمت‌های هادی در دسترس تأسیسات نیز به الکترود ارتی که از نظر الکتریکی مستقل است، وصل می‌شوند. در این سیستم نیز اتصال به زمین حفاظتی و اتصال سیستم با یکدیگر ارتباط ندارند. استفاده از این سیستم برای شبکه‌های عمومی توزیع برق ممنوع است.



شکل ۷ - سیستم اتصال به زمین IT

از انواع سیستم‌های مذکور تنها استفاده از سیستم اتصال به زمین نوع TN در کارخانه‌ها و کارگاهها الزامی است. مگر آنکه نوع کارخانه یا کارگاه، استفاده از سیستم‌های TT و IT را ایجاب کند که در این صورت لازم است با ذکر دلایل، اجازه مخصوص برای استفاده از این سیستم‌ها گرفته شود.

هادی خنثی (N) وهادی حفاظتی (PE) باید از همدیگر مجزا باشند و فقط در یك نقطه (نقطه مبدأ) به یکدیگر وصل شوند نباید از محل جداشدن هادی‌های خنثی وحفاظتی آنها را در نقطه دیگری به یکدیگر وصل کرد. علت این امر آن است که در صورت اتصال مکرر سیم نول وارت به یکدیگر، حلقه ایجاد می‌شود که جریان چرخشی ناشی از آن در سیستم‌های مخابراتی و الکترونیکی پارازیت یا نویز ایجاد می‌کند. در سیستم قدرت خالی بودن ظرفیت جریان سیم ارت مهم است. در صورت پر بودن ظرفیت (ایجاد LOOP) سیم ارت وظیفه خود را در موقع لزوم به درستی انجام نخواهدداد.

انواع الکترودهای مورد استفاده در سیستم اتصال به زمین

سه نوع الکترود متداول و مورد استفاده در سیستم اتصال به زمین عبارتند از:

۱.الکترودهای صفحه‌ای

۲.الکترودهای میله‌ای

۳.الکترودهای تسمه‌ای

الکترودهای صفحه‌ای : برای استفاده از این نوع الکترودها، صفحاتی از جنس مس با ابعاد حداقل ۰/۵ *۱ متر و ضخامت حداقل ۲ میلیمتر و یا صفحاتی از جنس فولاد گالوانیزه با ابعاد حداقل ۰/۵ *۱ متر و ضخامت حداقل ۳ میلیمتر پیشنهاد می‌شود.الکترودهای صفحه‌ای باید در عمقی که رطوبت زمین به طور دایمی وجود دارد، نصب گردد.

آماده‌سازی خاك اطراف الکترود صفحه‌ای به روش ذیل است:

ابتدا مخلوطی از نمك، خاکه زغال چوب و خاك رس را به ترتیب با نسبتهای ۱ و ۴ و ۳۵ در بیرون با آب به صورت گل درآورید و اطراف صفحه الکترود را حداقل تا ۲۰ سانتیمتر بالاتر از لبه بالایی صفحه با این مخلوط پر کنید. سپس خاك رس سرند شده را در داخل چاه بریزید و به طور متناوب به آن آب اضافه کنید. الکترودهای صفحه‌ای باید به صورت عمودی نصب شوند.اتصال سیم ارت به الکترود صفحه‌ای باید حداقل در دو نقطه مجزا انجام شود.برای اتصال سیم ارت به الکترود صفحه‌ای در صورت امکان جوش نقره بهتر است و جوش احتراقی (ترمیت) نیز روش مناسبی است. ضمن اینکه استفاده از کلمپ نیز جایز است. سیم اصلی اتصال به زمین (سیم ارت) متصل به صفحه مسی باید دارای سطح مقطع ۵۰ میلیمتر مربع از جنس مس باشد (سیم شماره۵۰).فاصله لبه بالایی الکترود صفحه‌ای از سطح زمین نباید از ۶۰۰ میلیمتر کمتر باشد.

الکترودهای میله‌ای :برای استفاده از الکترودهای میله‌ای، میله‌هایی از جنس مس یا فولاد با روکش مس یا فولاد زنگ‌نزن و یا فولاد گالوانیزه پیشنهاد می‌شود.قطر الکترودهای میله‌ای از جنس مس و فولاد با پوشش مس به ترتیب ۱۲ میلیمتر و ۱۶ میلیمتر و برای میله‌هایی از جنس فولاد گالوانیزه ۱۶ میلیمتر پیشنهاد می‌شود. سیم اصلی اتصال به زمین که از سرچاه‌های ارت یا الکترودهای میله‌ای گرفته شده و به شینه اصلی اتصال به زمین (ارت) وصل می‌شود، باید

سیم مسی شماره ۵۰ باشد.استفاده از الکترودهای میله‌ای در مناطق خشك که رسیدن به لایه‌های مرطوب خاك در عمق کم امکان‌پذیر نیست، توصیه نمی‌شود.

الکترودهای تسمه‌ای:در صورتی که خاك محل نصب الکترودهای صفحه‌ای یا میله‌ای سخت باشد، به گونه‌ای که حفر چاه و رسیدن به لایه‌های مربوط خاك عملاً غیرممکن یا دشوار باشد، می‌توان از سیستم الکترودهای تسمه‌ای استفاده کرد. بدین صورت که الکترودها در خاك، به صورت افقی قرار می‌گیرند. از الکترودهایی به شکل تسمه مسی بدون روکش قلع با ضخامت مس حداقل ۲ میلی‌متر و یا تسمه فولادی گالوانیزه گرم با سطح مقطع حداقل ۱۰۰ میلمتر مربع (۳۰ *۳/۵) و یا حتی سیم مسی لخت با سطح مقطع ۲۵ میلیمتر مربع (قطر ۵/۶ میلیمتر) می‌توان به عنوان الکترود افقی استفاده کرد.ضخامت الکترود تسمه‌ای نباید بیش از یك هشتم پهنای آن باشد.عمق دفن الکترودتسمه‌ای و پهنای آن تأثیر نسبتاً کمی روی مقاومت دارند. بنابراین، عمق دفن الکترودهای تسمه‌ای (افقی) بین ۰/۶ تا ۲ متر پیشنهاد می‌شود.علاوه بر سیم تسمه‌ای شکل می‌توان از سیم گرد نمره ۵۰ نیز به عنوان الکترود تسمه‌ای استفاده کرد.طول الکترودهای افقی تسمه‌ای یا سیم گرد، در چهار وضعیت تك رشته‌ای، و دو رشته عمود برهم، سه رشته با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر (Y ستاره) و چهار رشته عمود بر هم (صلیبی+) مطابق جدول شماره (۱) برای دو نوع خاك رس و خاك آهکدار مشخص شده است.

جدول ۱- طول الکترودهای تسمه ای (افقی) در چهار وضعیت مختلف برای دو نوع خاک

نوع الکترود	جنس خاک	طول الکترود (بر حسب متر)
تک رشته‌ای (-) تسمه‌ای و سیم گرد	رس	۵۰
	آهک دار	۲۰۰
دو رشته عمود بر هم تسمه‌ای و سیم گرد (⊓)	رس	۴۰
	آهک دار	۱۵۰
ستاره (Y) تسمه و سیم گرد	رس	۳۰
	آهک دار	۱۱۰
چهار رشته عمود بر هم صلیبی (+) تسمه	رس	۳۰
	آهک دار	۱۰۰
صلیبی سیم گرد	آهک دار	۵۰

سیم اتصال به زمین متصل به الکترود تسمه‌ای باید نمره ۵۰ از جنس مس باشد.

مقاومت ویژه خاك و محل نصب الکترودها

مقاومت یك الکترود اتصال به زمین به مقاومت ویژه الکتریکی خاکی که الکترود در آن نصب شده است، بستگی دارد. به همین جهت، این عامل می‌تواند به منظور تصمیم‌گیری در انتخاب سیستم‌های حفاظتی مهم باشد.مقاومت ویژه خاك به میزان رطوبت خاك و ترکیبات شیمیایی و نمکهای محلول موجود در

خاك و اندازه و توزیع دانه‌ها و نزدیکی آنها به یکدیگر بستگی دارد.

مقاومت ویژه بعضی از انواع خاك برحسب اهم .متر در جدول شماره۲ آمده است.

جدول۲: مقاومت ویژه بعضی از انواع خاك بر حسب اهم .متر

نوع خاک	شرایط جوی			
	ریزش باران معمولی و زیاد (بیش از ۵۰۰ mm در سال)		شرایط صحرایی و ریزش باران کم (کمتر از ۲۵۰ mm در سال)	آبهای زیر زمینی (چشمه آب شور)
	مقادیر احتمالی اهم متر	گستره مقادیر واقعی اهم- متر	گستره مقادیر واقعی اهم- متر	گستره × مقادیر واقعی اهم- متر
خاک رس آبرفتی	۵	*	*	۱ الی ۵
خاک رس	۱۰	۵ الی ۲۰	۱۰ الی ۱۰۰	۱ الی ۵
خاک های آهک‌دار	۲۰	۱۰ الی ۳۰	۵۰ الی ۳۰۰	---
سنگ آهک خلل و فرج‌دار (مانند گچ)	۵۰	۳۰ الی ۱۰۰		--
سنگ سیاه خلل و فرج‌دار (سنگ های رستی و سنگ سیاه Keuper)	۱۰۰	۳۰ الی ۱۰۰		
کوارتز، سنگ آهک متراکم و بلوری (مانند مرمر)	۳۰۰	۱۰۰ الی ۱۰۰۰	---	
تخته سنگ های رس و سنگ های رستی	۱۰۰۰	۳۰۰ الی ۳۰۰۰	بیش از ۱۰۰۰	۳۰ الی ۱۰۰
کرانیت	۱۰۰۰	---	---	---
شیست و سنگ آذرین	۲۰۰۰	بیش از ۱۰۰۰	---	---
به سطح آب محل بستگی دارد				

محل نصب الکترود بر حسب انواع خاك به ترتیب ذیل انتخاب می‌شود:

الف) زمین باتلاقی مرطوب؛

ب) خاك رس، خاك گلدانی، زمین قابل کشت، خاك گلدانی مخلوط با کمی شن؛

ج) خاك رس و خاك گلدانی مخلوط با درصدی از شن، سنگ و سنگریزه؛

د) شن خیس و مرطوب و زغال سنگ؛در صورت امکان نباید از شن خشك، سنگریزه، سنگ آهك، سنگ مرمر سیاه، گرانیت و زمین خیلی سنگی یا محل‌هایی که در آن صخره‌های خیلی نزدیك به سطح زمین وجود دارد، استفاده کرد.محل نصب الکترودها باید به گونه‌ای انتخاب شود که زهکشی آن کم باشد.برای پایین بردن رطوبت در زمینهایی که سطح آب آنها بالاست، در قسمت انتهایی زمین کانالی حفری می‌شود که رطوبت اضافی آن را می‌گیرد تا زمین قابل استفاده باشد. بنابراین برای احداث سیستم اتصال به زمین در این گونه زمینها باید توجه شود که اگر سطح آب خیلی بالا باشد (به طوری که اطراف الکترود پر آب شود)، باعث اکسیده شدن و از بین رفتن الکترود خواهدشد. از سوی دیگر، در صورت پایین بودن بیش از حد رطوبت، خاك اطراف الکترود خشك شده، مقاومت الکتریکی آن بالا رفته و در نتیجه جریان اتصالی را به راحتی به زمین انتقال نمی‌دهد. بنابراین برای تنظیم رطوبت خاك، عمق کانال زهکشی باید مناسب باشد.از محلهایی که رطوبت آن ناشی از عبور جریان آب است (مانند بستر رودخانه‌ها)، باید اجتناب شود. زیرا در چنین شرایطی ممکن است نمکهای سودمند کاملاً شسته شوند. استفاده از لوله پلاستیکی یا فلزی برای آب دهی چاه ارت بلامانع است. به ویژه اگر همراه با بی‌کربنات دو سود باشد. (در فصل خشك).در محل‌های ساختمانی یا مکان‌هایی که عملیات کندن و خاکبرداری و خاکریزی و انجام شده، با توجه به امکان تغییر شرایط محلی، الکترودها باید در عمق بیشتر دفن شوند.محل نصب الکترودها باید به گونه‌ای انتخاب شود که کود و سایر و مواد دیگر به آن تراوش نکند.در مناطقی که مقاومت ویژه خاك زیاد است، می‌توان خاك محل چاه و اطراف الکترود را با خاك آماده‌سازی شده جایگزین کرد.در مناطق شمال کشور مانند گیلان و مازندران که رطوبت دایمی در سطح زمین وجود دارد، بهتر است از الکترودهای میله‌ای استفاده شود.در مناطق خشك کویری و نیز در مناطقی که خاك زمین آنها دج (سفت) است، استفاده از الکترودهای افقی پیشنهاد می‌شود.

در زمین‌های آبرفتی (زمین‌هایی که در مسیر رودخانه‌ها واقع شده‌اند و مواد کانی آنها شسته شده است) باید از الکترودهای افقی استفاده شود و خاك اطراف الکترود تعویض (آماده‌سازی) شود.الکترودهای صفحه‌ای تنها در مناطقی نصب می‌شوند که رطوبت کافی دراعماق زمین وجود داشته باشد.آماده‌سازی خاک فقط برای تأسیسات الکتریکی موقت می‌تواند اقتصادی ترین راه باشد و برای تأسیسات با طول عمر بیشتر شاید بهتر باشد خاك اطراف الکترودها با مواد ذیل که مقاومت ویژه پایین‌تری دارند، تعویض شود:

بنتونیت: ماده جاذب رطوبت است.

بتون: مخلوطی از شن و ماسه و سیمان و آب است.

بتون‌هادی که درآن به جای شن معمولی ازدانه‌های زغالی استفاده شده است.

در صورت استفاده بیش از یك الکترود (صفحه ای یا میله ای) حداقل فاصله دو الکترود باید برابر با عمق دفن آنها باشد.در مواردی که کارگاه در مناطق مرطوب قرار گرفته باشد، کلیه تجهیزات باید بادوام بوده و به طور مرتب بازرسی شوند و نسبت به زمین کردن آنها و مدارهای حفاظتی توجه خاص به عمل آید.

الکترودهای متفرقه

ترمینال اصلی سیستم اتصال زمین باید قابل دسترسی باشد تا بتوان در صورت لزوم تأسیسات را از سیستم اتصال به زمین جدا کرده و اندازه‌گیری‌های مربوط به‌اتصال به زمین را به راحتی انجام داد.الکترودهای متفرقه، اجزای هادی تأسیسات و تجهیزاتی از جنس مس، آهن، فولاد و غیره هستند که در ساختمان‌ها و تأسیسات مربوط به آن برای مصارف ویژه به کارگرفته می‌شوند و درهمبندی برای پایین آوردن مقاومت کل مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلاف‌های فلزی و زره کابل‌ها را که معمولاً به منظور ایجاد مسیری برای هدایت جریان اتصالی به نقطه خنثای منبع در محل ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به عنوان الکترود متفرقه محسوب کرد، به شرطی که حداقل به‌طور۳۰۰ متر در زیر خاك مدفون باشد. سازه‌های قسمت‌های فلزی که در پی‌های بتونی ساختمان قرار گرفته‌اند، می‌توانند به عنوان یك الکترود اتصال به زمین موثر و آماده به حساب آیند. سطح کل الکترودی که توسط اجزای فلزی در پی ساختمان‌های

بزرگ ایجاد می‌شود، می‌تواند مقاومت الکتریکی کمتری را نسبت به زمین البته در مقایسه با روش‌های دیگر ایجاد کند. مقاومت اجزای فولادی مستقر در حجم بتون یا میلگردهای به کار رفته در بتون نسبت به زمین برحسب نوع خاك و میزان رطوبت آن و شکل پی متفاوت خواهد بود. بتون جاذب رطوبت است، به ویژه در مناطق غیرخشك، هنگام قرار گرفتن در درون خاك، مقاومت ویژه‌ای در حدود ۳۰تا۹۰ اهم متر دارد که کمتر از بعضی از انواع خاك است.

مقاومت الکتریکی قسمت‌های فلزی که به عنوان الکترود مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید نسبت به زمین، اندازه‌گیری و در فواصل زمانی منظم مقدار آن کنترل شود. باید از برقراری اتصال الکتریکی بین کلیه اجزای فلزی که جزء الکترود اتصال به زمین محسوب می‌شوند، اطمینان حاصل شود. برای اتصال الکتریکی بین اجزای فلزی به کار رفته در حجم بتون یا در زیر سطح زمین مانند میلگردهای بتون، بهترین روش جوشکاری در بالای سطح زمین است. در مورد پیچ‌های مهار (انکربولت) این کار معمولاً از طریق دو زدن هر محل اتصال سازه‌ای به کمك یك‌هادی همبندی انجام می‌شود. این امر به ویژه در مورد سطوحی که ممکن است قبل از نصب، رنگ بخورند، صورت می‌گیرد.

الکترود چنبره‌ای

نوعی الکترود است که در بعضی مناطق و برای مصارف پایین شدت جریان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این روش از سیم لختی با نمره۵۰ به صورت چنبره‌ای با شعاع بیرونی۴۰ سانتی متر تعداد۵ حلقه (که در ته چاه اتصال به زمین (ارت) قرار می‌گیرد) استفاده می‌شود.

در کارگاه‌های کوچك نیز ایجاد سیستم اتصال به زمین مناسب با استفاده از الکترودهای صفحه‌ای، میله‌ای و یا تسمه‌ای الزامی است و همبندیها نیز طبق معمول اجرا می‌شود. در کارگاهها و کارخانه‌های بزرگ، نمی‌توان از الکترودهای متفرقه به‌عنوان الکترودهای اصلی سیستم اتصال به زمین استفاده کرد. در این حالت علاوه بر ایجاد سیستم‌های اتصال به زمین مطمئن باید الکترودهای متفرقه را نیز با آنها همبندی کرد.

برای تأسیسات نمی‌توان از لوله‌های آبرسانی عمومی، لوله‌های گاز، نفت،

هوای فشرده و فاضلاب به عنوان تنها وسیله اتصال به زمین استفاده کرد.

سیم نول باید به نحو موثری به زمین وصل شده باشد تا در صورت بروز اتصالی بین سیم فاز و یك سیم اتصال به زمین با مقاومت کم (غیر از اتصال مستقیم فاز و نول) مثلاً از طریق لوله‌کشی آب، ولتاژ سیم نول نسبت به اتصال زمین از مقدار مجاز۵۰ ولت تجاوز ننماید. بنابراین مقدار مقاومت سیم نول باید یك اهم یا کمتر باشد. (با اتصال به‌هادی‌های بیگانه). منظور از مقاومت نول، کل مقاومت سیم نول است که ممکن است شامل چندین الکترود اتصال به زمین در نزدیکی پست ترانسفورماتور یا ژنراتور و اتصالات زمین کابل‌هایی با غلاف فلزی، اتصالات زمین خطوط هوایی در ابتدا و انتهای هر خط اصلی و غیره باشد.

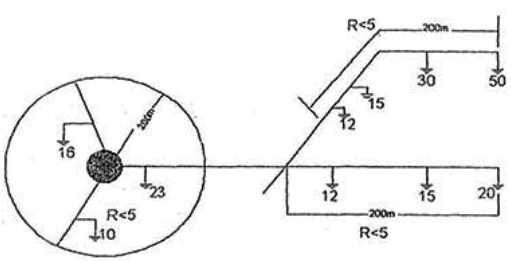
مقاومت کل سیستم الکترودهای اتصال به زمین (بدون اتصال به نول) باید کمتر از ۲اهم باشد.

مقاومت کل الکترودهای اتصال به زمین تا شعاع ۱۰۰متری پست برق نباید از ۵ اهم تجاوز کند.

مقاومت کل الکترودهای اتصال به زمین مدارهای تغذیه کارگاهها و کارخانه‌ها اعم از هوایی یا کابلی (باغلاف فلزی یا غلاف عایق) که طول آنها۲۰۰ متر باشد، نباید از ۵ اهم تجاوز نماید.

چنانچه طول سوله (ساختمان، کارگاه و غیره) یا فاصله سوله‌ها نسبت به یکدیگر بیشتر از ۲۰۰متر باشد، باید میان آنها چاه اتصال به زمین (چاه ارت) احداث شود و مقاومت کل آن نباید از ۵ اهم تجاوز کند (شکل۸) به کارگرفتن الکترودی با حداقل مقاومت ۵ اهم در۱۰۰ متری پست برق برای پوشش دادن منطقه در موارد بحرانی، الزامی است.

شکل ۸- تعداد و وضعیت استقرار چاه‌ها متناسب با فاصله و مقاومت آنها



استفاده از الکترودهای زمین در فاصله۲۰۰ متری پست باعث می‌شود که در صورت بروز اتصالی بین یك‌هادی فاز وهادی حفاظتی، ولتاژهادی حفاظتی و بدنه‌های‌هادی متصل به آن، به زمین نزدیکتر شده و در نتیجه ولتاژ تماس یا ولتاژ برق گرفتگی نیز کمتر می‌شود. (گستردگی زمین باعث کاهش راکتانس زمین می‌شود، در صورتی که راکتانس سیم با افزایش طول افزایش می‌یابد).

در صورتی که تعداد پست برق دو یا بیشتر باشد، اگر پست‌ها در حوزه همدیگر قرار گرفته باشند، مجموع مقاومت الکترودهای حفاظتی ۲اهم برای هر دو پست کافی است. اما اگر حوزه پستها جدا باشد، یعنی پستها نسبت به همدیگر در فاصله دورتر قرار گرفته باشند، در آن صورت باید مقاومت الکترودهای زمین هر پست به تنهایی۲ اهم باشد و سپس با سیم رابط مناسبی به همدیگر اتصال داده شوند.

همبندی سیستم

همبندی سیستم عبارت است از اتصال اجزای مختلف سیستم اتصال به‌زمین به یکدیگر به منظور هم پتانسیل کردن قسمت‌های مختلف تأسیسات. به منظور هم پتانسیل کردن، باید قسمت‌هایی ازهادی‌های بیگانه به‌ترمینال اصلی اتصال به زمین (ارت) تأسیسات همبندی شوند که عبارتند از:

لوله‌های فلزی گاز و نفت و آب و هوای فشرده، فاضلاب، لوله‌ها و مجراها و سایر سرویسها، سیستم‌های حرارت مرکزی تهویه هوا، قسمت‌های فلزی در دسترس ساختمان و صاعقه‌گیر. سیم‌های همبندی لوله‌های آب و گاز باید تا حد امکان نزدیك به نقطه ورود آنها به ساختمان باشد (بعد از کنتور در طرف مصرف‌کننده و قبل از انشعاب لوله‌ها).در مورد کنتورهای نصب شده در داخل ساختمان، اتصال باید در فاصله حدوداً ۶۰۰ میلیمتر از کنتور باشد.

انشعاباتی از سیم اتصال به زمین باید برای تجهیزات کمکی مانند تابلوهای کنترل ورله، اجزای فلزی سازه‌ها و تأسیسات اطفای حریق در نظر گرفته شوند. اتصالات انشعابی باید از شینه اصلی اتصال به زمین برای هر یك از دستگاه‌های تأسیسات برده شوند.در صورتی که چند دستگاه در کنار یکدیگر قرار داشته باشند، به جای انشعابات طولانی از شینه اصلی، از یك حلقه کمکی با انشعابات کوتاه استفاده شود.قسمت‌های‌هادی بیگانه سیستم باید به کلیه بدنه‌های‌هادی

که بطور همزمان در تماس هستند، اتصال فلزی مستقیم داشته باشند.اگر این اتصال از طریق تجهیزاتی که به قسمت‌های فولادی مشترك وصل است، امکان‌پذیر نباشد، باید بدنه‌های‌هادی و قسمت‌های‌هادی بیگانه با استفاده از سیم‌های همبندی به یکدیگر متصل شوند.

در مواردی که دو یا چند ایستگاه در نزدیکی یکدیگر قرار داشته و یك واحد به حساب آیند، سیستم‌های زمین آنها باید با یکدیگر همبندی شوند، به طوری که کل منطقه تحت تأثیر یك سیستم زمین قرار گیرد. اگر ایستگاه‌ها دارای فصل مشترکی با یکدیگر باشند، دو جبهه مماس سیستم‌های زمین آنها باید به یکدیگر وصل شوند تا کل منطقه با یك سیستم زمین پوشش داده شود. در صورتی که فاصله بین دو ایستگاه آن قدر زیاد باشد که نتوان آنها را دو ایستگاه مجاور هم به حساب آورد،هادی زمین رابط با سطح مقطع کافی باید پیش‌بینی شود تا اطمینان حاصل شود که جریان اتصالی از طریق زره یا غلاف کابل‌ها برقرار نخواهد شد (به دلیل جلوگیری از آسیب دیدن عایق کابل در اثر ایجاد حرارت جریان اتصالی، زیراهادی تحمل گرمای زیاد را دارد).در کارخانه‌ها برای اتصال زمین پستها به یکدیگر نمی‌توان از زره یا غلاف کابل‌ها استفاده نمود.

در کارخانه‌هایی که دو پست یا بیشتر، سالن واحدی را که دارای اسکلت فلزی است تغذیه می‌کنند، وجود سیم رابط الزامی است و استفاده از اسکلت فلزی کافی نیست زیرا مقاومت آهن از سیم مسی بالاتر است.اگر دو پست مجزا هر کدام ساختمان مجزایی را که دارای اسکلت فلزی است، تغذیه کنند، برای اتصال دو پست به یکدیگر باید از سیم رابط مسی با سطح مقطع کافی جهت اتصال نول‌های دو پست به یکدیگر استفاده نمود و اتصال دو اسکلت فلزی به وسیله یك‌هادی با سطح مقطع کافی به صورت هوایی با زمینی کافی نیست.

اتصال زمین کارخانه‌های مجاوز(همسایه).با پستهای مجزا.به یکدیگر منطقی نیست و تنها در صورت توافق مالکین می‌توان زمین‌های آنها را به یکدیگر متصل کرد. برای جلوگیری از ایجاد جرقه (در اثر اختلاف پتانسیل)، صاعقه‌گیر، مخازن مواد شیمیایی قابل اشتعال و اتصال به زمین برق .در صورتی که زمین آنها یکی باشد باید همبندی شوند.در صورت جدا بودن منابع شیمیایی آتشزا می‌توان اتصال به زمین جداگانه‌ای را برای آنها در نظر گرفت.

انتخاب نصب‌هادی زمین

هادی زمین (سیم اتصال به زمین) قسمتی از سیستم زمین است که الکترود زمین را به ترمینال اصلی زمین وصل می‌کند.از آلومینیوم لخت یا آلومینیوم دارای پوشش مس نباید در تماس با زمین چه به عنوان الکترود و چه به عنوان‌هادی زمین استفاده کرد. در محیط‌های مرطوب نیز نباید از این مواد به عنوان‌هادی زمین استفاده نمود.سیم‌هادی زمین (سیم اصلی اتصال به زمین) باید از نظر مکانیکی استحکام لازم را داشته باشد.

هادی اتصال به زمین باید در مقابل خوردگی شیمیایی و الکترو شیمیایی استحکام لازم را داشته باشد.منظور از خوردگی شیمیایی اثر مواد شیمیایی خاك برروی فلزهادی اتصال زمین و منظور از خوردگی الکترو شیمیایی تشکیل پیل به وسیله فلزات ناهمگون در زمین است. (مانند مس و فولاد که مس نسبت به فولاد قطب مثبت تشکیل داده، سبب خوردگی سریع خواهد شد.برای اطمینان از استحکام سیم اتصال به زمین سطح مقطع آن طبق جدول۳ انتخاب می‌شود.

سیم لخت اتصال زمین تا حد امکان نباید از داخل لوله‌های فلزی عبور کند. زیرا قبل از اتصال سیم ارت به شینه اتصال به زمین (ارت)، سیم اتصال زمین (ارت) نباید با زمین اتصال داشته باشد و در صورت استفاده از لوله‌های فلزی امکان اتصال وجود دارد.تنها در جاهایی که امکان آسیب دیدن سیم حفاظتی وجود دارد، استفاده از لوله فلزی پیشنهاد می‌شود.هادی مسی لخت نباید در طول مسیر تا محل اتصال به‌هادی خنثی باهادی خنثی یا زمین، تماس الکتریکی داشته باشد. زیرا اگر مقاومت الکترود زمین زیادتر از حد مجاز شود، یا سیم اتصال زمین از الکترود ارت قطع گردد، به هنگام اتصال کوتاه ایجاد ولتاژ تماس خواهد کرد.

چنانچه سطح مقطع‌هادی‌های فاز کمتر از ۱۰میلیمتر مربع باشد،هادی خنثی (نول) و حفاظتی (ارت) باید از یکدیگر مجزا باشند و در مورد سطح مقطع‌هادی‌های فاز برای ۱۰میلیمتر مربع و بیشتر می‌توان از یك‌هادی مشترك به عنوان‌هادی خنثی (نول) و حفاظتی استفاده کرد.

جدول۳: سطح مقطع سیم‌های به کار رفته در سیستم اتصال به زمین (۲mm)

سیم فاز	سیم حفاظتی عـایق دار		سیم مسی لخت	
	سیم عایق دار	کابل ۴ رشته‌ای	با حفاظت مکانیکی	بدون حفاظ مکانیکی
۱/۵	۴	۴	۴	۴
۲/۵	۴	۴	۴	۴
۴	۴	۴	۴	۴
۶	۶	۶	۴	۴
۱۰	۱۰	۱۰	۶	۶
۱۶	۱۶	۱۶	۱۰	۱۰
۲۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
۳۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
۵۰	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
۷۰	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
۹۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
۱۲۰	۷۰	۷۰	۵۰	۵۰
۱۵۰	۷۰	۷۰	۵۰	۵۰
۱۸۵	۹۵	۹۵	۵۰	۵۰
۲۴۰	---	۱۲۰	۵۰	۵۰
۳۰۰	---	۱۵۰	۵۰	۵۰
۴۰۰	---	۱۸۵	۵۰	۵۰

وجود شینه اتصال به زمین (ارت) در تابلوی اصلی الزامی است، به طوری که سیم اتصال به زمین از الکترود به این شینه آمده و سپس از ترمینال اصلی به‌قسمت‌های مختلف منتقل می‌شود.وجود شینه نول در تابلوی اصلی الزامی است.در سیستم TN-C-S که در اکثر موارد مورد استفاده است، اتصال شینه

نول به شینه ارت در تابلوی اصلی .و فقط در تابلوی اصلی .الزامی است.با توجه به اینکه شینه نول از طریق سیم اتصال زمین به بدنه تابلو وصل است برای تسهیل در عیب یابی آن را باید روی مقره عایق سوار کنند.سیم‌های اتصال به زمین (ارت) را می‌توان از شینه اصلی اتصال به زمین (ارت) به صورت دسته‌ای به قسمت‌های فلزی هر جزء از تجهیزات وصل کرد.در صورت دفن سیم‌های ارت فولادی یا مسی لخت در زمین، اگر این سیم‌ها به منظور کاهش مقدار مقاومت اتصال به زمین ایستگاه در نظر گرفته شده باشد (به عنوان الکترود محسوب شود)، باید حداقل در عمق ۲۵ سانتیمتری زمین دفن کرد.از سیم آلومینیوم نمی‌توان به عنوان سیم ارت دفن شده در زمین استفاده کرد.از سیم آلومینیومی تنها در صورتی می‌توان در زیر سطح زمین استفاده کرد که در برابر تماس با خاك و رطوبت حفاظت شده یا دارای غلاف مناسب باشد.

هنگام دفن سیم‌های چند مفتولی باید دقت شود که مفتول‌ها از یکدیگر جدا نشده و شکل اصلی سیم حفظ شود.اگر سیم‌های ارت مدفون در زمین در برابر خوردگی حفاظت شده باشد، اما دارای حفاظت مکانیکی نباشد، برای مس و فولاد گالوانیزه گرم، سطح مقطع باید بیش از ۱۶ میلیمتر باشد.در صورتی که سیم مدفون در زمین در برابر خوردگی حفاظت نشده باشد، سطح مقطع برای سیم مسی باید بیش از ۲۵ میلیمتر مربع و برای سیم فولادی بیش از ۵۰ میلیمتر مربع باشد.ضخامت سیم تسمه‌ای بی‌حفاظ دفن شده در زمین برای فولاد گالوانیزه نباید از۳ میلیمتر کمتر باشد.ضخامت سیم تسمه‌ای بی حفاظ دفن شده در زمین برای مس نباید کمتر از۲ میلیمتر باشد.

هنگام اتصال سیم اصلی اتصال زمین (ارت) به الکترود، مواد به کار رفته در اتصالات باید با مواد بکار رفته در الکترود و سیم اتصال به زمین سازگار باشد تا میزان خورندگی گالوانیك به حداقل برسد.

مواد بکار رفته در اتصالات باید از نظر استحکام مکانیکی مقاوم باشند و به گونه‌ای محکم اتصال را برقرار نمایند.اتصال الکترودهای صفحه مسی به سیم اتصال به زمین باید از نوع اتصال دهنده مسی، جوش یا پرچ باشد. محل این اتصال باید با پوشش ضخیمی از قیر یا مواد مناسب دیگر حفاظت شود.برای اتصال انشعابی سیم‌های چند مفتولی به سیم اصلی اتصال زمین می‌توان از

اتصالات نوع فشاری (کلمپ) استفاده نمود.

در صورت استفاده از بستهای پیچی، پیچها باید گشتاوری حداقل برابر ۲۰ نیوتن‌متر را تحمل کنند.در صورت استفاده از تسمه به عنوان سیم اتصال به زمین و اتصال آن به تجهیزات نباید تسمه را برای پیچی که قطر آن از یك سوم پهنای تسمه بیشتر است، سوراخ کرد.اتصالات آلومینیوم به آلومینیوم می‌تواند با استفاده از روش‌های جوش قوس تنگستن ـ گاز خنثی(TIG) خنثی، یا جوش قوس فلز ـ گازخنثی (MIG)، جوشکاری با گاز اکسی استیلن یا لحیم سخت یا لحیم سردپرسی، اتصال پرسی و اتصال پیچی انجام شود.

اتصال بین آلومینیوم و مس باید از نوع پیچی، جوش سرد و یا جوش مالشی باشد و در ارتفاع حداقل۲۵۰ میلیمتری از سطح زمین قرار گرفته باشد.اتصالات بین مس و مس می‌تواند با یکی از روش‌های لحیم کاری سخت فاقد روی با نقطه ذوب حداقل۶۰۰ درجه سانتیگراد، پیچ کردن، لحیم کاری فشاری، جوشکاری حرارتی و جوشکاری پرس سرد انجام شود.هنگام اتصال سیم اتصال به زمین (ارت) به تجهیزات، اگر فلز رنگ شده باشد، باید هنگام وصل به قسمت‌های فلزی گالوانیزه، قلع اندود کرد.

در تأسیساتی که اتصال سیم همبندی اتصال زمین به تجهیزات در معرض خوردگی قرار دارد، باید از طریق رنگ ماستیك قیری یا لفاف حفاظتی مناسب این اتصالات حفاظت شوند.اتصالات زمین به برقگیرها باید دارای سطح مقطع کافی بوده و تا حد امکان راست و مستقیم باشد و این اتصالات نباید از لوله‌های آهنی یا سایر اجزای آهنی یا فولادی ـ که باعث افزایش امپدانس ضربه می‌شوند ـ بگذرد. اتصالات سیم اتصال به زمین به تجهیزات تا حد امکان باید به گونه‌ای باشد که سطوح تماس در یك صفحه قائم قرار گیرند.در مواردی که از غلاف فلزی و زره فلزی کابل استفاده شود، غلاف و زره باید با لحیم کاری به یکدیگر همبندی شده و اتصال اصلی‌هادی حفاظتی به کابل با لحیم کاری به زره انجام شود.

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی الکترود زمین

منظور از مقاومت الکترود، مقاومت حجم خاکی است که الکترود راحاطه می‌کند و به اصطلاح حوزه مقاومت الکترود زمین گفته می‌شود.هنگام اندازه‌گیری

مقاومت الکتریکی الکترودهای اتصال به زمین، در صورتی که به هیچ عنوان امکان جداسازی الکترودها و اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی مستقل آنها وجود نداشته باشد، با در نظر گرفتن کلیه اصول ایمنی و حصول اطمینان از پیوستگی، اندازه‌گیری مقاومت کل کافی است.

هنگام اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی الکترود اتصال به زمین، به هیچ عنوان باز کردن نول ورودی (نول اداره برق) مجاز نیست.در کارخانه‌هایی که دارای چاههای اتصال به زمین متعدد هستند، با حصول اطمینان از پیوستگی همه آنها مقاومت کل اندازه‌گیری می‌شود.در کارخانه‌هایی که قطع برق آنها به هیچ عنوان مجاز نیست، ابتدا باید مقاومت کل اندازه‌گیری شود و در صورتی که این مقدار زیر یك اهم باشد، با اطمینان از همبندی کامل می‌توان چاهها را تك تك از مدار خارج کرد و مقاومت الکتریکی مستقل آنها را اندازه‌گیری نمود. در کارخانه‌هایی که الکترودهای قابل قبول چاه و اسکلت فلزی توأماً مقاومتی زیر حد مجاز دارند، با در نظر گرفتن کلیه موارد ایمنی و پیوستگی موضوع حل می‌شود.در شرایط اضطراری و استثنایی با تبعیت از رابطه ذیل مقاومت بیش از ۲ اهم قابل قبول است.

اتصال به زمین تجهیزات تولید برق

اتصال به زمین تجهیزات تولید برق برای محدود کردن پتانسیل‌هادی‌های حامل جریان نسبت به جرم کلی زمین انجام می‌شود و این کار به منظور حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی در اثر تماس غیرمستقیم ضروری است.حفاظت از مولدهای برق از طریق اتصال بدنه‌های‌هادی مولد و قسمت‌های‌هادی بیگانه به ترمینال اصلی اتصال به زمین انجام می‌شود.ترمینال اصلی اتصال به زمین به یك الکترود اتصال به زمین مستقل متصل می‌شود و در موارد مقتضی به سایر امکانات اتصال به زمین مربوطه به تأسیسات وصل می‌گردد.در مواردی که تأسیسات با بیش از یك منبع انرژی تغذیه شوند (مانند برق شهر و یك مولد)

سیستم اتصال به زمین باید طوری طراحی شود که هر یك از منابع بتوانند مستقل از منابع دیگری کار کنند و اتصال به زمین خود را حفظ کنند.بهتر است برای هر مولدی که تأسیسات متصل به شبکه توزیع برق عمومی را تغذیه می‌کند،

اتصال به زمین مستقل انتخاب شود.در ماشینهای مولد فشار ضعیف سنکرون یا آسنکرون که با برق شبکه تحریك می‌شود، اگر در سیم‌پیچهای ماشین نقطه خنثی وجود داشته باشد، این نقطه نباید اتصال شود و بدنه‌های‌هادی و قسمت‌های‌هادی بیگانه باید به ترمینال اصلی اتصال به زمین تأسیسات وصل شوند.در مورد مولدهایی که می‌توانند مستقل از منبع برق شبکه کار کنند، اگر تنها یك مولد وجود داشته باشد، هر دو اتصال زمین حفاظتی و اتصال زمین سیستم از طریق وصل نقطه خنثای مولد به بدنه مولد و قسمت‌های‌هادی بیگانه به یك ترمینال اصلی اتصال زمین با استفاده از یك الکترود اتصال زمین مستقل ایجاد شوند.

در مورد مولدهایی که به عنوان منبع ذخیره یا منبع اضطراری بکار می‌روند، اگر تنها یك مولد فشار ضعیف وجود داشته باشد، نقطه خنثای سیم پیچهای آن، بدنه مولد، کلیه قسمت‌های‌هادی در دسترس و قسمت‌های‌هادی بیگانه باید به ترمینال اصلی اتصال زمین وصل شوند و این ترمینال اتصال زمین باید به یك الکترود اتصال به زمین مستقل وصل گردد.در صورتی که چند مولد به طور موازی به یکدیگر متصل باشند، اتصال زمین حفاظتی بدنه‌های مولد و قسمت‌های فلزی مربوط به آن، مشابه اتصال زمین مربوط به یك مولد خواهد بود. ولی اتصال زمین سیستم برای سیم پیچها، تحت تأثیر جریانهای دوار قرار خواهد داشت (به دلیل امکان وجود جریان در سیستم‌های اتصال زمین).

برای رفع مشکل جریان جاری شده در سیم اتصال به زمین سیم‌پیچهای چند مولد که بطور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند، روش‌های ذیل را می‌توان بکار برد:

- وصل یك ترانسفورماتور اتصال زمین خنثی بین فازها و زمین
- وصل نقطه خنثای مولدها به یکدیگر و اتصال نقطه خنثای یك مولد به سیم ارت
- استفاده از یك راکتور مناسب در محل وصل خنثای هر مولد که باعث تضعیف جریانهای فرکانس بالا شود، بدون آنکه امپدانس قابل توجهی را در فرکانس اصلی از خود نشان دهد.

در مولدهای سه فاز سیار فشارضعیف، سیم پیچهای مولدی را که تازه از کارخانه تحویل داده شده‌اند، نمی‌توان به بدنه ماشین وصل کرد. در این حالت

ترمینالهای سه فاز و اتصالات نقطه خنثی باید جداگانه به جعبه ترمینال مولد یا پریز خروجی وصل شوند. همچنین نقطه ستاره سیم پیچهای مولد باید به یك نقطه مرجع مشترك وصل شود.نقطه مرجع مشترك از اتصال بدنه مولد کلیه قسمت‌های فلزی در دسترس، زیربدنه یا شاسی وسیله نقلیه و کلیه سیم‌های حفاظتی به یکدیگر ایجاد می‌شود و در صورت امکان باید به نقطه اتصال زمین هم وصل شوند.

در مولدهای سیار سه فاز فشارضعیف بهتر است که جعبه ترمینال یا پریز خروجی دارای پنج اتصال باشد: یك اتصال مجزا برای سیم اتصال زمین و چهار اتصال عادی برای سه فاز و نول.در مولدهای سیار سه فاز فشار ضعیف چنانچه فقط چهار اتصال وجود داشته باشد، از مولدها باید صرفاً برای تأمین بارهای سه فاز متعادل استفاده کرد و اتصال چهارم برای سیم اتصال زمین در نظر گرفته شود.

در مولدهای سیار سه فاز فشار ضعیف با چهار اتصال، اتصال چهارم و سیم آن نباید به عنوان سیم مشترك ارت .نول (PEN)مورد استفاده قرار گیرد، زیرا در صورت قطع این سیم احتمال بروز خطر وجود خواهد داشت.اتصال بین نقطه مرجع مشترك و اتصال زمین واقعی در محل مولد ضروری است و بین نقطه خنثی و اتصال زمین در محل مصرف از وسیله حفاظتی جریان پسماند نباید اتصال برقرار شود.

کلیه کابل‌های سه فاز بهتر است دارای چهار رشته باشند و به پرده فلزی قابل انعطاف یا زرهی از سیم‌های فولادی مجهز باشند تا بتوانند به عنوان سیم اتصال به زمین مورد استفاده قرار گیرند.در مولدهای تك فاز نیز باید کابل مجهز به پرده فلزی قابل انعطاف یا زرهی از سیم‌های فولادی باشد تا بتواند به عنوان یك‌هادی حفاظتی مجزا عمل کند.

در مواردی که به دلیل طولانی بودن کابل، مقاومت زره یا پرده فلزی آن افزایش یابد، دستیابی به یك امپدانس پایین برای حلقه اتصال به زمین را مشکل می‌سازد، باید از کابل پنج رشته‌ای برای سه فاز (و کابل سه رشته‌ای برای تك فاز) استفاده شود، به طوری که سیم اضافی را بتوان به صورت موازی با پرده فلزی وصل نمود.

در مورد کابل‌های فاقد پرده فلزی یا غلاف سیمی، این کابل‌ها باید از نوعی انتخاب شوند که روکش آنها در برابر سایش مقاوم باشد و به سیم اتصال به زمین جداگانه مجهز باشد.در مواردی که ممکن است کابل‌ها و تجهیزات در معرض خطر آسیب‌دیدگی قرار گیرند، می‌توان نوعی حفاظت تکمیلی را به کمك وسیله حفاظتی جریان پسماند(RCD) پیش‌بینی کرد. این وسیله نه تنها باید هنگام وقوع اتصالی بین سیم فاز و اتصال زمین یا بدنه فلزی عمل کند، بلکه باید خطر برق گرفتگی ناشی از تماس افراد با سیم‌های برقدار کابل‌های آسیب دیده فاقد زره یا تجهیزاتی را که کاملاً توسط محفظه فلزی پوشیده نشده‌اند، کاهش دهد.

اتصال به زمین خطوط هوایی

اتصال به زمین سازه‌های فولادی مشبك (دکلها)، تیرهای فلزی و تیرهای بتونی نگهدارنده خطوط هوایی از طریق تماس آنها با زمین باید انجام شود.در مناطقی که مقاومت ویژه خاك آنها بالاست، اتصال به زمین هوایی که به مقر تکیه گاه متصل است و در انتهای تغذیه به نول وصل می‌شود مناسب بوده و تا حدودی حفاظت در برابر رعد و برق را نیز تأمین می‌کند.

دکلهای فولادی ابتدای خطوط انتقال نیرو به سیستم اتصال زمین اصلی ایستگاه وصل می‌شوند.در مواردی که مقره‌ها به تیری از جنس غیررسانا یا بازوهای افقی غیررسانا که به تیر وصل است، متصل شوند، حذف همبندی قسمت‌های فلزی بالای تیر باعث تحمل ولتاژ ضربه‌ای بیشتری خواهد شد و در این حال احتمال خرابی ناشی از جرقه فاز به فاز کاهش می‌یابد.

در مواردی که تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها، کلیدهایی با قطع و وصل مکانیکی یا سرکابل‌ها روی یك تیر پلاستیکی تقویت شده یا چوبی نصب شده باشند مقاومت در برابر ولتاژ ضربه وارد شده از طریق تیر کاهش می‌یابد و بنابراین قسمت‌های فلزی روی تیر باید با یکدیگر همبندی شده و به زمین اتصال داده شوند.

مقره‌های مهار باید روی مهار تیر نصب شوند.هیچ بخشی از مقره نباید در ارتفاعی کمتر از سه متری بالای زمین قرار گیرد و لازم است که تا حد امکان بالاتر نصب شود، اما مقره باید طوری استقرار یابد که قسمت زیرین آن هیچ تماسی با

سیم مهار در بالا و سیم فاز و تجهیزات برقدار نداشته باشد، حتی اگر یکی از آنها پاره، شکسته و یا شل شده باشد.

براکتهای فلزی متصل یا نزدیك به هر یك از سازه‌های فلزی ساختمان یا قسمت‌های متصل به ساختمان که نگهدارنده سیم فاز هستند، باید به زمین متصل شوند، مگر آنکه اولاً سیم عایقدار باشد و ثانیاً توسط یك مقره نگهداشته شود.

سیم اتصال به زمین هوایی که در بالای خطوط نیروی هوایی نصب می‌شود، علاوه بر اینکه مسیری برای برگشت اتصال زمین ایجاد می‌کند، در برابر صاعقه نیز تا حدودی حفاظت به وجود می‌آورد.

اتصال به زمین روشنایی و تجهیزات الکتریکی مستقر در خیابانها

تجهیزات مستقر در خیابان عبارتند از: تیرهای ثابت چراغ برق، تابلوهای راهنمایی مجهز به روشنایی، کیوسکها و سایر وسایل مجهز به برق که به گونه‌ای دایمی در خیابان نصب هستند.تجهیزات مستقر در خیابان را می‌توان از طریق سیستم TN-Sتغذیه و حفاظت کرد که در این صورت از کابل تغذیه با سیم‌های فاز، نول و اتصال به زمین مجزا از یکدیگر استفاده می‌شود.قسمت‌های هادی در دسترس تجهیزات خیابان باید به ترمینال اتصال به‌زمین تجهیزات و همچنین به ترمینال اتصال به زمین مدار تغذیه متصل شوند.

برای تغذیه و حفاظت تجهیزات خیابان می‌توان از سیستم TN-C نیز استفاده کرد. در این روش معمولاً از کابلی با سیم مشترك نول .اتصال زمین(PE) استفاده می‌شود.در روش TNCS برای تأسیسات جدید، بدنه‌های هادی در دسترس باید از طریق یك سیم مسی به ترمینال نول وصل شود و سطح مقطع این سیم حداقل باید۱۰ میلیمتر مربع (سیم شماره۱۰) یا برابر با سطح مقطع سیم نول مدار تغذیه باشد.اجزای فلزی کوچك مجزا که احتمال تماس آنها با قسمت‌های هادی در دسترس یا قسمت‌های هادی بیگانه یا با سیم اتصال به زمین کم است (مانند درهای فلزی کوچك و چارچوبهای در) نباید به ترتیب یاد شده به سیستم اتصال زمین وصل شوند.

در صورتی که مداری بیش از یك وسیله خیابان را تغذیه کند (مثلاً به‌صورت حلقه)، یك الکترود اتصال زمین باید در واحد آخر یا ماقبل آن نصب شود و

مقاومت اتصال زمین در هر نقطه قبل از وصل هر سیم همبندی یا سیم اتصال زمین به‌ترمینال نول باید کمتر از ۲۰ اهم باشد و چنانچه این مقاومت الکترود بیش از ۲۰ اهم باشد، باید الکترودهای اتصال زمین دیگری در طول مدار با فاصله‌های مساوی از یکدیگر نصب شوند.

در صورتی که سیستم تغذیه TN-C باشد، ولی شرکت ناظر بر روشنایی عمومی، مایل به استفاده از کابل‌هایی با سیم‌های مجزای اتصال به زمین نول باشد، و همچنین در مواردی که شرکت برق، ترمینال اتصال زمین را تهیه کرده ولی چاه اتصال زمین را برای استفاده در اختیار شرکت روشنایی نگذارد، شرکت ناظر بر روشنایی باید الکترود ارت حفاظتی خود را نصب کند و در این حالت سیستم اتصال به زمین باید از نوع TT باشد.

الکترود ارت نول ترانسفورماتور تغذیه (TN-C) یك جزء مهم از حلقه اتصالی است، ولی مقاومت آن نسبت به الکترود اتصال به زمین تحت کنترل شرکت روشنایی خیابان نیست و در چنین شرایطی برای اطمینان از قطع تجهیزاتی که دچار اتصال شده‌اند، باید از وسایل حفاظتی جریان پسماند استفاده شود، استفاده از تیرهای چراغ برق فلزی یا اسکلت فلزی واحدهای کنترل و غیره به عنوان الکترودهای اتصال به زمین حفاظتی توصیه نمی‌شود.استفاده از تیرهای چراغ برق فلزی یا اسکلت فلزی واحدهای کنترل و غیره به عنوان الکترودهای اتصال زمین حفاظتی توصیه نمی‌شود.

اتصال به زمین داربستهای موقت و سازه‌های فلزی

سازه‌هایی که به کمك اتصال پیچی یا بستهای پیچی سوار می‌شوند، با توجه به تعداد اتصالات، مسیرهای متعددی با مقاومت نسبتاً مطلوب ایجاد می‌کنند، اما نباید این سازه موقت فلزی را به نحوی موثر متصل به زمین دانست.در صورتی که سازه‌های موقت حامل مدارهای روشنایی یا مصارف کوچك باشد، توصیه می‌شود که سازه با سیم حفاظتی همبندی شود.در سازه‌های موقت چنانچه ولتاژ کار مدار کمتر از ۵۰ ولت(AC) باشد، نیازی به همبندی نیست.برای استفاده از ولتاژ کار بیشتر از ۵۰ ولت(AC)، سازه فلزی به عنوان قسمتی ازهادی بیگانه محسوب شده و باید با سیم حفاظتی همبندی شود.در صورتی که سازه

موقتی در کنار ساختمان بلندی نصب شده باشد، این سازه فلزی موقت باید در برابر صاعقه نیز حفاظت شود.

برای حفاظت سازه موقت فلزی در برابر صاعقه، باید این سازه، هم در بالاترین نقطه نزدیك به ساختمان و هم در سطح زمین و یا در نزدیکی آن به یك یا چند سیم حفاظتی وصل شود.سازه‌های فلزی موقت ممکن است برای حفاظت کافی در برابر صاعقه به‌الکترودهای ارت جداگانه نیاز داشته باشند که این امر به ساختار پی‌ها و پایه‌های موقت بستگی دارد.

اتصال به زمین بندرگاه کشتیهای کوچك و قایقها

در تأسیسات الکتریکی دریایی باید خطرات ناشی از رطوبت، مورد توجه قرار گیرد. همچنین در بندرگاههایی که در معرض جزر و مد قرار دارند، محل قرارگیری سیم‌ها و جنس مواد به کار رفته و طراحی تأسیسات الکتریکی باید به گونه‌ای باشد که تأثیر زیان آوری روی آنها نداشته باشد.

با توجه به خطرات خاصی که برای کشتیها و قایها وجود دارد، استفاده از سیستم‌های PME در منابع تغذیه بندرگاهها ممنوع است.در بندرگاهها، منابع تغذیه سه نوع تأسیسات را تغذیه می‌کنند:

الف: تأسیساتی که برای انجام کار پیش‌بینی شده‌اند مانند تأسیسات مستقر در پیاده‌روها که ابزارهای دستی را نیز شامل می‌شود.

ب: تغذیه موقتی کشتی‌ها و قایق‌ها: مانند تغذیه رطوبت‌گیرهای کشتی‌ها و قایق‌ها.

ج: تغذیه کشتی‌ها و قایق‌هایی که دارای سیم کشی لازم برای استفاده از شبکه برق عمومی در بندرگاه هستند.هیچ یك از سیم‌های اتصال به زمین در بندرگاه نباید از جنس آلومینیوم یا کابل غیرقابل انعطاف با عایق معدنی و روکش مس باشد.تا حدامکان از اتصالات به سیم‌های محافظ باید اجتناب شود، اما در صورت نیاز این اتصالات باید در داخل پوشش حفاظتی مناسبی قرار گیرند. طراحی سیستم تغذیه باید طوری باشد که هر یك از نقاط سوختگیری روی کشتیها بتواند به سیم اتصال به زمین سیستم توزیع الکتریکی وصول شود. اتصال به زمین نقاط سوختگیری کشتیها باید قبل از سوختگیری انجام شود

و تا پایان مرحله سوختگیری و جداشدن لوله‌های تخلیه از کشتی ادامه داشته باشد.قسمت‌های فلزی محل سوختگیری باید به مخزن سوخت کشتی و سیم حفاظتی مدار کلیه سیم کشی‌های حفاظتی در کشتی اتصال دایمی داشته باشد.کلیه قسمت‌های فلزی روی سطوح شناور در داخل بندرگاه که شامل تجهیزات الکتریکی بوده و یا ممکن است با تجهیزات الکتریکی در تماس باشند، باید با سیم حفاظتی سیستم همبندی شوند.

ضمیمه ۲

روش‌های اجرای ارت
Earthing Methods

درصنایع مختلف، سیستم ارتینگ یا اتصال به زمین،تاسیساتی بسیارمهم و گران قیمت است.به خصوص ترمیم و گسترش این سیستم واجد هزینه‌های زیادی است.بنابراین در هنگام طراحی این سیستم بایستی به گونه‌ای عمل کرد که سیستم ارتینگ، هم برای مواجهه با جریان‌های اتصال کوتاه و هم برای مستهلک کردن انرژی صاعقه، به قدر کافی خوب عمل کند.علاوه بر آن، عمر سیستم باید طولانی بوده و استانداردها و مقررات ایمنی را رعایت نماید و تعداد نقاط همبندی کافی در آن در نظر گرفته شود تا در صورت لزوم به آسانی بتوان تجهیزات جدید را به آن متصل نمود.

پیش از اقدام به طراحی سیستم ارت دانستن موارد ذیل لازم خواهد بود:

- کاربری تاسیسات

- عمر مورد نیاز برای سیستم ارت
- مقاومت مخصوص خاک در ۳ عمق مختلف
- میزان خورندگی خاک
- شکل و ابعاد فضای قابل دسترسی برای اجرای سیستم زمین
- ساختمان‌های موجود و سیستم‌های زمین فعلی آنها
- تغییرات فصلی آب و هوا شامل دما و رطوبت
- امکان دسترسی عموم یا پرسنل به تاسیسات
- سیستم‌های الکتریکی و تاسیسات واقع شده در همسایگی محل
- برنامه‌های توسعه‌ای برای آینده از دیدگاه تاسیسات یا تجهیزات جدید

بطور کلی جهت حفاظت از تاسیسات و تجهیزات و ساختمان‌ها در مقابل بارهای الکتریکی، دقت دردو حوزه حائز اهمیت است:

- حفاظت در مقابل صاعقه و اضافه ولتاژها

- هم پتانسیل بودن تجهیزات نصب‌شده و کارکرد صحیح آنها بخصوص تجهیزات دیجیتال و انتقال داده (Data).

در صورتی که هدف ایجاد سیستم ارتینگ فقط حفاظت از تاسیسات و جلوگیری از برق گرفتگی افراد باشد سیستم ارتینگ مستقیما به تجهیزات متصل خواهد شدودرصورتی که حفاظت دربرابر صاعقه مد نظر باشد، نصب دکل و میله برقگیر صورت می‌پذیرد.

بطور کلی جهت اجرای ارت و سیستم حفاظتی دو روش کلی استفاده از چاه ارت و روش سطحی وجود دارد که درذیل ضمن بیان آنها، موارد استفاده و تجهیزات مورد نیاز هر روش و نحوه اجرای هر یك بیان می‌گردد.

روش ارتینگ عمقی (استفاده چاه ارت)

روش انجام ارت به صورت زمین عمقی شامل گام‌های زیر است:

گام ۱ : انتخاب محل حفرچاه ارت و اقدام به حفرآن

در روش ارتینگ عمقی که یك روش معمول می‌باشد از یك چاه (Earth Well) برای اجرای ارت استفاده می‌شود. در اجرای ارت به روش زمین عمقی، اولین

گام اجرای این سیستم، تعیین محل چاه ارت است. برای حفرچاه معمولاً پایین ترین محل ممکن که تماس با رطوبت به اندازه ی کافی داشته باشد یا بیشترین جاهایی که با رطوبت درگیرند، در نظر میگیرند. با توجه به مقاومت الکتریکی زمین، عمق چاه معمولاً بین ۴ تا ۸ متر و شعاع آن را باید بین ۳۵ تا ۸۰ سانتیمتر درنظر گرفته می‌شود.

دراین روش نوع و خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک بسیار مهم است. زیرا خاک بستر اصلی پذیرش الکتریسیته از تجهیزات مقاوم دربرابر عبورجریان است. مثلا در زمین‌های با خاک رسی که مقاومت آن کم است چاه با عمق کمتر و در زمین‌های شنی و سنگلاخی که مقاومت زمین درمقابل عبورجریان بیشتر است چاه با عمق بیشتری نیاز است. درجدول زیر جهت مقایسه و تشریح بیشتر مطالب فوق، محدوده مقاومت مخصوص چند نوع خاك آمده است.

نوع خاك	مقاومت مخصوص زمین (اهم متر)
کشاورزی و زراعی	۵ الی ۵۰
رسی بالای ۹۰درصد رس	۸ الی ۵۰
مخلوط رسی، ماسه‌ای و شنی	۲۵ الی ۴۰
شن و ماسه	۶۰ الی ۱۰۰
سنگلاخی و شنی	۲۰۰ الی ۱۰۰۰۰

گام ۲: ایجاد شیارارتباطی تجهیزات

درگام بعدی برای عبور کابل‌ها شیاری به عمق ۶۰ سانتیمتر حفر می‌نمایند. دراجرای این بخش باید دقت نمود که مسیر سیم‌ها می‌بایست کوتاه ترین حالت ممکن باشد وسیم‌ها تا حدامکان پیچ خوردگی نداشته باشد .از این شیارباید تعداد ۲ رشته سیم مسی نمره ۵۰ عبورداده شود که یکی به برقگیر روی دکل و دیگری به داخل ساختمان و به شینه(Basbar) خواهد رفت. برای محافظت و اطمینان بعدی از کامل شدن این بخش سیستم، روی شیار را با بنتونیت و خاک نرم پرمی کنند.

گام ۳: پر نمودن چاه ارت

گام بعدی پر کردن چاه است .بعنوان یک معیار مناسب، ابتداحدود ۲۰ تا ۳۰ لیتر محلول آب و نمک تهیه کرده و درکف چاه ریخته می‌شود. باید دقت نمود طوری محلول درچاه ریخته شود که کل کف چاه را بطورکامل پوشش دهد.

بعد از گذشت ۲۴ ساعت، کف چاه را تا ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر خاک رس می‌بایست پر نمود. مقدارحدود ۵۰۰ کیلوگرم بنتونیت را با آب مخلوط کرده وبه صورت محلولی دوغابی و غلیظ تا ارتفاع ۲۰ سانتیمتر از کف چاه می‌ریزند

حال صفحه ای ازجنس مس خالص ساخته شده براساس استانداردBS را بطور عمودی در مرکز چاه قرار داده و اطراف صفحه مسی را با دوغاب تهیه شده درفوق، تا حدود۲۰ سانتیمتری از بالای صفحه پر می‌نمایند.

ابعاد این صفحه به منطقه جغرافیائی که چاه درآن حفرگردیده است بستگی دارد، در مناطق شمالی و پر رطوبت این اندازه ۴۰ در ۴۰ سانتیمتر با ضخامت نیم سانتیمتراست و در مناطق نیمه خشک آن ۵۰ در ۵۰ سانتیمتر با ضخامت نیم سانتیمترو در مناطق کویری دارای ابعاد ابعاد ۷۰ در ۷۰ سانتیمتر با ضخامت نیم سانتیمتروگاهی اوقات از ضخامت‌های ۲ و ۴ میلیمترهم درهمه موارد فوق می‌توان استفاده نمود.

گام ۴: متصل نمودن سیم‌ها به صفحه

گام بعدی اتصال سیم‌ها به صفحه است. می‌بایست توجه داشت که این قسمت بسیار مهم بوده و دراین مرحله صرفا باید از جوش ترمیت (Thermite) برای اتصال بین سیم و صفحه استفاده نمود، چراکه این جوش از قدرت مکانیکال و الکتریکال زیادی برخوردار است. البته می‌توان برای محکم کاری از بست مخصوص که درضمائم این کتاب معرفی شده اند استفاده نمودتا اتصال سیم‌ها محکم تر شود. این اتصال بین صفحه و سیم به هیچ عنوان نباید در معرض قطع شدن قرار بگیرد زیرا اگر اتصال در گام به درستی صورت نپذیرد، تخلیه الکتریکی انجام نشده و سیستم ارتینگ کارائی نخواهد داشت.

گام اختیاری ۵ : استفاده از تکنیک لوله رطوبت رسان

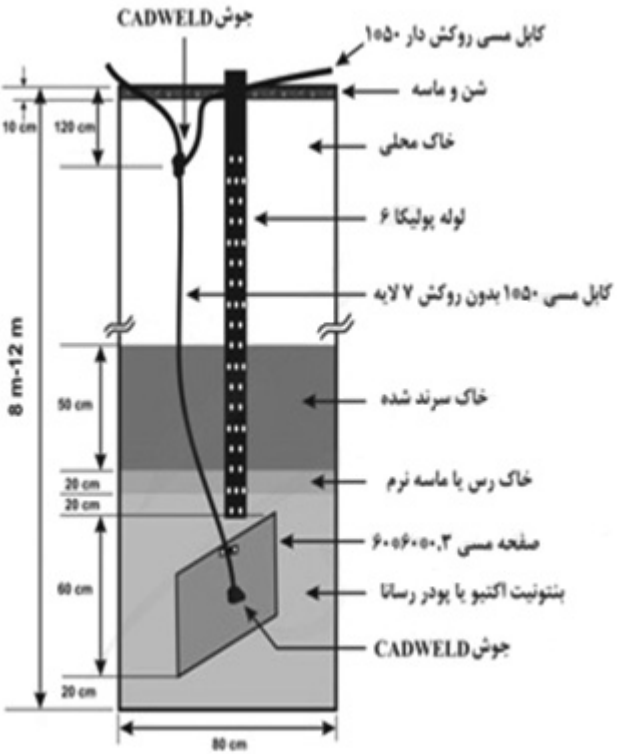
همانطور که شرح داده شد رطوبت، مهمترین فاکتور در چاه ارت می‌باشد. چراکه در صورت فقدان رطوبت، تخلیه الکتریسیته انجام نمی‌شود. بعنوان یك تکنیك تجربی جهت اطمینان از وجود رطوبت کافی، در مناطق گرم و خشك، یک لوله پی وی سی به قطر ۸ تا ۱۰ سانتیمتر و طول حداقل ۸۰ سانتیمتر را دارای چندین سوراخ نموده و تا ارتفاع ۵۰ سانتیمتر لوله را با شن پر می‌نمایند و به صورت مورب در بالای صفحه ی مسی قرار داده و تا ارتفاع ۲۰ سانتیمتری از بالای صفحه را با مخلوط دوغاب بنتونیت پر می‌کنند.این لوله کار رطوبت رسانی بخصوص در فصول گرم و خشک در آن منطقه را انجام می‌دهد. در واقع در مناطقی که رطوبت زیاد است، یعنی در مناطقی که رطوبت چاه چه از پایینترین نقطه و چه از سطح بالا تامین شود نیازی به لوله نیست.

گام ۶: پرنمودن مابقی عمق خالی چاه

درگام بعدمابقی عمق چاه ارت را نیز تا حدود ۱۰ سانتیمتر مانده به لبه چاه، با خاک کشاورزی یا ماسه غربال شده پر نموده و ۱۰ سانتیمتر باقیمانده را با سنگریزه و شن پر می‌کنند. دلیل این کار استفاده از منابع سطحی آب یا به طور مثال آب باران است. با این کار آب راحت به داخل نفوذ می‌کند و ماسه و خاک رطوبت را پس از دریافت به پایین چاه انتقال می‌دهند.

می بایست دقت نمود که مخصوصا در زمانی که از لوله پی وی سی استفاده نمی‌شود و در مناطق گرم و خشک که رطوبت کم است، به هیچ عنوان روی چاه را نباید آسفالت کرد یا مانع ورود رطوبت به داخل چاه شد.

شکل زیر تصویر کلی مراحل مشروحه در فوق را برای یك چاه ارت با تجهیزات منصوبه روی آن را نشان می‌دهد.



در مرحله‌ی آخر میله باس یا شینه داخل ساختمان را بایستی ایزوله نمود. طول و قطر این شینه بستگی به انشعابات داخلی دارد. باید توجه داشت که تمام تجهیزات باید موازی همدیگر و طبق استانداردهای مربوط و جداگانه به شینه متصل شوند.

درصورتیکه دکل بر روی ساختمان قرار داشته باشد سیم میله برقگیر باید از خارج ساختمان عبورداده شود و به هیچ عنوان نباید از داخل ساختمان عبورنماید. نکته مهم دیگر عایق نمودن و نصب میله برقگیر به یك پای دکل توسط بستی محکم است.

روش ارتینگ سطحی

در روش ارتینگ سطحی برای مناطقی که امکان حفاری عمیق در آنها وجود ندارد سیستم ارت در سطح زمین و یا در عمق حدود ۸۰ سانتیمتری از سطح زمین اجرا می‌گردد.

شرایطی که روش زمین سطحی برای اجرای ارت انتخاب می‌گردد شامل:

- فضای لازم و امکان حفاری در اطراف سایت وجود نداشته باشد .
- ارتفاع از سطح دریا پائین باشد مانند شهرهای شمالی و جنوبی کشور .
- پستی و بلندی محوطه سایت کم باشد .
- فاصله بین دکل و سایت زیاد باشد .

بنابراین ارجحیت هریک از روش‌های چاه ارت و زمین سطحی، بستگی به بررسی شرایط فوق دارد.البته دربررسی موارد فوق، ایجاد شرایط مطلوب و رفع نقصان مشاهده شده نیز می‌بایست به نحوی صورت پذیرد که روش انتخابی نقص موجود را به بهترین وجه پوشش دهد.

در روش ارتینگ سطحی، هفت شیوه Rod، Ring، پنجه‌ای (شعاعی)، مختلط ،حلزونی،الکتروشیمیایی وشبکه ای قابل اجراست که روش پرکاربرد Rod کوبی آن شرح داده خواهد شد.سایر روش‌ها دراستانداردهای اشاره شده و همچنین در دستورالعمل استاندارد ضمیمه این کتاب شرح داده شده است.

انجام ارتینگ سطحی با روش میله کوبی

گزارش نامطلوبی ازکاربرد این روش درانبارهای نگهداشت فرآورده‌های نفتی درج نشده است.هرچند بواسطه شرایط مطلوب تر روش عمقی(چاه ارت) بدلیل محدودیت‌های جغرافیائی و فضای تاسیساتی، روش یاد شده نسبت به روش سطحی ارجحیت دارد.

روش Rod مشابهت‌های زیادی با روش عمقی داشته و در نوع و اندازه تجهیزات بکاررفته تفاوت را می‌توان مشاهده نمود.

دراین روش مصالح مورد نیاز همانند روش عمقی می‌باشد با این تفاوت که به جای صفحه مسی از میله‌های با مغز فولادی حدود ۱/۵ متری و با قطر ۱۴ میلیمتر و با روکش مس استفاده می‌نمایند.

روش اجرای این سیستم ارتینگ به روش Rod

در گام اول کانالی به عمق ۸۰ سانتیمتر و عرض ۴۵ سانتیمتر و طول لازم حفر می‌نمایند. طول کانال را با روش اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک اندازه می‌گیرند.درروش اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک، مقاومت زمین را اندازه‌گیری نموده و ثبت می‌کنند. پس از آماده شدن کانال، ۲ میله به فاصله ۳متر از یکدیگر در زمین فرو نموده به گونه‌ای که حدود ۱۵ سانتیمتر از میله‌ها بیرون باقی بماند .سپس ۲میله را با کابل مسی به هم وصل نموده و با دستگاه ارت سنج مقاومت زمین ایجاد شده را اندازه می‌گیرند، چنانچه مقاومت نشان داده شده با دستگاه بالای ۴ اهم بود میله دیگری به فاصله ۳ متر از میله دوم درزمین فرو نموده و با اتصال ۳ میله به هم توسط کابل، مقاومت زمین ایجاد شده را اندازه‌گیری می‌نمایند. اینکار را تا زمانی که مقاومت اندازه‌گیری شده به زیر ۴ اهم برسد ادامه دهند. بعد از آنکه به تعداد کافی میله کوبیده شد، سیمی را که به شینه مسی نصب شده به تجهیزات لازم به داشتن ارت متصل است به تك تك میله‌ها جوش داده و به سمت دکل می‌برند.

باید توجه نمود بعد ازپر کردن کانال مقاومت زمین اندازه‌گیری شده کاهش خواهد داشت.

در مناطق سردسیر عمق کانال حفاری شده و بطور کلی مسیر عبور کابل مسی خیلی مهم می‌باشد و به هیچ وجه نباید در معرض یخ زدگی ناشی از یخبندان آب و هوائی قرار گیرد. تاثیر کاهش درجه حرارت بر افزایش مقاومت سیستم زمین به شرح جدول زیر می‌باشد.

درجه حرارت (سانتیگراد)	مقاومت(اهم)
+۳۰	۶۰
+۲۰	۷۲
+۱۰	۹۹
۰	۱۳۸
-۵	۷۹۰
-۱۰	۱۱۰۰

چنانچه تاسیسات دارای دکل خود ایستا باشد برای حفر کانال از فاصله بین اتاق، تجهیزات و دکل و همچنین اطراف دکل استفاده می‌شود که طول کانال را این فاصله تعیین می‌کند.

چنانچه دکل روی ساختمان قرارداشته حفاری با در نظر گرفتن اتاق دستگاه و دکل در مسیری که زمین رطوبت بیشتری دارد حفر کانال انجام گیرد که طول کانال اینگونه مشخص خواهد گردید.

برای پر نمودن کانال ابتدا با بنتونیت روی سیم مسی را پوشانده (در زمینهایی که رطوبت کافی ندارند) و سپس با خاك سرند شده کشاورزی یا خاك نرم کانال را پر می‌کنند.

پاره‌ای از مهمترین نکات در سیستم ارت Rod

- درکلیه سیستم‌های ارتینگ، کلیه اتصالات بایستی با مفتول برنج یا نقره جوشکاری گردد.سطح جوش باید ۶سانتیمتر باشدو جهت اتصالات وجوشکاری رعایت گردد.
- می بایست ازهرپایه دکل‌های خودایستا، فونداسیون دکل توسط سیم مسی و بست مخصوص به سیستم ارت و از پای دکل نیزبه سیستم ارت جوشکاری گردد.
- سیم میله برقگیر ازپایه ای که آنتن‌های کمتری نصب می‌شود و با کابل‌های روی نردبان(lader) حداکثرفاصله را داشته باشد، بدون خمش در مسیر و مستقیماً به رینگ داخل کانال و از کوتاهترین مسیر توسط جوش متصل گردد.
- میله برقگیر می‌بایست روی دکل در بالاترین نقطه دکل(با رعایت مخروط حفاظتی با زاویه ۴۵ درجه)قرارگیرد بطوریکه زاویه آن همه تجهیزات را پوشش دهی نماید. جنس میله برق گیر می‌بایست از مس خالص استاندارد به قطر ۱۶میلیمتر باشد.طول میله برقگیر بستگی به ارتفاع نصب ضمن پوشش دهی یاد شده روی دکل را دارد.
- شعاع ربع دایره ای سیم مسی می‌بایست حداقل ۲۰سانیمتر وزاویه قوس آن می‌بایست لااقل ۶۰ درجه درنظر گرفته شود.

- پایه‌ها و نقاط ابتداوانتهای لدر افقی به سیستم ارت متصل گردد.
- کلیه کابل‌های ورودی به سالن دستگاه توسط بست گراند(زمین) به بدنه دکل و ابتدای نردبان افقی(بعد از محل خم شدن کابل)ارت شوند.
- به هیچ عنوان در روی دکل،نبایست جوشکاری صورت گیرد.
- اتصال از شبکه ارت سیستم اجرا شده به تانکر سوخت دیزل ژنراتور، تانکر آب هوایی، اسکلت فلزی تاسیسات تحت ارتینگ صورت گیرد.
- اگر سیستمی ازقبل اجرا شده باشد،اتصال سیستم قدیم به جدید در عمق خاك صورت پذیرد.
- سیم‌ارت درروی زمین باید با روکش وسیم‌داخل‌کانال‌ها باید بدون روکش و مستقیم کشیده شود.
- پرکردن کانال باید با خاك سرند شده کشاورزی یا خاك نرم انجام گردد.
- شینه مسی در۵ سانتیمتری کف نصب شود.
- شینه‌های داخل اتاق تاحدامکان به تجهیزات تحت حفاظت نزدیك باشد.
- ازهر دستگاهی جداگانه سیم ارتی به شینه متصل گردد (قطر و طول شینه گراند بستگی به تعداد انشعابات آن دارد).
- در دکل‌های پر ظرفیت مهارشونده، مهارهای دکل می‌بایست توسط بست مخصوص به زمین اتصال یابد.
- بین نول و زمین نباید اختلاف ولتاژ وجود داشته باشد.
- در دکلهای پر ظرفیت که ابعاد قسمت بالای دکل بیشتر از ۲متر می‌باشد نیاز به نصب یك عدد برقگیر اضافی در سمت مقابل برقگیر اول می‌باشد.
- استاندارد قابل قبول آزمایش و تحویل اتصال زمین برای سایتهای کوچك زیر ۱۰ اهم و برای سایت‌های بزرگ و مهم زیر ۳ اهم می‌باشد.

(جهت اطلاع از نکات جامع تر این سیستم، به آیین‌نامه ارت (Earth) در ضمیمه ۱ کتاب مراجعه نمائید).

ضمیمه ۳

تجهیزات و مصالح مورد نیاز انواع سیستم ارتینگ

جهت آشنائی با تجهزات و مصالح مورد نیاز و مشخصات آن برای اجرای چاه ارت (روش عمقی) و Rod کوبی (روش سطحی) در جدول زیر تعدادی از این تجهیزات و مصالح با محل مصرف و توضیحات مربوط به هریك ارائه شده است.

ردیف	نوع جنس	محل مصرف	توضیحات
۱	میله برقگیر	دکل صاعقه‌گیر	میله برقگیر معمولاً به طول ۱/۵ متر و قطر آن ۱۶ میلیمتر و جنس آن مس خالص و نوك تیزاست
۲	بست میله برقگیر به سیم ارت	دکل صاعقه‌گیر	جهت اتصال میله برقگیر به سیم ارت در نقاطی که ارتفاع دکل حدودا ۲۰ متر باشد
۳	یوبولت	دکل صاعقه‌گیر	جهت نصب میله برقگیر به دکل
۴	بست سیمی برای نصب سیم به دکل	دکل صاعقه‌گیر	سیم نمره ۵۰ را به اندازه‌های لازم بریده و رشته رشته کرده جهت اتصال سیم ارت به دکل استفاده می‌نمایند

۵	تسمه آلومینیومی یا مسی	دکل صاعقه‌گیر	در اندازه ۱۰۰ در ۳۰ میلیمتر با ضخامت ۳ میلیمتر جهت بستن میله برق گیربا یوبولت در دکل‌های مهاری
۶	سیم مسی نمره ۵۰ متر	کل سیستم به تناسب دستگاه‌ها	معمولاً نوع ۷ رشته
۷	کابلشو نمره ۵۰	دکل صاعقه‌گیر	جهت اتصال سیستم ارت به شینه داخل سایت و یا اتصال پای دکلهای مهاری و خود ایستا به سیستم ارت
۸	لوله پلی اتیلن(۱۰ اتمسفر)	جهت پوشش سیم‌ها	برای ایجاد پوشش عایق روی سیم مسی در محوطه و محل تردد
۹	بست لوله پلی اتیلن همراه پیچ و رولپلاك	جهت اتصال لوله پلی اتیلنی به دیوار	جهت اتصال لوله پلی اتیلن به دیوار
۱۰	جوش cadweld	چاه ارت و دکل صاعقه‌گیر و...	جهت جوش دادن سیم به صفحه یا سیم به میله ROD یا اتصال سیم‌ها به یکدیگردر نقاطی که دسترسی به جوش نقره یا جوش برنج وجودندارد .
۱۱	شینه مسی به ابعاد ۳*۳۰*۲۵۰ میلیمتر	جهت نصب سیستم به دستگاه‌ها	برای نصب در داخل سایت و اتصال دستگاه‌ها به آن
۱۲	صفحه مسی ۵*۵۰*۵۰	چاه ارت	مورد استفاده در روش عمقی
۱۳	مقره همراه پیچ و رولپلاك	کل سیستم به تناسب دستگاه‌ها	جهت اتصال شینه مسی به دیوار

۱۴	پیچ و مهره نمره ۸ با واشر فنری و تخت	کل سیستم به تناسب دستگاه‌ها	جهت استفاده شینه مسی □پلیت-شینه پای دکل و ...
۱۵	بست سیم به صفحه مسی	چاه ارت	به منظورمحکم کردن اتصال سیم روی صفحه مسی
۱۶	بست دو سیم نمره ۵۰	چاه ارت	جهت اتصال دو سیم نمره ۵۰ روی زمین
۱۷	پلیت مخصوص اتصال میله برقگیر به دکل	دکل صاعقه‌گیر	برای دکل‌های خود ایستای ۶۰متری استفاده می‌گردد.
۱۸	شینه مسی مخصوص پای دکل ۳*۳۰*۱۰۰	دکل صاعقه‌گیر	برای وصل نمودن پای دکل‌های خود ایستای ۶۰متری به سیستم ارت
۱۹	میله ROD	در روش سطحی	در روش سطحی استفاده می‌گردد.
۲۰	بست مربوط به سیم مسی و میله ROD	در روش سطحی برای دکل صاعقه‌گیر	برای اتصال سیم به میله برقگیر یاROD
۲۱	کرپی ابروئی همراه پیچ و مهره	در روش سطحی برای دکل صاعقه‌گیر	برای بستن میله برقگیر به دکل‌های ۱۰۰ فوتی و دکل‌های خود ایستای لوله ای
۲۲	بنتونیت اکتیو کیلو(۳۰۰الی ۴۵۰kg)	چاه ارت و روش سطحی	برای روش عمقی و سطحی جهت کاهش مقاومت چاه ارت
۲۳	بست میله برقگیر به پلیت	دکل صاعقه‌گیر	جهت اتصال میله برقگیر به پلیت در دکلهای خود ایستای۶۰متری

ضمیمه ۴

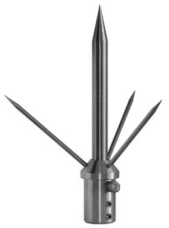
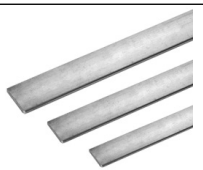
پاره ای از اهم اتصالات و تجهیزات ارت

بست A تایپ - اتصال تسمه به میله ارت Earth Rod to Tape Clamps - A Type	
بست G تایپ - اتصال سیم به میله Earth Rod to Cable Clamps -G Type	
بست U - اتصال تسمه افقی به میله ارت Single Plate u -type for Horizontal Flat Tapes	
بست U - اتصال تسمه عمودی به میله ارت Double Plate u -type for Vertical Flate Tapes	

بست U - اتصال سیم به میله ارت و آرماتور Double Plate Type for Vertical /Horizontal Stranded Cables	
بست B - اتصال کابلشو به میله ارت Special Split Connector Clamps -B Type	
بست اتصال موازی سیم به سیم دو پیچ Parallel Cable Clamps	
بست دو پارچه اتصال سیم به صفحه Double -Plate Tower Earth Clamps	
بست یکپارچه اتصال سیم به صفحه Single Plate Tower Earth Clamps	
بست اتصال موازی سیم به سیم تک پیچ Parallel Tower Earth Clamps	

بست اسپیلیت بولت Split Bolt Connectors	
بست اسپیلیت بولت پیچ دار Bolted Spilit Bolt Connectors	
Cکلمپ C -Clamps Connectors	

میله ارت مسی Solid Copper Earth Rods	
میله ارت فولاد ضد زنگ Solid Stainless Steel Earth Rods	
داول فولادی Coupling Dowels	
سر ضربه خور فولادی Threaded Driving Heads	
نوک فولادی Threaded Driving Tips	

میله برقگیر	
انواع پایه‌های صاعقه‌گیر در سایزها و جنس‌های مختلف	
بست‌ها و یراق آلات سیستم صاعقه‌گیر	
کابل مسی با روکش سبز و زرد Green /Yellow PVC Insulated Stranded Copper Conductors	
شمش مسی بدون روکش Bare Copper Bars	
شمش مسی با روکش قلع Tin-Plated Bare Copper Bars	

ضمیمه ۵

صاعقه‌گیر الکترونیکی

یکی از روش‌های مدرن و رایج حفاظت در برابر برخورد مستقیم صاعقه استفاده از صاعقه‌گیر الکترونیکی و یا به اصطلاح صاعقه‌گیر خازنی است.

این نوع صاعقه‌گیر خازنی تنها از یک منبع به نام Impulse Device استفاده می‌نمایند که انرژی موجود در میدان الکترواستاتیك ایجاد شده توسط ابرهای باردار Cumulonimbus را در خود ذخیره می‌نماید (این مکانیزم در اکثر دستگاه‌های صاعقه‌گیر الکترونیکی موجود ساخت سایر کارخانجات یکسان می‌باشد) و سپس این انرژی را در زمان صحیح (زمان تخلیه صاعقه) که توسط سنسورهای موجود در دستگاه اعلام می‌گردد، آزاد نموده و دالان صعودی را تقویت می‌نماید.

در واقع هنگامی که دالان نزولی Downward Leader وارد محدوده حفاظتی (شعاع پوشش) دستگاه صاعقه‌گیر الکترونیکی می‌گردد، جریان الکتریکی اندازه‌گیری

شده توسط سنسور به شدت افزایش یافته، لذا به محض اینکه جریان فوق از حد مجاز تعریف شده برای سنسور بیشتر گردد، سنسور فوق خازن را راه اندازی نموده و انرژی از قبل ذخیره شده در آن تخلیه و در نتیجه انرژی لازم برای انتشار دالان صعودی آزاد می‌گردد که در این حالت نوک دستگاه صاعقه‌گیر به عنوان واحد جذب/گیرنده صاعقه عمل نموده و جریان صاعقه را از طریق هادی‌های نزولی تعبیه شده در سیستم حفاظت در برابر صاعقه به سیستم ارتینگ مربوطه هدایت می‌نماید.

منابع و مراجع

- مهندسی خوردگی، فونتانا، ترجمه احمد ساعتچی
- کنترل خوردگی در صنایع جلد اول، تألیف دکتر سید محمد سید رضی، ناشر انجمن خوردگی ایران، چاپ دوم ۱۳۷۶
- مهندسی خوردگی، تألیف مارس. ج. فونتانا ترجمه دکتر احمد ساعتچی ناشر جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، تابستان ۱۳۸۲
- نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع تالیف سید احمد پیشنمازی، انتشارات ارکان بهار ۱۳۷۷.
- فصلنامه کامپوزیت
- وب سایت شرکت اسپادانا
- آیین‌نامه سیستم اتصال به زمین (ارتینگ)مصوبه ۱۳۸۵ شورای عالی حفاظت فنی وزارت کار
- استانداردهای اشاره شده در آغاز هر فصل و وب سایت‌های مرتبط با موضوع.

- A BRIEF HISTORY OF CORROSION SCIENCE AND ITS PLACE IN THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY Robert P. FrankenthalBasking Ridge, NJ 07920
- API RP12R1, Setting, Maintenance, Inspection, Operation, and Repair of Tanks in Production Service, fifth edition. 1997. Washington, DC: API.
- API RP575, Inspection of Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks, first edition. 1995. Washington, DC: API.
- API RP651, Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks, second edition. 1997. Washington, DC: API.
- API RP652, Lining of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms, first edition. 1991. Washington, DC: API.
- API RP2003, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents, fifth edition. 1991. Washington, DC: API.
- API Spec. 12B, Bolted Tanks for Storage of Production Liquids, fourteenth edition.

1995. Washington, DC: API.

- API Spec. 12D, Field-Welded Tanks for Storage of Production Liquids, tenth edition. 1994. Washington, DC: API.
- API Spec. 12F, Shop-Welded Tanks for Storage of Production Liquids, eleventh edition. 1994. Washington, DC: API.
- API Standard 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, tenth edition. 1998. Washington, DC: API.
- API Standard 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, second edition. 1995. Washington, DC: API.
- API Standard 2000, Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks (Nonrefrigerated and Refrigerated), fifth edition. 1998. Washington, DC: API.
- API Standard 620, Design and Construction of Large, Low-Pressure Storage Tanks, tenth edition. 2002. Washington, DC: API.
- Corrosion Basics —An Introduction, L.S. Van Delinder, ed. (Houston, TX: NACE, 1984)
- http://www.irima.ir

یادداشت