

مشخصات فنی عمومی و اجرایی  
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال  
روش های جلوگیری از خوردگی  
در پست های فشار قوی  
نشریه شماره ۴۷۳

وزارت نیرو - شرکت توانیر  
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق  
[www.tavanir.org.ir](http://www.tavanir.org.ir)

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور  
معاونت نظارت راهبردی  
دفتر نظام فنی اجرایی  
<http://tec.mporg.ir>



جمهوری اسلامی ایران

**مشخصات فنی عمومی و اجرایی  
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال  
روش های جلوگیری از خوردگی  
در پست های فشارقوی  
نشریه شماره ۴۷۳**

وزارت نیرو - شرکت توانیر  
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق  
[www.tavanir.ir](http://www.tavanir.ir)

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور  
معاونت نظارت راهبردی  
دفتر نظام فنی اجرایی  
<http://tec.mporg.ir>





بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۷۷۸۳
تاریخ:	۱۳۸۸/۲/۲۹

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع:

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال- روش‌های جلوگیری از خوردگی در پست‌های فشار قوی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۷۳ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال- روش‌های جلوگیری از خوردگی در پست‌های فشار قوی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

امیرمنصور برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور



# اصلاح مدارک فنی

## خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی،**

**مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
  - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
  - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

**نشانی برای مکاتبه:** تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه  
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>





در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرایی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان « روش های جلوگیری از خوردگی در پست های فشار قوی»، شامل مباحث مربوط به اهداف، کلیات و تعاریف، شناخت انواع خوردگی و روشهای جلوگیری از آنها، سطوح نیازمند به حفاظت در برابر خوردگی، روشهای حفاظت در برابر خوردگی، طراحی حفاظت در برابر خوردگی، رنگ آمیزی و مشخصات رنگ برای پست های فشار قوی ۶۳ تا ۴۰۰ کیلو ولت می باشد.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.



## مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - روش های

جلوگیری از خوردگی در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۴۷۳

### تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين مهدی حدادی، دکتر مسعود جمشیدی و دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

### کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیانی وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح

آقای مهندس بهمن الله مرادی سازمان توسعه برق ایران

آقای دکتر عارف درودی مهندسين مشاور نیرو

آقای مهندس علی رحیم زاده خوشرو کارشناس معاونت برنامه ریزی - دفتر فنی شبکه

آقای مهندس مجید رضائی پژوهشگاه نیرو

آقای مهندس محمد رضا شریعتی پژوهشگاه نیرو

آقای مهندس مهرداد شعبانی مهندسين مشاور قدس نیرو

آقای مهندس سید حسن عرب اف مهندسين مشاور قدس نیرو

آقای مهندس بهروز قهرمانی سازمان توسعه برق ایران

آقای مهندس مهدی مرآت مشانیر

آقای مهندس سید جمال دین واسعی پژوهشگاه نیرو

آقای مهندس احسان الله زمانی وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی طرح

مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين

پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول - اهداف، کلیات و تعاریف</b>
۳	۱-۱- هدف .....
۳	۲-۱- تعاریف .....
	<b>فصل دوم - شناخت انواع خوردگی و روشهای جلوگیری از آنها</b>
۹	۱-۲- خوردگی الکتروشیمیایی .....
۹	۲-۲- خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی .....
۱۰	۱-۲-۲- پتانسیل شیمیایی و نیروی الکتروموتوری فلزات (FMF) .....
۱۰	۲-۲-۲- اثر محیط .....
۱۱	۳-۲-۲- اثر فاصله الکترودها .....
۱۱	۴-۲-۲- اثر سطح .....
۱۱	۵-۲-۲- جلوگیری از خوردگی گالوانیکی .....
۱۲	۳-۲- خوردگی مدفون .....
۱۲	۱-۳-۲- پیدایش خوردگی مدفون .....
۱۳	۲-۳-۲- عوامل کنترل کننده خوردگی .....
۱۳	۳-۳-۲- انواع سل‌های خوردگی .....
۱۳	۴-۳-۲- تشخیص عامل خوردگی .....
۱۴	۴-۲- خوردگی بیولوژیکی .....
۱۴	۱-۴-۲- موجودات میکروسکوپی .....
۱۴	۱-۱-۴-۲- باکتریهای بی‌هوازی .....
۱۵	۲-۱-۴-۲- باکتریهای هوازی .....
۱۵	۳-۱-۴-۲- موجودات میکروسکوپی دیگر .....
۱۶	۲-۴-۲- موجودات ماکروسکوپی .....
۱۷	۳-۴-۲- جلوگیری از خوردگی بیولوژیکی .....
۱۷	۵-۲- خوردگی اتمسفری .....

### فصل سوم - سطوح نیازمند به حفاظت در برابر خوردگی

۲۹	..... فولادهای کربنی ۱-۳
۳۰	..... گالوانیزه ۲-۳
۳۰	..... سطوح بتونی ۳-۳
۳۰	..... علل تخریب سازه‌های بتونی ۱-۳-۳
۳۱	..... عوامل موثر در تخریب فاز بتون ۲-۳-۳
۳۱	..... واکنش ترکیبات شیمیایی بتون با قلیا ۱-۲-۳-۳
۳۳	..... واکنش عوامل بیرونی با قلیا ۲-۲-۳-۳
۳۴	..... آلومینیوم و آلیاژهای آن ۴-۳
۳۶	..... خوردگی مس و آلیاژهای آن ۵-۳
۳۸	..... خوردگی سرامیک‌ها ۶-۳

### فصل چهارم - روشهای حفاظت سطوح در برابر خوردگی

۴۱	..... پوشش‌ها ۱-۴
۴۳	..... پوشش‌های آلی ۱-۱-۴
۴۵	..... محافظت سطوح توسط پوشش‌های آلی ۱-۱-۴
۴۸	..... پوشش معدنی ۲-۱-۴
۴۸	..... پوشش‌های فلزی فولاد ۳-۱-۴
۴۹	..... گالوانیزاسیون ۱-۳-۱-۴
۵۱	..... پوشش‌های گالوالوم ۲-۳-۱-۴
۵۲	..... پوشش آلومینایز ۳-۳-۱-۴
۵۳	..... روشهای مهندسی حفاظت سطوح در برابر خوردگی ۲-۴
۵۳	..... تغییر محیط خورنده ۱-۲-۴
۵۳	..... انتخاب مواد صحیح ۲-۲-۴
۵۴	..... کندکننده‌ها ۳-۲-۴
۵۴	..... ممانعت‌کننده‌های جذبی ۱-۳-۲-۴
۵۴	..... ممانعت از تصعید هیدروژن ۲-۳-۲-۴
۵۴	..... مواد حذف‌کننده عوامل مضر ۳-۳-۲-۴
۵۵	..... مواد اکسیدکننده ۴-۳-۲-۴
۵۵	..... ممانعت‌کننده‌های فاز بخار ۵-۳-۲-۴
۵۶	..... آماده‌سازی مناسب ۴-۲-۴

۵۷	..... ۵-۲-۴- انتخاب پوشش مناسب
۶۰	..... ۱-۵-۲-۴- سطوح گالوانیزه
۶۰	..... ۲-۵-۲-۴- سطوح فولادی
۶۸	..... ۶-۲-۴- طراحی حفاظت بتون در برابر خوردگی
۶۹	..... ۱-۶-۲-۴- بررسی کیفیت پایه‌های بتنی
۷۱	..... ۲-۶-۲-۴- روش‌های افزایش مقاومت فیزیکی و شیمیایی بتن
۷۳	..... ۳-۶-۲-۴- آب اختلاط
۷۳	..... ۴-۶-۲-۴- میلگرد
۷۴	..... ۳-۴- حفاظت کاتدی
۷۴	..... ۱-۳-۴- تعریف
۷۵	..... ۲-۳-۴- اصول حفاظت کاتدی
۷۸	..... ۳-۳-۴- اجرای سیستم حفاظت کاتدی
۷۹	..... ۳-۳-۴- آندهای فداشونده
۸۵	..... ۵-۳-۴- بستر آندی و پشت‌بند
۸۸	..... ۶-۳-۴- حفاظت کاتدی همراه با پوشش
۸۹	..... ۷-۳-۴- مقدار جریان لازم
۸۹	..... ۸-۳-۴- انتخاب روش مناسب
۹۰	..... ۹-۳-۴- محافظت بیش از حد
۹۰	..... ۱۰-۳-۴- معیارهای حفاظت کاتدی
۹۴	..... ۱۱-۳-۴- مقاومت خاک
۹۵	..... ۱۲-۳-۴- خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان یا پراکنده
۹۸	..... ۴-۴- حفاظت آندی
۱۰۱	..... مراجع

پیوست- مشخصات فنی روشهای جلوگیری از خوردگی در پست های فشار قوی





# فصل ١

## اهداف، کلیات و تعاریف



## مقدمه

خوردگی یکی از مشکلات اصلی در صنعت برق است که تاکنون در کشور اقدامات زیربنایی جهت کنترل آن صورت نپذیرفته است. نتیجه این پدیده مخرب صرف هزینه‌های گزافی است که بصورت مستقیم و غیرمستقیم پرداخت می‌گردد. نظر به این هزینه کلان در بخش‌های مختلف صنعت برق و از جمله پست‌های فشارقوی، لزوم استفاده از روش‌های مختلف حفاظت تاسیسات در برابر خوردگی ضروری می‌باشد.

قرارگیری پست‌های فشارقوی در سراسر کشور و تنوع زیاد شرایط محیطی و اقلیمی ایران، موجب شده که تجهیزات پست‌ها انواع خوردگی و شدت‌های مختلف آنرا تجربه نمایند. بر همین اساس و بعلاوه داشتن تجهیزات مختلف مدفون و غیرمدفون پست‌های فشارقوی از جمله محیط‌هایی هستند که مسئله خوردگی در آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و ضروری است که بطور کامل مورد بررسی قرار گیرند.

### ۱-۱- هدف

هدف از این نشریه شناسایی انواع تجهیزات در معرض خوردگی پست‌های فشارقوی، معرفی انواع خوردگی و عوامل خورنده، شناخت روش‌های حفاظت در برابر خوردگی شامل انواع پوشش‌های آلی حفاظتی، پوشش‌های فلزی، حفاظت‌های آندی و کاتدی به‌مراه طراحی حفاظت و بررسی مشخصات فنی پوشش‌های مصرفی خواهد بود.

### ۱-۲- تعاریف

**پوشش (رنگ)<sup>۱</sup>:** فیلمی پیوسته از جنس آلی، معدنی و یا فلزی است که به سطح چسبیده و آنرا از معرض جو حفظ می‌نماید. پوشش‌ها انواع مختلفی داشته و از اجزاء مختلفی (رزین، پیگمنت\*، پرکننده و موادافزودنی) تشکیل می‌شوند.

**پوشش حفاظتی<sup>۲</sup>:** این پوشش‌ها جهت حفاظت سطح فلزی و یا غیرفلزی (بتونی) از خوردگی اتمسفری و یا شیمیایی بکار رفته و معمولاً به یکی از دو روش سدکنندگی و یا خاصیت ضدخوردگی می‌توانند سطح را محافظت نمایند. پوشش‌های حفاظتی در سه نوع آلی، معدنی و فلزی موجودند که از جمله آنها می‌توان پوشش‌های اپوکسی، اتیل سیلیکاتی و گالوانیزه را نام برد.

**پوشش‌های سدکننده<sup>۳</sup>:** پوشش‌های سدکننده معمولاً از نوع پوشش‌های آلی حفاظتی بوده و در ضخامت‌های بالا (بیش از ۱ میلی‌متر) بکار می‌روند. از آنجا که افزایش ضخامت باعث کاهش چسبندگی پوشش‌ها می‌گردد، معمولاً از چسب‌های مخصوصی برای اتصال پوشش‌های سدکننده ضخیم به فلز استفاده می‌گردد. از سوی دیگر از آنجا که

- 
- 1- Coating (paint)
  - 2- Protective coatings
  - 3- Barrier coatings

\* پیگمنت یا رنگ دانه معمولاً اکسیدهای معدنی نظیر  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و یا ترکیبات دیگری مثل  $\text{ZnCrO}_4$ ، خاک رس و غیره می‌باشند.

غالباً ترکیبات آلی نفوذپذیر می‌باشند، برای حفاظت بهتر علاوه بر افزایش ضخامت (جهت افزایش زمان نفوذ و رسیدن عوامل خوردنده به سطح فلز) بهتر است از ترکیبات با نفوذپذیری نسبتاً کمتر (همچون پلی‌اتیلن و یا لاستیکها) استفاده شود که همین انتخاب نیز خود موجب کاهش چسبندگی شده و استفاده از چسبهای موثر را ضروری می‌سازد.

**پوشش‌های ضد خوردگی<sup>۱</sup>:** این پوشش‌ها در برابر خوردگی مقاوم بوده و در ضخامت کم (معمولاً کمتر از ۵۰۰ میکرون) بکار می‌روند. پوشش‌های ضد خوردگی توانایی ایجاد اتصالات شیمیایی با سطوح فلزی را دارا بوده و سطح فلز را از معرض عوامل خوردنده دور می‌نمایند. بسته به نوع و استحکام اتصال بین اجزاء پوشش و فلز عملکرد ضد خوردگی پوشش‌ها متفاوت خواهد بود.

**پوشش‌های فلزی<sup>۲</sup>:** این پوشش‌ها بصورت فیلم‌های نازک فلزی بطرق مختلف همچون حمام مذاب، جریان الکتریسیته، اسپری و غیره روی سطح فولاد اعمال می‌شوند.

**پوشش‌های معدنی<sup>۳</sup>:** پوشش‌های از جنس غیرآلی (معدنی) هستند و تنوع نسبتاً کمتری از پوشش‌های آلی دارند، اما در حفاظت تجهیزات از اهمیت بالایی برخوردارند. این پوشش‌ها خنثی بوده و با مواد شیمیایی واکنش نمی‌دهند. بنابراین بخوبی سطوح را در برابر خوردگی محافظت می‌نمایند.

**پیگمنت<sup>۴</sup>:** ذرات جامد و ریزی که به منظور فام بخشی و یا خاصیت ضد خوردگی در پوشش‌ها بکار می‌روند.

**جریان سرگردان:** جریانی مستقیم که بصورت مجزا در محیط شبکه محافظت شده ایجاد گردیده و موجب اختلال در سیستم حفاظت کاتدی می‌گردد.

**حفاظت آندی<sup>۵</sup>:** یکی از روشهای حفاظت سطوح فولادی به کمک جریان الکتریسیته بوده که در آن با اعمال جریان آندی بر روی سطح فلز یک پوسته سطحی محافظ تشکیل می‌شود که این پوسته از خوردگی فلز ممانعت می‌نماید.

**حفاظت کاتدی<sup>۶</sup>:** عبارت است از کاهش و یا احتمالاً متوقف نمودن خوردگی توسط اعمال جریان خارجی مستقیم و یا اتصال یک آند فداشونده به فلز مورد نظر، بطوریکه فلز نقش کاتد را اجرا نموده و از خوردگی حفظ شود.

**خوردگی:** خوردگی را می‌توان بصورت‌های مختلف تعریف نمود:

- پوسته پوسته شدن، لایه لایه شدن و نهایتاً تشکیل اکسیدهای فلز بر روی سطح بطوری که نهایتاً موادی با جنس و رنگ دیگر بر سطح تشکیل شود.

- از بین رفتن یا پوسته شدن یک فلز در اثر انجام واکنش با محیط اطراف

- از بین رفتن مواد در اثر عواملی که صد درصد مکانیکی نیستند.

کلمه خوردگی یک مفهوم کلی است که علاوه بر کلیه فلزات، شامل سرامیک‌ها، پلاستیک‌ها و... نیز می‌شود.

1- Anticorrosive coatings

2- Metallic coatings

3- Inorganic coatings

4- Pigment

5- Anodic protection

6- Cathodic protection

**خوردگی اتمسفری<sup>۱</sup>:** خوردگی فلزات در محیط اتمسفر خود به دو عامل شرایط محیطی (جوی)<sup>۲</sup> و اقلیمی<sup>۳</sup> وابسته است. شرایط محیطی ساخته دست بشر بوده و می‌تواند روستایی، شهری، ساحلی و صنعتی باشد. اما شرایط اقلیمی مربوط به بشر نبوده و توسط او قابل تغییر نیست، برای مثال برخی از مناطق گرم و خشک و برخی دیگر سرد و مرطوب می‌باشند. معمولاً رنگها و پوشش‌ها برای حفاظت فولاد در برابر این نوع خوردگی بکار می‌روند.

**خوردگی بیولوژیکی<sup>۴</sup>:** عبارت است از انهدام یا از بین رفتن یک فلز در طی فرآیند خوردگی توسط فعالیت مستقیم و یا غیرمستقیم موجودات جاندار

**خوردگی گالوانیکی<sup>۵</sup>:** هنگامیکه دو فلز ناهمجنس در تماس با یکدیگر و در مجاورت یک الکترولیت (محلول هادی یا خورنده) قرار گیرند، فلز با مقاومت خوردگی پایین‌تر خورنده شده و فلز مقاوم‌تر محافظت می‌شود. به این نوع خوردگی که گاه حتی در تماس دو فلز همجنس با عمر مختلف نیز وجود می‌آید، خوردگی گالوانیکی (دوفلزی) گویند.

**خوردگی مدفون<sup>۶</sup>:** به خوردگی فلزات یا تجهیزات مدفون در زمین یا بتون که ناشی از جریان الکتریکی مبادله شده بین فلز یا بخشی از آن با محلول خورنده موجود در محیط (الکترولیت زمین) می‌باشد، خوردگی مدفون گویند.

**رزین<sup>۱</sup>:** ماده‌ای آلی یا معدنی که در رنگها، لاستیکها و پلاستیکها ایجاد فاز پیوسته می‌نماید. این مواد معمولاً نوعی از پلیمرها می‌باشند.

**زیرلایه<sup>۷</sup>:** سطحی از فلز و یا بتون که پوشش بر آن اعمال خواهد شد.

**طول عمر مفید پس از اختلاط<sup>۸</sup>:** میزان زمان مجاز عدم اعمال یک پوشش دو جزئی پس از اختلاط دو جزء با یکدیگر.

**غیر فعال شدن<sup>۹</sup>:** ایجاد تغییرات الکتریکی و یا شیمیایی بر سطح فلز بطوریکه دیگر تمایلی به خوردگی و اکسیداسیون نداشته باشد.

**فلزات نجیب:** فلزاتی در جدول نیروی الکتروموتوری که دارای پتانسیل مثبت بوده و یا در مقایسه با فلز دیگر دارای پتانسیل مثبت‌تر بوده و تمایلی به فدا شدن (آزاد سازی الکترون) برای آنرا ندارند.

**گالوانیزه:** نوع پوشش فلزی بوده که حاصل از روکش دهی فلز بر روی فولاد است. این عملیات بطرق مختلف غوطه‌وری در حمام داغ، با کمک جریان الکتریسیته و غیره می‌تواند صورت گیرد.

1- Atmospheric corrosion

2- Weather

3- Climate

4- Biological corrosion

5-Galvanic corrosion

6- Resin

7- Substrate

8- Pot life

9- Passivation

## فصل ۲

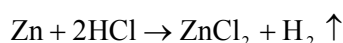
# شناخت انواع خوردگی و روشهای جلوگیری از آنها

## مقدمه

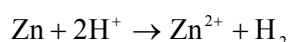
خوردگی پدیده‌ای است طبیعی و غیرقابل توقف و کلیه تلاشهایی که تاکنون صورت پذیرفته برای کنترل این پدیده بوده است. خوردگی در انواع مختلف می‌تواند تجهیزات پست‌های فشار قوی را مورد تهدید قرار دهد که در این فصل به آنها اشاره می‌گردد.

## ۱-۲- خوردگی الکتروشیمیایی

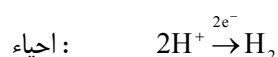
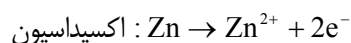
واکنش خوردگی ذاتاً ماهیت الکتروشیمیایی دارد، یعنی در آن بطور همزمان یک واکنش شیمیایی و یک واکنش الکتریکی صورت می‌گیرد که واکنش شیمیایی منجر به ایجاد یک جریان الکتریکی و جابجایی الکترونها می‌شود. با توجه به پیچیدگی این فرآیند، ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی را می‌توان به روش ساده و به کمک قرارگیری فلز روی (Zn) در اسیدکلریدریک نشان داد:



این واکنش سریعاً رخ داده و در طی آن گاز هیدروژن آزاد می‌شود و تشکیل محلول کلرور می‌دهد. این واکنش را می‌توان بصورت ساده نیز نمایش داد:



بنابراین در این واکنش دو سری فرآیند رخ می‌دهد:



در واکنش اکسیداسیون الکترون آزاد شده و در واکنش احیاء الکترون مصرف می‌شود، بنابراین هر دو واکنش باید بطور همزمان و با سرعت یکسان رخ دهند تا خوردگی اتفاق بیفتد. هر واکنش را که بتوان به دو یا چند واکنش اکسیداسیون و احیاء تقسیم نمود، واکنش الکتروشیمیایی می‌نامند. برای جلوگیری از خوردگی الکتروشیمیایی، با توجه به وابسته بودن واکنش‌های کاتدی و آندی به یکدیگر می‌توان با کاهش سرعت هریک از آن دو، سرعت خوردگی را کاهش داد.

## ۲-۲- خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی

وقتی دو فلز غیرهمجنس که در تماس با یکدیگر قرار دارند در معرض یک محلول هادی یا خورنده قرار می‌گیرند، اختلاف پتانسیل بین آنها باعث برقراری جریان الکتریکی می‌گردد. در این حالت خوردگی فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد، در مقایسه با زمانی که دو فلز در تماس با یکدیگر نیستند، افزایش یافته و بالعکس خوردگی فلز مقاومتر کاهش می‌یابد. در واقع در این حالت فلز با مقاومت خوردگی کمتر آند شده و فلز مقاوم کاتد می‌شود. نیروی محرکه (که برای برقراری جریان و در نتیجه خوردگی لازم است)، پتانسیلی است که بین دو فلز مختلف متصل وجود داشته و از اختلاف نیروی الکتروموتوری<sup>۱</sup> دو فلز حاصل می‌شود. از آنجا که در

پست‌ها تماس فلزات ناهمجنس (مثل پیچ و مهره فولادی با سازه گالوانیزه) اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین خوردگی گالوانیکی از مرسوم‌ترین نوع خوردگی‌ها در پست‌ها است.

## ۲-۲-۱- پتانسیل شیمیایی و نیروی الکتروموتوری فلزات (EMF)

پیش‌بینی خوردگی فلزات می‌تواند توسط اختلاف پتانسیل بین آنها در شرایط غیرخورنده صورت گیرد. در عمل دو فلز که قبل از اتصال در حال خورده شدن هستند پس از اتصال در اثر خوردگی گالوانیکی رفتارهای متفاوت نشان می‌دهند. از طرفی چون اکثر مواد مهندسی از آلیاژ تهیه می‌شوند، بنابراین اتصال گالوانیکی حاصل بین یک یا دو آلیاژ بوجود می‌آید، بنابراین جدول پتانسیل الکتریکی فلزات خالص نمی‌تواند به تنهایی برابر پیش‌بینی نحوه خوردگی کافی بوده و نیاز به اطلاعات دقیق‌تر و جامع‌تری می‌باشد. کاربرد سریهای گالوانیکی ساده بوده و اغلب دستاویز مناسبی برای خوردگی گالوانیکی است. موادی که پتانسیل منفی‌تری دارند و یا عبارت دیگر آندی‌تر هستند در صورتیکه به یک فلز با پتانسیل مثبت‌تر و نجیب‌تر متصل شوند تمایل به خورده شدن بیشتری دارند. البته سری گالوانیک معیابی نیز دارد که عبارتند از:

- اطلاعات سرعت خوردگی را نمی‌دهد.
- فلزات فعال و غیرفعال ممکن است دو پتانسیل مختلف نشان دهند.
- تغییرات کم در الکترولیت می‌تواند پتانسیل را به میزان قابل توجهی تغییر دهد.
- پتانسیل با زمان تغییر می‌کند.

در هنگام مقایسه فلزات در سریهای گالوانیک باید تشکیل فیلم اکسیدی بر یکی از دو جزء متصل را در نظر داشت. برای مثال اگرچه در تماس آلومینیوم-روی به نظر می‌رسد که باید آلومینیوم به دلیل پتانسیل منفی‌تر خورده شود اما به دلیل تشکیل فیلم اکسیدی، عملاً توسط روی حفاظت می‌شود. فلز روی نسبت به آهن آندی و همیشه بعنوان پوشش آن بکار می‌رود. در محیطهای آبی نیز روی خورده شده و آهن را محافظت می‌نماید. وجود  $Zn(OH)_2$  که لایه‌ای سست و غیرمترکم است در سطح روی شرایط آندی برقرار ساخته و باعث خورده شدن آن به جای آهن می‌گردد، اما در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد یک لایه سخت و مترکم  $ZnO$  بر سطح فلز روی تشکیل می‌شود که نسبت به آهن کاتدی است، در نتیجه آهن خورده می‌شود.

## ۲-۲-۲- اثر محیط

ماهیت و نرخ خوردگی محیط پست به شدت بر میزان خوردگی گالوانیکی تاثیر می‌گذارد. معمولاً فلزی که مقاومت کمتری نسبت به محیط مورد نظر دارد، آند می‌شود. جدول ۲-۱ رفتار دو فلز روی و فولاد را در محیط برخی الکترولیت‌ها نشان می‌دهد. اگرچه فولاد و روی در حالت جداگانه هردو خورده می‌شوند، اما در هنگام اتصال، فلز روی خورده شده و فولاد حفاظت می‌شود. البته در موارد خاصی (در درجه حرارت بالاتر از ۸۰ درجه سانتیگراد) حالت فوق برعکس می‌شود و فولاد آند شده و خورده می‌شود. در واقع در این حالت محصولات خوردگی فلز روی باعث نجیب‌تر شدن آن نسبت به فولاد می‌گردند.



جدول ۲-۱: تغییر وزن فولاد و روی بصورت تنها و در تماس بایکدیگر برحسب گرم در محیطهای مختلف<sup>[۴]</sup>

تغییر وزن (بر حسب گرم)				محیط شیمیایی در تماس با کوپل روی - فولاد
فلزات متصل		فلزات مجزا		
روی	فولاد	روی	فولاد	
- ۰/۰۵	+ ۰/۰۲	۰/۰	- ۰/۰۴	محلول ۰/۰۵ مولار $MgSO_4$
- ۰/۴۸	+ ۰/۰۱	- ۰/۱۷	- ۰/۱۵	محلول ۰/۰۵ مولار $Na_2SO_4$
- ۰/۴۴	+ ۰/۰۱	- ۰/۱۵	- ۰/۱۵	محلول ۰/۰۵ مولار $NaCl$
- ۰/۱۳	+ ۰/۰۲	- ۰/۰۶	- ۰/۱۰	محلول ۰/۰۰۵ مولار $NaCl$

خوردگی گالوانیکی در اتمسفر نیز واقع می‌شود که شدت آن بستگی به نوع اتمسفر و میزان رطوبت موجود در آن دارد. مثلاً خوردگی در نواحی ساحلی بیشتر از اتمسفر خشک است. میعان بخار در نزدیک ساحل دریا حاوی نمک است، لذا نسبت به میعان نواحی دور از دریا الکترولیت بهتری است و رساناتر و خورنده‌تر است. آزمونهای اتمسفری در نقاط مختلف نشان داده که روی در تمام موارد نسبت به فولاد آند است. آلومینیوم وضعیت متغیری داشته و قلع و نیکل همواره کاتد هستند. باید بخاطر داشت که وقتی فلزات کاملاً خشک باشند، خوردگی گالوانیکی اتفاق نخواهد افتاد زیرا برای حمل جریان بین سطوح الکترودها الکترولیتی وجود ندارد.

### ۲-۲-۳- اثر فاصله الکترودها

خوردگی گالوانیکی معمولاً نزدیک محل اتصال دو فلز شدیدتر است و با دور شدن از این نقطه خوردگی نیز کم می‌شود. فاصله‌ای که خوردگی را متاثر می‌نماید به مقاومت الکترولیت نیز بستگی دارد.

### ۲-۲-۴- اثر سطح

یک عامل مهم دیگر در خوردگی گالوانیکی اثر سطح یا نسبت سطح کاتد به آند می‌باشد. نسبت سطحی کاتد بزرگ و آند کوچک (1 >>  $\frac{\text{سطح کاتد}}{\text{سطح آند}}$ ) نامناسب است. اگر جریان ثابت باشد، در الکتروده کوچک دانسیته جریان بمراتب بیشتر از الکتروده بزرگ است و همچنین هرچه دانسیته جریان در یک منطقه آندی بزرگتر باشد سرعت خوردگی بیشتر است.

### ۲-۲-۵- جلوگیری از خوردگی گالوانیکی

معمولاً مهمترین روشهای جلوگیری استفاده از انواع خوردگی رنگها و پوششها و حفاظت‌های کاتدی و آندی می‌باشند، اما برای جلوگیری از خوردگی گالوانیک روشهای دیگری هم در دسترس است که بشرح ذیل می‌باشند:

- انتخاب کوپل فلزاتی که در جدول گالوانیکی به هم نزدیکتر باشند.
- پرهیز از نسبت سطحی نادرست (آند کوچک و کاتد بزرگ)
- عایق سازی فلزات غیرهمجنس (تا حد ممکن)

۱. علامتهای داخل جدول بدان معناست که در شرایط استثنائی مثلاً در آبهای شهری و در درجه حرارت بالاتر از  $180^{\circ}F$  (۸۲ درجه سانتیگراد) قطبها معکوس شده و فولاد به صورت آند در می‌آید.

- استفاده از ممانعت کننده‌ها (در صورت امکان)
- سهولت تعویض آندها در طراحی در نظر گرفته شود.
- اتصال یک فلز سوم به اتصال گالوانیکی که از هر دو فلز، پتانسیل منفی تری داشته باشد.
- استفاده از پوشش‌ها و تعمیر آنها با حداکثر احتیاط
- استفاده از جوش به جای پیچ و مهره در مواردی که کوپل فلزات در جدول گالوانیکی از یکدیگر دور هستند.

## ۲-۳- خوردگی مدفون

این نوع خوردگی عمدتاً ناشی از واکنش‌های الکتروشیمیایی است که از یک جریان الکتریکی بین بخشی از فلز و رطوبت موجود در محیط پست ناشی می‌شود. جریان‌های الکتریکی که در فرآیند خوردگی ایجاد می‌شوند، ممکن است منشاء خارجی داشته باشند (نظیر جریان‌های الکتریکی سرگردان)، یا ممکن است از پیل‌های موضعی که در سطح فلز یا در محیط آن ایجاد می‌شوند، ناشی شود. با این حال واکنش شیمیایی بین یک عامل خورنده با فلز یا خوردگی ناشی از باکتری‌ها نیز می‌توانند در خوردگی مدفون نقش مهمی را ایفا نمایند. مقدار خوردگی در این حالت که ناشی از خوردگی الکترولیتی است، به مقدار جریان و معادل الکتروشیمیایی فلز بستگی دارد. سرعت خوردگی با تغییر دانسیته جریان تغییر می‌کند. با کاربرد دانسیته جریان‌های متداول و شرایطی که معمولاً در عمل بدست می‌آید و به کمک قانون فاراده و یک ضریب خوردگی، می‌توان سرعت خوردگی را بطور تقریبی محاسبه کرد. بسته به تغییر شرایط و غیرفعال شدن<sup>۱</sup>، این ضریب می‌تواند بین ۰/۲ تا ۱/۵ تغییر کند. با این حال در عمل معمولاً مقدار ضریب خوردگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ تغییر می‌نماید.

هنگامیکه ضریب خوردگی برابر ۱ است، فولاد با سرعت ۱/۰۴۲ گرم برآمپر ساعت و سرب با سرعت ۳/۸۶۶ گرم برآمپر ساعت خورده می‌شود.

## ۲-۳-۱- پیدایش خوردگی مدفون

خوردگی ناشی از الکترولیز، غالباً در پوشش سربی کابل‌ها یا لوله‌های چدنی دیده می‌شود. حفره‌هایی که در نتیجه این نوع خوردگی تشکیل می‌شوند، هم می‌توانند از جریان‌های سرگردان نتیجه شوند و هم می‌توانند ناشی از تشکیل سل‌های موضعی باشند، اما با مشاهده یک حفره، بدقت نمی‌توان تعیین نمود که این خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان بوده یا سل‌های موضعی. برای این تشخیص بهتر است به شرایط عملکرد و محیط کار قطعه با تجهیزات توجه نمود و عامل اصلی را با آنالیز این عوامل معین ساخت.

### ۲-۳-۲- عوامل کنترل کننده خوردگی

بین فاکتورهای مختلف کنترل کننده، مهمترین آنها پلاریزاسیون، تشکیل فیلم مقاومت مدار و بزرگی سطح آند و کاتد می باشد. سایر فاکتورها نظیر غیرفعال شدن و ولتاژ مازاد می توانند بطرق مشابهی بر خوردگی مدفون تاثیر بگذارند. مقدار اکسیژن حل شده در الکترولیت تاثیر فراوانی بر رفتار سل خوردگی دارد.

### ۲-۳-۳- انواع سل های خوردگی

سل های خوردگی را می توان به ۳ گروه کلی ذیل تقسیم بندی نمود:

- دوفلزی ها یا سل های گالوانیک که دارای پتانسیل های الکترودی متفاوت بوده و در یک الکترولیت قرار دارند.
  - سل های محیطی یا غلظتی که در آن یک فلز در دو محیط مختلف قرار دارد.
  - سل های الکترولیتی که در آن منبع جریان خارجی است (همانند الکترولیز توسط جریان های سرگردان).
- در عمل خوردگی ناشی از پیل های غلظتی عامل بسیاری از خوردگی ها بوده و در مقایسه با نوع گالوانیک یا الکترولیتی مشکلات خوردگی حادثی را موجب می گردد.

سل های غلظتی که از واکنش بین فلز با محیط های خورنده تشکیل می شوند، با یکدیگر متفاوت بوده و محیط های خورنده نیز غالباً دارای اختلاف غلظت می باشند. به این ترتیب هنگامی که لوله ها یا کابل ها در تماس با خاک های مختلف قرار می گیرند و یا هنگامی که کنار خاکی که درصد نمک و رطوبت آن متغیر است قرار می گیرند، سل های غلظتی در سطح آنها تشکیل می گردد. هنگامیکه خاک دارای ماهیتی هتروژن (ناهمگون) است، شرایط جهت این نوع خوردگی (مدفون) بسیار مناسب خواهد بود. برای مثال هنگامیکه یک لوله از منطقه ای با خاک طبیعی به منطقه ای با خاک دستی می رود، در فصل مشترک خاک ها یا نزدیک به آن می تواند خورده شود. به این ترتیب قسمتی از لوله که در زمین خاکی - ماسه ای قرار گرفته نقش کاتد را داشته و قسمتی از آن که در زمین خاکی رسی یا خاک مرطوب قرار می گیرد، نقش آند را خواهد داشت. خاک ذغال یا ذغال سنگ بسیار خورنده بوده لذا هیچ نوع لوله یا کابلی را بدون محافظ نباید در خاک های ذغال دار یا خاکستردار قرار داد.

### ۲-۳-۴- تشخیص عامل خوردگی

تشخیص این مسئله که عامل خوردگی ناشی از واکنش فلز با یک عامل خورنده بوده یا ناشی از یک واکنش الکترولیزی، بسیار مهم است. مشخصه اصلی خوردگی ناشی از یک الکترولیت در کابل هایی با روکش سربی یا لوله های چدنی، حفره ها یا شیارهایی است که در سطح بوجود می آید. از سوی دیگر چنانچه خوردگی ناشی از یک ماده خورنده باشد، میزان این خوردگی در کل فلز بصورت یکنواخت بوده و با حفره هایی کم عمق که دارای شکل عرقچین گونه اند، مشخص می شوند. در پوشش های سربی خوردگی می تواند بین دانه ای باشد که در آن خوردگی شیمیایی مزدانه ها را مورد حمله قرار داده و عامل اصلی انهدام آنها می گردد.

در الکترولیز لوله های چدنی، سطح لوله در اثر خوردگی فلز از سطح جدا شده و حفره های ناشی از خوردگی به یک ماده نرم می رسند که گرافیت می باشد. معمولاً مقدار آهنی که از سطح قطعه بدین روش جدا می شود، کم است. محصولات ناشی از خوردگی سرب، غالباً از کلرید سرب غنی هستند. اکسیدهای سرب می توانند در شرایط خاصی تشکیل شوند. محصولات خوردگی آهن غالباً اکسیدهای فرو یا فریک، سولفیدها یا سولفات ها می باشند. بخش بزرگی از خوردگی لوله های چدنی ناشی از باکتریهای بی هوازی

است. خوردگی ناشی از این عامل بصورت حفره‌هایی ظاهر می‌شود که بسیار شبیه به حفره‌هایی ناشی از خوردگی الکترولیتی است. گرافیتی شدن چدن هم خصوصیتی است که از خوردگی بی‌هوازی ناشی می‌شود. بنابراین با مشاهده یک لوله خورده شده نمی‌توان عامل خوردگی را بدرستی تعیین کرد. با اینحال محصولات خوردگی ناشی از باکتریهای بی‌هوازی غنی از سولفید بوده که می‌توان آن را با آزاد شدن گاز و سولفید هیدروژن در هنگامیکه این محصول خوردگی در اسیدکلریدریک قرار می‌گیرد، تشخیص داد.

## ۲-۴- خوردگی بیولوژیکی

خوردگی بیولوژیکی عبارت است از انهدام یا از بین رفتن یک فلز بوسیله فرآیندهای خوردگی که بطور مستقیم یا غیر مستقیم در نتیجه فعالیت موجودات جاندار است. این موجودات شامل انواع میکروسکوپی مثل باکتری‌ها و انواع ماکروسکوپی مثل جلبکها و جانوران دریایی دیگر می‌باشد. موجودات میکروسکوپی و ماکروسکوپی در محیطهایی با pH مابین صفر تا یازده، درجه حرارت‌های ۱- الی ۸۳ درجه سانتیگراد و فشارهای بسیار بالا زندگی کرده و تکثیر می‌شوند. فعالیت‌های بیولوژیکی ممکن است بر خوردگی در محیط پست تاثیر بگذارد. این موجودات بعضی مواد را تغذیه نموده و مواد دیگر بوجود می‌آورند. این فرآیندها بطرق زیر می‌تواند بر رفتار خوردگی موثر باشند:

- با تاثیر مستقیم بر واکنش‌های آندی و کاتدی
- با تاثیر بر پوسته‌های محافظ سطحی
- با بوجود آوردن محیط‌های خورنده
- با تولید رسوبات

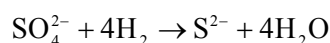
این اثرات بسته به محیط و اجزاء بیولوژیکی ممکن است تک‌تک یا با همدیگر صورت گیرند.

## ۲-۴-۱- موجودات میکروسکوپی

موجودات میکروسکوپی برحسب توانایی رشد در حضور یا غیاب اکسیژن طبقه‌بندی می‌شوند. موجوداتی که در فرآیندهای سوخت و ساز درونی خود به اکسیژن نیاز دارند، هوازی نامیده می‌شوند. اینها فقط در محیط‌های مغذی حاوی اکسیژن حل شده، رشد می‌کنند. دسته دیگر بی‌هوازی هستند یعنی بهترین شرایط برای رشد آنها محیط‌های با اکسیژن کم یا بدون اکسیژن است. اگرچه تشدید خوردگی بوسیله موجودات میکروسکوپی خیلی متداول است، تحقیقات کمی برای مشخص کردن این موجودات و مکانیزم دقیق کار آنها صورت گرفته است. در زیر بعضی از موجودات میکروسکوپی که بیشتر مطالعه شده‌اند، به‌همراه برخی که کمتر شناخته شده‌اند آورده می‌شود.

## ۲-۴-۱-۱- باکتریهای بی‌هوازی

احتمالاً مهمترین باکتری بی‌هوازی که بر رفتار خوردگی لوله‌ها و تجهیزات فولادی دیگر که در زیرزمین قرار دارند تاثیر می‌گذارد، انواع احیاءکننده سولفات‌ها می‌باشند. این باکتری‌ها بر طبق واکنش ذیل سولفات را به سولفید احیاء می‌کنند:



منبع هیدروژن واکنش فوق، هیدروژن آزاد شده هنگام انجام واکنش خوردگی یا هیدروژن مشتق شده از سلولز، شکر یا محصولات آلی دیگر موجود در خاک می‌باشند. باکتریهای احیاءکننده سولفات تحت شرایط بی‌هوازی مثل خاک رس، لجنها، باتلاقها، خیلی متداول هستند. وجود یون سولفید بشدت بر واکنشهای کاتدی و آندی که روی سطوح آهن اتفاق می‌افتند تاثیر می‌گذارند. سولفید باعث مختل شدن واکنشهای کاتدی، مخصوصاً واکنش آزاد شدن هیدروژن و تشدید انحلال آندی می‌شود. در اکثر شرایط تشدید انحلال آندی که منجر به افزایش خوردگی می‌شود مهمترین تاثیر می‌باشد. واکنش فوق نشان می‌دهد که در حضور باکتریهای احیاءکننده سولفات، محصول خوردگی سولفید آهن است و موقعی که در تماس با یون فرو و یونهای سولفید قرار داشته باشد رسوب می‌نماید.

### ۲-۴-۱-۲- باکتریهای هوازی

باکتریهای هوازی اکسیدکننده گوگرد نظیر تیوباسیلوس و تیواکسیدانها قادرند گوگرد یا ترکیبات گوگردی را بر طبق واکنش زیر به اسیدسولفوریک اکسید نمایند:



بهترین محیط برای زندگی این موجودات محیطهایی با PH کم است و آنها می‌توانند بطور موضعی اسیدسولفوریک تا غلظت ۵ درصد وزنی تولید کنند. بدین ترتیب باکتریهای اکسیدکننده گوگرد قادرند شرایط بسیار خورندهای ایجاد نمایند. این اجزاء برای زنده ماندن نیاز به گوگرد یا ترکیبات آن دارند و بهمین علت غالباً در میداین گوگردی، میداین نفتی، در اطراف و در داخل سیستم لوله کشیهای فاضلاب که حاوی مواد آلی گوگردار می‌باشند، وجود دارند. در مورد خطوط فاضلاب باکتریهای اکسیدکننده گوگرد باعث خوردگی سریع لولههای سیمانی می‌شوند.

باکتریهای احیاءکننده سولفات و اکسیدکننده گوگرد می‌توانند با تغییر شرایط خاک بطور دوره‌ای عمل نمایند. بدین معنی که باکتریهای احیاءکننده سولفات در فصلهای بارندگی که خاک مرطوب است و هوای آن خارج می‌گردد و باکتریهای اکسیدکننده گوگرد در فصلهای خشک که هوا به داخل خاک نفوذ می‌کند بسرعت رشد نمایند. در بعضی مناطق این تغییرات دوره‌ای باعث وارد آمدن خسارات وسیعی به خطوط لولههای فولادی زیرزمینی می‌شوند. همچنین واضح است که حضور موجودات میکروسکوپی اختلاف میزان اکسیژن در خاکها را تشدید می‌کند.

### ۲-۴-۱-۳- موجودات میکروسکوپی دیگر

موجودات میکروسکوپی دیگری نیز وجود دارند که بطور مستقیم یا غیر مستقیم بر رفتار خوردگی فلزات تاثیر می‌گذارند. مثلاً چندین نوع باکتری وجود دارد که از هیدروکربنها تغذیه می‌کنند و باعث خراب شدن پوششهای قیری لولهها می‌شوند. باکتریهای آهن گروهی از موجودات میکروسکوپی هستند که آهن فرو را از محلول جذب نموده و آنرا بصورت هیدروکسیدفرو یا فریک ورقه‌ای در اطراف دیوارههای سلول خود رسوب می‌دهند. رشد باکتری آهن غالباً باعث ایجاد تاولهایی روی سطح فولاد شده که منجر به خوردگی شیاری می‌گردد. بعضی باکتریها قادرند آمونیاک را به اسیدنیتریک اکسید نمایند. اسیدنیتریک رقیق باعث خوردگی آهن و اکثر فلزات دیگر می‌شود. لیکن در اکثر خاکها مقدار آمونیاک آنقدر بالا نیست که باعث تجمع قابل ملاحظه اسید نیتریک گردد. ولی این نوع باکتریها ممکن است در محلهایی که از کودهای شیمیایی آمونیاکی بطور وسیعی استفاده شده و در زیر این مزارع خطوط

لوله قرار دارند، مهم باشند. بالاخره اکثر باکتریها دی اکسیدکربن تولید می‌کنند که می‌تواند اسیدکربنیک تشکیل داده و خوردگی را افزایش دهد.

در جدول (۲-۲) بعضی از مهمترین موجودات میکروسکوپی و ویژگیهای آنها آمده است.

جدول ۲-۲: خواص فیزیولوژیکی موجودات میکروسکوپی

گروه و نوع	نیاز به اکسیژن	عوامل آلوده کننده احیایی یا اکسیدی	محصول نهایی	محیط	PH بهینه تخمینی واکنش	محدوده دمایی (درجه سانتیگراد)
احیاکننده سولفات (دسولفوویبرودسولفوریکس)	غیرهوازی	سولفات‌ها، تیوسولفات‌ها، سولفیت‌ها، گوگرد، هیپوسولفیدها	سولفید هیدروژن	آب، گل، فاضلاب، چاههای نفت، خاک‌ها، لجن‌ها، بتون	بهینه: ۶-۷/۵ محدوده: ۵-۹	بهینه: ۲۵-۳۰ حداکثر: ۶۵-۵۵
اکسیدکننده گوگرد تیوباسیلوس - بیواکسیدان	هوازی	گوگرد، سولفیدها، تیوسولفات‌ها	اسید سولفوریک	کود گیاهی خاک فسفات‌های گوگرد، خاک‌های حاوی ترکیبات گوگردی که کاملاً اکسید شده‌اند	بهینه: ۲-۴ محدوده: ۰/۵-۶ بهینه: خیلی نزدیک به خنثی (۷)	بهینه: ۲۸-۳۰ رشد آهسته: ۱۸-۳۷
اکسیدکننده تیوسولفات (پنوباسیلوس تیوپاروس)	هوازی	تیوسولفات‌ها، گوگرد	تیوسولفات، تاسولفات و گوگرد	دریا و آب رودخانه، گل و فاضلاب و خاک	محدوده ۷-۹ بهینه: خیلی نزدیک به خنثی (۷)	بهینه: ۳۰
باکتری آهن	هوازی	کربنات‌های آهن، بیوکربنات آهن و بیوکربنات منگنز	گوگرد تا هیدروکسید سولفات آهن	آبهای ساکن و متحرک حاوی نمکهای آهن وموادآلی	محدوده: ۵-۴۰	بهینه: ۲۴

## ۲-۴-۲- موجودات ماکروسکوپی

علاوه بر موجودات میکروسکوپی، موجودات ماکروسکوپی نظیر قارچ و قارچ‌های کپکی نیز می‌توانند موجب خوردگی در تجهیزات شده یا آنها تشدید نمایند. در واقع قارچ و قارچ‌های کپکی یکی هستند. این دو نام به گروهی از گیاهان که فاقد کلروفیل هستند اطلاق می‌گردد. این موجودات مواد آلی را جذب نموده و مقادیر قابل ملاحظه‌ای اسیدهای آلی از جمله اسیدگزالیک، لاکتیک، استیک و سیتریک تولید می‌نمایند. قارچ‌ها می‌توانند روی اجسام مختلف رشد کنند و سبب بروز مشکلات بزرگی خصوصاً در مناطق گرمسیری گردند. آشناترین نوع این نوع خوردگی کپک زدن چرم و پارچه‌ها می‌باشد. بعلاوه قارچ می‌تواند باعث خوردگی لاستیک و سطح فولاد بدون پوشش شود. در بسیاری موارد وجود قارچ صدمه مکانیکی زیادی وارد نمی‌کند ولی به ظاهر محصول صدمه میزند و نامطلوب می‌باشد. علاوه بر تولید اسیدهای آلی، قارچ می‌تواند آغازگر خوردگی شیاری روی سطوح فلزی باشد.

با تمیز کردن اجسام در فواصل زمانی معین می‌توان از رشد کپک‌های قارچی جلوگیری نمود یا آنها کاهش داد. همچنین کاهش رطوبت نسبی موقع نگهداری در انبار یا کاربرد موادآلی سمی (مثل ویوله دوژانسین: نوعی رنگ که جهت رنگ‌آمیزی در زیست‌شناسی و بعنوان ضد میکروب و ضد قارچ و ضد کرم و نیز در معالجه سوختگی در طب مصرف می‌گردد) نیز در تقلیل رشد کپک‌های قارچی روی سطوح فلزی موثر هستند. رشد کپک‌های قارچی روی لاستیک مخصوصاً در کابل‌های زیرزمینی مسئله‌ساز

است چرا که سوراخ شدن موضعی باعث نشت جریان می‌گردد. جایگزینی لاستیک مصنوعی بجای لاستیک طبیعی روش موثری برای جلوگیری از این اتفاق می‌باشد.

### ۲-۴-۳- جلوگیری از خوردگی بیولوژیکی

قبل از اعمال روش‌های حفاظت، ابتدا ضروری است که وجود خوردگی میکروبیولوژیکی را اثبات نمود. ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش، کشت نمونه‌هایی از خاک مورد نظر و مطالعه آن‌ها از نظر موجودات میکروسکوپی می‌باشد. در مورد باکتریهای احیاءکننده سولفات، وجود محصولات خوردگی سولفیدی روی فولادهایی که در زیرزمین کار گذاشته شده‌اند معمولاً دلیل محکمی بر فعالیت‌های بیولوژیکی است. لکن وجود محصولات خوردگی سولفیدی همواره در اثر باکتریهای احیاءکننده سولفات نمی‌باشد.

چند روش عمومی برای جلوگیری از خوردگی بیولوژیکی وجود دارد. برای جلوگیری از تماس فولاد با محیط غالباً از پوشش‌های قیرمعدنی، لعاب، نوارپلاستیکی یا بتون استفاده می‌شود. تمام این روشها بکاربرده شده‌اند و نتایج حاصل موفقیت‌آمیز بوده است. عملکرد بتون در حضور باکتریهای اکسیدکننده گوگرد مطلوب نمی‌باشد زیرا بتون بوسیله اسیدسولفوریک خورده می‌شود. حفاظت کاتدی نیز می‌تواند برای جلوگیری از خوردگی بیولوژیکی بکار رود که این عمل و خصوصاً موقعی که جریان الکتریکی به‌مراه پوشش بکار برده شود، خیلی موثرتر است. در بعضی موارد می‌توان محیط را تغییر داد و بدین وسیله خوردگی میکروبیولوژیکی را تقلیل داد. همچنین از ممانعت‌کننده‌های خوردگی می‌توان استفاده نمود و مواد میکروب‌کش مثل کلر و ترکیبات کلرینه را نیز می‌توان در سیستم‌های بسته بکار برد.

### ۲-۵- خوردگی اتمسفری

این نوع خوردگی که مرسوم‌ترین نوع خوردگی در پست‌های فشار قوی است ناشی از اقلیم و شرایط محیطی مختلف بوده و معمولاً باعث خسارات بسیار زیادی در صنعت می‌گردد. خوردگی اتمسفری عمدتاً بواسطه رطوبت و اکسیژن رخ می‌دهد و توسط ناخالصی‌هایی مثل گوگرد و نمک طعام حادث می‌شود. خوردگی فولاد در مناطق نزدیک دریا ۴۰۰ تا ۵۰۰ برابر خوردگی آن در نواحی کویری است. سرعت خوردگی در نمونه‌های فولادی که در فاصله ۲۴ متری دریا قرار می‌گیرند ۱۲ برابر نمونه‌هایی در فاصله ۲۴۰ متری دریا می‌باشد. مواد خورنده در اتمسفرهای صنعتی می‌تواند ۵۰ تا ۱۰۰ برابر نواحی کویری باشد.

حضور گازهای گوگردار در اتمسفرهای صنعتی که حاصل از احتراق هستند، از آنها اتمسفرهایی بسیار خورنده می‌سازد.  $SO_2$  در حضور رطوبت اسیدسولفوریک و اسیدسولفورو می‌دهد که بسیار خورنده هستند.

خوردگی در فضای بسته خسارات زیادی به بار می‌آورد، خصوصاً زمانی که رطوبت میعان نموده و دیر خشک می‌شود. مثال خوبی در این مورد سطح داخلی مخازن بزرگ بوده که در صورت بسته بودن معمولاً مرطوب است. علاوه بر عوامل یاد شده دما نیز خود اثر زیادی در خوردگی دارد. تغییرات درجه حرارت محیط باعث میعان آب بر روی دیواره مخزن می‌شود (معمولاً برای جلوگیری از این حالت مخزن را با گاز نیتروژن یا هوای خشک پر می‌کنند). جدول ۲-۴ تغییرات دما را با میزان بخار اشباع نشان می‌دهد.

با توجه به قرارگیری پست‌ها در مناطق مختلف کشور، تجهیزات موجود در آنها بیش از همه انواع خوردگی در معرض خوردگی اتمسفری می‌باشند.

جدول ۲-۳: تغییرات میزان نسبت رطوبت با دما

میزان نسبت رطوبت (Kg <sub>water</sub> /Kg <sub>dry air</sub> )	دما (°C)
۰/۰۱۵	۲۰
۰/۰۲۸	۳۰
۰/۰۴۸	۴۰
۰/۰۸۷	۵۰
۰/۱۵۱	۶۰

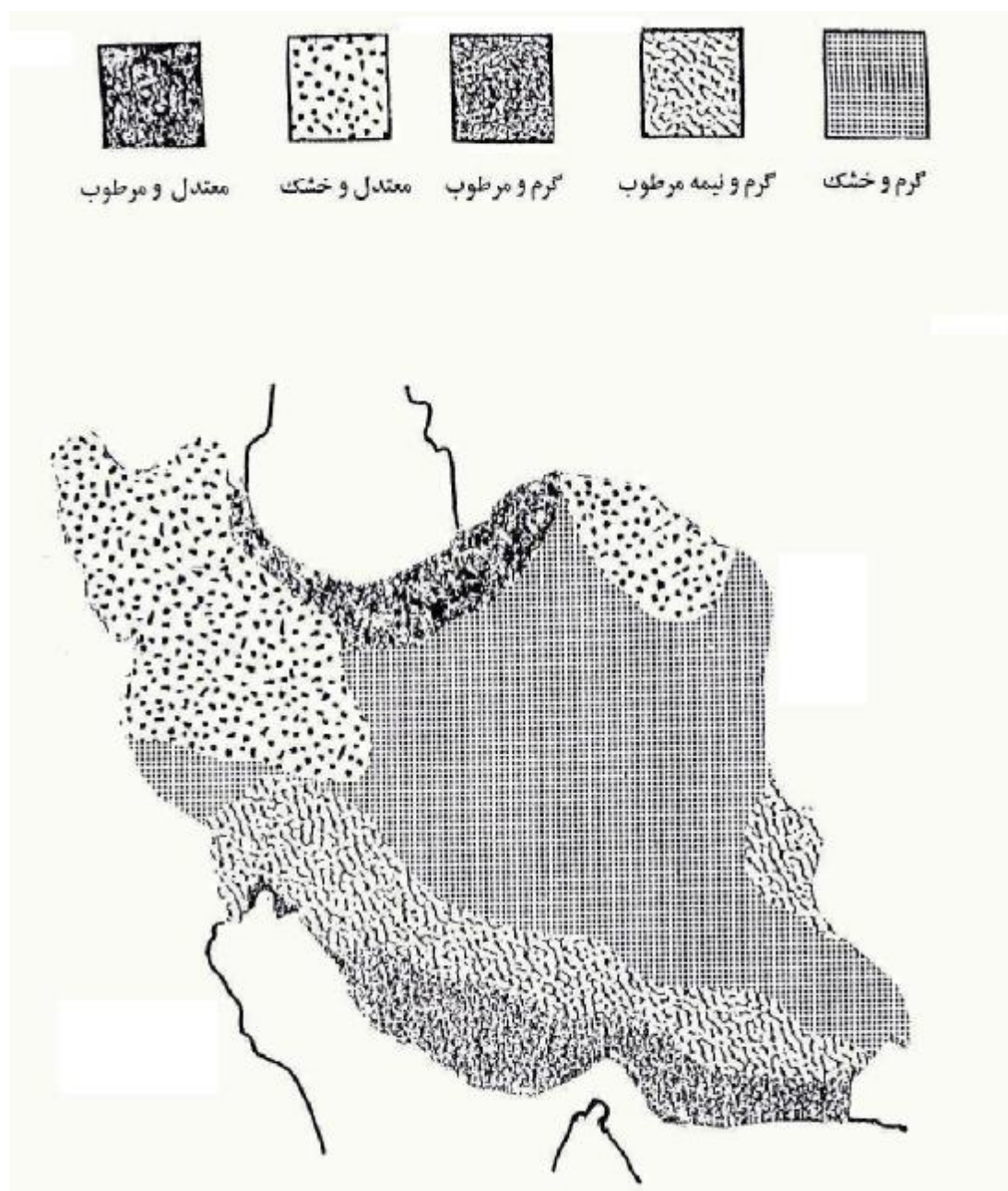
افزایش درجه حرارت به دو طریق نرخ خوردگی اتمسفری را افزایش می‌دهد:

الف- توسط افزایش رطوبت اشباع محیط

ب- تسریع واکنش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی محیط

وقتی اتمسفری فاقد مواد آلوده‌کننده باشد، در دمای محیط و رطوبت‌های نسبی کمتر از ۱۰۰٪، اکثر فلزات به میزان ناچیزی خورده می‌شوند. بنابراین برای اطمینان از عدم رخداد خوردگی بایستی رطوبت بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از ۱۰۰٪ باشد. در اتمسفرهای معمولی یعنی اتمسفری که شامل مواد آلوده‌کننده مختلفی است، یک رطوبت بحرانی وجود دارد که در مقادیر کمتر از آن به خوردگی کم و درصدهای بیشتر از آن، خوردگی شدید خواهد بود. میزان رطوبت بحرانی برای فلزات و اتمسفرهای مختلف متفاوت بوده و برای مثال برای فولاد، مس، نیکل و روی بین ۵۰ تا ۷۰٪ است. آنچنانکه پیشتر ذکر شد، یکی از عواملی که بر خوردگی تاثیر می‌گذارد، اقلیم منطقه مورد نظر است. کشور ایران دارای اقلیم‌های مختلف است (شکل ۲-۱).





شکل ۱-۲ مناطق مختلف آب و هوایی ایران [۱۶]

مناطق مختلف ایران به تفکیک شهر و بر اساس آماری که سازمان هواشناسی اعلام نموده است در جدول (۲-۵) دیده می‌شوند که بر اساس آن می‌توان نوع شرایط اقلیمی هر پست را مشخص نمود.

جدول ۲-۴: فهرست شهرهای ایران در تقسیم‌بندی آب و هوایی

منطقه معتدل و مرطوب		منطقه معتدل و خشک			منطقه گرم و مرطوب	منطقه گرم و نیمه مرطوب		منطقه گرم و خشک	
کلاچای	آزادشهر	شاهین‌دژ	پاوه	آذرشهر	برازجان	مسجدسلیمان	آبادان	رفسنجان	آباده
گنبدکاووس	آستارا	شبستر	پیرانشهر	آشتیان	بندرامام‌خمینی	هویزه	آغاچاری	زاهدان	ابرقو
لاهیجان	آستانه	شهرکرد	تبریز	ایهر	بندرامیر		اندیمشک	سبزوار	اردستان
لنگرود	آمل	شیروان	تکاب	اراک	بندربوشهر		اهواز	سمنان	اردکان‌یزد
منجیل	ارومیه	قزوین	تویسرکان	اردبیل	بندر جاسک		ایران‌شهر	سیرجان	اصفهان
نکاء	بابل	قوچان	حصارک	ارومیه	بندر خرمشهر		ایزه	شهر بابک	اقلید
نور	بابلسر	کامیاران	خرم‌دره	ازنا	بندر دیلم			شیراز	امام‌شهر
نوشهر	بندر انزلی	کرج	خمین	اسلام‌آباد	بندرعباس		بناب	فردوس	باختران
هشتپر	بندر ترکمن	ماکو	خوانسار	اسفراین	بندر گناوه		بهبهان	فسا	باغین
	بندر گز	محلات	خوی	اشنویه	بندر ماهشهر		جسرنادری	قصر شیرین	بافت
	بهشهر	مراغه	دماوند	الیگودرز	تنب بزرگ		حمیدیه	قم	بافقی
	تنکابن	مریوان	دوزدوزان	اهر	تنب کوچک		خوش	قمشه	بیرجند
	چابکسر	مشکین‌شهر	دهلران		جزیره ابوموسی		دزفول	کاشان	پاسارگاد
	چالوس	مشهد	رودهن	باجگیران	جزیره خارک		دشت‌عباس	کاشمر	یزد
	رامسر	ملایر	روانسر	بازرگان	بندر قشم		دوگنبدان	کرمان	تفتان
	رشت	میاندوآب	زنجان	بانه	بندر کیش		رامهرمز	که‌ریزک	تهران
	رودسر	میانه	سراب	بجنورد	بندر لاوان		زابل	گرمسار	چهرم
	رودبار	نوسود	سردشت	بروجرد	بندر لارک		سوسنگرد	گناباد	جیرفت
	سیاهکل	هرسین	سلماس	بوئین‌زهرا	بندر هرمز		شوش	نائین	خرم‌آباد
	صومعه‌سرا	همدان	سندج	بوکان	بندر هنگام		کهنوج	نی‌ریز	دامغان
	قائم‌شهر		سومار	بیستون	میناب		لار		راوند

عامل دیگر اثر اقلیم و نوع جو بر میزان برخوردگی است که به چهار نوع مختلف تمیز و روستایی، شهری و غیر ساحلی، صنعتی و ساحلی تقسیم‌بندی می‌شود. جدول (۲-۵) نحوه خوردگی در شرایط مختلف جوی را با توجه به شرایط اقلیمی بررسی می‌نماید.

جدول ۲-۵: تقسیم‌بندی شرایط جوی و اقلیمی از نظر خوردگی [۹]

معتدل و مرطوب	معتدل و خشک	گرم و مرطوب	گرم و نیمه مرطوب	گرم و خشک	اقلیم / جو
خوردگی ضعیف	خوردگی ضعیف	خوردگی شدید	خوردگی شدید	خوردگی شدید	تمیز و روستایی
خوردگی ضعیف	خوردگی ضعیف	خوردگی ضعیف	خوردگی ضعیف	خوردگی ضعیف	شهری و غیرساحلی
خوردگی شدید	خوردگی شدید	خوردگی خیلی شدید	خوردگی خیلی شدید	خوردگی شدید	صنعتی
خوردگی شدید	خوردگی شدید	خوردگی خیلی شدید	خوردگی خیلی شدید	خوردگی شدید	ساحلی

شایان ذکر است که در عمل کشورهای پیشرفته صنعتی انتخاب پوشش‌های محافظ سطح را بر اساس نرخ خوردگی آن منطقه انجام می‌دهند و نه بر اساس میزان بارش و دمای آنجا (جو و اقلیم). بدین صورت که برای مناطق مختلف توسط یک آزمون میدانی نرخ خوردگی را تعیین می‌نمایند و براساس جداول بدست آمده پوشش حفاظتی مورد نظر را پیشنهاد می‌دهند. جدول (۲-۶) فاکتورهای اقلیمی اثرگذار بر تاسیسات برقی و روشهای پیشگیری از صدمات را ارائه می‌نماید.

جدول ۲-۶: تاثیر پارامترهای محیطی بر عملکرد تجهیزات برقی

عامل محیطی	نام تجهیز	مقره	برقگیر	بوئینگ	کات اوت فیوز	کابل	هادی
آلودگی اتمسفری	دریایی	*	*	*	*	x	*
	بیابانی	*	*	*	*	x	*
	صنعتی	*	*	*	*	x	*
	کشاورزی و سایر	*	*	*	*	x	*
درجه حرارت	حداکثر	*	*	*	*	*	—
	حداقل	*	*	*	*	—	—
	متوسط روزانه	—	—	*	*	—	—
	متوسط ماهانه	—	—	—	—	—	—
	متوسط سالانه	—	—	*	*	—	—
	حداکثر تحت تابش آفتاب	*	*	*	*	x	*
	نوسان دما	(۱)*	(۱)*	(۱)*	(۱)*	*	—
رطوبت	*	*	*	*	*	(۲)*	
بارش	شبنم	*	*	*	*	x	(۲)*
	باران و برف	*	*	*	*	x	(۲)*
بار یخ و برف	(۳)*	*	*	*	*	—	*
ارتفاع از سطح دریا	*	*	*	*	*	x	—
باد	عادی	*	*	*	*	—	*
	در شرایط یخ	*	*	*	*	—	*
اشعه UV	*	*	*	*	*	*	—
صاعقه و رعد و برق	*	*	*	*	*	*	*
تشعشع حرارتی	کتوکسیون	—	*	*	*	*	—
خوردگی خاک	—	—	—	—	—	*	—
موجودات	جانوران موذی	—	—	—	—	*	—
	پرندهگان	*	*	—	*	—	—
	بیولوژیک	*	*	*	*	*	—
زمین لرزه	(۴)*	*	*	*	*	—	—

- \*: کاربرد دارد      \_\_\_: کاربرد ندارد      x: بستگی به نوع کاربری دارد
- (۱) تاثیر نوسان دما به دو صورت مدنظر می‌باشد اول شوک حرارتی وارده به تجهیز و دوم امکان وقوع شبنم در مناطق مرطوب.
- (۲) تشدید روند خوردگی یا افزایش طول دوره نموداری مدنظر می‌باشد.
- (۳) تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر کاهش سطح عایقی است.
- (۴) در ارتباط با مقره‌های اتکایی پست‌ها بحث زمین لرزه بایستی دیده شود.

ادامه جدول ۶-۲

عامل محیطی	نام تجهیز	تابلو خارجی	تابلو داخلی	خازن‌ها	کلید قدرت خارجی	یراق‌آلات
آلودگی اتمسفری	دریایی	*	*	*	*	*
	بیابانی	*	*	*	*	*
	صنعتی	*	*	*	*	*
	کشاورزی و سایر	*	*	*	*	*
درجه حرارت	حداکثر	*	*	*	*	(۲)*
	حداقل	*	*	*	*	—
	متوسط روزانه	*	*	*	*	—
	متوسط ماهانه	—	—	—	—	—
	متوسط سالانه	—	—	*	—	—
	حداکثر تحت تابش آفتاب	*	*	*	*	—
	نوسان دما	*	*	—	*	—
رطوبت		*	*	*	*	*
بارش	شبنم	*	*	*	*	*
	باران و برف	*	—	*	*	*
بار یخ و برف		*	—	*	*	*
ارتفاع از سطح دریا		*	*	*	*	—
باد	عادی	*	—	*	*	*
	در شرایط یخ	*	—	*	*	*
اشعه UV		(۱)*	—	(۲)*	(۲)*	—
صاعقه و رعد و برق		*	*	*	*	—
تشعشع حرارتی	کنوکسیون	—	—	*	—	—
خورندگی خاک		—	—	—	—	—
موجودات	جانوران موذی	*	*	*	*	—
	پرندگان	—	—	*	*	—
	بیولوژیک	*	*	*	*	—
زمین لرزه		*	*	*	*	—

\*: کاربرد دارد

—: کاربرد ندارد

x: بستگی به نوع کاربری دارد

(۱) مدنظر تاثیر UV بر پوشش‌های رنگ تابلو و لاستیک‌های آب‌بندی است.

(۲) تاثیر UV بر مقره‌های پلیمری تجهیزات مذکور و نیز پوشش رنگ تابلو مکانیزم مدنظر می‌باشد.

(۳) تاثیر حداکثر دما بر افزایش روند خوردگی موردنظر است.

(۴) در طراحی خازن در نظر گرفته می‌شود.

ادامه جدول ۶-۲

عامل محیطی	نام تجهیز	سرکابل	کراس آرم چوبی	کراس آرم فلزی	پایه چوبی
آلودگی اتمسفری	دریایی	*	*	*	*
	بیابانی	*	*	*	*
	صنعتی	*	*	*	*
	کشاورزی و سایر	*	*	*	*
درجه حرارت	حداکثر	*	×	*( <sup>۱</sup> )	×
	حداقل	*	—	—	—
	متوسط روزانه	—	—	—	—
	متوسط ماهانه	—	—	—	—
	متوسط سالانه	—	—	—	—
	حداکثر تحت تابش آفتاب	*	*	*	*
	نوسان دما	*	—	—	—
رطوبت		*	*	*	*
بارش	شبنم	*	*	*	*
	باران و برف	*	*	*	*
بار یخ و برف		*	—	—	*
ارتفاع از سطح دریا		*	—	—	—
باد	عادی	*	*	*	*
	در شرایط یخ	*	*	*	*
اشعه UV		*( <sup>۲</sup> )	—	—	—
صاعقه و رعد و برق		*	*	*	*
تشعشع حرارتی	کنوکسیون	—	—	—	—
خوردگی خاک		—	—	—	*
موجودات	جانوران موزی	—	—	—	*
	پرندگان	*	*	*	*
	بیولوژیک	*	*	*	*
زمین لرزه		—	—	—	—

×: بستگی به نوع کاربری دارد

—: کاربرد ندارد

\*: کاربرد دارد

(۱) در اینجا تاثیر درجه حرارت بر تشدید روند خوردگی مدنظر بوده است.

(۲) تاثیر UV بر سر کابل‌های پلیمری مدنظر می‌باشد.

ادامه جدول ۲-۶

عامل محیطی	نام تجهیز	ترانسفورماتور	راکتور	ترانسفورماتور زمین	ترانسفورماتور جریان و ولتاژ خارجی	ترانسفورماتور جریان و ولتاژ داخلی
آلودگی اتمسفری	دریایی	*	*	*	*	— <sup>(۳)</sup>
	بیابانی	*	*	*	*	—
	صنعتی	*	*	*	*	—
	کشاورزی و سایر	*	*	*	*	—
درجه حرارت	حداکثر	*	*	*	*	*
	حداقل	*	*	*	*	*
	متوسط روزانه	*	*	*	*	—
	متوسط ماهانه	*	*	*	*	—
	متوسط سالانه	*	*	*	*	—
	حداکثر تحت تابش آفتاب	(۱)*	(۱)*	(۱)*	(۱)*	—
	نوسان دما	*	*	*	*	*
رطوبت	*	*	*	*	*	*
بارش	شبنم	*	*	*	*	*
	باران و برف	*	*	*	*	—
بار یخ و برف	*	*	*	*	—	—
ارتفاع از سطح دریا	*	*	*	*	*	*
باد	عادی	*	*	*	(۲)*	—
	در شرایط یخ	*	*	*	*	—
اشعه UV	*	*	*	*	*	—
صاعقه و رعد و برق	*	*	*	*	*	—
تشعشع حرارتی	کنوکسیون	*	*	*	*	—
خورندگی خاک	—	—	—	—	—	—
موجودات	جانوران موذی	*	*	*	*	—
	پرندهگان	*	*	*	*	—
	بیولوژیک	*	*	*	*	— <sup>(۳)</sup>
زمین لرزه	*	*	*	*	*	*

- \*: کاربرد دارد      ×: بستگی به نوع کاربری دارد      \_\_\_: کاربرد ندارد
- (۱) تاثیر درجه حرارت تحت تابش آفتاب بر راندمان تجهیزات مذکور و بارگذاری آنها می باشد.
- (۲) تاثیر باد در نشست و یا برداشت آلودگی و خودپالایندگی مفره تجهیزات مذکور و نیز استحکام مکانیکی آنها مدنظر می باشد.
- (۳) حفاظت مورد نیاز بایستی در تابلوها دیده شده باشد.

## فصل ۲

# سطوح نیازمند به حفاظت در برابر خوردگی





## مقدمه

بطور کلی سطوحی که در پست‌های فشار قوی نیاز به حفاظت در برابر خوردگی دارند عبارتند از:

الف- سطوح فلزی شامل سطوح غیر فولادی (آلومینیوم و مس) و سطوح فولادی (فولاد کربنی و گالوانیزه)

ب- سطوح بتونی

ج- سطوح سرامیکی و سیلیکونی

در این فصل موارد فوق به تفصیل بحث خواهد شد.

## ۳-۱- فولادهای کربنی

مرسوم‌ترین نوع فولاد در صنعت برق هستند که سختی و استحکام آنها تابع میزان کربن و نوع عملیات حرارتی صورت گرفته بر آنها می‌باشد. این فلزات در تجهیزات مختلف استفاده شده و محدوده خواص مکانیکی آن در جدول (۳-۱) ذکر شده است.

جدول ۳-۱: خصوصیات مکانیکی فولادهای ساده کربنی

مقدار	خصوصیات
۴۰-۲۰۰ Ksi	استحکام کششی
۱۰۰-۵۰۰ BHN	سختی
۵۰-۵٪	درصد تغییر طول نسبی

هنگامیکه درصد عناصر آلیاژی فولاد به اندازه‌ای نباشد که فولاد آلیاژی خوانده شود، به آن فولاد کربنی اطلاق می‌شود. این خانواده در بسیاری از شرایط معمول کاری دارای مقاومت در برابر خوردگی مناسبی بوده که این مقاومت را می‌توان به کمک روش‌های حفاظتی نظیر پوشش‌های رنگ، گالوانیزه کردن و پوشش‌های فلزی دیگر بهبود داد.

### ۳-۲- گالوانیزه

عبارت گالوانیزه به فولادپوشش شده با روی اطلاق می‌شود که از خاصیت حفاظت الکتروشیمیایی (گالوانیک) برای جلوگیری از خوردگی بهره می‌گیرد. روی می‌تواند به روشهای مختلف از جمله غوطه‌وری در حمام مذاب، پوشش‌دهی با کمک جریان الکتریسیته، پاشش، چسبانیدن و ترسیب از بخار بر فولاد اعمال شود. مهمترین روش اعمال پوشش فلزی روی، غوطه‌وری در حمام مذاب است. پوشش گالوانیزه حاوی یک یا چندین آلیاژ آهن- روی است که در طی غوطه‌وری توسط حصول لایه خالص خارجی روی، ایجاد می‌شود. ضخامت لایه‌های آلیاژی حاصل با زمان و دمای حمام افزایش می‌یابد و توسط افزودنی‌هایی به حمام، متاثر می‌شود. ضخامت لایه بیرونی توسط دمای حمام و سرعت بیرون کشیدن قطعه از حمام تعیین می‌شود. اگر سرعت زیاد باشد، زمان جدا شدن اضافات کم بوده و ضخامت بالا می‌رود. ضخامت پوشش ورقه‌ها گاه با یکدیگر فرق می‌کند و حتی گاهی در نقاط مختلف یک ورقه نیز ضخامت‌های متفاوت مشاهده می‌شود. معمولاً پوشش‌های گالوانیزه به تنهایی در محیط‌های خورنده بکار رفته و می‌توانند سطح را در برابر خوردگی محافظت کنند اما می‌توان بدین منظور از رنگهای ضد خوردگی نیز بعنوان مکمل استفاده نمود. باید توجه داشت که هیچیک از رنگهای مرسوم چسبندگی لازم را به سطح گالوانیزه ندارند، بنابراین همیشه از یک آستری مخصوص (واش پرایمر) که بر پایه رزین وینیلی بوده و حاوی اسیدفسفریک و کرومات روی است برای بهبود چسبندگی لایه‌های بعدی و خاصیت چسبندگی استفاده می‌شود.

### ۳-۳- سطوح بتونی

بتون پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی دنیاست که دلیل این مقبولیت جهانی، قیمت پایین، راحتی کاربرد و مقاومت نسبتاً خوب آن است. فوندانسیونها و بسیاری از سازه‌ها در پست‌ها توسط بتون ایجاد می‌گردند. بتون ماده‌ای ترکیبی است که اگر به شکل صحیح طراحی و تهیه شود دوام بالایی داشته و حتی می‌تواند از خوردگی فولادهای تقویت‌کننده (آرماتورها) نیز جلوگیری کند. با این حال به دلیل عدم طراحی و اجرای صحیح و قرار گرفتن در محیط‌های سخت و خورنده، در برخی موارد سازه‌های بتونی دچار تخریب و از هم گسیختگی می‌شوند که این خرابیها یا بصورت تخریب در فاز بتون است و یا در اثر خوردگی فاز فلزی داخل بتون می‌باشد. البته باید خاطر نشان ساخت که عوامل خورنده‌ای که موجب تخریب فاز بتونی می‌شوند نهایتاً فلز درون بتون مسطح را نیز مورد حمله قرار داده و موجب تشدید خوردگی خواهند شد. برای مثال تنش‌های ناشی از انقباض و انبساط در مرحله سخت شدن بتون باعث بوجود آمدن ترک‌هایی در سطح شده که عوامل خورنده همچون یون کلر و دی اکسیدکربن از همین مسیر تخریب شده به فلز حمله نموده و خوردگی را تسریع می‌نمایند. برای شناسایی روش حفاظت و تعمیر بتون ابتدا بایستی عوامل مخرب و نوع حجم و خرابیها را شناخت.

### ۳-۳-۱- علل تخریب سازه‌های بتونی

اصولاً خصوصیات و همچنین محدودیت‌های بتون به عامل پیونددهنده اجزاء آن به یکدیگر، یعنی سیمان مربوط می‌شود. سیمان ترکیبی پیچیده از سیلیکات‌ها و آلومینات‌هاست که با آب واکنش می‌دهد. این واکنش که آن را هیدراسیون می‌نامند، موجب

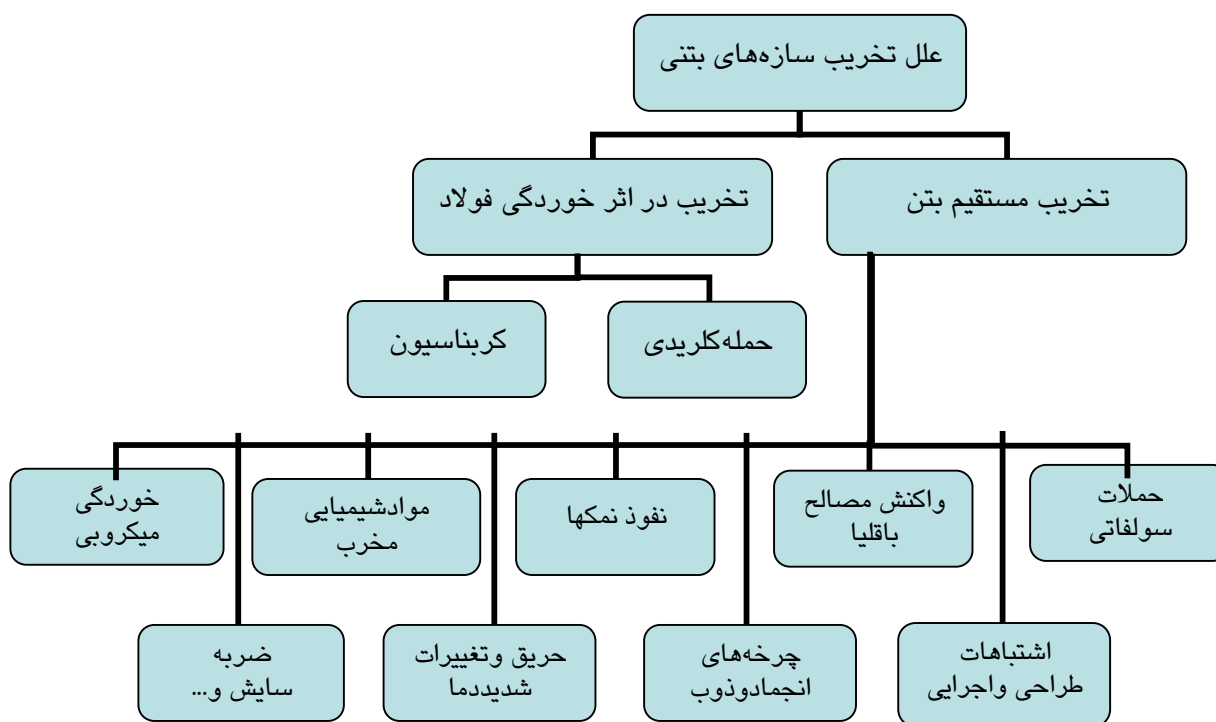
سخت شدن بتون می‌گردد. محصولات هیدراسیون سیمان پرتلند عمدتاً کریستالهای هیدروکسید کلسیم و ذرات کلوئیدی سیلیکات کلسیم هیدراته می‌باشد. تشکیل این ترکیبات هیدروکسیدی در بتون باعث قلیایی شدن محیط بتون می‌گردد. این پدیده برای بتون‌های تقویت شده با میلگردهای فولادی بسیار مفید است، چون در اثر این پدیده بطور طبیعی از خوردگی فولاد محافظت می‌شود. در محیط قلیایی شدید، یک لایه اکسیدی محافظ در سطح فولاد تشکیل می‌شود ( $Fe_2O_3$ ) که مانع از رسیدن اکسیژن و رطوبت به فولاد شده و آن را از خوردگی محافظت می‌نماید. پایداری این لایه محافظ بستگی به میزان قلیایی بودن بتون دارد. pH بتون معمولاً در محدوده ۱۲-۱۳ است و اگر از ۱۱ کمتر گردد، این لایه محافظ ناپایدار می‌شود، بنابراین شرایط برای خوردگی مساعد خواهد شد. از سوی دیگر در صورت تغییر pH محیط بتون، میلگردها خورده شده و در اثر محصولات خوردگی، افزایش حجمی پدید می‌آید که موجب ایجاد تنش و ترک در بتون می‌گردد. این ترکها نهایتاً باعث از هم پاشیدن و تکه تکه شدن بتون می‌گردد. علل عمده تخریب سازه بتونی اعم از علل تخریب فاز بتون و علل تخریب در اثر خوردگی فاز فلزی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برخی از عوامل مانند خوردگی میکروبی و خوردگی در اثر مواد شیمیایی، هم می‌توانند به فاز بتونی حمله نمایند و هم اگر در معرض فاز فلزی باشند، باعث خوردگی آن شوند. در واقع گروه دوم عواملی هستند که بدون تخریب فاز بتونی از آن عبور نموده و به فاز فلزی حمله می‌نمایند که این گروه شامل یونهای کلرید و دی‌اکسید کربن می‌شود.

### ۳-۳-۲- عوامل موثر در تخریب فاز بتون

تخریب بتون یا ناشی از مواد شیمیایی موجود در ترکیب بتون است (مانند واکنش مصالح با قلیاها) و یا ناشی از محیطی است که بتون در آن قرار می‌گیرد (مانند محیط‌های شیمیایی خورنده، نمکها و یا تغییرات شدید دمای).

### ۳-۳-۲-۱- واکنش ترکیبات شیمیایی بتون با قلیا

یکی از این واکنش‌ها بین سولفات کلسیم و قلیای موجود در بتون رخ می‌دهد. سولفات کلسیم با ترکیبات آلومینات هیدراته سیمان واکنش داده و مواد محلول در آب تشکیل می‌دهد که موجب نرم شدن بتون می‌شود. از سوی دیگر یونهای سولفات باعث تبدیل هیدروکسید کلسیم به نمکهای محلول در آب مانند گچ و... می‌شوند و لذا موجب نرم شدن سطح بتون و تجزیه آن می‌گردد.



شکل ۳-۱: علل عمده تخریب سازه‌های بتنی

بطور کلی واکنش مصالح بتون با قلیا را به دو دسته می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

- واکنش قلیا- سیلیکات
- واکنش قلیا- کربنات

قلیاهایی که در واکنش با سیلیکات‌ها شرکت می‌کنند از نوع سدیم و پتاسیمی هستند که با مصالح سنگی سیلیسی ریز و دارای خلل و فرج که سطح تماس زیادی دارند، واکنش می‌دهند. محصول واکنش که ژل سیلیکات غنی از روی یا پتاسیم است، ظرفیت جذب آب زیادی دارد و در نتیجه متورم می‌شود. پس از پر شدن حفره‌های بتون، تورم بیشتر آن موجب ایجاد تنش و در نتیجه ترک خوردن بتون می‌گردد.

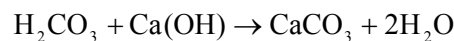
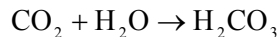
واکنش قلیا- کربنات نیز بین مواد قلیایی بتون و برخی از سنگهای آهکی دولومیتی  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  بوقوع می‌پیوندد و می‌تواند منجر به تشکیل نمکهای کربنات و ایجاد ترکهای ریز در بتون گردد.

نمکها از راههای مختلفی می‌توانند وارد محیط بتون شده و هم موجب تشدید خوردگی میلگرد گردند و هم اینکه در اثر کریستالیزه شده و افزایش حجم فشار مخربی به سازه وارد آورند.

## ۳-۲-۳-۳- واکنش عوامل بیرونی با قلیا

## الف - کربناسیون

کربناسیون نتیجه واکنش گاز دی‌اکسید کربن موجود در هوا با هیدروکسیدهای قلیایی موجود در بتون است. دی‌اکسید کربن در آب حل شده و اسید کربنیک تشکیل می‌شود. اسید کربنیک حاصل برخلاف اکثر اسیدهای دیگر به سیمان حمله ننموده، بلکه تنها باعث خنثی شدن حالت قلیایی آب داخل حفره‌های بتون می‌گردد و pH محلول حفره‌ها را از ۱۱ تا ۱۳ به حدود ۸ افت می‌دهد.



سرعت پیشرفت کربناسیون در بتون نسبت مستقیم با سرعت نفوذ  $\text{CO}_2$  دارد که آن نیز تابع ضخامت می‌باشد:

$$d = At^{0.5} \quad (1-3)$$

که در آن d عمق کربناسیون بر حسب میلی‌متر، t زمان بر حسب سال و A ثابتی است که به کیفیت، ترکیب بتون و شرایط محیطی بستگی دارد. برای مثال در یک بتون ضعیف نرخ پیشرفت کربناسیون ۱۶ میلی‌متر در ۱۶ سال است، ولی این نرخ در بتون خوب ۶ میلی‌متر در ۲۰ سال است (A عددی بین ۰/۲۵ تا ۱ است).

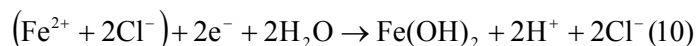
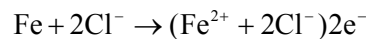
عواملی که موجب تشدید کربناسیون می‌شوند را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- نسبت بالای آب به سیمان که موجب کاهش نسبت قلیای سیمان در حفره‌ها می‌گردد.
- ضخامت کم لایه بتون روی میلگرد
- عمل‌آوری ضعیف بتون، تراکم کم و وجود خلل و فرج زیاد و متصل بهم

برای اندازه‌گیری کربناسیون از معرف فنل فتالئین استفاده می‌شود که در pH کم بی‌رنگ و در pH بالا (قلیایی) صورتی رنگ است.

## ب - حمله کلریدی

وجود کلر به دو طریق به خوردگی میلگرد کمک می‌کند. اول با افزایش هدایت الکتریکی بتون و سپس با واکنش‌های جانبی که بدون مصرف کلی یون کلرید انجام می‌گیرد و در نهایت موجب تبدیل آهن به هیدروکسید آهن و یونهای  $\text{H}^+$  و کاهش pH و نهایتاً تخریب لایه محافظ سطح میلگرد و از بین رفتن تدریجی آهن می‌گردد:



آنچنانکه مشخص است کلرید همچون یک کاتالیزور عمل نموده و بدون آنکه غلظت سمی آن کم شود، باعث تجزیه آهن می‌شود. بنابراین حتی اگر یک لایه نفوذناپذیر (مثل پوشش‌ها) بر بتون اعمال شود نیز ممکن است خوردگی زیرلایه پوشش بطور مداوم انجام گیرد. برخلاف خوردگی کربناسیونی که بصورت میکروسول است و خوردگی بصورت یکنواخت در کل سطح فولاد دیده

می‌شود، خوردگی کلریدی بصورت ماکروسل است، بدین معنی که یک آند کوچک با محدوده کاتد وسیعی احاطه شده است و در نتیجه خوردگی حفره‌ای<sup>۱</sup> رخ می‌دهد.  
منابع کلرید را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

- منابع کلریدی که همراه با بتون قالبگیری می‌شوند. شتاب‌دهنده‌هایی مثل  $\text{CaCl}_2$ ، استفاده از آب دریا در بتون و مصالح سنگی آلوده به کلرید مثل شنهای کنار دریا)
- منابع کلریدی که به بتون نفوذ می‌کنند (پاشش آب دریا، نمکهای ذوب یخ، محوطه ساحلی، استفاده از مواد شیمیایی مثل آکواریومها و مخازن مواد نمکی)

### ۳-۴- آلومینیوم و آلیاژهای آن

آلومینیوم بشکل سیم و شینه‌های فلزی و لوله در بخشهای الکتریکی و ساختمانی پستها کاربرد دارد. آلومینیوم فلز فعالی است ولی تشکیل یک پوسته اکسید آلومینیوم می‌دهد که باعث محافظت آن در تعداد زیادی از محیطهای خورنده می‌شود. این پوسته در محلولهای خنثی و تعداد زیادی از محلولهای اسیدی پایدار بوده ولی بوسیله مواد قلیایی خورده می‌شود. این پوسته اکسیدی محافظ در اکثر محیطها تشکیل شده ولی با عبور جریان الکتریکی می‌توان آنرا بطور مصنوعی هم بوجود آورد. این روش آندایز کردن نام دارد. با این عمل هم مقاومت سایشی و هم مقاومت خوردگی آلومینیوم افزایش می‌یابد. عناصر مختلفی نظیر مس، منیزیم، روی، منگنز و... در آلومینیوم حل می‌شوند اما حل شدن این عناصر باعث کاهش مقاومت در برابر خوردگی آن می‌گردد.  
علاوه بر مقاومت در برابر خوردگی، خواص دیگری که باعث کاربرد وسیع این فلز و آلیاژهای آن شده عبارتند از: بی‌رنگ و غیرسمی بودن محصولات خوردگی آن، هدایت الکتریکی و حرارتی خوب، قابلیت انعکاس نور، نسبت استحکام به وزن بالا. آلومینیوم خالص استحکام پایینی دارد. لذا می‌توان با آلیاژسازی و عملیات حرارتی به طیف وسیعتری از خواص مکانیکی در آن دست یافت. اما این عمل به علت تشکیل ساختار دو فازی سبب کاهش مقاومت در برابر خوردگی آن می‌شود.

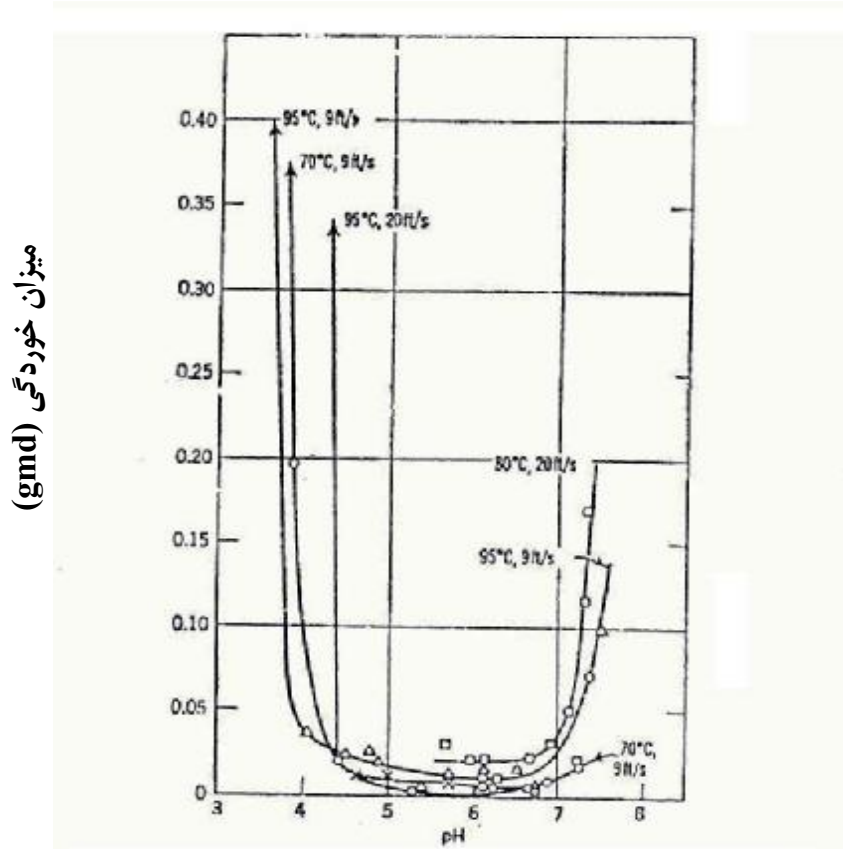
آلومینیوم فلزی است سبک با وزن مخصوص ۲/۷ گرم بر سانتیمترمکعب که در برابر هوا و اغلب محیطهای آبی مقاومت خوبی داشته و نیز دارای هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی است. آلومینیوم در جدول نیروی محرکه الکتریکی (emf) خیلی فعال بوده ولی در مجاورت اکسیژن بصورت روئین (پاسیو) در می‌آید. یعنی بر روی آن لایه  $\text{Al}_2\text{O}_3$  تشکیل شده که این لایه فلز را در برابر خوردگی محافظت می‌کند. ضخامت این لایه در هوا به حدود ۱۰-۲۰ آنگستروم می‌رسد. میزان خوردگی آلومینیوم به وجود مقادیر جزئی ناخالصی در آن بستگی داشته بطوریکه کلیه ناخالصی‌های آن (بجز منیزیم) نسبت به آلومینیوم کاتدی تر بوده و خوردگی آن را تشدید می‌نمایند. بطور کلی آلومینیوم خالص نسبت به آلیاژهای آلومینیوم مقاومت در برابر خوردگی بالاتری دارد.

در آبهای محتوی یون کلر ( $\text{Cl}^-$ ) مخصوصاً در شکافها و گوشه‌ها و نقاط ساکن تشکیل پیل‌های موضعی، از روئین شدن آلومینیوم ممانعت نموده و این فلز را مورد حمله خوردگی حفره‌ای قرار می‌دهد. وجود مقادیر جزئی یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  (مثلاً ۰/۱ ppm) یا یون‌های  $\text{Fe}^{3+}$  در آب (آب‌های سنگین) و واکنش آنها با آلومینیوم سبب ایجاد رسوب فلزات مس یا آهن بصورت موضعی می‌گردد. نقاطی که در آنها مس یا آهن، رسوب شده و بعنوان کاتد عمل می‌نماید در اثر پدیده گالوانیکی ممکن است منجر به خوردگی

حفره‌ای شود و در نتیجه پتانسیل حرارتی بحرانی حفره‌دار شدن را به مقدار زیادی کاهش دهد. مقایسه کاهش خوردگی حفره‌ای توسط این یونها بصورت زیر می‌باشد:

سولفات > بنزوات > استات > کرومات > نیترات

آلومینیوم هم در اسیدها و هم در بازها سریعاً خورده می‌شود (در مقایسه با آب مقطر) ولی میزان خوردگی در اسیدها بستگی به نوع و ماهیت آنیون‌ها دارد. در شکل (۲-۳) تغییرات میزان خوردگی آلومینیوم با تغییرات pH برای آلومینیوم با خلوص تجاری آورده شده است. مطابق شکل حداقل میزان خوردگی در pH‌های بین ۴ تا ۸/۵ صورت می‌گیرد. خوردگی آلومینیوم در منطقه قلیایی با بالا رفتن pH، افزایش شدید پیدا می‌کند (برعکس فولاد و چدن که در این حالت مقاومت نشان می‌دهند).



شکل ۲-۳: تاثیر pH محیط بر میزان خوردگی آلومینیوم با خلوص تجاری [۴]

بطور کلی آلومینیوم در محیط‌های قلیایی تحت تاثیر خوردگی قرار گرفته و نیز در محیط‌هایی که مقادیر جزئی یون‌های مس وجود داشته باشد مورد حمله قرار می‌گیرد. همچنین آلومینیوم در مجاورت جیوه فلزی، یون‌های جیوه، حلال‌های کلرینه شده مانند تتراکلروراتیلن و دی کلروپرئوپیلن مورد حمله واقع می‌شود.

بطور خلاصه می‌توان گفت:

الف- آلومینیوم خالص (برای مثال نوع ۱۱۰۰) در برابر موارد ذیل مقاوم است:

- آمونیاک  $\text{NH}_4\text{OH}$  سرد یا گرم
  - اسیداستیک  $\text{CH}_3\text{COOH}$  سرد یا گرم
  - اسیدهای چرب
  - اسید نیتریک بالاتر از غلظت ۸۰ درصد و تا درجه حرارت ۵۰ درجه سانتیگراد
  - آب مقطر
  - هوا، در محیط‌های تمیز و صنعتی مقاومت خوبی دارد ولی در محیط‌های دریایی بعثت وجود وجود یون کلر  $\text{Cl}^-$  مقاومت آن کم می‌شود.
  - گوگرد، محیط‌های گوگرددار و  $\text{H}_2\text{S}$
- ب - آلومینیوم در برابر مواد زیر مقاوم نیست:
- اسیدهای قوی مانند  $\text{H}_2\text{PO}_4, \text{HClO}_4, \text{HF}, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{HBr}, \text{HCl}$ ، اسیدفرمیک، اسیدازلیک، اسیدتری کلرواستیک
  - قلیاها، آهک و بتون تازه، قلیایی‌های قوی مانند سودسوزآور و ترکیبات آلی قلیایی مانند آمین‌ها
  - جیوه و املاح آن
  - آب دریا، در شکاف‌ها و نقاطی که ایجاد رسوب شده باشد خوردگی حفره‌ای بوجود می‌آید، مخصوصاً در شرایطی که مقادیر جزئی از فلزات سنگین در محیط باشند.
  - آبهای محتوی یون‌های فلزات سنگین، مثلاً آبهای معدنی با آبهای که قبلاً در تماس با مس، برنج یا آهن قرار گرفته باشند.
  - حلال‌های کلریزه شده
  - الکل‌های اتیلیک، پروپیلیک یا بوتیلیک
  - تماس با چوب‌های مرطوب

### ۳-۵- خوردگی مس و آلیاژهای آن

فلز مس بشکل سیم و شینه‌ها در داخل تابلوها و بصورت مدفون و غیرمدفون در پست‌ها بکار می‌رود. مس با اکثر فلزات متفاوت است چرا که دارای مقاومت در برابر خوردگی، قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، قابلیت شکل‌پذیری و ماشینکاری و استحکام خوب در درجه حرارت‌های متوسط می‌باشد. این فلز در برابر اتمسفرهای روستایی، دریایی، صنعتی و آب‌ها مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارد. مس فلزی نجیب بوده و معمولاً واکنش آزاد شدن هیدروژن در فرآیند خوردگی آن اتفاق نمی‌افتد. به همین دلیل بوسیله اسیدها خورده نمی‌شود، مگر آنکه اکسیژن یا عوامل اکسیدکننده دیگر (مثل اسید نیتریک) وجود داشته باشند. مثلاً واکنش بین مس و اسیدسولفوریک از نظر ترمودینامیکی امکان‌پذیر نیست. لیکن در حضور اکسیژن واکنش انجام شده و محصول خوردگی سولفات مس و آب است. در مورد مس و آلیاژهای آن واکنش احیاء اکسیژن به یون‌های هیدروکسید واکنش کاتدی اصلی است.



آلیاژهای مسی در محلول‌های خنثی تا کمی قلیایی مقاوم هستند به استثنای محیط‌های حاوی آمونیاک که موجب خوردگی تنش‌ی<sup>۱</sup> در آنها می‌گردد. در شرایط احیایی قوی و در درجه حرارت‌های بالا (۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد) آلیاژهای مس غالباً برتر از فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای زنگ نزن می‌باشند. صدها آلیاژ از مس با کاربرد مختلف در صنعت برق وجود دارند. متداولترین آلیاژهای مس، برنجها (Cu-Zn) برنرها (Cu با Al, Sn, Si و ...) و کوپرونیکلها (Cu-Ni) می‌باشند.

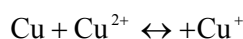
مس و برنج بیشتر در معرض خوردگی سایشی می‌باشند. برنرها و برنجهای آلومینیوم‌دار در این مورد بهتر عمل می‌کنند. برنج قویتر و سخت‌تر است. همچنین کوپرونیکلها با مقادیر کمی آهن از نظر مقاومت در برابر خوردگی سایشی برترند.

مس و آلیاژهای آن دارای کاربرد وسیعی برای لوله‌کشی، شیرآلات، لوله‌های مبدلهای حرارتی و صفحه لوله‌ها، سخت‌افزارها، سیم، توری، شافت، شیروانی، یاتاقان‌ها، تانک‌ها و مخازن و... می‌باشند.

مس در اغلب محیط‌های آبی به صورت آندی حل شده و تولید یون دو ظرفیتی  $Cu^{2+}$  می‌کند.



بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که در سطح فلز واکنش ذیل صورت می‌گیرد:



یعنی مس تمایل به تشکیل یون یک ظرفیتی را دارا است.

این فلز به علت مقاومت خوب در برابر خوردگی، شکل‌پذیری، هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی بسیار خوب، استحکام، قابلیت ماشینکاری، قابلیت لحیم‌کاری و جوش‌گاز، موارد استعمال زیادی پیدا کرده است. از نظر ترمودینامیکی خنثی بوده و تمایلی به خورده شدن در آب و اسیدهای غیراکسیدکننده (عاری از اکسیژن محلول) از خود نشان نمی‌دهد، ولی در اسیدهای اکسیدکننده یا محلولهای حاوی هوا و یون‌هایی که سبب ایجاد کمپلکس مس می‌شوند (مانند  $CN^{-}$  و  $NH_4^{+}$ ) خورده می‌شود. بعلاوه مس توسط آب یا محلولهای آبی و در سرعت‌های زیاد تحت تاثیر خوردگی فیزیکی قرار می‌گیرد. میزان این خوردگی با افزایش مقدار اکسیژن محلول افزایش می‌یابد. در حالیکه در آبهای با سرعت زیاد ولی عاری از هوا، خوردگی‌های فیزیکی تا سرعت‌های حدود ۶ متر بر ثانیه بسیار کم است، در آبهای محتوی هوا، خوردگی فیزیکی با ازدیاد  $Cl^{-}$  و کاهش pH محلول افزایش می‌یابد. وجود اکسیژن و گوگرد در محیط موجب واکنش مس و تشکیل سولفات مس شده که به رنگ تقریباً سبز در می‌آید. ارائه این خوردگی منجر به کاهش انعطاف‌پذیری مس و حالت تقریباً ترد آن می‌گردد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت:

الف- مس در برابر ترکیبات ذیل مقاوم است:

- آب دریا
- آبهای سبک (سرد و گرم)
- اسید فسفریک، اسید استیک و سایر اسیدهای غیراکسیدان
- در معرض هوا
- هالوژن‌ها (در شرایط خاص)

ب- مس در برابر ترکیبات ذیل مقاوم نیست:

- اسیدهای اکسیدکننده مانند  $\text{HNO}_3$  و  $\text{H}_2\text{PO}_4$  غلیظ و گرم، اسیدهای غیراکسیدکننده حاوی هوا ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )
- $\text{NH}_4\text{OH}$  (حاوی اکسیژن)
- آبها و محلولهای آبی محتوی هوا و در سرعتهای بالا
- املاح فلزات سنگین اکسیدکننده مانند  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  و  $\text{FeCl}_3$
- $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{S}$  و برخی ترکیبات گوگردی

### ۳-۶- خوردگی سرامیکها

به موادی (معمولاً جامد) که بخش عمده تشکیل دهنده آنها غیرفلزی و غیرآلی باشد، سرامیک گفته می‌شود. این تعریف نه تنها سفالینه‌ها، پرسلین (چینی)، دیرگدازها، محصولات رسی سازه‌ای، ساینده‌ها، سیمان و شیشه را در بر می‌گیرد، بلکه شامل آهن‌رباهای سرامیکی، لعاب‌ها، فروالکتریک‌ها، شیشه، سرامیک‌ها، سوخت‌های هسته‌ای و ... نیز می‌شود. بطور کلی در مقایسه با فلزات، سرامیک‌ها درجه حرارتهای بالاتری را تحمل می‌کنند، دارای مقاومت خوردگی و سایشی بهتری بوده و عایق‌های بهتری هستند ولی تردتر بوده و استحکام کششی کمتری دارند و در معرض شوک‌های حرارتی قرار می‌گیرند. اکثر مواد سرامیکی مقاومت خوبی در برابر موادشیمیایی و کار در اتمسفر دارند. استثنای اصلی در این مورد اسیدفلوریدریک و قلیاها می‌باشند.

## فصل ۴

روشهای حفاظت سطوح

در برابر خوردگی

---

---

---



## مقدمه

پدیده خوردگی و خسارت حاصل از آنها مهندسين را نيز ناگزير از خلق روشهایی برای حفاظت و کنترل نرخ خوردگی می‌نماید. در فصل سوم برای انواع مختلف خوردگی برخی روشهای پیشگیری و یا جلوگیری از خوردگی ارائه گردید، اما مهمترین و مرسوم‌ترین روشهای حفاظت سطوح در برابر خوردگی عبارتند از:

- استفاده از پوشش‌ها
  - استفاده از جریانهای الکتریکی
  - استفاده از ممانعت کننده‌ها
- موارد فوق به تفصیل در این فصل شرح داده خواهد شد.

## ۴-۱- پوشش‌ها

استفاده از پوشش‌ها یا لایه‌های محافظ از قدیم به علل گوناگون و از جمله ایجاد مانع و سد جداکننده بین سطح و محیط اطراف مرسوم بوده، بطوریکه گاه بسیاری از لایه‌ها اثر مورد نظر را نداشته و در طول زمان مصرف آنها منسوخ شده است. امروزه ترکیبات مختلف و اثر هر یک شناخته شده که موجب جایگزینی ترکیبات مناسبتر گردیده است. معمولاً پوشش‌ها توسط مکانیزم‌های مختلف از سطح حفاظت می‌نمایند که هر یک مشخص کننده نوع، جنس، کیفیت، ضخامت و غیره می‌تواند باشد. این مکانیزم‌ها عبارتند از:

الف- جلوگیری از تماس بین سطح و جو (محیط)<sup>۱</sup>

ب- محدود ساختن تماس بین محیط و جسم مورد نظر

ج- انتشار موادی که سبب کند شدن حمله محیط اطراف بر روی سطح شوند

د- تولید جریان‌های الکتریکی جهت محافظت سطح

ه- ایجاد اتصال سطح با پوشش و افزایش چسبندگی<sup>۲</sup>

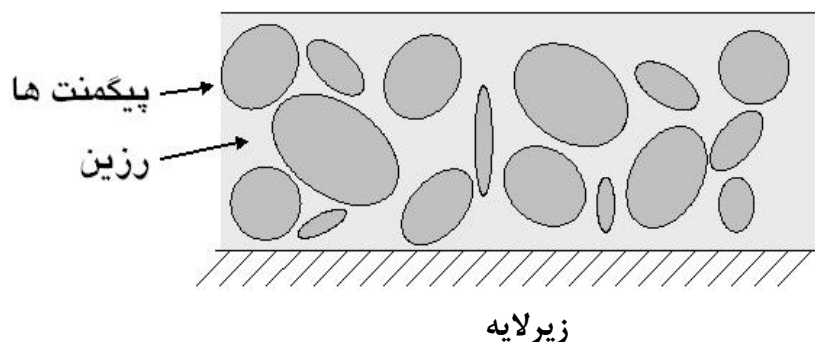
با این حال ممکن است برخی پوشش‌ها چند مکانیزم را بطور همزمان بکار ببرند، تا عمل حفاظت به بهترین شکل صورت گیرد.

پوشش‌های سدکننده خود به سه دسته مواد بی‌اثر، مواد کندکننده و مواد از بین رونده تقسیم می‌شوند.

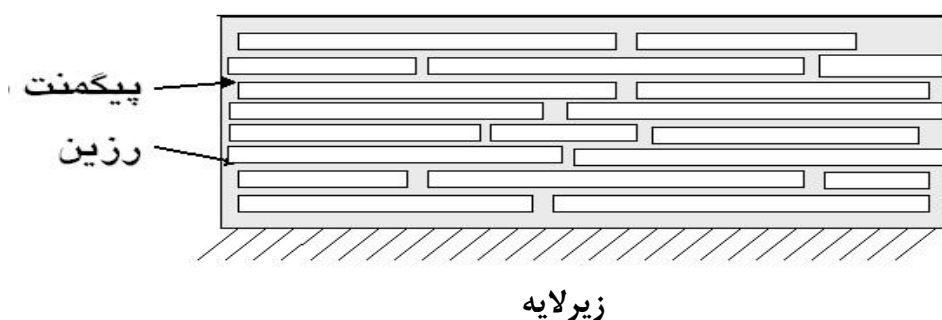
آنچنانکه پیشتر نیز ذکر گردیده، عواملی در شرایط محیطی (جو) همچون رطوبت و اکسیژن باعث خوردگی فلزات می‌شوند. بنابراین تمامی پوشش‌ها و مکانیزم‌ها وظیفه جلوگیری و یا به تاخیراندازی واکنش این عوامل با فلز را دارند. در این رابطه پوشش‌های سدکننده مسیر نفوذ را طولانی نموده و یا اجازه نفوذ نمی‌دهند و در هر دو حال طول عمر فلز قبل از خوردگی افزایش می‌یابد (شکل ۴-۱).

1- Barrier behavior

2- Anticorrosive behavior



الف- نمونه‌ای از پوشش‌های حفاظتی مرسوم



ب- نمونه‌ای از پوشش سدکننده با پیگمنت مسطح

شکل ۴-۱: مکانیزم ممانعت از نفوذ پوشش‌های سدکننده

پوشش‌های حفاظتی از نظر شیمیایی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- پوشش‌های فلزی
- پوشش‌های آلی
- پوشش‌های معدنی

استفاده از پوشش به علل مختلف می‌تواند صورت گیرد، از جمله مقاومت در برابر سایش، ایجاد سختی، خاصیت الکتریکی، مقاومت اکسیداسیون، مقاومت در برابر حملات خوردگی، قابلیت انتشار حرارتی و سرانجام ایجاد خاصیت عایق حرارتی، البته در بعضی موارد شکل و نمای ظاهری‌ای تزئینی آنها نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

همچنین برحسب شکل فیزیکی، ضخامت، روش اعمال و غیره با عناوینی همچون پوشش<sup>۱</sup>، توپوش<sup>۲</sup> و روکش<sup>۳</sup> نامیده می‌شود.

#### ۴-۱-۱- پوشش‌های آلی<sup>۴</sup>

این پوشش‌ها ترکیبات با ساختار شیمیایی آلی هستند که از فاز پیوسته (رزین) آلی به‌مراه پیگمنت و پرکننده، افزودنی‌ها و حلال (و گاه بدون حلال) تشکیل می‌شوند. آنچه برخاصیت ضدخوردگی یک پوشش آلی اثر مستقیم دارد، نوع رزین، پیگمنت و پرکننده مصرفی می‌باشد. معمولاً رزین‌های حفاظتی از نوع مرغوب‌تر (به لحاظ مقاومت‌های فیزیکی - مکانیکی - شیمیایی) و با چسبندگی بیشتر به سطح فلز می‌باشند. در عمل لازمه ایجاد خاصیت ضدخوردگی بالا، چسبندگی خوب است. گاهی اوقات برای کاهش نفوذ عوامل خوردنده (مکانیزم سدکنندگی) پلیمرهای آلی با خاصیت نفوذپذیری کم و یا بسیار کم همچون لاستیکها<sup>۵</sup> و پلاستیکها<sup>۶</sup> (پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) استفاده می‌شود.

• پوشش‌های لاستیکی، لایه‌های لاستیکی با مقاومت‌های بسیار بالا در برابر مواد شیمیایی هستند. این پوشش‌ها دارای تنوع بسیار بوده و در دسته‌هایی همچون لاستیک طبیعی، لاستیک بیوتیل، نئوپرن، پلی‌اتیلن، کلروسولفون و... قرار می‌گیرند.

- پوشش‌های سخت (با سختی Shore A ۱۰۰)

- پوشش‌های نیمه‌سخت (با سختی Shore A ۷۰-۸۵)

- پوشش‌های نرم (با سختی Shore A ۴۵-۶۵)

پوشش‌های لاستیکی همیشه برای سطوح داخلی مخازن و یا لوله‌ها بکار رفته و توان کاربرد بیرونی<sup>۷</sup> ندارند. پوشش‌های سخت با توجه به سختی بالاتر، در برابر مواد شیمیایی بسیار مقاوم‌تر بوده و توانایی کاربرد تا دماهای بالاتر (حداکثر ۸۵ درجه سانتیگراد) را دارند. پوشش‌های نرم با توجه به توان میرانمودن ضربه، مقاومت سایشی عالی داشته و برای سطوحی بکار می‌روند که حاوی سیال محتوی ذرات ساینده باشد. این پوشش‌ها اگر چه مقاومت‌های شیمیایی ضعیف‌تری نسبت به نوع سخت دارند، اما چسبندگی بالایی به سطح فلز داشته و بنابراین تعمیرات و فرآیند پخت ساده‌تری دارند.

• پوشش‌های پلی‌اتیلن و یا پوشش‌های چندلایه پلی‌اتیلنی، نوارهای اکسترود شده پلی‌اتیلن (و یا حتی پلی‌پروپیلن) هستند که به دلیل نفوذپذیری بسیار کم، مقاومت شیمیایی بالا و خنثی بودن، مصارف زیادی در پوشش بیرونی لوله‌های مدفون در هر نوع شرایط دارد. این پوشش‌ها با توجه به خصوصیات شیمیایی - مکانیکی عالی طول عمر بسیار بالا دارند. ضخامت آنها بسیار بیشتر از رنگهای معمولی بوده و در چندین لایه شامل موارد زیر روی جسم قرار می‌گیرند.

- لایه کرومات و فسفات (جهت افزایش چسبندگی و کاهش جدایش کاتدی<sup>۸</sup>)

- لایه آستری ضدخوردگی اپوکسی (جهت محافظت در برابر خوردگی و ایجاد چسبندگی بین سطح لوله و لایه چسب پلی‌اتیلن بکار می‌رود).

- 1- Coating
- 2- Lining
- 3- Cladding
- 4- Organic coating
- 5- Elastomers
- 6- Plastics
- 7- Exterior
- 8- Cathodic disbanding

- لایه چسب پلی اتیلن (جهت افزایش چسبندگی نوار اکسترود شده پلی اتیلن و آستری اپوکسی)
- نوار اکسترود شده پلی اتیلن (بعنوان پوشش ممانعت کننده در برابر نفوذ عوامل خوردنده)
- پوشش‌های نواری پیچی شونده، دسته دیگر از پوشش‌های حفاظتی سدکننده نفوذ عوامل خوردنده هستند که خود در دو دسته سرد اعمال<sup>۱</sup> و گرم اعمال<sup>۲</sup> وجود دارند. مرسوم‌ترین این پوشش‌ها، پوشش‌های نواری پلی اتیلن و کولتار (بیتومن) می‌باشند. پوشش‌های پلی اتیلنی سرد اعمال نوارهای از قبل ساخته شده<sup>۳</sup> بوده و در پهنای مختلف بسته به قطر لوله‌ها انتخاب شده و اعمال می‌شوند. معمولاً برای چسبندگی بهتر، پشت آنها با یک چسب، چسبناک می‌شود. این نوارها توسط ماشین ویژه و یا گاه با دست دور لوله بصورت مارپیچ و با اعمال کشش معین (با افزایش طول کمتر از ۵٪ نوار) پیچیده می‌شوند. پوشش کولتار در هر دو نوع سرد اعمال و گرم اعمال وجود داشته که نوع سرد اعمال مشابه نوارهای پلی اتیلنی است ولی در نوع گرم اعمال، قیر در هنگام اعمال ذوب شده و روی نواری از الیاف (پشم شیشه) قرار گرفته و در دو لایه بر سطح لوله اعمال می‌شود. پوشش‌های نواری نیز برای سطوح خارجی لوله‌های مدفون بکار رفته و همچون پوشش‌های پلی اتیلن چند لایه در معرض نور تخریب می‌شوند.
- پوشش‌های یورتانی یکی از مهمترین و کاراترین پوشش‌ها در حفاظت می‌باشند. پلی یورتانها ذاتاً خاصیت الاستیک دارند، لذا در میرانمودن ضربات (مقاومت در برابر ضربه و خمش) توانایی بالایی از خود نشان می‌دهند. همچنین به دلیل ساختار شیمیایی، این مواد مقاومت شیمیایی و جوی بسیار بالایی دارند. به همین دلیل این پوشش‌ها غالباً برای لایه رویه<sup>۴</sup> پوشش‌های حفاظتی در معرض مستقیم نور بکار می‌روند. پلی یورتان از پوشش‌های مناسب برای داخل و خارج تجهیزات است که در معرض عوامل شیمیایی از جمله اسیدها، قلیاها، نمک‌ها و مواد آلی قرار دارند. همچنین این پوشش‌ها برای سطح خارجی لوله‌هایی که در محیط آلوده هستند و داخل لوله‌های در معرض سایش، مناسبند. امروزه به دلیل مقاومت نسبت به آب خوب کولتار، ترکیبات هیبریدی کولتار یورتان ایجاد شده که در مقابل نفوذ آب یا گازها مقاوم است.
- پوشش‌های اپوکسی، یکی از پرمصرف‌ترین ترکیبات حفاظتی هستند بطوریکه امروزه بیش از ۵۰٪ کل پوشش‌های حفاظتی از رزین اپوکسی بعنوان فاز پیوسته استفاده می‌کنند. این مصرف بالا را می‌توان به خصوصیات همچون چسبندگی بالا، مقاومت‌های مکانیکی عالی، مقاومت در برابر خوردگی بالا، مقاومت بسیار بالا در برابر اسیدهای ضعیف و قلیای قوی و غیره نسبت داد. دیگر عامل مصرف عمده این رزین‌ها، تنوع بالای آنها از نظر نوع و خواص و نحوه پخت است (برای مثال اپوکسی دو جزئی هوا خشک، اپوکسی کوره‌ای، اپوکسی محلول در آب، اپوکسی پودری و...). از آنجا که در صنعت برق عمده تجهیزات خصوصاً در مورد لایه‌های میانی و رویه در سایت رنگ‌آمیزی می‌شوند، بنابراین نیاز به رنگ‌های هوا خشک (یعنی دو جزئی) دارند. پوشش‌های دو جزئی اپوکسی دارای دو قسمت رنگ<sup>۵</sup> و هاردنر<sup>۶</sup> (عامل پخت) می‌باشند. از

---

1- Cold applied  
 2- Hot applied  
 3- Prefabricated  
 4- Top coat  
 5- Coating  
 6- Hardener





- از طریق رزین: برخی از رزین‌ها خاصیت ضدخوردگی بالایی داشته، بنابراین برای استفاده در یک آستری مناسب‌تر می‌باشند. این رزین‌ها از طریق مقاومت در برابر نفوذ و یا ایجاد چسبندگی بالا با سطح زیرآیند از سطح محافظت می‌کنند (جدول ۴-۱).
- از طریق پیگمنت: برخی از پیگمنت‌ها هنگامی که در پوشش بکار می‌روند از طریق ایجاد جریان الکتریکی، واکنش شیمیایی و یا واکنش با عامل خورنده و ممانعت از رسیدن به سطح زیرآیند از آن محافظت می‌کنند. از جمله پیگمنت‌های ضدخوردگی مرسوم می‌توان کرومات‌ها و فسفات روی، برنز و پودر روی را نام برد که از نظر خاصیت ضدخوردگی پودر روی بسیار بهتر عمل می‌نماید. معمولاً به پوشش‌هایی که از مقادیر بالای پودر روی استفاده نموده و خاصیت ضدخوردگی بالایی را از خود بروز می‌دهند، پوشش‌های غنی از روی<sup>۱</sup> اطلاق می‌گردد. مطرح‌ترین آستری‌های ضدخوردگی آلی عبارتند از اپوکسی دو جزئی، اپوکسی دوجزئی غنی از روی، اپوکسی کرومات و اپوکسی فسفات روی.

جدول ۴-۱: مقایسه خصوصیات انواع پوشش‌ها و کاربرد آنها در صنعت برق [۹]

میزان مقاومت شیمیایی	نوع رنگ	ویژگیها	محدودیت کاربرد	مثال کاربردی
رنگها و پوشش‌های با مقاومت شیمیایی بالا	اپوکسی دوجزی	- مقاومت قلیایی بالا - مقاومت سایشی بالا - چسبندگی بالا - مقاومت نسبتاً خوب در برابر آب	- محیط‌های اسیدی - عدم کاربرد در برابر شرایط جوی - طول عمر دو جزء مخلوط	- سازه‌های فلزی - لایه میانی رنگ مخازن - لایه میانی و رویه بر روی لوله‌ها و مخازن
	وینیلی	- مقاومت بسیار بالا در برابر آب - مقاومت اسیدی و قلیایی خوب (در محیط‌های ضعیف) - مقاومت سایشی خوب	- روش اعمال - چسبندگی - مقاومت گرمایی - نقطه اشتعال	- داخل مخازن نگهداری آب
	پلی یورتان	- مقاومت شیمیایی خوب - مقاومت اسیدی خوب - مقاومت قلیایی نسبتاً خوب - چسبندگی پخت بسیار بالا - مقاومت در برابر شرایط جوی - براقیت بالا	- قسمت بالا - نسبت اختلاط بحرانی	لایه رویه در کلیه تأسیسات
رنگها و پوشش‌های با مقاومت شیمیایی بالا	پوشش‌های غنی از روی آلی	- مقاومت حلالی پایین - مقاومت سایشی پایین - مقاومت ضد خوردگی بالا - مقاومت در برابر آب	- مقاومت حرارتی متوسط - مشکلات مربوط به اختلاط اجزاء	- بعنوان آستری در پوشش‌های حفاظتی
	پوشش‌های غنی از روی معدنی	- مقاومت حلالی بالا - مقاومت سایشی بالا - مقاومت حرارتی بسیار بالا - مقاومت در برابر آب و رطوبت بالا - مقاومت در برابر خوردگی بالا	- مشکلات اعمال - مشکلات اختلاط اجزاء - مشکلات مربوط به پخت کامل	- بعنوان آستری در پوشش‌های مقاوم حرارتی سیلیکونی
رنگها و پوشش‌های با مقاومت شیمیایی متوسط	کلر کائوچو	- مقاومت قلیایی خوب - مقاومت در برابر آب - نفوذپذیری کم - مقاومت سایشی خوب	- مقاومت حلالی - مقاومت حرارتی	- سطوح بتونی - سطوح فلزی در مجاورت آب دریا
	اپوکسی استر	- مقاومت شیمیایی خوب - مقاومت سایشی خوب - براقیت بالا - کاربرد آسان	- حفظ رنگ و براقیت کم	- کلیه قطعات فلزی ساختمانی
رنگها و پوشش‌های با مقاومت شیمیایی پایین	الکید	- کاربرد آسان - عدم حساسیت به آماده‌سازی - قیمت مناسب - دوام خوب	- مقاومت آب - مقاومت حلالی - مقاومت شیمیایی - زمان خشک شدن طولانی	- کلیه قطعات فلزی ساختمانی - نرده‌ها و ...

## ب- لایه میانی:

لایه میانی می‌تواند از ۱ تا ۳ لایه تشکیل شده باشد، زیرا گاهی اوقات حفاظت بهتر از طریق ضخامت‌های بالاتر حاصل می‌شود. از آنجا که اعمال لایه ضخیم رنگ در یک نوبت اعمال، سخت و یا غیرممکن بوده و موجب بروز عیوب زیادی در فیلم رنگ می‌گردد، بنابراین ضخامت مورد نظر از طریق تکرار دفعات اعمال حاصل می‌شود. وظایف لایه میانی را می‌توان اینگونه برشمرد:

- ایجاد چسبندگی بین لایه‌های آستری و رویه
- ممانعت در برابر نفوذ عوامل خورنده و کمک به خاصیت ضد خوردگی آستری
- بالابردن دوام یک پوشش
- افزایش خاصیت ضد خوردگی از طریق افزایش ضخامت فیلم رنگ و ...

معمولاً مهمترین لایه میانی در پوشش‌های حفاظتی برپایه رزین‌های اپوکسی دو جزئی می‌باشد.

### ج - لایه رویه:

با توجه به قرارگیری پوشش‌ها در معرض شرایط محیطی مختلف، لایه رویه وظیفه مقاومت در برابر شرایط مذکور را خواهد داشت. پوشش‌های رویه معمولاً برای مقاومت در برابر جو، رطوبت، سایش، ضربه و... طراحی می‌شوند. از جمله مهمترین پوشش‌های رویه پوشش‌های یورتانی (برای شرایط در معرض و نورخورشید) و پوشش‌های دوجزئی اپوکسی (برای شرایط مسقف) می‌باشند، این پوشش‌ها معمولاً برای خاصیت ضدخوردگی در نظر گرفته نشده و در ضخامت پایین بکار می‌روند.

### توجه:

لایه آستری ضدخوردگی تنها لایه‌ای است که کاربرد آن الزامی است، زیرا در برخی پوشش‌های حفاظتی آلی (همچون پوشش لاستیکی و پوشش PE<sup>۱</sup>) لایه میانی و یا رویه عملاً حذف می‌شوند.

### ۴-۱-۲- پوشش معدنی

کاربرد پوشش‌های معدنی بر روی مقره‌های سیلیکونی می‌باشد. این پوشش‌ها در دو قالب پوشش‌های رویه سیلیکونی و پوشش‌های ضدخوردگی سیلیکاتی بر روی مقره‌های سیلیکونی می‌توانند بکار روند. پوشش‌های مذکور با توجه به عناصر معدنی موجود در ساختار خود دارای مقاومت حرارتی بسیار بالاتری نسبت به پوشش‌های آلی هستند. پوشش‌های ضدخوردگی سیلیکاتی خود در سه دسته موجودند که عبارتند از: اتیل سیلیکات‌ها، سیلیکات‌های پخت تاخیری و سیلیکات‌های هوا خشک که نوع اتیل سیلیکاتی پرمصرف‌ترین نوع در ایران است. این پوشش‌ها به دلیل ایجاد یک شبکه بزرگ معدنی، مقاومت بالایی در مقابل مواد شیمیایی، حلال‌ها و عوامل خورنده از خود نشان می‌دهند. همچنین به دلیل واکنش با سطح زیرآیند فولادی از چسبندگی بسیار بالایی برخوردار هستند. لازم به ذکر است در حین فرآیند پخت که در حضور اسید و آب صورت می‌گیرد، اتیل از رزین جدا شده و اتانول تشکیل می‌دهد که از محیط واکنش خارج می‌شود.

این پوشش‌ها گاه می‌توانند بصورت یک لایه ۴۰ تا ۹۰ میکرونی سالها سطحی را از خوردگی محافظت نمایند و از آنجا که ساختار معدنی دارند تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد را نیز تحمل می‌کنند.

### ۴-۱-۳- پوشش‌های فلزی فولاد

اصولاً پوشش‌های فلزی از طریق دو مکانیزم متفاوت نقش حفاظتی خود را در برابر محیط خورنده ایفا می‌نمایند:

الف- پوشش‌های فلزی بعنوان یک سد فیزیکی مانع از تماس عوامل خورنده محیط با سطح ماده زمینه می‌شوند. این اثر می‌تواند توسط محصولات ناشی از خوردگی نیز فراهم یا تشدید گردد. بنابراین هرچه پوشش فلزی یا محصولات ناشی از خوردگی آن فشرده‌تر، ضخیم‌تر و چسبنده‌تر باشند اثر حفاظتی بهتر خواهد بود.

ب- چنانچه تحت شرایط عملیاتی، پتانسیل الکتروشیمیایی ترکیب پوشش نسبت به فلز زمینه فعالتر باشد، قادر است بصورت آند فداشونده از زمینه فلزی محافظت نماید. با افزایش نیروی الکتروموتوری فلزات (منفی تر شدن پتانسیل الکتریکی) فعالیت آنها هم بیشتر می‌شود (جدول ۴-۲).

1- Polyethylene

جدول ۴-۲: نیروی الکتروموتوری استاندارد فلزات

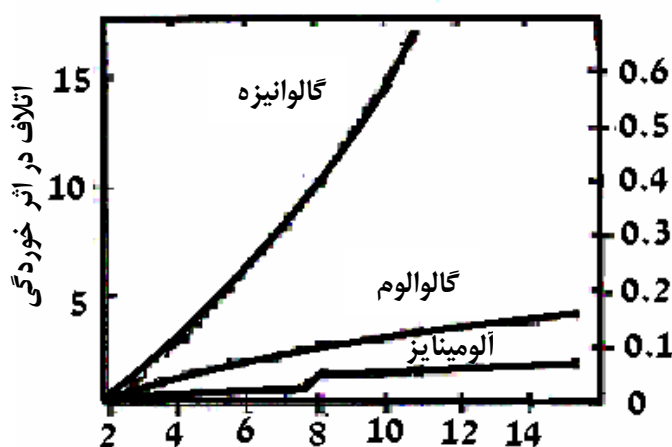
$Au^{2+} + 2e \rightleftharpoons Au$	$E^0 = +1.498 \text{ V}$	
$Pt^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pt$	$E^0 = +1.2 \text{ V}$	
$Pd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pd$	$E^0 = +0.987 \text{ V}$	
$Ag^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ag$	$E^0 = +0.799 \text{ V}$	
$Hg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Hg$	$E^0 = +0.788 \text{ V}$	
$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu$	$E^0 = +0.337 \text{ V}$	
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	$E^0 = +0.00 \text{ V}$	
$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	$E^0 = -0.126 \text{ V}$	
$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn$	$E^0 = -0.136 \text{ V}$	
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni$	$E^0 = -0.225 \text{ V}$	
$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co$	$E^0 = -0.277 \text{ V}$	
$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe$	$E^0 = -0.440 \text{ V}$	
$Cr^{3+} + 3e \rightleftharpoons Cr$	$E^0 = -0.744 \text{ V}$	
$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	$E^0 = -0.763 \text{ V}$	
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	$E^0 = -1.662 \text{ V}$	
$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg$	$E^0 = -2.363 \text{ V}$	
$Na^+ + e \rightleftharpoons Na$	$E^0 = -2.714 \text{ V}$	
$K^+ + e \rightleftharpoons K$	$E^0 = -2.925 \text{ V}$	

معمولاً پوشش‌های فلزی که در صنعت برق استفاده می‌شوند بر پایه گالوانیزه، گالوانوم و حتی آلومینایز باشند.

#### ۴-۱-۳-۱- گالوانیزاسیون

پوشش دادن سطح فلز فولاد با فلز روی را گالوانیزاسیون گویند. این کار با هدف جلوگیری از خوردگی فلز پایه (فولاد) و زنگ‌زدگی آن انجام می‌شود.

این پوشش‌ها در پست‌هایی که در محیط‌های صنعتی قرار داشته (به دلیل حضور گازهای  $SO_2, SO_3, NO_x, CO_2$ ) و یا در نواحی ساحلی که در معرض وزش باد و بارش باران قرار دارند عملکرد ضعیفی دارند. مقاومت پوشش گالوانیزه با زمان یک رابطه خطی دارد و شدت خوردگی اتمسفری متأثر از رطوبت نسبی و میزان گازهای مهاجم موجود می‌باشد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: زمان قرارگیری در معرض اتمسفر (سال)

گالوانیزاسیون به دو نوع است:

### الف- گالوانیزه گرم

گالوانیزاسیون به روش غوطه‌وری گرم، فرایندی برای ایجاد پوشش روی بر سطح آهن یا فولاد با فرو بردن آن در حمامی حاوی روی مذاب است. سادگی پروسه گالوانیزه، یکی از مزایای بارز این روش به سایر روش‌های محافظت در برابر خوردگی است. مقاومت به خوردگی ورق‌های فولادی با فرایند پوشش روی ایجاد می‌گردد و متناسب با ضخامت پوشش روی و شرایط محیطی می‌باشد.

مقاومت در برابر خوردگی این محصولات را می‌توان با رنگ کردن یا پوشش کویل بالا برد. روش گالوانیزاسیون با روش غوطه‌وری گرم، بیش از هر روش دیگری فولاد را در برابر خوردگی محافظت می‌کند. گالوانیزاسیون با روش غوطه‌وری گرم یا محافظت مرزی یکی از قدیمی‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌ها در محافظت از خوردگی است که از طریق ایجاد یک لایه محافظ بین الکترولیت در محیط و فولاد یا آهن عمل می‌کند.

از مهمترین خواص این لایه محافظ، چسبندگی آن به فلز پایه و مقاومت به سایش آن می‌باشد. فرایند گالوانیزه، بیش از یک لایه محافظ است، این لایه در حقیقت جزیی از سطح فولاد می‌گردد که نسبت به فولاد زیر لایه، آند می‌باشد. چون روی با محیط اطراف واکنش می‌دهد و پوشش گالوانیزه به طور پیوسته تغییر می‌کند. روی با محیط اطراف برای تشکیل یک لایه محافظ اکسید روی، هیدروکسید روی و کربنات روی، واکنش می‌دهد. کربنات روی با مرور زمان به صورت یک زمینه مناسب برای رنگ کردن، عمل می‌کند.

پوشش روی به دو صورت زیر از زیر لایه محافظت می‌کند:

- تشکیل پیوندهای متالورژیکی بین پوشش و زیر لایه، که به صورت لایه محافظ عمل می‌کند.
- پوشش برای محافظت از زیر لایه خود را فدا می‌کند.

بعلاوه، گالوانیزه کردن برای محافظت آهن و فولاد بدلیل هزینه کم، راحتی کاربرد، راحتی تعمیرات و نگهداری مطلوب می‌باشد. بسیاری دیگر از روش‌های استفاده از روی برای جلوگیری از خوردگی بکار می‌رود. مانند پوشش‌های فداشونده که با عنوان محافظت کاتدی شناخته می‌شوند و یا رنگ‌های غنی از روی که هیچ‌کدام از این روش‌ها نمی‌توانند با گالوانیزاسیون با روش غوطه‌وری گرم رقابت کنند.

### ب- گالوانیزه سرد

استفاده از گالوانیزه سرد دارای مزایای زیر می‌باشد:

- با استفاده از گالوانیزه سرد، می‌توان سازه‌های فلزی را بدون تفکیک و جداسازی پوشش‌دهی نمود.
- امکان بازسازی، ترمیم و پوشش‌دهی مجدد سازه‌هایی که با استفاده از روش گالوانیزه گرم تولید شده‌اند.
- حفاظت کاتدیک میل‌گردهای داخل سازه‌های بتنی بواسطه تشکیل باند الکتروشیمیایی با این پوشش صورت می‌گیرد.
- استفاده از گالوانیزه سرد مشکلات تغییر شکل سازه‌ها در مقایسه با روش گالوانیزه گرم را برطرف خواهد نمود.
- قابلیت استفاده در نقاط جوشکاری شده و یا سوراخ‌کاری شده، به جهت حفاظت مجدد از نقاط آسیب‌دیده.
- جلوگیری از انتشار زنگ‌زدگی و خوردگی حتی در صورت به وجود آمدن خراش بر روی سازه‌های فلزی و ماشین‌آلات.
- چسبندگی فوق‌العاده بر روی سطوح مختلف و نیز مقاومت سایشی مکانیکی عالی
- رنگ‌آمیزی مضاعف جهت حفاظت بیشتر توسط پوشش‌هایی نظیر انواع رنگهای اپوکسی، الکید و یا پلی‌اورتان پس از حداقل ۲۴ ساعت بر روی این نوع پوشش امکان‌پذیر می‌باشد.
- اجرای آسان با استفاده از انواع ابزار و روشهای مختلف رنگ‌آمیزی مانند: اسپری، قلم، غلطک و وایرلس اسپری
- بدلیل ایجاد لایه فیلم خشک غنی از فلز روی با خلوص ۹۵٪ در صورت بروز آتش‌سوزی، این پوشش مشتعل نشده و سرایت آتش را به تاخیر می‌اندازد.

### ۴-۱-۳-۲- گالوالوم (پوشش‌های آلیاژی)

پوشش‌های آلیاژی به دلیل ضعف بزرگ پوشش گالوانیزه در مقابل اتمسفرهای حاوی گاز ایجاد شدند. برای مثال آلیاژی با ترکیب تقریبی ۵۵٪ آلومینیوم، ۱/۵٪ سیلیسیم و ۴۳/۵٪ روی بنام گالوالوم یکی از پوشش‌های آلیاژی است که در راستای برطرف کردن ضعف پوشش‌های گالوانیزه تولید شده است. مقاومت در برابر خوردگی آلیاژ گالوالوم معمولاً بین ۲ تا ۴ برابر بیشتر از روی خالص است. مکانیزم حفاظت فوق‌العاده آلیاژ گالوالوم از فولاد را می‌بایست در ساختار میکروسکوپی پوشش جستجو کرد. ساختار شبکه دو فازی یک عامل اصلی مقاومت بالا در برابر خوردگی برای محصولات پوشش داده شده با این آلیاژ است. در ساختار دو فازی پوشش گالوالوم، بخش حاوی روی بصورت فدا شدن روی و حفاظت کاتدی از سطح حفاظت می‌نماید و بخش غنی از آلومینیوم با شکل پیچیده‌ای که تشکیل می‌دهد، محصولات خوردگی را بصورت مکانیکی در خود محبوس نموده و خاصیت انسدادی خوبی از خود در برابر عوامل خوردنده نشان می‌دهند. این پوشش‌ها علاوه بر خواص حفاظتی بالا، به دلیل صاف بودن زیاد سطح، یکنواختی و درخشندگی ظاهری بیشتری از پوشش‌های گالوانیزه داشته و بعنوان یکی از بهترین زیرآیندهای پوشش‌های آلی بکار می‌روند.

## ۴-۱-۳-۳- پوشش آلومینایز

ویژگی بارز اعمال پوشش‌های آلومینایز بر فولاد، مقاومت در برابر خوردگی در دمای محیط و مقاومت در برابر اکسیداسیون در دماهای بالا می‌باشد. به طور کلی مقاومت در برابر خوردگی اتمسفری پوشش‌های آلومینایز براساس کاهش وزن در طی یک دوره ۱۰ ساله، حدوداً ۱۵ برابر بیشتر از گالوانیزه است. جدول (۳-۴)، محصولات ناشی از خوردگی پوشش‌های گالوانیزه، گالوالوم و آلومینایز را در معرض اتمسفرها و زمانهای مختلف نشان می‌دهد. مکانیزم حفاظت پوشش‌های آلومینایز سدکنندگی نفوذ عوامل خوردنده بوده و برخلاف روی قابلیت فدا شوندگی ندارند.

جدول ۳-۴: محصولات جامد خوردگی از پوشش‌های آلومینیوم، روی و آلومینیوم روی

در معرض اتمسفر صنعتی به مدت ۹ سال		
پوشش آلومینایز	پوشش گالوانیزه	پوشش گالوالوم
Al Sulfate Hydrate $4Al_2O_3 \cdot H_2O$	$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ ZnO ZnSO <sub>4</sub> FeOOH	AlZn Sulfate Hydrate
در معرض اتمسفر دریایی به مدت ۹ سال		
پوشش آلومینایز	پوشش گالوانیزه	پوشش گالوالوم
Al Sulfate Hydrate $4Al_2O_3 \cdot H_2O$ Al(OH) <sub>3</sub>	$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ FeOOH ZnO $Zn_3(OH)_8Cl_2$ ZnSO <sub>4</sub>	AlZn Sulfate Hydrate Al(OH) <sub>3</sub> $Al_2(OH)_6 \cdot H_2O$ ZnO
در معرض اتمسفر دریایی به مدت ۳ سال		
پوشش آلومینایز	پوشش گالوانیزه	پوشش گالوالوم
Al Sulfate Hydrate $4Al_2O_3 \cdot H_2O$	$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ $Zn_5(OH)_8Cl_2$ ZnSO <sub>4</sub> ZnO	AlZn Sulfate Hydrate $Al_2(OH)_6 \cdot H_2O$ ZnO



## ۴-۲- روشهای مهندسی حفاظت سطوح در برابر خوردگی

### ۴-۲-۱- تغییر محیط خورنده

در تجهیزاتی که مدفون بوده و آزمون خاک، خورنده بودن محیط را نشان می‌دهد، محیط خورنده می‌بایست تعویض گردد. تغییراتی که در این حالت می‌تواند موجب کاهش خوردگی گردد عبارتند از:

- کاهش دما
- کاهش سرعت<sup>۱</sup>
- حذف اکسیژن و یا اکسیدکننده‌های دیگر
- تغییر غلظت

گاهی اوقات برای کاهش خوردگی محیط، خاک اطراف تجهیزات مدفون را با خاک غیرخورنده جایگزین می‌نمایند.

**توضیح:** از آنجاییکه مس و آلیاژهای آن دارای کاربرد وسیعی در لوله‌کشی، شیرآلات، لوله‌های مبدل حرارتی و صفحه لوله‌ها، سخت‌افزارها، سیم، توری، شافت، شبروانی، پاناقان‌ها، تانک‌ها و مخازن و ... می‌باشند، لذا محیط خورنده اکثراً سیال جاری و حاوی اکسیژن یا اکسیدکننده‌های دیگر بوده که در تماس با این فلز است و برای حفاظت آن نیز کاهش سرعت و حذف اکسیژن و یا اکسیدکننده‌های دیگر مدنظر قرار گیرد.

### ۴-۲-۲- انتخاب مواد صحیح

متداولترین روش جلوگیری از خوردگی انتخاب فلز یا آلیاژ مناسب برای کاربرد مورد نظر است. این روش در واقع مهم‌ترین روش جلوگیری یا کم‌کردن خسارت حاصل از خوردگی است. در انتخاب آلیاژها، چند زوج موفق فلز و محیط خورنده وجود دارد. این زوجها معمولاً نشان‌دهنده بیشترین مقاومت خوردگی با حداقل هزینه می‌باشند. بعضی از این زوجها موفق عبارتند از:

- فولاد زنگ‌نزن - اسید نیتریک
- نیکل و آلیاژهای آن - مواد قلیائی
- مونل - اسیدفلوریدریک
- هاستالوی‌ها - اسید کلریدریک گرم
- سرب - اسیدسولفوریک غلیظ
- آلومینیوم - اتمسفرهای پاکیزه
- قلع - آب مقطر
- تیتانیوم - محلول‌های اکسیدان قوی و گرم
- تانتال - بیشترین مقاومت
- فولاد - اسیدسولفوریک غلیظ

۱. سرعت در رابطه با جریان سیال در لوله‌ها است که چنانچه از حد مجاز بیشتر شود، خوردگی لوله تشدید فزاینده‌ای خواهد گرفت.

همچنین چند قانون کلی دیگر نیز در انتخاب فلزات و آلیاژها می‌توان مورد استفاده قرار داد. در محیط‌های احیاءکننده یا غیراکسیدان مثل اسیدها و محلول‌های آبی فاقد هوا، از نیکل، مس و آلیاژهای آنها می‌توان استفاده کرد. در شرایط اکسیدکننده، آلیاژهای کروم‌دار مفید هستند. در شرایط اکسیدکننده بسیار قوی تیتانیوم و آلیاژهای آنها قابل استفاده است. روش دیگر افزایش مقاومت در برابر خوردگی، استفاده از فلز خالص است چرا که اصولاً مقاومت در برابر خوردگی یک فلز خالص معمولاً بهتر از فلز ناخالص است. لکن فلزات خالص معمولاً گرانتز بوده و نسبتاً نرم و ضعیف هستند. بطور کلی این روش در موارد معدودی خیلی خاص بکار برده می‌شود.

غیرفلزات را عموماً به ۵ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌کنند که شامل لاستیک‌های طبیعی و مصنوعی، پلاستیک‌ها، سرامیک‌ها، چوب و کربن و گرافیت می‌باشند. بطور کلی لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها در مقایسه با فلزات و آلیاژها ضعیف‌تر، نرم‌تر، مقاوم‌تر در برابر یون‌های کلر و اسیدکلریدریک، ضعیف‌تر در برابر اسیدسولفوریک غلیظ و اسیدهای اکسیدان مثل اسیدنیتریک، ضعیف‌تر در برابر حلال‌ها بوده و دارای محدودیت درجه حرارت هستند (۱۷۰-۲۰۰ درجه فارنهایت برای اکثر آنها). مواد سرامیکی دارای مقاومت خوردگی عالی و مقاومت در درجه حرارت‌های بالا هستند. ولی تردتر بوده و دارای استحکام پائین می‌باشند. کربن و گرافیت مقاومت خوردگی، هدایت الکتریکی و حرارتی خوب داشته ولی شکننده می‌باشند. چوب بوسیله محیط‌های خورنده از بین می‌رود.

#### ۴-۲-۳- کندکننده‌ها (ممانعت‌کننده‌ها)

کندکننده‌ها (ممانعت‌کننده) مواد شیمیایی هستند که با افزودن مقادیری جزئی از آنها در محیط‌های خورنده، میزان خوردگی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در عمل از روش‌ها و مواد شیمیایی گوناگون برای این منظور استفاده می‌نمایند. در واقع ممانعت‌کننده را می‌توان یک کاتالیزور بازدارنده فرض کرد. ممانعت‌کننده‌های بسیاری با ترکیبات مختلف موجود هستند. اکثر این مواد با آزمونهای تجربی پیدا شده و اصلاح شده‌اند و بسیاری از آنها با نامهای تجاری عرضه می‌گردند و ترکیب شیمیایی آنها مخفی نگه داشته می‌شود. به همین دلیل فرآیند حفاظت به این روش بطور کامل مشخص و روشن نیست. لکن ممانعت‌کننده‌ها را می‌توان برحسب مکانیزم و ترکیب به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.

#### ۴-۲-۳-۱- ممانعت‌کننده‌های جذبی

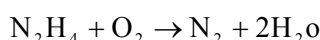
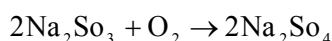
این مواد بزرگترین گروه ممانعت‌کننده‌ها هستند. اینها ترکیبات آلی بوده که جذب سطح فلز شده و واکنش‌های انحلال فلز و احیاء را کند می‌نمایند. در اکثر موارد، ممانعت‌کننده‌های جذبی بر هر دو فرآیند آندی و کاتدی تاثیر می‌گذارند.

#### ۴-۲-۳-۲- ممانعت از تصعید هیدروژن

این مواد مثل یون‌های آرسنیک و آنتیموان، مانع از واکنش آزاد شدن هیدروژن می‌گردند. در نتیجه این مواد در محلول‌های اسیدی خیلی مؤثر بوده ولی در محیط‌هایی که واکنش‌های کاتدی دیگری مثل احیاء اکسیژن کنترل‌کننده می‌باشند بی‌اثر خواهد بود.

#### ۴-۲-۳-۳- مواد حذف‌کننده عوامل مضر

این مواد عوامل خورنده را از محیط حذف می‌نمایند. مثال‌هایی از این نوع ممانعت‌کننده‌ها، عبارتند از سولفیت سدیم و هیدرازین که طبق روابط ذیل با اکسیژن حل شده در محیط ترکیب می‌شوند.



واضح است که این نوع ممانعت‌کننده‌ها در محلول‌هایی که احیاء اکسیژن کنترل‌کننده است خیلی خوب عمل خواهند نمود و در محلول‌های اسیدی قوی مؤثر نخواهند بود.

#### ۴-۲-۳-۴- مواد اکسیدکننده

موادی مثل کرومات، نیترات و نمک‌های فریک نیز در بسیاری موارد بعنوان یک ممانعت‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطور کلی این مواد برای جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژهایی که انتقال فعال - غیرفعال از خود نشان می‌دهند، بکار برده می‌شود (مثل فولاد و آلیاژهای آن و فولادهای زنگ نزن)

#### ۴-۲-۳-۵- ممانعت‌کننده‌های فاز بخار

این ترکیبات خیلی شبیه ممانعت‌کننده‌های جذبی بوده و دارای فشار بخار خیلی بالایی می‌باشند. در نتیجه از این مواد می‌توان بدون تماس مستقیم برای جلوگیری از خوردگی اتمسفری فلزات استفاده نمود. در عمل این ممانعت‌کننده‌ها را نزدیک فلزی که باید محافظت شود قرار داده، در نتیجه تبخیر و میعان شدن آنها روی سطح فلز باعث حفاظت فلز می‌شوند. ممانعت‌کننده‌های فاز بخار معمولاً موقعی مؤثر خواهند بود که در فضای بسته مثل داخل بسته‌بندی قطعات یا داخل ماشین‌آلات در مراحل انبار و حمل و نقل مورد استفاده قرار بگیرند.

همانگونه که در بخش‌های پیش گفته شد در حملات الکتروشیمیایی موقعی که در اثر واکنش، ترکیب نامحلول در آند تولید می‌شود (محصول واکنش آندی) خوردگی متوقف خواهد شد. همچنین اگر نتیجه واکنش کاتدی منجر به ایجاد رسوب گردد، به علت جلوگیری از ورود اکسیژن مورد نیاز و یا به دلیل مسموم شدن نقاطی که آماده واکنش‌های کاتدی دیگرند (مانند تولید هیدروژن) خوردگی متوقف می‌گردد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود که دو دسته مواد شیمیایی جداگانه وجود دارند که می‌توانند باعث کندشدن یا متوقف شدن واکنش‌های خوردگی گردند (کندکننده‌های آندی و کاتدی‌ها).

در صورتی که کندکننده‌های آندی به مقدار کافی اضافه شده باشند مؤثر خواهند بود ولی اگر کمتر از غلظت بحرانی اضافه شوند موجب کم شدن سطح مؤثر گشته و منجر به تشدید خوردگی‌های موضعی خواهند شد. کندکننده‌های آندی مخصوصاً در شکاف‌ها و گوشه‌ها و نقاط ساکن و مرده سیستم و یا نقاطی که ذرات موجود در محیط به آسانی در آن جمع می‌شوند خطرناک می‌باشند. برخی از کندکننده‌های آندی عبارتند از: کربنات سدیم، فسفات سدیم، سیلیکات سدیم و کرومات سدیم. سه ترکیب اول تولید ترکیبات تقریباً نامحلولی از آهن (به عنوان محصول آندی) می‌نمایند در حالیکه کرومات با املاح آهن وارد ترکیب شده و مخلوطی از اکسیدهای نیدراته فریک و کرومیک را بوجود می‌آورد. سطح فلز آهن در مجاورت هوا با فیلمی از اکسید فریک پوشیده می‌شود که خاصیت حفاظتی ندارد، ولی اگر این قطعه در داخل آب محتوی کرومات قرار داده شود، انفصالی‌های موجود در پوشش در نتیجه تشکیل مخلوط اکسیدهای فریک و کرومیک را بوجود می‌آورد.

کندکننده‌های کاتدی بخوبی کندکننده‌های آندی عمل حفاظت را انجام نمی‌دهند ولی تا حدودی رضایتبخش می‌باشند.

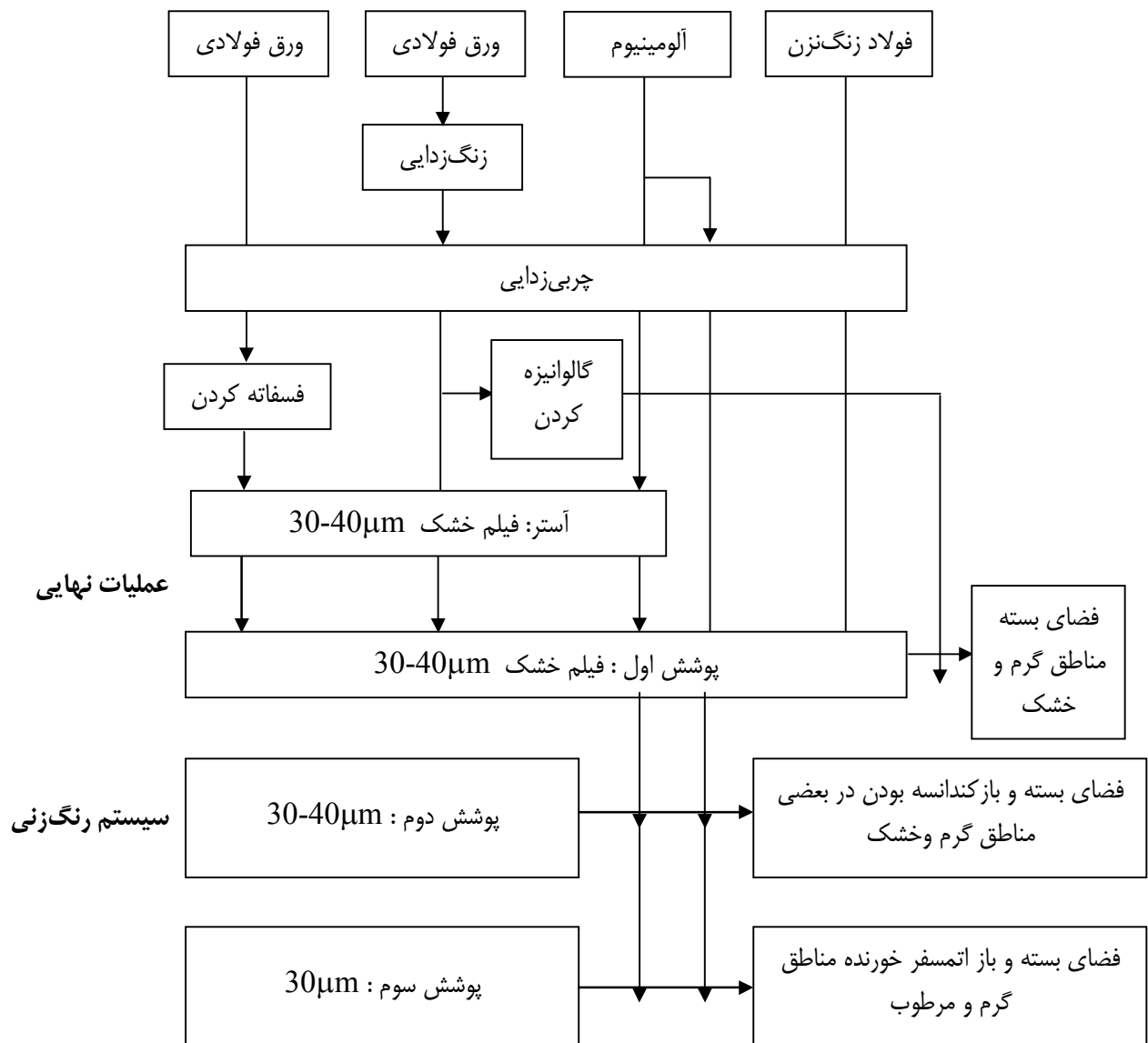
ضمناً در صورت کم بودن مقدار آنها در محلول خیلی خطرناک نخواهند بود. رسوبات کربنات کلسیم در لوله‌های فولادی حامل آبهای سخت که حاوی مقدار زیادی بی‌کربنات کلسیم  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  هستند ناشی از واکنش کاندی بوده و در کاهش میزان خوردگی موثر می‌باشند. در صورتی که مقدار اسید کربنیک بیش از میزان لازم جهت پایدار ساختن بی‌کربنات کلسیم باشد از رسوب کربنات کلسیم جلوگیری نموده و محافظت بعمل نمی‌آید.

#### ۴-۲-۴- آماده‌سازی مناسب

با توجه به آنکه بیش از ۶۰٪ دوام یک پوشش به نحوه آماده‌سازی وابسته است، بنابراین بهترین راه افزایش طول عمر پوشش‌ها آماده‌سازی مناسب خواهد بود. عوامل اثرگذار بر انتخاب روش آماده‌سازی مناسب را می‌توان شامل موارد زیر برشمرد:

- روشهای در دسترس آماده‌سازی
- میزان زنگ‌زدگی
- میزان تمیزی مورد نیاز سطح
- طبیعت و شرایط سطح
- نوع رنگ انتخاب شده
- نوع آلودگی
- مسائل مربوط به محیط زیست و ایمنی
- مسائل اقتصادی

مرسوم‌ترین روشهای آماده‌سازی، روشهای دستی - مکانیکی، الکتریکی و پاششی هستند که روش پاششی با توجه به سرعت بالاتر، درجه تمیزی بیشتر، تهیه زبری<sup>۱</sup> مورد نیاز و قابلیت حمل و نقل برای سطوح بزرگ، پرمصرف‌ترین روش است. در صورتیکه سطح فلز زنگ‌زدگی زیادی داشته باشد، نیاز به تمیزکاری بیشتری دارد. شکل (۳-۴) عملیات آماده‌سازی و سیستم اعمال پوشش مواد مصرفی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۳: عملیات آماده‌سازی سطحی

#### ۴-۲-۵- انتخاب پوشش مناسب

با توجه باینکه غالباً تأسیسات پستها در معرض شرایط جوی می‌باشند انتخاب پوشش مناسب برای این سطوح بایستی با توجه به نرخ خوردگی آنجا صورت پذیرد.

## الف) درجات آماده سازی سطوح

### • درجات آماده سازی با روش پاششی

طبق استاندارد ایزو درجات آماده سازی با روش پاششی با علامت Sa مشخص می‌شود. درجات تفکیکی آن به شرح ذیل می‌باشد:

- درجه آماده سازی Sa1 یا درجه حد برس خوری (Light blast cleaning)

این درجه آماده سازی زمانی حاصل می‌شود که موقع بازدید بدون ذره‌بین، سطح از هرگونه روغن، گریس، گرد و غبار و پوسته‌های اکسید آهن، زنگ‌ها و رنگهای کهنه با چسبندگی کم به دور باشد.

- درجه آماده سازی Sa2 یا درجه تجاری (Thorough blast cleaning)

این درجه آماده سازی وقتی به وجود می‌آید که بدون ذره‌بین، سطح از هرگونه روغن، گریس، گرد و غبار، اکثر پوسته‌های اکسید آهن، زنگ‌ها، رنگهای قدیمی و دیگر مواد خارجی به دور باشد و سایر مواد خارجی باقی مانده روی سطح باید کاملاً به آن چسبیده باشد.

- درجه آماده سازی Sa2  $\frac{1}{2}$  و یا درجه فلز نزدیک به سفید (Very thorough blast cleaning)

این درجه آماده سازی زمانی حاصل می‌شود که موقع بازدید بدون ذره‌بین، سطح از هرگونه روغن، گریس، گرد و غبار و پوسته‌های اکسید آهن، زنگ‌ها، رنگهای قدیمی و دیگر مواد خارجی به دور باشد و سایر مواد باقی مانده روی سطح باید به شکل نقاط کوچک یا نوارهای خیلی باریک و کم باشد.

- درجه آماده سازی Sa3 و یا درجه فلز سفید (Blast cleaning to visually clean steel)

این درجه آماده سازی زمانی حاصل می‌شود که موقع بازدید سطح بدون ذره‌بین، هیچ‌گونه آلودگی اعم از روغن، گریس، گرد و غبار دیده نشود و همینطور پوسته‌های اکسید آهن، زنگ، رنگهای قدیمی و دیگر مواد خارجی روی سطح وجود نداشته باشد و سطح باید دارای جلای فلزی باشد.

### • درجات آماده سازی با روشهای دستی و الکتریکی

طبق استاندارد ایزو درجات آماده سازی با روشهای دستی و الکتریکی با علامت St مشخص می‌شود. درجات تفکیکی آن به شرح ذیل می‌باشد.

- درجه آماده سازی St2 یا درجه آماده سازی دستی و الکتریکی کامل (Thorough hand and power tool cleaning)

این درجه آماده سازی زمانی حاصل می‌شود که موقع بازدید سطح بدون ذره‌بین هیچ‌گونه آلودگی اعم از روغن، گریس، گرد و غبار و دیگر رنگهای قدیمی، زنگ‌ها و اکسیدهای سطحی با چسبندگی کم دیده نشود.

- درجه آماده سازی St3 یا درجه آماده سازی دستی و الکتریکی خیلی کامل (Very thorough hand and power tool cleaning)

این درجه آماده سازی مانند آماده سازی با درجه St2 است با این تفاوت که سطح باید دارای جلای فلزی باشد.

### • درجه آماده سازی بوسیله شعله

این نوع درجه آماده سازی با علامت FI مشخص می‌شود. موقع بازدید بدون ذره‌بین، در سطح با درجه آماده سازی FI هیچ‌گونه آلودگی اعم از روغن، گریس، گرد و غبار و رنگهای قدیمی، پوسته‌های اکسید آهن و زنگ نباید مشاهده گردد و مواد باقی مانده روی سطح باید فقط حالت اختلاف رنگی روی سطح ایجاد نمایند.

• **درجه آماده سازی با روش شیمیایی**

این نوع درجه آماده سازی با علامت Be و یا SP8 مشخص می‌شود. موقع بازدید بدون ذره‌بین، سطح باید از هرگونه زنگ، پوسته‌های اکسید آهن و رنگهای قدیمی به دور باشد.

• **درجه آماده سازی با روش حلالی**

در این نوع درجه آماده سازی که با علامت SP1 مشخص می‌گردد سطح باید از هرگونه روغن و گریس بدور باشد. با توجه به اینکه بعضی از رنگها در محیطهای خورنده به کار می‌رود بنابراین باید چسبندگی بالایی به سطح داشته باشند و بایستی روی سطح هیچگونه آلودگی وجود نداشته باشد. جدول (۴-۴) حداقل درجه آماده سازی لازم بر حسب نوع رنگ و پوششی که بعد از آماده سازی روی سطح به کار می‌رود را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴: حداقل درجه آماده‌سازی لازم بر حسب نوع رنگ و پوشش [۱۵]

ردیف	نوع رنگ و پوشش	حداقل درجه آماده‌سازی مورد نیاز
۱	روغنهای خشک شونده	St2 و یا St3
۲	الکید	St2 و یا St3
۳	اولئورزین - فنلیک	St2 و یا St3
۴	کولتار	Sa2
۵	وینیلی	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۶	کلرکاتوچو	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۷	اپوکسی	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۸	کولتار اپوکسی	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۹	پلی‌یورتان	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۱۰	روی در محمل آلی	Sa2 و یا Sa2½ و یا Be
۱۱	روی در محمل غیرآلی (اتیل سیلیکات)	Sa3 و یا Sa2½ و یا Be

برای لاینینگ‌ها و پوشش‌های PVC به خصوص برای پوششها با ضخامت کم، درجه آماده سازی Sa3 نیاز است. در صورتیکه قطعه مناسب برای خوابانیدن در مواد شیمیایی باشد با روش Be نیز می‌توان سطح آنرا آماده سازی نمود. برای قسمتهای موضعی از روشهای دستی و الکتریکی و پاشش با آب نیز می‌توان استفاده نمود.

**(ب) نوع آلودگی سطح در انتخاب درجه و روش آماده سازی**

نوع آلودگی از دیگر موارد مؤثر در انتخاب روش آماده سازی سطح می‌باشد. جدول (۴-۵) ارتباط بین روش آماده سازی و نوع آلودگی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵: ارائه روش آماده‌سازی با توجه به نوع آلودگی روی سطح [۱۵]

نوع آلودگی	درجه آماده‌سازی	نوع روش آماده‌سازی
روغن‌ها، گریسها، واکس‌ها، گرد و غبار	SP1	چربی‌زدایی با حلال
اکسیدهای سست شده، رنگهای تپله کرده، رنگ ورقه شده	St2	استفاده از وسایل دستی
اکسیدهای سست شده، رنگهای تپله کرده، رنگ ورقه شده	St3	استفاده از وسایل الکتریکی
رطوبت، زنگ، لایه اکسیدی، زنگ کهنه	FI	استفاده از وسایل الکتریکی
زنگ‌ها، رنگهای قدیمی، مواد خارجی، چربی و گریس	Sa3	پاشش تا حد فلز سفید
زنگ‌ها، رنگهای قدیمی، مواد خارجی، چربی و گریس (حداقل ۹۵٪ واحد سطح پس از آماده‌سازی از هر نوع آلودگی تمیز می‌شود)	Sa2½	پاشش تا حد فلز نزدیک به سفید
مانند پاشش تا حد فلز نزدیک به سفید با این تفاوت که حداقل $\frac{2}{3}$ واحد سطح پس از آماده‌سازی از هرگونه آلودگی تمیز می‌شود	Sa2	پاشش تا حد تجارتي
روغن گریس، گرد و غبار، لایه اکسیدی نجسبیده به سطح، رنگ تپله کرده	Sa1	سطح تمیز شده تا حد برس کاری
تمام اکسیدها و زنگها و موادخارجی	Sp8	خواباندن در محیطهای شیمیایی (قلیا، اسید، الکترولیت)

**توجه:** روغن، چربی و گریس روی سطح بایستی بوسیله چربی‌زدایی با حلال پاک گردد.

#### ۴-۲-۵-۱- سطوح گالوانیزه

سطوح گالوانیزه شده با توجه به کارایی بالای حفاظتی معمولاً بدون پوشش در شرایط محیطی بکار می‌روند. معمولاً پوشش‌ها با توجه به عدم چسبندگی بر سطح گالوانیزه اعمال نمی‌شوند. در صورتیکه نرخ خوردگی در محیط یک پست بالا باشد، می‌توان برای افزایش طول عمر سیستم، از یک آستری ویژه بنام واش پرایمر (که بر پایه رزین پلی‌وینیل بوتیرال، پیگمنت کرومات روی و اسید فسفریک و آب می‌باشد) برای بالا بردن چسبندگی پوشش‌ها به سطح گالوانیزه استفاده نمود. این عمل امکان اعمال پوشش‌هایی همچون اپوکسی و یورتانی را با چسبندگی بالا به گالوانیزه ایجاد می‌نماید.

#### ۴-۲-۵-۲- سطوح فولادی

برای سطوح فولادی ابتدا باید نرخ خوردگی تعیین شده و سپس بر اساس نتیجه حاصل، نوع منطقه از نظر میزان خوردگی طبق جدول (۴-۶) مشخص شود.

جدول ۴-۶: نوع مناطق بر اساس نرخ خوردگی

مناطق	میزان خوردگی
C <sub>1</sub>	خوردگی بسیار کم
C <sub>2</sub>	خوردگی کم
C <sub>3</sub>	خوردگی متوسط
C <sub>4</sub>	خوردگی بالا
C <sub>5</sub> -I	خوردگی بسیار بالا (شرایط صنعتی)
C <sub>5</sub> -M	خوردگی بسیار بالا (شرایط دریایی)



با توجه به تعیین میزان خوردگی منطقه که بایستی مطابق با تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 9223 و ISO 9224 به صورت کامل و براساس طول دوره نمذاری (طول دوره نمذاری مطابق با آنچه که در استاندارد IEC 60721-2-1 و برای مناطق مختلف آب و هوایی آورده شده، بدست می آید)، طبقه بندی میزان سطح آلودگی کلری و میزان سطح آلودگی سولفاتی مشخص گردد، رنگهای مناسب هر پست همراه با نوع لایه آستری، میانی، رویه، تعداد لایهها، ضخامت هر یک و طول عمر پیش بینی شده مطابق جداول (۷-۴) تا (۱۱-۴) ارائه می شوند.

جدول ۴-۷: سیستم رنگ برای دسته C<sub>2</sub>

Surface preparation grade1		Priming coat(s)				Top coat (s) including intermediate coat(s)				Paint system					
St2	Sa 2½	Binder <sup>6</sup>	Type of primer <sup>2</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> µm	Binder <sup>6</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> µm	NDFT <sup>3</sup> µm	Total NDFT <sup>3</sup> µm	Low	Medium	High		
×		AK	Misc.	1	40	AK	1	40	2	80					
	×			1	40		1	40	2	80					
×				2	80		1	40	3	120					
	×			1-2	80		1	40	2-3	120					
×				2	80		1-2	80	3-4	160					
	×			1-2	80		1-2	80	2-4	160					
×				1-2	80		2-3	120	3-5	200					
	×			1-2	100		-	-	1-2	100					
×				AY	Zn ®	2	80	AY.CR.PVC <sup>4</sup>	1-2	80	3-4	160			
	×					1-2	80	1-2	80	2-4	160				
×						1-2	100	-	-	1-2	100				
	×					1	80	AY	1	40	2	120			
×				AY.CR.PVC	Zn ®	2	80	AY.CR.PVC	1-2	80	3-4	160			
	×					1-2	80	1-2	80	2-4	160				
	×	EP	Zn ®	1-2	80	EP.PUR <sup>5</sup>	1	40	2-3	120					
×				1-2	80	1-2	80	2-4	160						
	×	EP.PUR	Zn ®	1-2	80	-	-	-	1-2	80					
	×	ESI	Zn ®	1	80	-	-	-	1	80					
* Binders for priming coat(s)		Paints (liquid)				Binders for priming coat(s)				Paints (liquid)					
		No. of components		Water-borne possible	No. of components					Water-borne possible					
		1-pack	2-pack		1-pack						2-pack				
AK	= Alkyd	×		×		AK	= Alkyd	×		×					
CR	=Chlorinated rubber	×				CR	=Chlorinated rubber	×							
AY	=Acrylic	×		×		AY	=Acrylic	×		×					
PVC	= Polyninyl chloride	×				PVC	= Polyninyl chloride	×							
EP	= Epoxy		×	×		EP	= Epoxy		×	×					
ESI	= Erhyl silicate	×	×			ESI	= Erhyl silicate	×	×						
PUR	= Polyurethane	×				PUR	= Polyurethane	×							

۱- درجه St2 برای درجه زنگ C و So2½ برای درجه‌های زنگ A و B و C مطابق استاندارد ISO شماره ۸۵۰ تعیین شده است.

۲- Zn(R) همان پوشش غنی از روی است.

۳- NDFT ضخامت فیلم خشک

۴- سازگاری لایه‌ها باید با یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد.

۵- اگر حفظ براقیت و حفظ رنگ مورد نیاز باشد توصیه می‌شود از PU آلیفاتیک استفاده شود.

۶- توضیحات مخفف بیندراهای مختلف در زیر جدول شرح داده شده است.

**نکته:** طول عمر کم (Low) برای ۲-۵ سال، طول عمر متوسط (Medium) برای ۵-۱۵ سال و طول عمر بالا (High) برای بیش از ۱۵ سال طراحی شده است.

\*: چسب برای پوشش آستری

جدول ۴-۸: سیستم رنگ مناسب برای دسته C3

Surface preparation grade <sup>1</sup>		Priming coat(s)				Top coat (s) including intermediate coat(s)			Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)				
S <sub>1/2</sub>	Sa 2½	Binder <sup>8</sup>	Type of primer <sup>2</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	Binder <sup>8</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	NDFT <sup>3</sup> μm	Total NDFT <sup>3</sup> μm	Low	Medium	High		
×		AK	Misc.	2	80	AK	1	40	3	120					
	×			1-2	80		1	40	2-3	120					
×				2	80		1-2	80	3-4	160					
	×			1-2	80		1-2	80	2-4	160					
×				1-2	80		2-3	120	3-5	200					
	×			1-2	80		2-3	120	3-5	200					
	×			AY.CR.PVC	Misc.	1-2	80	AY.CR.PVC <sup>4</sup>	2-3	120	3-5	200			
	×					1-2	80	2-3	160	3-5	240				
	×					1-2	80	BIT <sup>4</sup>	2	160	3-4	240			
	×					1-2	80	2	160	3-4	240				
		AY.CR.PVC	Misc.	2	80	AY,CR,PVC	1-2	80	3-4	160					
				1-2	80		1-2	80	2-4	160					
	×			1-2	80		2-3	120	3-5	200					
	×			1-2	80		2-3	160	3-5	240					
		EP	Misc.	1	160	AY	1	40	2	200					
				1-2	80	EP,PUR <sup>5</sup>	1	40	2-3	120					
				1-2	80		1-2	80	2-4	160					
×				1-2	80		2-3	120	3-5	200					
	×	1-2	80	2-3	160		3-5	240							
		EP.PUR	Zn (R)	1-2	80	-	-	-	1-2	80					
	×	EP, PUR <sup>6</sup>		1	40	EP.PUR <sup>5</sup>	1-2	120	2-3	160					
	×			1	40		2-3	160	3-4	200					
				1	40	AY.CR.PVC	1-2	120	3-4	160					
				1	40		2-3	160	3-4	200					
		ESI <sup>7</sup>		1	80	-	-	-	1	80					
				1	80	AY.CR.PVC	1-2	80	2-3	160					
				1	80		2-3	120	3-4	200					
	×			1	80	EP,PUR <sup>5</sup>	1-2	80	2-3	160					
	×	1		80	2-3		120	3-4	200						
		Binders for priming coat(s)	Paints (liquid)			Binders for priming coat(s)					Paints (liquid)				
			No. of components		Water-borne possible						No. of components		Water-borne possible		
			1-pack	2-pack							1-pack	2-pack			
		AK = Alkyd	×		×	AK = Alkyd					×		×		
		CR = Chlorinated rubber	×			CR = Chlorinated rubber					×				
		PVC = Polyninyl chloride	×		×	PVC = Polyninyl chloride					×		×		
		AY = Acrylic	×			AY = Acrylic					×				
		EP = Epoxy		×	×	EP = Epoxy						×	×		
		ESI = Erhyl silicate	×	×		ESI = Erhyl silicate					×	×			
		PUR = Polyurethane	×			PUR = Polyurethane					×				

جدول ۴-۹: سیستم‌های رنگ مناسب برای دسته C<sub>4</sub>

Surface preparation grade <sup>1</sup>		Priming coat(s)				Top coat (s) including intermediate coat(s)			Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)		
S <sub>1/2</sub>	Sa 2½	Binder <sup>8</sup>	Type of primer <sup>2</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	Binder <sup>8</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	NDFT <sup>3</sup> μm	Total NDFT <sup>3</sup> μm	Low	Medium	High
	×	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-3	120	3-5	200			
	×			1-2	80	BIT <sup>4</sup>	2	160	3-4	240			
	×			1-2	80	AY.CR.PVC <sup>4</sup>	2-3	200	3-5	280			
	×			1-2	80		2-3	160	3-5	240			
	×			AY.CR.PVC	1-2	80	BIT <sup>4</sup>	2	160	3-4	240		
	×	1-2			80	2-3	200	3-5	280				
	×	EP		1-2	80	AY,CR,PVC	2-3	120	3-5	200			
	×			1-2	80		2-3	160	3-5	240			
	×			1	160	1	40	2	200				
	×			1	160	1	120	2	280				
	×	EP, PUR <sup>6</sup>	Zn (R)	1-2	80	AY	2-3	120	3-5	200			
	×			1-2	80		2-3	160	3-5	240			
	×			1-2	80		2-3	200	3-5	200			
	×			AY,CR,PVC	1-2	80	3-4	240	4-6	280			
	×				1	40	1-2	120	2-3	160			
	×				1	40	2-3	160	3-4	200			
	×				1	40	2-3	200	3-4	240			
	×	EP, PUR <sup>5</sup>		1	40	2-3	200	3-4	240				
	×			1	40	2-3	240	3-4	280				
	×			1	40	3-4	280	4-5	320				
	×	ESI <sup>7</sup>		-	-	-	1	80					
	×			1	80	AY.CR.PVC	1-2	80	2-3	160			
	×			1	80		2-3	120	3-4	200			
	×			1	80	2-3	160	3-4	240				
	×		EP, PUR <sup>5</sup>	1	80	1-2	80	2-3	160				
	×			2-3	120	3-4	200						
	×			2-3	160	3-4	240						
	×			2-3	200	3-4	280						
	×	3-4	240	4-5	320								
Binders for priming coat(s)		Paints (liquid)			Binders for priming coat(s)					Paints (liquid)			
		No. of components		Water-borne possible						No. of components		Water-borne possible	
		1-pack	2-pack							1-pack	2-pack		
AK	= Alkyd	×		×	AK	= Alkyd	×		×				
CR	= Chlorinated rubber	×			CR	= Chlorinated rubber	×		×				
AY	= Acrylic	×		×	AY	= Acrylic	×		×				
EP	= Epoxy		×	×	EP	= Epoxy		×	×			×	
ESI	= Erhyl silicate	×	×		ESI	= Erhyl silicate						×	
PUR	= Polyurethane	×			PUR	= Polyurethane	×		×			×	

جدول ۴-۱: سیستم‌های رنگ مناسب برای دسته I-C<sub>5</sub>

Surface preparation grade <sup>1</sup>		Priming coat(s)				Top coat (s) including intermediate coat(s)			Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)		
S <sub>1/2</sub>	Sa 2 1/2	Binder <sup>8</sup>	Type of primer <sup>2</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	Binder <sup>8</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	NDFT <sup>3</sup> μm	Total NDFT <sup>3</sup> μm	Low	Medium	High
	×	CR	Misc.	1-2	80	AY,CR,PVC	2	120	3-4	200			
	×	EP,PUR		2	120		1-2	80	3-4	200			
	×			EP,PUR <sup>5</sup>	1	80	EP,PUR <sup>4</sup>	3	200	4	280		
	×	1-2			80	3-4		240	4-6	320			
	×	EP,PUR <sup>5</sup>	Zn (R)	1	40	EP,PUR <sup>4</sup>	2	120	3	160			
	×			1	40		3	200	4	240			
	×	ESI <sup>6</sup>		1	80	AY,CR,PVC	3	200	4	280			
	×			1	80	EP,PUR <sup>4</sup>	2-4	240	3-5	320			
	×		1	80	2-4		160	3-5	240				
	×		1	80	3	200	4	280					
	×		1	80	AY,CR,PVC	4	240	5	320				
Binders for priming coat(s)		Paints (liquid)			Binders for priming coat(s)						Paints (liquid)		
		No. of components		Water-borne possible							No. of components		Water-borne possible
		1-pack	2-pack								1-pack	2-pack	
CR	=Chlorinated rubber	×				CR	=Chlorinated rubber				×		
EP	= Epoxy		×	×		EP	= Epoxy				×		×
ESI	= Erhyl silicate	×	×			ESI	= Erhyl silicate					×	
PUR	= Polyurethane	×				PUR	= Polyurethane				×	×	×

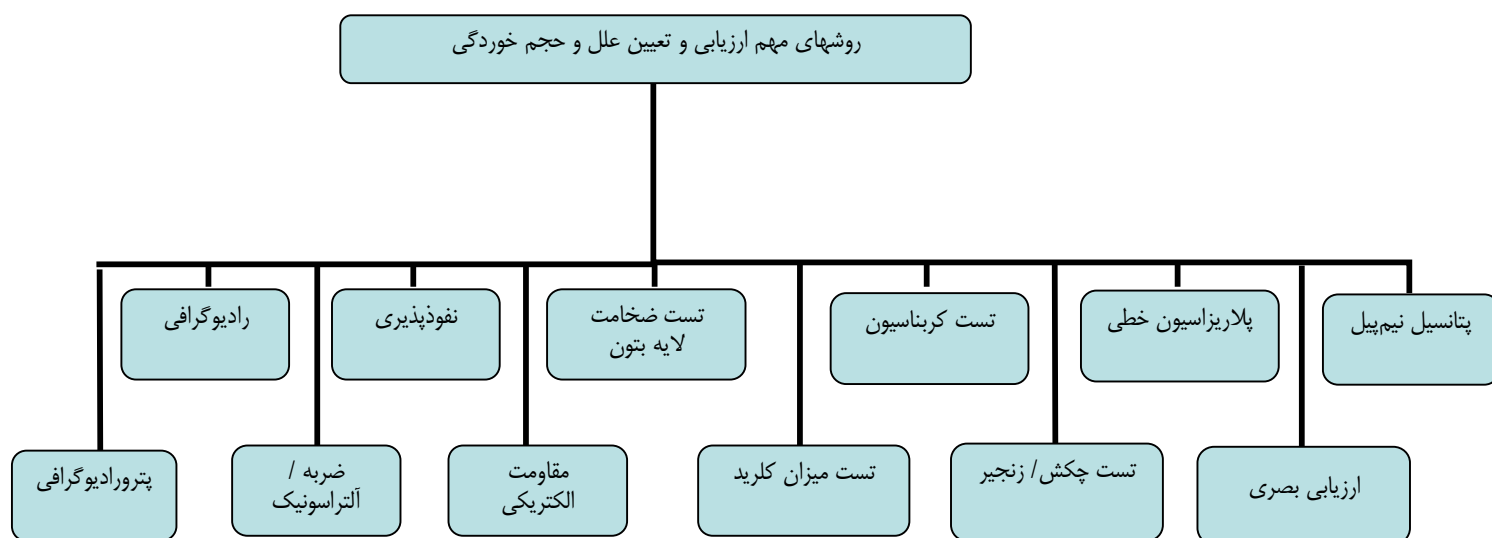
جدول ۴-۱۱: سیستم‌های رنگ مناسب برای دسته C5-M

Surface preparation grade		Priming coat(s)				Top coat (s) including intermediate coat(s)			Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)			
S <sub>1</sub> /2	Sa 2 1/2	Binder <sup>8</sup>	Type of primer <sup>2</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	Binder <sup>8</sup>	Number of coats	NDFT <sup>3</sup> μm	NDFT <sup>3</sup> μm	Total NDFT <sup>3</sup> μm	Low	Medium	High	
	×	CR	Misc.	1-2	80	AY.CR. PVC <sup>4</sup>	2	120	3-4	200				
	×	EP, PUR <sup>6</sup>		1	80	EP, PUR <sup>4</sup>	2	120	3	200				
	×			1	150		1	150	2	300				
	×			1-2	80		3-4	240	4-6	320				
	×			1	400	-	-	1	400					
	×			1	250	EP, PUR <sup>4</sup>	1	250	2	500				
	×	EP, PUR <sup>5</sup>	Zr (R)	1	40		3	200	4	240				
	×			1	40	EP+CR <sup>9</sup>	2	200	3	240				
	×			1	40	EP+CR <sup>4</sup>	3-4	280	4-5	320				
	×			1	40	CTV <sup>8</sup>	3	360	4	400				
	×			1	40	CTB <sup>8</sup>	3	360	4	400				
	×			ESI <sup>6</sup>	1	80	EP+CR <sup>4</sup>	2-4	160	3-5	240			
	×				1	80	EP+CR <sup>8,9</sup>	2	200	3	280			
	×				1	80	EP+CR <sup>4</sup>	2-4	240	3-5	320			
	×	CTV <sup>8</sup>	AI <sup>7</sup>	1	100	CTV <sup>8</sup>	2	200	3	300				
	×	CTV <sup>8</sup>	Misc.	1	100	CTE <sup>8</sup>	2	200	3	300				
		Paints (liquid)								Paints (liquid)				
		No. of components								No. of components		Water-borne possible		
		1-pack	2-pack	Water-borne possible						1-pack	2-pack			
		Binders for priming coat(s)				Binders for priming coat(s)								
CR	=Chlorinated rubber	×				CR	=Chlorinated rubber				×			
EP	= Epoxy		×	×		EP	= Epoxy				×			
ESI	= Erhyl silicate	×	×			ESI	= Erhyl silicate					×	×	
PUR	= Polyurethane	×				PUR	= Polyurethane				×	×		
CTV	= Coal tar epoxy	×				CTV	= Coal tar epoxy				×			
CTE	= Coaltar epoxy		×			CTE	= Coaltar epoxy					×		
						AY	= Acrylic				×		×	



#### ۴-۲-۶- طراحی حفاظت بتون در برابر خوردگی [۱۰]

- معمولاً بهترین روش حفاظت بتون، بازرسی دائمی آن است. شکل (۴-۴) برخی از روشهای بازرسی بتون را نمایش می‌دهد.
- ارزیابی بصری از جمله روش‌های بازرسی است که از طریق بررسی جداشدگی‌ها و حالت بتون صورت گرفته و تا حد زیادی نیاز به تجربه و دانش ارزیاب دارد. در واقع نواحی ترک‌خورده، الگوی ترک‌ها و نواحی جدا شده می‌توانند نوع خوردگی و عامل و میزان پیشرفت و فعال و یا غیرفعال بودن آن را مشخص نماید.



شکل ۴-۴: روشهای ارزیابی بتون

- آزمون چکش می‌تواند جداشدگی بتون از میلگرد و یا از لایه‌های زیرین را نشان دهد. این آزمون توسط اختلاف صدای بخشی از بتون با دیگر نقاط انجام می‌گیرد. البته گاهی این کار توسط میله، زنجیر و یا روشهای پیشرفته همچون اشعه IR، امواج صوتی و یا ماوراء صوتی نیز انجام می‌شود.
- آزمون ضخامت بتون توسط پاکومتر<sup>۱</sup> انجام شده و ضخامت لایه بتونی روی میلگرد و محل کاتدها و آندها را مشخص می‌نماید. از آنجا که ضخامت کم بتون باعث نفوذ راحت‌تر عوامل خورنده خواهد شد بنابراین بازرسی آن در تجهیزات پست از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.
- آزمون‌های کربناسیون و میزان کلرید برای ارزیابی وضعیت بتون از نظر نرخ خوردگی و پیشگویی طول عمر باقیمانده صورت می‌گیرند. از آنجا که پیشرفت خوردگی کلریدی سریعتر از خوردگی کربناسیونی است، بنابراین ابتدا میزان کلرید اندازه‌گیری شده و در صورت منفی بودن نتیجه، آزمون کربناسیون انجام می‌شود. میزان کلرید معمولاً برای تعیین آنکه آیا بتون به حد بحرانی (معمولاً بین ۰/۹ تا ۱/۲ کیلوگرم کلر بر مترمکعب بتون) رسیده یا خیر، انجام می‌شود. ضمناً برای

1- Pachometer



محاسبه دقیق ثابت معادله نفوذ (A در معادله  $d=At^{0.5}$ )، بهتر است میزان کلرید در عمق‌های مختلف بتون در مجاورت میلگرد اندازه‌گیری شود تا معادله بتواند برای پیش‌گویی وضعیت بتون کارا باشد.

- مهمترین عامل خوردگی در بتون حمله سولفات‌ها (سولفات‌ها شدن) می‌باشد. بطور کلی عواملی که باعث از بین رفتن حالت قلیایی بتون شوند (خصوصاً در مجاورت آب)، باعث فروپاشی آن می‌شوند.
- روشهای اصلی حفاظت بتون در برابر سولفات‌ها شدن عبارت است از :
  - استفاده از سیمان حاوی اکسید آلومینیوم (برای افزایش مقاومت شیمیایی).
  - پر نمودن بتون ( با کمک مواد افزودنی) بطوریکه مانع نفوذ آب بداخل بتون شود.
  - اندودکردن سطح سیمان توسط فلئور منیزیم و سیلیسیم که با آهک سیمان ترکیب شده و روی سطح بتون را می‌پوشانند.
  - قیرپاشی (قیراندود) سطح پایه‌های بتونی پس از سخت شدن
  - استفاده از پوشش‌های مناسب
  - استفاده از الیاف در حین ساخت بتون در سازه بتونی

مهمترین روش حفاظت سازه‌های بتونی در پست‌ها، استفاده از پوشش‌ها است. البته بایستی بخاطر داشت ذات بتون قلیایی است، بنابراین پوشش مصرفی باید از یک سو مقاومت قلیایی بالایی داشته و از سوی دیگر دارای چسبندگی بالا به بتون و نفوذپذیری کم باشد. در عمل تعداد کمی از پوشش‌ها می‌توانند برای حفاظت بتون بکار روند که شامل پوشش‌های بر پایه اپوکسی، کلرکائوچو و قیرداغ می‌باشند. پوشش‌های اپوکسی علاوه بر مقاومت قلیایی بالا، دارای مقاومت خوبی در برابر اسیدهای ضعیف و متوسط بوده، بنابراین توانایی محافظت بتون را در برابر فاضلابها و اسید سولفوریک حاصل از واکنش باکتری‌های بی‌هوازی دارا می‌باشد.

بایستی بخاطر داشت قبل از رنگ‌آمیزی بتون، ابتدا باید سطح آن کاملاً با پاشش هوا<sup>۱</sup> و یا آب<sup>۲</sup> عاری از گرد و غبار و بخش‌های سست گردد و سپس با کمک یک سیلر (ملات، آستری و یا درزگیر) پستی و بلندیهای آن گرفته شده و روی آن لایه میانی اپوکسی اعمال شده و در نهایت بسته به محل بکارگیری (از نظر در معرض نور بودن و یا مغروق بودن)، لایه رویه مناسب اعمال گردد.

#### ۴-۲-۶-۱- بررسی کیفیت پایه‌های بتنی

برای بررسی کیفیت پایه‌های بتنی، ابتدا مواد اولیه آن مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت:

از آسیاب نمودن کلینکر که شامل سیلیکات‌های کلسیم هیدرولیکی است سیمان پرتلند تولید می‌شود و معمولاً شامل یک یا چند نوع از سولفات کلسیم است که در حین آسیاب کردن، کلینکر به آن افزوده می‌شود. مصالحی که در سیمان استفاده می‌شود باید نسبت‌های مناسبی از ترکیبات آهک، آهن، سیلیس و آلومینیوم داشته باشند.

بعد از تبدیل شدن مواد فوق به کلینکر با اضافه کردن گچ یا انیدرید، زمان گیرش سیمان تنظیم می‌گردد.



منیزیت + گچ + آلومین + سیلیس + اکسید آهن + آهک

1- Air blasting

2- Water jet blasting

انواع مختلف سیمان پرتلند دارای چهار ترکیب به شرح ذیل می‌باشند:

$3CaSSiO_2 = C_3S$	تری کلسیم سیلیکات
$2CaOSiO_2 = C_2S$	دی کلسیم سیلیکات
$3CaOAl_2O_3 = C_3A$	تری کلسیم آلومینات
$4CaOAl_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_4Af$	تتراکلسیم آلومینوفریت

- تری کلسیم سیلیکات باعث می‌شود که سیمان به سرعت سخت شود. گیرش و مقاومت اولیه بیشتر به این ترکیب مربوط است.
- دی کلسیم سیلیکات باعث می‌شود که سیمان به آهستگی سخت شود و بیشتر در افزایش مقاومت بعد از ۷ روز تاثیر دارد.
- تری کلسیم آلومینات باعث می‌شود که سیمان گرمای زیادی در چند روز اول آزاد کند. این ترکیب در روند کسب مقاومت اولیه هم کمی تاثیر دارد. در سیمانی که این ترکیب کم باشد، در برابر خاک و آب حاوی سولفات مقاوم است.
- تتراکلسیم آلومینوفریت باعث می‌شود دمای کلینگر کاهش یابد. این ترکیب بعنوان روانساز در پخت کلینگر عمل می‌کند.

جدول ۴-۱۳: انواع سیمان پرتلند و درصد ترکیبات مختلف در آن

درصد ترکیبات				
C <sub>4</sub> AF	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	نوع سیمان
۷	۱۰	۱۹	۵۵	۱
۱۱	۶	۲۴	۵۱	۲
۷	۱۰	۱۹	۵۶	۳
۱۲	۴	۴۹	۲۸	۴
۹	۴	۴۳	۳۸	۵

با مراجعه به جدول (۴-۱۳) و با مقایسه سیمان نوع ۲ و نوع ۵ و مقایسه مقدار C<sub>3</sub>S که عامل اصلی گیرش بتن است ملاحظه می‌شود که سختی و مقاومت سیمان نوع ۲ به مراتب بیشتر از نوع ۵ است (مقدار 3CaO.SiO<sub>2</sub> در سیمان نوع ۲ برابر ۵۱ درصد و در نوع ۵ برابر ۳۸ درصد است). مقادیر ذکر شده در جدول شماره (۴-۱۴) نیز مبین و مؤید این مطلب است.

جدول ۴-۱۴: حداقل مقاومت فشاری بر حسب مقاومت فشاری سیمان نوع ۱ پس از ۷ روز

حداقل مقاومت فشاری بر حسب درصد مقاومت فشاری سیمان نوع ۱ پس از ۷ روز				نوع سیمان پرتلند
۲۸ روز	۷ روز	۳ روز	۱ روز	
۱۴۳	۱۰۰	۶۴	-	۱
۱۴۳	۸۹	۵۴	-	۲
-	-	۱۲۵	۶۴	۳
۸۹	۳۶	-	-	۴
۱۰۷	۷۹	۴۳	-	۵

با آزمونهایی که در کارگاههای تیرسازی روی بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۵ و نوع ۲ صورت گرفته نتایج ذیل حاصل شده است:

- برای جابجایی بتن ساخته شده از سیمان نوع ۲ حداقل به زمانی معادل ۴۸ ساعت نیاز است تا بدون ترک خوردگی در بتن عمل جابجایی انجام گیرد. در صورتیکه بتن ساخته شده با همان دانه‌بندی از سیمان نوع ۵ به حداقل ۷۲ ساعت زمان نیاز دارد.
- براساس جدول شماره (۴-۱۳) و جداول کاربردی دیگر که در اختیار ناظرین کارگاهها قرار دارد، بتن ساخته شده از سیمان نوع ۲ پس از ۲۸ روز تقریباً ۹۵ درصد مقاومت نهایی خود را بدست آورده و جهت بهره‌برداری آماده می‌شود. ولی بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۵ پس از ۴۲ روز به این حالت می‌رسد. لازم به توضیح است که ۵ درصد باقیمانده تا سرحد مقاومت نهایی به کندی و در طی سالهای طولانی (۱۰۰-۹۰ سال) بدست می‌آید.

#### ۴-۲-۶-۲- روش‌های افزایش مقاومت فیزیکی و شیمیایی بتن

- امروزه علاوه بر مواد اصلی تشکیل دهنده بتن (سنگدانه‌ها، سیمان و آب) اغلب از مواد دیگری در بتن استفاده می‌شود که مواد ثانوی نامیده می‌شوند. این مواد به دو منظور مصرف می‌شوند:
- بهبود و ارتقاء کیفیت بتن، نظیر افزایش سیالیت و کارائی بتن، بالابردن مقاومت بتن و افزایش پایداری بتن در برابر یخبندان و سایر عوامل جوی و اقلیمی
  - تقلیل نارسائی‌های بتن نظیر تقلیل نفوذپذیری و ...
- برخی از مواد ثانوی نظیر خمیرکننده‌ها یا زودگیرکننده‌ها از طریق یک اثر فیزیکی یا شیمیایی، مشخصه ذاتی بتن را بهبود بخشیده یا تغییر می‌دهند ولی خود بطور مستقیم نقشی در آن مشخصه ندارند که اصطلاحاً مواد افزودنی نامیده می‌شوند. برخی دیگر بطور مستقیم در تأمین مشخصه مورد نظر ایفای نقش می‌کنند مثل الیاف‌های فولادی، الیاف نسوز یا رنگها که اینها را مواد فرعی می‌نامند.

#### • افزودنی‌ها

مواد افزودنی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

#### - مواد معین یا چاشنی‌ها

به مقدار بسیار کم (کمتر از ۵ درصد وزن سیمان) در موقع مخلوط سازی به بتن اضافه می‌شوند و به دلیل کم بودن وزن آنها در محاسبات وارد نمی‌گردند.

#### - افزودنی‌ها

مواد بسیار ریزدانه‌ای هستند که به مقدار قابل ملاحظه ولی محدود به مخلوط بتن در حین اختلاط اضافه می‌شوند و در محاسبات وارد می‌شوند، نظیر خاکسترهای آتش‌فشان.

### – مواد مضاعف که در کارخانه به سیمان اضافه می‌شوند

این مواد در بتن به جای افزودنی‌ها یا مواد معین ایفای نقش می‌کنند مثل سرباره‌ها. اثر افزودنی‌ها بر روی بتن تازه و سخت شده متفاوت است. این اثر روی بتن با دوغ آب تازه عبارت است از افزایش کارائی بتن بدون ازدیاد آب، بهبود قابلیت پمپاژ و ... همچنین این اثر روی بتن با ملات و دوغ آب سفت عبارت است از افزایش مقاومت کششی - خمشی - فشاری، افزایش دوام و مقاومت در شرایط سخت جوی و محیطی، کاهش نفوذپذیری در برابر مایعات، جلوگیری از خوردگی فلزات مدفون. همچنین ماده پودرمانندی به نام «ملمنت» بعنوان افزودنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که اثر آن روان‌کنندگی بدون افزایش آب است و مقاومت نهایی بتن را تا ۱/۵ برابر افزایش می‌دهد.

افزایش مقاومت بتن از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن FC مقاومت فشاری بتن و به ترتیب C حجم مطلق سیمان، W آب اختلاط، A هوای محبوس در واحد حجم بتن و K ضریبی است که به نوع سیمان، نوع بتن و نحوه نگهداری آن بستگی دارد و K ضریب مقاومت نامیده می‌شود:

$$FC = K[C/(C + W + A)]^2 \quad (۴-۱)$$

همانطور که ملاحظه می‌شود، افزایش سیمان همواره باعث افزایش مقاومت بتن نمی‌شود بلکه در یک حالت خاص، حداکثر استحکام بدست می‌آید. اما هرچه هوای محبوس شده و مقدار آب مخلوط در واحد حجم سیمان کم شود مقاومت فشاری بتن زیاد خواهد شد. لذا مواد افزودنی که در جهت کاهش آب اختلاط اثر دارند خودبخود باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شوند (مانند ملمنت). افزودنی‌های کاهش‌دهنده آب ترکیبات مختلفی از مواد ارگانیک را در بر می‌گیرند که از متداولترین آنها می‌توان لیگنوسولفونات‌های کلسیم، سدیم یا آمونیوم را نام برد. بطور کلی برای افزایش کارائی سیمان در بتن (قرار گرفتن بتن در قالب‌ها) باید آب بتن را افزایش داد که باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود. با افزودن مواد کاهش‌دهنده آب، افزایش آب به منظور کارائی بیشتر اثر مثبت روی بتن دارد. نهایتاً می‌توان گفت افزودنی‌های کاهش‌دهنده آب، نفوذناپذیری بتن را در برابر آب و محلول‌های شیمیایی به مقدار زیادی افزایش داده و در نتیجه دوام بتن در مقابل یخ زدن، آب شدن، نفوذ آب، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن و دیگر عوامل زیان‌بخش افزایش می‌یابد.

### – مواد حباب‌ساز

رابطه (۴-۱) مبین آن است که هرچه هوای محبوس در بتن کمتر باشد استحکام فشاری بتن بیشتر است. اندازه حباب‌های هوا که معمولاً باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود از ۰/۲-۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد که توسط ویبره کردن از بتن خارج می‌شوند. زمان ویبراسیون حدود یک دقیقه است و بستگی زیادی به مهارت کارگر مربوطه دارد. اگر هوا در ابعاد میکرون (حدود ۱۰ میکرون) بطور یکنواخت در سطح بتن توزیع شود (حداکثر فاصله حباب‌ها ۵۰ میکرون) اثر بسیار زیادی در استقامت بتن خواهد داشت. حباب‌ها در بتن مانند ساچمه عمل کرده و باعث روانی بتن می‌شوند. ضمناً آب راه‌یافته به بتن در این حباب‌ها جای گرفته و اثر مخرب آن بر روی بتن از بین می‌رود. حباب‌ها در مقابل فشار ناشی از یخ زدن ذرات آب نفوذی و تبلور سولفات‌ها نقش مستهملک‌کننده داشته و با کوچک شدن حجم آنها در مقابل فشار، از تخریب بتن جلوگیری می‌کنند. معمولاً بین ۰/۲۵ - ۰/۱ درصد وزنی کلینکر، ماده افزودنی حباب‌ساز به کلینکر اضافه می‌شود. مواد حباب‌ساز اسیدهای چرب مانند اسید اولنیک یا اسید کاپریک و ... می‌باشند.

## • مواد فرعی

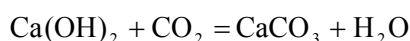
این مواد بطور مستقیم در بدست آمدن مشخصه مورد نظر ایفای نقش می‌کنند مثل الیاف‌های مصنوعی، رنگ و ...

### - الیاف مصنوعی

پلی پروپیلن یکی از الیاف‌های مصنوعی مهم جهت افزایش قدرت بتن است. فرآیند تولید کامپوزیت از این ماده با اختلاط بافته‌های چند لایه بریده شده از پلی پروپیلن در بتن بدست می‌آید. افزایش کمتر از ۰/۵ درصد این ماده مقاومت ضربه‌ای بتن را افزایش می‌دهد. قیمت ارزان و سهولت عملیات ترکیب، از خصوصیات این ماده است. بتن با الیاف مصنوعی در مقابل ازدیاد طول و خمش، مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد. تنها ایراد پلی پروپیلن اکسید شدن آن در درازمدت است که با افزایش مواد جاذب اشعه ماوراءبنفش این اشکال برطرف می‌شود. ماتریس سیمان نیز حافظ خوبی است و استفاده از آن در بلندمدت اشکالی ندارد.

### - رنگ

رنگ‌ها با پرکردن درزهای بتن توسط فیلم محافظ، تصعید آب موجود در بتن را به تأخیر می‌اندازند و این آب با سیمان فعل و انفعالاتی شیمیایی انجام می‌دهد و سخت می‌شود. معروف‌ترین این رنگ‌ها شامل رزین کپلیمر و وینیل کلراید است. این ماده پس از سخت شدن بتن از نفوذ گاز CO<sub>2</sub> موجود در اتمسفر به داخل بتن در درازمدت جلوگیری می‌کند (نفوذ گاز CO<sub>2</sub> باعث کاهش خاصیت قلیایی بتن و کاهش دوام بتن در مقابل میلگردهای موجود در بتن می‌شود).



بتن بدون رنگ در محیط مرطوب به دلیل جذب آب وزن مخصوص بالاتری دارد و بتن رنگ شده در محیط خشک بعد از آن قرار دارد. آزمونهای مختلف نشان‌دهنده بهبود مقاومت خمشی و فشاری پس از رنگ‌آمیزی است. افزایش مقدار رنگ روی بتن تا میزان ۴۰۰ گرم بر متر مربع مقاومت خزشی را تا ۹۴ درصد افزایش می‌دهد.

### ۴-۲-۶-۳- آب اختلاط

ناخالصی‌های موجود در آب اختلاط بتن، اثرات نامطلوب بر روی خواص بتن نظیر گیرش اولیه، گیرش نهایی مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها و مقاومت نهایی دارد. بطور کلی آبی که ذرات محلول در آن کمتر از ۲۰۰۰ قسمت در میلیون باشد می‌تواند به گونه‌ای رضایت‌بخش برای ساختن بتن استفاده شود و در غیر این صورت باید آزمونهای معینی روی آن صورت گیرد.

### ۴-۲-۶-۴- میلگرد

میلگرد مورد استفاده در بتن باید آجدار و از نوع مناسب (مثل میلگرد نوع A<sub>2</sub>) باشد، تا سطح چسبندگی بتن با میلگرد بیشتر شود.

هنگامی که از میلگرد صاف استفاده می‌شود باید انتهای آن را به اندازه ده برابر قطر آن تا کرد.

خاصیت قلیایی سیمان منجر به ایجاد لایه محافظ نازکی از اکسید آهن بر روی سطح فولاد می‌شود و آن را روئین ساخته و در نتیجه در مقابل خوردگی مقاوم می‌سازد. تا زمانی که این لایه وجود داشته باشد بتن محیطی ایده‌آل برای حفاظت فولاد است. این لایه به دو طریق از بین می‌رود:

- توسط گاز انیدریک کربنیک (CO<sub>2</sub>) موجود در هوا خواص قلیایی سیمان را خنثی نموده و به آهستگی سبب از هم گسیختن آن می‌شود.

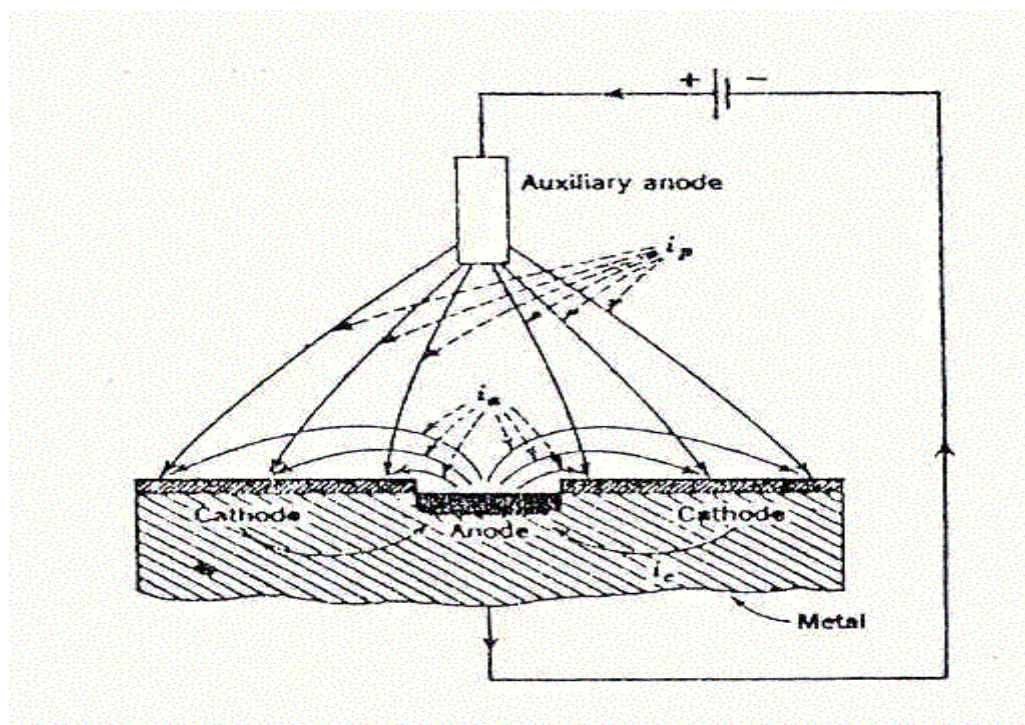
- ورودی‌های مهاجم می‌توانند این قشر محافظ را از بین ببرند. مضاف بر آن رطوبت و اکسیژن نیز میلگرد را در معرض خوردگی شدید قرار می‌دهند. زنگ‌زدگی فولاد باعث ایجاد تنش‌های شدید در بتن شده که نهایتاً باعث ترک خوردگی آن گردیده و از طریق این ترک‌ها آب (احتمالاً حاوی کلر یا یون‌های مضر دیگر) به داخل بتن نفوذ کرده و خوردگی میلگرد را تشدید می‌کنند. میلگردها قبل از استفاده باید عاری از هر نوع زنگ‌زدگی باشند.

### ۴-۳- حفاظت کاتدی

#### ۴-۳-۱- تعریف

عبارت است از کاهش یا متوقف کردن خوردگی توسط اعمال یک جریان خارجی یکسو و یا اتصال آند فدا شونده<sup>۱</sup> به فلز مورد نظر به طوریکه آن فلز بصورت کاتد درآید. حفاظت کاتدی امروزه موارد استفاده بسیار زیاد و گسترده‌ای پیدا کرده بطوری که بطور روزافزونی جهت محافظت خطوط لوله و تاسیسات زیرزمینی، کابل‌های زیرزمینی، دریچه‌های کانال‌ها، مخازن آب و آرماتور بتون‌ها بکار گرفته می‌شود.

در حقیقت قبل از اعمال سیستم حفاظت کاتدی، فلزی که خورده می‌شود هم دارای مناطق کاتدی و هم مناطق آندی است (که در مناطق آندی خوردگی صورت می‌گیرد)، ولی با اعمال سیستم حفاظت کاتدی، مناطق آندی نیز تبدیل به کاتد شده و در نتیجه دستگاه یا شبکه مورد نظر کاملاً کاتدی می‌گردد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵: نمایش شماتیک نحوه حفاظت کاتدی [۴]

1- Scarified anode

حفاظت کاتدی از مهمترین و موثرترین طرق کنترل خوردگی بوده بطوری که با اجرای این روش می‌توان فلزات را بدون اینکه خورده شوند به مدتی طولانی در محیط‌های خورنده نگهداری نمود. مکانیزم حفاظت کاتدی مربوط به جریان خارجی است که در نتیجه آن عناصر کاتدی پیل‌های موضعی به پتانسیل مدار بار آنها پلاریزه می‌شوند، یعنی در این حالت تمام سطح فلز هم پتانسیل گشته (پتانسیل‌های آند و کاتد معادل همدیگر می‌شوند) و جریان‌های خوردگی متوقف می‌گردند.

همچنین می‌توان چنین بیان کرد که به علت ایجاد یک شدت جریان خارجی شبکه‌ای از جریان مثبت در کلیه مناطق سطح فلز وارد شده و بدین ترتیب از ورود یونهای فلز به محلول (محیط اطراف) جلوگیری بعمل می‌آید.

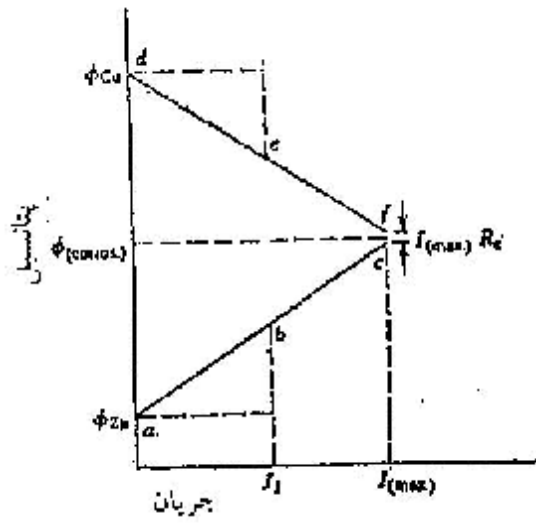
عملیات حفاظت کاتدی را می‌توان در مورد خوردگی فلزاتی از قبیل فولاد، مس، سرب و برنج در زمین (خاک) و محلول‌های مختلف آبی بکار برد. به کمک حفاظت کاتدی می‌توان از خوردگی حفراهی فلزات که بر روی آنها پوسته غیرفعال<sup>۱</sup> تشکیل شده (برای مثال فولادهای زنگ نزن) جلوگیری نمود. همچنین جهت تقلیل خوردگی تنشی در فلزاتی مانند برنج‌ها، فولادها، فولادهای زنگ‌نزن، منیزیم، آلومینیوم و غیره می‌توان از حفاظت کاتدی استفاده نمود.

#### ۴-۳-۲- اصول حفاظت کاتدی

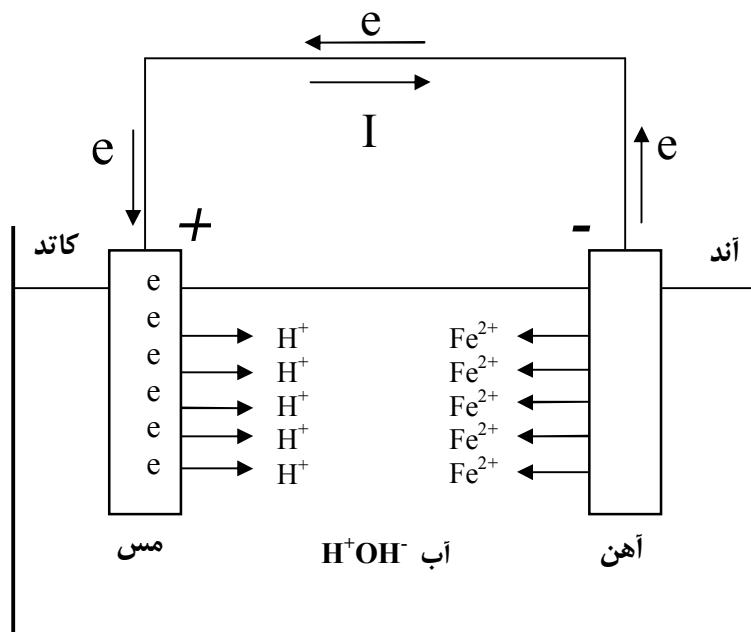
شکل (۴-۶) منحنی پلاریزاسیون پیل Cu-Zn را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل چنانچه با وارد کردن یک جریان خارجی بیشتر از پتانسیل خوردگی، در پتانسیل مدار بار آند پلاریزاسیون کاتد ادامه یابد دو الکتروود هم پتانسیل گشته و فلز روی خورده نمی‌شود. این عمل اساس روش حفاظت کاتدی به شمار می‌رود.

شکل (۴-۷) اساس خوردگی را به صورت پیلی متشکل از الکترودهای آهن و مس نمایش می‌دهد. خوردگی در الکتروود آهن (آند) انجام می‌گیرد و الکترون‌های آزاد شده از آند به سمت کاتد حرکت می‌کنند و بالعکس شدت جریان (I) از کاتد به آند، بوجود می‌آید. حال اگر به همین پیل یک منبع جریان الکتریکی (مستقیم) وصل شود که جریانی معادل پیل ولی در خلاف جهت آن وارد مدار گردد (شکل ۴-۸)، اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد از بین رفته و دیگر واکنش صورت نگرفته و آهن خورده نمی‌شود.

همچنین اصول محافظت کاتدی را می‌توان طبق شکل (۴-۹) نیز تشریح نمود که در آن A و C آندها و کاتدهای موجود در سیستمی هستند که در حال خورده شدن است (شکل ۴-۹-الف). حال اگر به این سیستم یک آند کمکی (فداشونده) متصل گردد که بتواند جریان کافی به آن اعمال نماید در این صورت آند و کاتد موجود در این سیستم با یک پتانسیل الکترونگاتیو یکسان پلاریزه شده و در نتیجه سیستم در مقابل این آند کمکی به عنوان کاتد عمل نموده یا محافظت خواهد شد (شکل ۴-۹-ب).

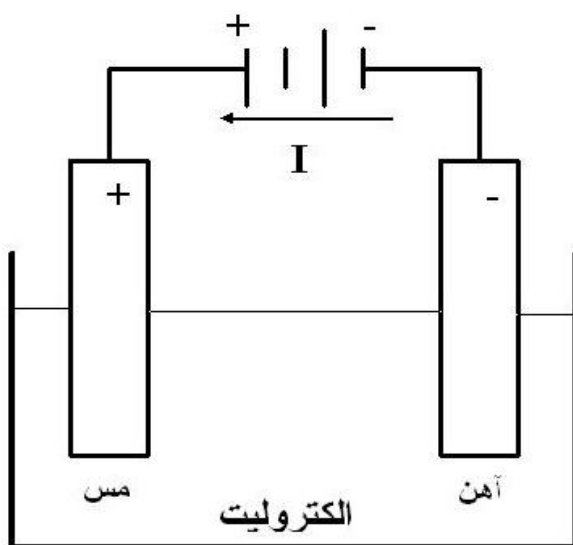


شکل ۴-۶: منحنی پلاریزاسیون پیل Cu-Zn [۴]

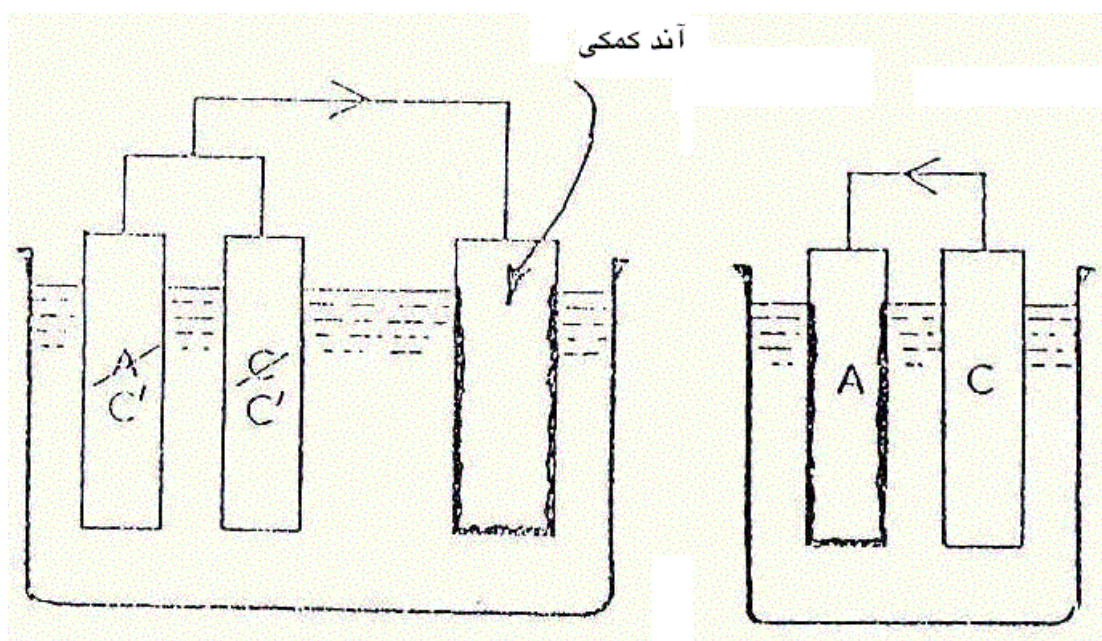


شکل ۴-۷: نمایش خوردگی در آند یک پیل [۴]





شکل ۴-۸: نمایش اصول حفاظت کاتدی (به کمک جریان خارجی) [۴]



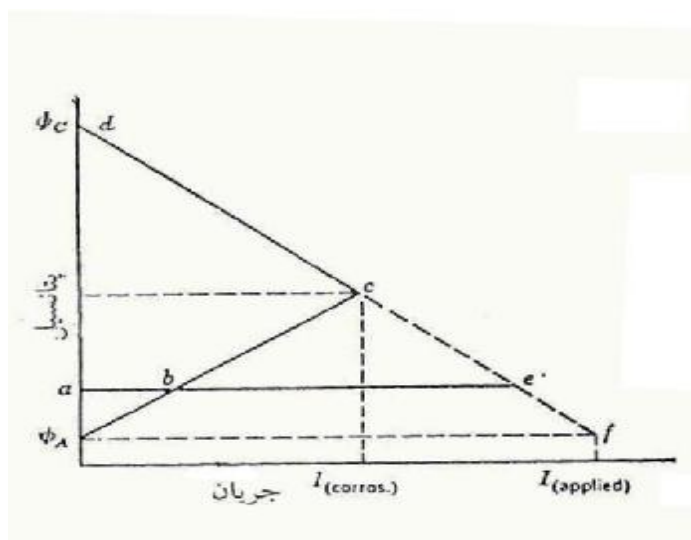
(ب): با حفاظت کاتدی

(الف): بدون حفاظت کاتدی

شکل ۴-۹: شمایی از اصول حفاظت کاتدی به کمک آند از بین رونده [۴]

وقتی که سطوح کاتدی به وسیله این جریان خارجی پلاریزه می‌شوند تمامی سطح فلز هم پتانسیل گشته و جریان موضعی متوقف می‌گردد. بنابراین تا زمانی که جریان خارجی برقرار باشد فلز خورده نمی‌شود. منحنی پلاریزاسیون مربوطه در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است که در آن  $I$  شدت جریان اعمال شده و لازم برای محافظت کامل است. در صورتی که فلز بطور جزئی و بیش از پتانسیل مدار باز آند ( $\phi_A$ ) پلاریزه شود میزان خوردگی به صفر می‌رسد. چون جریان از الکترولیت به طرف سطح آندی در روی فلز

برقرار است لذا یونهای فلز در این حالت نمی‌توانند وارد محلول شوند. اعمال جریانی که بیش از مقدار لازم باشد صحیح نیست زیرا ممکن است باعث صدمه دیدن فلزات آمفوتر (دو حالته) یا پوشش‌ها گردد. به همین دلیل در عمل، جریان اعمال شده باید در حداقل مقدار لازم تئوری تنظیم شود. در حالتی که جریان اعمال شده کمی پایین‌تر از مقدار لازم برای محافظت کامل باشد حفاظت کاتدی تا حدودی ایجاد می‌گردد.

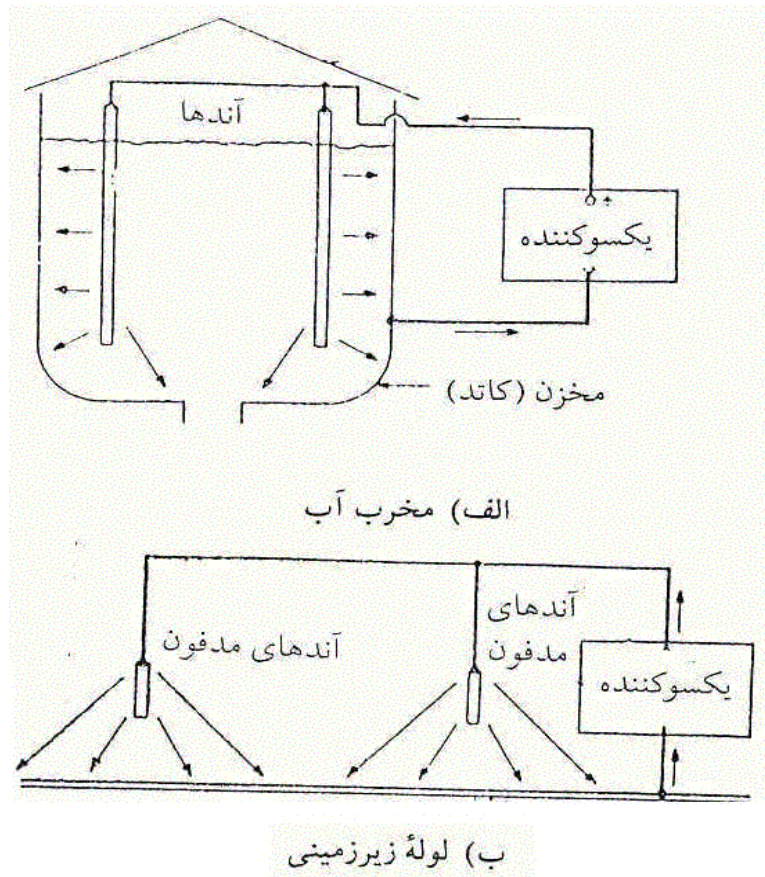


شکل ۴-۱۰: منحنی پلاریزاسیون - نمایانگر اصول حفاظت کاتدی [۴]

#### ۴-۳-۳- اجرای سیستم حفاظت کاتدی

- همانگونه که قبلاً اشاره شد، برای اجرای عملی سیستم حفاظت کاتدی دو روش کلی وجود دارد.
- با استفاده از آندهای فدا شونده که در آن فلزات فعالی مانند منیزیم (Mg)، روی (Zn)، مخلوط اکسیدهای فلزی<sup>۱</sup> و یا تیتانیوم بعنوان آند به کار می‌روند.
  - اعمال جریان خارجی یکسو که در آن از منبع جریانی ماند ژنراتور، یکسوکننده و یا باتری همراه با یک آند کمکی که معمولاً از جنس آهن یا گرافیت است استفاده بعمل می‌آید.
- منبع جریان یکسو را به این ترتیب در سیستم قرار می‌دهند که قطب مثبت آن به آند کمکی و قطب منفی آن به فلز یا دستگاه مورد نظر وصل شود (شکل ۴-۱۱)، بطوریکه جریان در داخل الکترولیت از آند به سمت فلز مورد نظر برقرار می‌گردد. ولتاژ اعمال شده باید به مقداری تنظیم شود که بتواند شدت جریان کافی برای تمام نقاط دستگاهی که تحت حفاظت کاتدی قرار گرفته است را تأمین نماید. در مورد خاک‌ها یا آب‌های با مقاومت زیاد ولتاژ اعمال شده باید بیشتر از محیط‌هایی با مقاومت کم باشد.

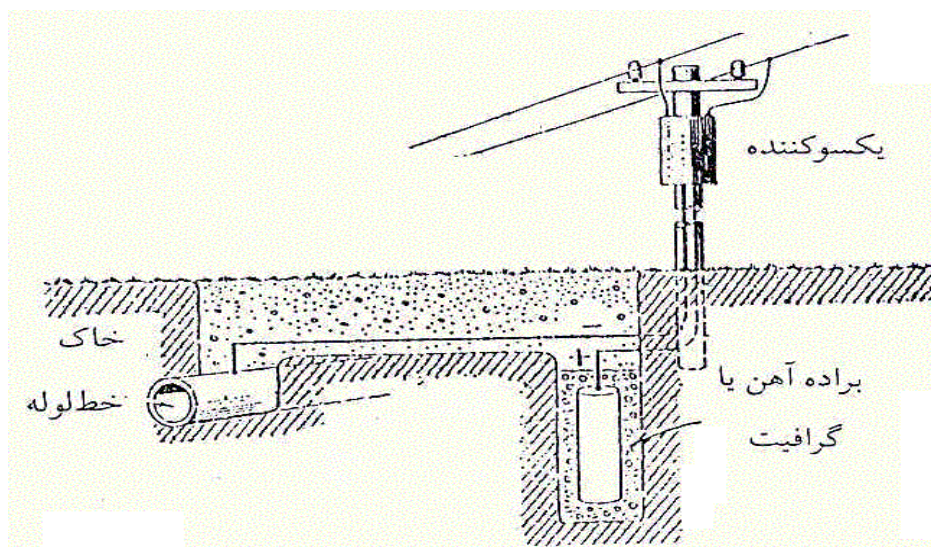
1- Mixed metal oxide (MMO)



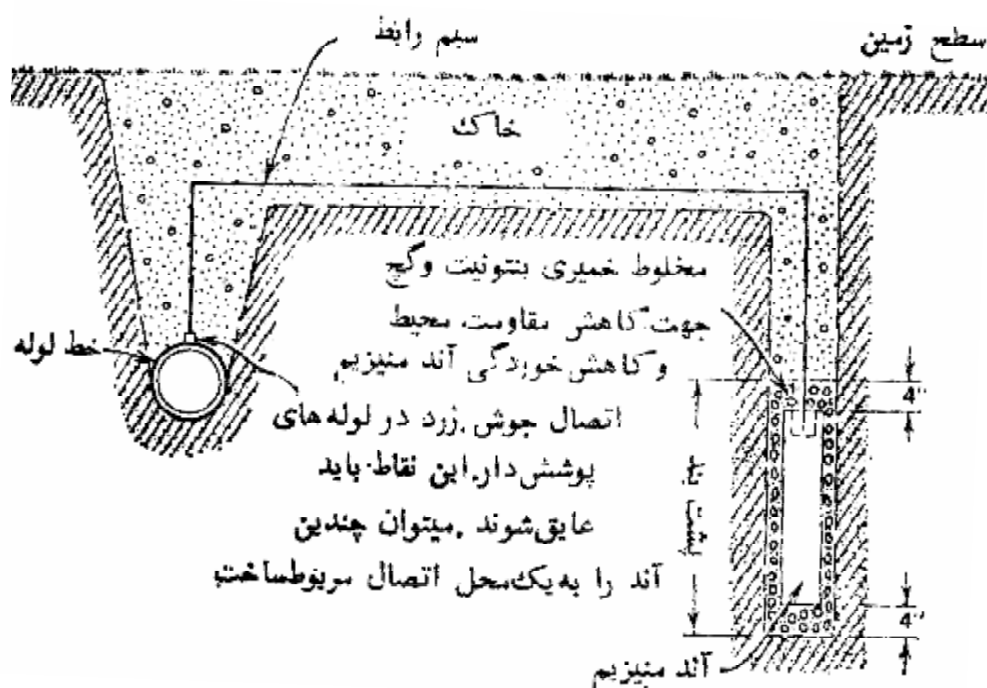
شکل ۴-۱۱: نمایش حفاظت کاتدی در مخزن آب (الف) و لوله زیرزمینی (ب) [۴]

#### ۴-۳-۴- آندهای فدا شونده (کمکی)

در صورتی که آند کمکی نسبت به فلزی که باید حفاظت شود بر طبق جدول سری گالوانیکی فعالیت بیشتری داشته باشد پیل گالوانیکی بوجود می‌آید. در صورت استفاده از این نوع آندها که آنها را آندهای فدا شونده می‌نامند دیگر نیازی به منبع جریانی خارجی یا یکسوکننده نمی‌باشد. اختلاف پتانسیل بین آندهای فدا شونده و فلز مورد حفاظت سبب تخلیه جریانی که از طرف محیط به سمت فلز وجود داشته می‌گردد (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲: حفاظت کاتدی تجهیزات مدفون به کمک یکسوکننده و آند کمکی [۴]



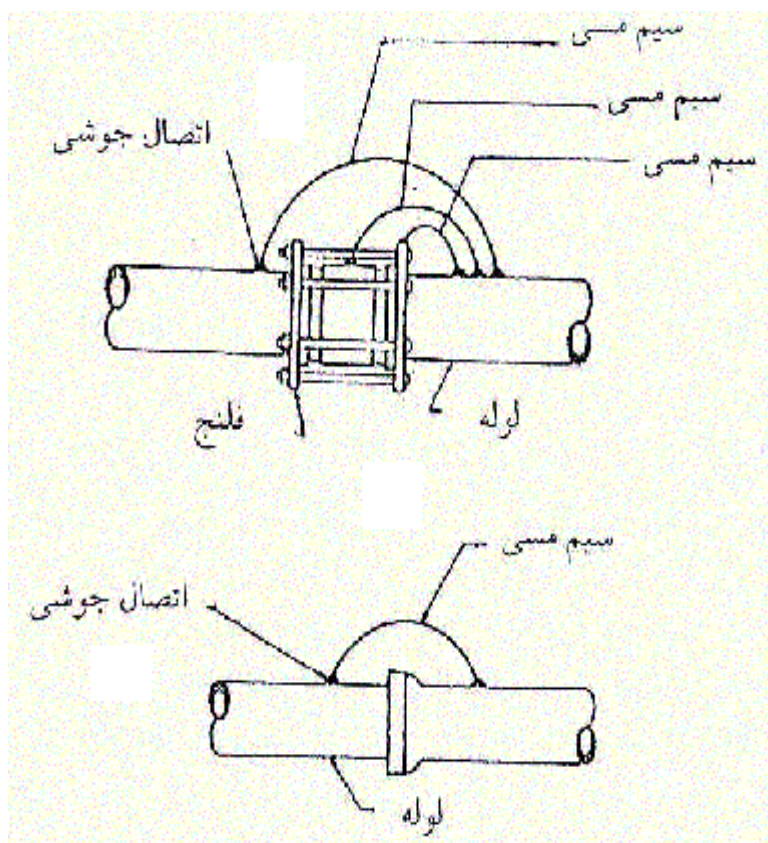
شکل ۴-۱۳: حفاظت کاتدی لوله زیرزمینی توسط آند از بین رونده

همچنین هنگامی که طول زیادی از یک خط لوله فقط به وسیله یک آند محافظت می شود به ولتاژ اعمالی بیشتری نیاز است. در شکل (۴-۱۳) نمایی از آند و خط لوله زیرزمینی که کاتدی قرار گرفته نشان داده شده است. بعنوان منبع جریان مستقیم معمولاً از یک سوکننده های خشک مانند اکسید مس، سولفور مس یا سلیوم استفاده می کنند که با ظرفیت های مختلف از لحاظ شدت جریان و ولتاژ ساخته می شوند. این دستگاهها را در محل مناسبی (مثلاً در روی تیرها) نصب می نمایند. با اینکه دوام و عمر کاری آنها زیاد است



ولی هرازگاهی (۲ تا ۴ مرتبه در سال) باید مورد بازرسی قرار گیرند. یکسوکنده‌های از نوع لامپی یا ترمیونیک در مواردی که ولتاژهای بالاتری جهت از بین بردن مقاومت‌های زیاد در آند لازم باشد، بکار می‌روند.

اجرای سیستم حفاظت کاتدی اغلب در پست‌های فشارقوی برای حفاظت خطوط لوله‌ها و کابل‌ها و تجهیزات زیرزمینی بکار می‌رود. وقتی که در مورد تاسیسات زیرزمینی نظیر لوله‌ها و کابل‌ها، پتانسیلی جهت کاتدی کردن آن اعمال می‌شود، جریان معمولاً در تمام طول آن تاسیسات وارد شده و به طرف محل اتصال می‌رود و چون این قبیل تاسیسات از نظر الکتریکی متصلند، لذا جریانهای طولی مسئله‌ای را بوجود نمی‌آورند. ولی در بعضی تجهیزات مدفون که ممکن است نقاط اتصالی وجود داشته باشد که دارای مقاومت الکتریکی زیاد بوده و در نتیجه جریان‌های طولی، مناطق آندی در یک طرف نقاط اتصال ایجاد گردد. بهمین منظور و قبل از اجرای عملیات حفاظت کاتدی لازم است که در این قبیل موارد اتصال الکتریکی مناسب تامین شود (شکل ۴-۱۴). در مورد تجهیزاتی که در شبکه‌های زیرزمینی متصل هستند می‌توان از یک سیستم حفاظت کاتدی مشترک استفاده نمود.



شکل ۴-۱۴: نمونه‌هایی از ایجاد اتصال الکتریکی مطمئن [۴]

اصولاً آندهای فدا شونده بعنوان منابع انرژی الکتریکی عمل نموده و اهمیت آنها خصوصاً در مواردی است که امکان دسترسی به نیروی برق وجود نداشته و یا در نقاطی است که نصب خطوط نیرو با صرفه نباشد.

اختلاف پتانسیل مدار باز منیزیم نسبت به فولاد در حدود یک ولت است بطوریکه فقط طول محدود و معینی از خطوط لوله را می‌توان با یک آند حفاظت نمود (مخصوصاً در خاک‌هایی با مقاومت زیاد). این ولتاژ کم بعضی مواقع نسبت به ولتاژهای اعمال شده خارجی مزیت دارد، زیرا خطر ایجاد محافظت بیش از حد در برخی نقاط سیستم کمتر است. همچنین چون جریان کلی هر آند محدود است لذا خطر زیان‌های ناشی از جریان‌های نامطلوب یا سرگردان به تاسیسات فلزی مجاور را کاهش می‌دهد. جداول (۴-۱۵) الی (۴-۱۸) انواع آندهای فداشونده و ترکیب درصد آنها را نشان می‌دهند. پتانسیل روی کمتر از منیزیم است از این رو جریان حاصل از هر آند آن نیز کمتر می‌باشد. پتانسیل آهن یا سرب در خاک نسبت به روی در حدود ۰/۵ ولت و نسبت به منیزیم در حدود یک ولت است. به علت وجود این محدودیت در ولتاژ و به منظور ایجاد جریان مناسب مقاومت آندها نسبت به خاک باید کم باشد.

آلومینیوم از نظر تئوری در ولتاژی بین روی و منیزیم عمل می‌کند ولی در آب یا خاک غیرفعال شده و پتانسیل آن نزدیک به پتانسیل فولاد می‌شود که در این صورت دیگر نقش آند فداشونده را نخواهد داشت. البته می‌توان از روئین شدن آن در آب دریا جلوگیری نمود، مثلاً در آلیاژی از آلومینیوم با ۰/۱ درصد قلع پلاریزاسیون آندی بشدت کاهش می‌یابد (جدول ۴-۱۵). آندهای منیزیم را اغلب با ۳ درصد روی و ۶ درصد آلومینیوم آلیاژ می‌کنند که هم سبب کاهش خوردگی حفره‌ای آن شده و هم بازدهی جریان آن را افزایش می‌دهد. با استفاده از آند منیزیم خیلی خالص که حاوی یک درصد منگنز باشد پتانسیل بالاتر و بازدهی جریان بیشتری حاصل می‌گردد.

جدول ۴-۱۵: انواع آندهای فدا شونده از جنس آلیاژهای منیزیم [۴]

نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	ترکیبات شیمیایی آند
۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	Cu
-	۰/۰۱	۲/۷-۳/۵	۵/۳-۶/۷	Al
۰/۰۵	-	۰/۰۳	۰/۱	Si
-	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	Fe
۱/۲	۰/۵-۱/۳	۰/۲	۰/۱۵	Mn
۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	Ni
-	-	۰/۷-۱/۳	۲/۵-۳/۵	Zn
				Mg
باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	
۰/۳	-	۰/۳	-	سایر عناصر
۵۰ درصد	۵۰ درصد	۵۰ درصد	۵۰ درصد	راندمان
-۱/۷ V	-۱/۷ V	-۱/۵ V	-۱/۵ V	پتانسیل (در برابر نیمه پیل کلرید نقره-نقره)
۱۲۳۰	۱۲۳۰	۱۲۳۰	۱۲۳۰	ظرفیت (کیلوگرم / آمپر ساعت)

جدول ۴-۱۶: انواع آندهای فدا شونده از جنس آلیاژهای روی (Zn) [۴]

نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	ترکیبات شیمیایی آند
۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	Cu
-	۰/۴-۰/۶	۰/۱-۰/۵	۰/۳-۰/۵	Al
-	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۰۰۳	Si
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	Fe
-	۰/۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	Pb
-	۰/۰۷۵-۰/۱۲۵	۰/۰۲۵-۰/۱۵	۰/۰۲۵-۰/۱	Cd
۰/۱-۰/۱۵	-	-	-	Hg
باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	Zn
۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	راندمان
-۱/۵ V	-۱/۵ V	-۱/۵ V	-۱/۵ V	پتانسیل (در برابر نیمه پیل کلرید نقره-نقره)
۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	ظرفیت (کیلوگرم /آمپرساعت)

جدول ۴-۱۷: مقایسه بین آندهای روی و منیزیم در انواع قابلیت‌های مقاومتی

مقاومت خاک (اهم - سانتیمتر)	پتانسیل محرز که با خط لوله ۰/۸۵ V + پلازما نشده (ولت)	بیشترین مقاومت چرخشی (سرگردان) مجاز برای جریان yoma (اهم)	حداکثر مقاومت مجاز آند و هادی با احتساب ۲ اهم مقاومت لوله به زمین (اهم)	شماره، اندازه (اینچ) و وزن آند	مقاومت آند (اهم)	مقاومت واقعی چرخشی (سرگردان) کل (اهم)	جریان واقعی برای خط لوله تا ۰/۸۵ V - پلازما شده به همراه روی و یا تا ۰/۳۷ V - پلازما شده به همراه منیزیم (میلی آمپر)	عمر مشخص شده آند (سال)	حداکثر جریان برای ۰/۵ اهم مقاومت لوله به زمین و به همراه لوله ۰/۸۵ V + پلازما شده (میلی آمپر)	قاعده‌ای برای نسبت حداکثر جریان به آن تحت شرایط اولیه	عمر مشخص شده آند تحت شرایط ماکزیمم جریان (سال)	نوع آند
۴۰۰	۰/۱۶	۸/۰	۶/۰	یک ۳×۳×۶۰ پوند ۴۰	۱/۴۴	۳/۴۴	۷۲/۸	۳۷/۲	۴۰۳	۵/۵۵	۴/۹	منیزیم
	۰/۲۵	۳/۳	۱/۳	دو ۱/۴×۱/۴×۶۰ پوند ۳۰	۰/۷۶	۲/۷۶	۱۸/۱	۱۰۷	۱۹۸	۱۱/۰	۹/۸	روی
۵۰۰	۰/۱۶	۸/۰	۶/۰	یک ۳×۳×۶۰ پوند ۴۰	۲/۰	۴/۰	۶۲/۵	۳۱/۵	۲۴۰	۳/۸۵	۸/۲	منیزیم
	۰/۲۵	۳/۳	۱/۳	دو ۱/۴×۱/۴×۶۰ پوند ۳۰	۱/۰۷	۳/۰۷	۱۶/۲	۱۲۰	۱۵۹/۵	۹/۸۵	۱۲/۲	روی
۱۵۰۰	۰/۱۶	۸/۰	۶/۰	یک ۲×۲×۶۰ پوند ۲۰	۴/۸۱	۶/۸۱	۳۶/۶	۲۶/۹	۱۱۳	۳/۰۸	۸/۷	منیزیم
	۰/۲۵	۳/۳	۱/۳	پنج ۱/۴×۱/۴×۶۰ پوند ۳۰	۱/۲۴	۳/۲۴	۱۵/۴	۳۱۵	۱۴۴	۹/۳۵	۳۳/۶	روی
۳۰۰۰	۰/۱۶	۸/۰	۶/۰	دو ۲×۲×۶۰ پوند ۲۰	۴/۸۶	۶/۸۶	۳۶/۴	۵۵/۲	۱۱۲	۳/۰۸	۱۷/۶	منیزیم
	۰/۲۵	۳/۳	۱/۳	یازده ۱/۴×۱/۴×۶۰ پوند ۳۰	۱/۳	۳/۳	۱۵/۲	۷۴۵	۱۳۹	۹/۱۵	۸۳	روی



جدول ۴-۱۸: انواع آندهای فدا شونده از جنس آلیاژهای آلومینیومی [۴]

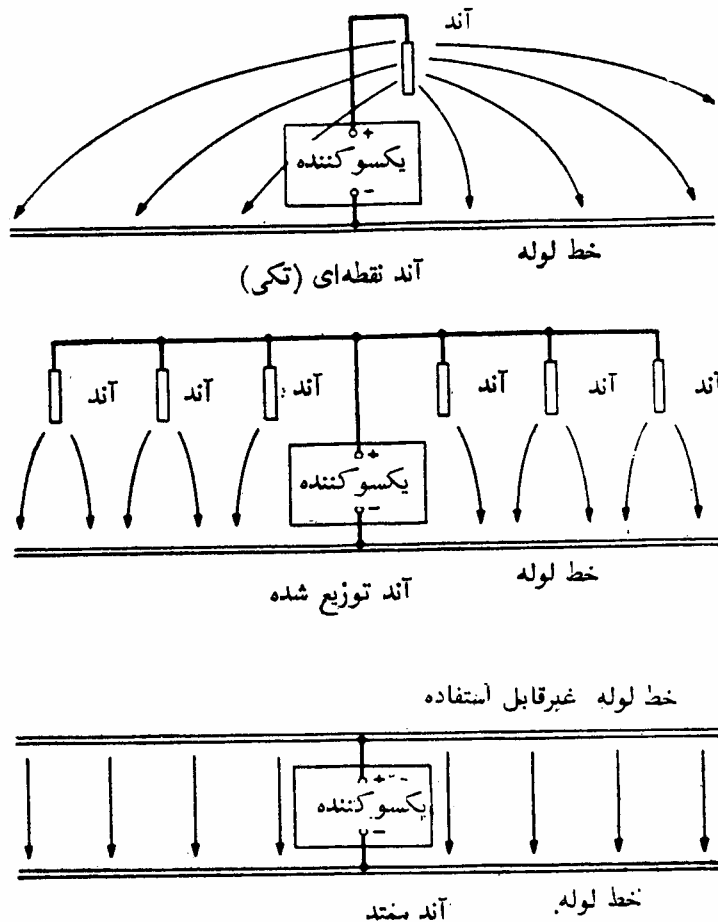
نوع ۵	نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	ترکیبات شیمیایی آند
-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۱۱-۰/۲۱	Si
-	۰/۱۱۳	-	۰/۱۳	۰/۰۸	Fe
۷	۴-۵	۵	۰/۵-۵	۰/۳۵-۰/۵	Zn
۰/۱	۰/۱	-	-	-	Sn
-	-	-	-	۰/۰۳۵-۰/۵	Hg
-	-	۰/۰۲	۰/۰۰۵-۰/۰۵	-	In
-	-	۰/۸۰	-	-	Mg
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	Cu
باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	Al
۵۰-۸۰ درصد	۵۰-۸۰ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	راندمن
	-۱/۱ V	-۱/۱ V	-۱/۱۵ V	-۱/۰۵ V	پتانسیل (در برابر نیمه پیل کلرید نقره-نقره)
متغیر	متغیر	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۸۳۰	ظرفیت (کیلوگرم / آمپرساعت)

#### ۴-۳-۵ - بستر آندی<sup>۱</sup> و پشت بند<sup>۲</sup>

جریان لازم برای سیستم حفاظت کاتدی که توسط ژنراتور یا رکتیفایر تامین می شود بوسیله یک آند یا دسته‌هایی از آندها به زمین داده می شود. آندهای آهنی ممکن است شدیداً تحت تاثیر خوردگی قرار گیرند (در نتیجه جریان) ولی چون تعویض و جابجائی آنها آسان است کاربرد با صرفه‌ای دارند. آندهای با مقاومت کم مرغوبتر و مناسبترند زیرا ولتاژ مورد نیاز را می توان در رکتیفایرها پائین تر نگاه داشت که در این صورت نیروی کمتری مصرف خواهد شد.

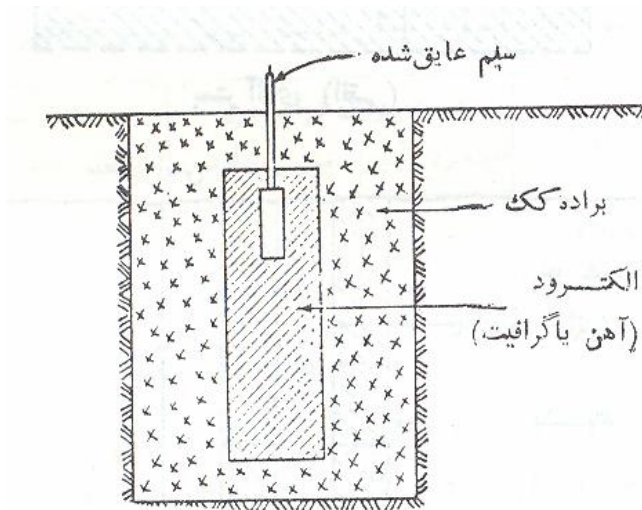
در سیستم‌های حفاظت کاتدی اگر تنها یک آند به رکتیفایر وصل شده باشد «آند نقطه‌ای»<sup>۳</sup> نامیده می شود، ولی گاهی برای داشتن مقاومت کمتر و توزیع بهتر جریان می توان تعدادی از آندها را با نظم معینی در سیستم قرار داد که در این صورت آنرا «آندهای توزیع شده»<sup>۴</sup> می نامند. همچنین در بعضی موارد ممکن است آند را به صورت یکپارچه و در امتداد تاسیسات کار گذاشت (مخصوصاً موقعی که خط لوله کهنه و غیرقابل استفاده‌ای به موازات خط لوله مورد نظر وجود داشته باشد)، که در اینصورت «آند ممتد»<sup>۵</sup> نامیده می شود.

- 
- 1- Ground bed
  - 2- Back fill
  - 3- Point anode
  - 4- Distributed anodes
  - 5- Continuous anode



شکل ۴-۱۵: انواع آندهای با اعمال جریان خارجی جهت حفاظت کاتدی تاسیسات زیرزمینی

در حفاظت کاتدی لوله‌های زیرزمینی، اغلب براده‌های آهن یا لوله‌های مستعمل و غیرقابل استفاده به عنوان آند بکار برده می‌شوند که در این صورت هم مخارج مربوطه کم می‌شود و هم با مقاومت کمتر عمر بیشتری خواهند داشت. در غیر این صورت آندهای کوچکتر که ویژه استفاده در سیستم‌های حفاظت کاتدی ساخته می‌شوند بکار می‌روند. جهت افزایش دوام و عمر آندها اطراف آنها را به وسیله کک نرم، زغال و یا گرافیت پر می‌کنند (شکل ۴-۱۶). هنگامی که به عنوان محیط اطراف آندها از کک، کربن یا گرافیت استفاده می‌شود علاوه بر ازدیاد عمر موجب کاهش مقاومت الکتریکی آنها نسبت به زمین می‌گردد. محیط اطرافی که به منظورهای گفته شده در اطراف آندها بوجود می‌آورند «پشت‌بند» نامیده می‌شود. در بعضی از موارد آندها را در بستر رودخانه یا کف دریا قرار می‌دهند که در این مواقع دیگر نیازی به پشت‌بند نیست. در سیستم‌های با اعمال جریان خارجی آندها را در بستری از کک که به آن مخلوطی از ۳ یا ۴ قسمت ژئیس و یک قسمت کلرورسدیم اضافه شده باشد قرار می‌دهند.



شکل ۴-۱۶: آند عمودی در بستری از کک

مقاومت آندی که به صورت عمودی در زمین قرار داده شده باشد تقریباً برابر است با:

$$R = \frac{1/64\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{96L}{d_1} - 1 \right) \quad (2-4)$$

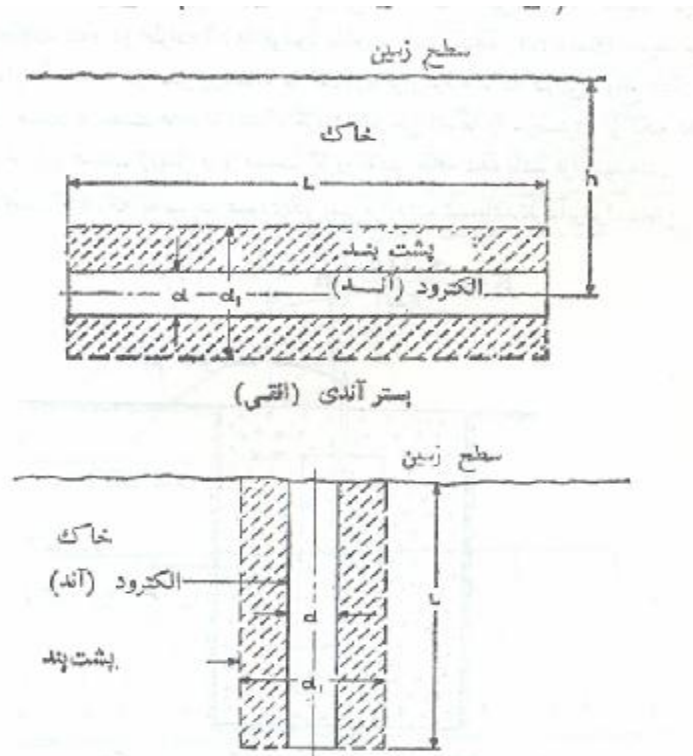
که در آن  $\rho$  مقاومت خاک (برحسب متر-اوم)،  $L$  طول آند در زیر خاک (بر حسب فوت) و  $d$  قطر آند (به اینچ) می باشد. حال اگر اطراف آند را با مواد مخصوصی (پشت بند) پر کرده باشند خواهیم داشت:

$$R = \frac{1/64\rho_1}{\pi L} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1/64\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{96L}{d_1} - 1 \right) \quad (3-4)$$

که در آن  $\rho_1$  مقاومت محیط و  $d_1$  قطر محیط (به اینچ) می باشد. در رابطه فوق فرض بر این است که طول آند در زیر خاک و طول محیط برابر باشند (شکل ۴-۱۷). در صورتی که  $\rho_1$  خیلی کم باشد عبارت اول صفر شده و معادله تبدیل می شود به معادله میله ای با قطر  $d_1$ .

مقاومت یک آند افقی بلند که در زمین قرار گرفته باشد تقریباً برابر است با:

$$R = \frac{1/64\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{48L}{d} + \ln \frac{L}{h} - 2 + \frac{2h}{L} \right) \quad (4-4)$$



شکل ۴-۱۷: آندهای عمودی و افقی در زیرزمین (یا پشت بند)

که در آن  $L$  طول آند (برحسب فوت)،  $h$  عمق مرکز آند از سطح زمین (برحسب فوت) می باشد. عمق  $h$  باید حداقل ۱۰ برابر قطر  $d$  باشد. حال اگر محیط اطراف آند نیز در نظر گرفته شود رابطه به صورت زیر در می آید:

$$R = \frac{1/64\rho_1}{\pi L} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1/64\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{48L}{d_1} + \ln \frac{L}{h} - 2 + \frac{2h}{L} \right) \quad (4-4)$$

به این ترتیب اگر  $h$  به اندازه ۱۰ برابر قطر  $d_1$  نباشد رابطه فوق صحت کمتری دارد زیرا شدت جریان های موجود در سطح خارجی محیط یکسان نخواهد بود.

مصرف براده آهن به عنوان آند به مقدار 15-20 Ib/A-Year (پوند بر آمپر سال) می باشد که لازم است هر چند سال یک بار تعویض گردند. مصرف آندهای گرافیتی کمتر بوده و در حدود یک پوند بر آمپر سال می باشد. قیمت گرافیت بیشتر از براده آهن بوده و نیز گرافیت نسبت به آهن تردتر و شکننده تر است و کار کردن با آن دقت بیشتری لازم دارد. مقدار آلیاژ Si-Fe ۱۴٪ (چدن سیلیسیم دار) که به عنوان آند در سیستم های حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی بکار می رود جهت مصارف گوناگون متفاوت است.

#### ۴-۳-۶- حفاظت کاتدی همراه با پوشش

غالباً کلیه نقاط تجهیزاتی که تحت حفاظت کاتدی قرار می گیرند محافظت می شوند. اما در برخی مواقع مثلاً در مخزنی که بوسیله میله منیزیمی حفاظت کاتدی شده علی رغم رسیدن جریان بالا به سطوح جانبی، قسمت های بالا و پایین مخزن محافظت می شوند. به منظور توزیع یکنواخت جریان، بسته به درجه حرارت، می توان از پوشش های مختلف استفاده نمود (برای درجه حرارت های معمولی از پوشش های آلی و برای درجه حرارت های بالا از پوشش های معدنی). در این صورت جریان مورد نیاز جهت

محافظت نیز کمتر از حالت مخزن بدون پوشش خواهد بود. در ضمن طول عمر آند نیز افزایش خواهد یافت. امروزه در کاربردهای عمومی و عملی حفاظت کاتدی (خواه به روش اعمال جریان خارجی و خواه به کمک آندهای فداشونده)، به دلیل توزیع بهتر جریان در خطوط پوشش دار، از انواع مختلف پوشش‌های عایقی استفاده بعمل می‌آید. تنها باید توجه داشت که در برخی پوشش‌ها، حفاظت کاتدی اثر معکوس داشته و موجب تسریع در خوردگی می‌شود. زیرا فلزات و آلیاژها در شرایط مختلف دمایی و ... رفتارهای متفاوت الکتروموتوری (EMF) از خود نشان می‌دهند. در واقع فلزی که در یک دمای خاص می‌تواند به عنوان آند در یک حفاظت کاتدی مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است برای مثال در دمایی دیگر، تحت شرایطی قرار گیرد که خود مورد حفاظت قرار گرفته و منجر به تشدید خوردگی فلز مورد نظر گردد. لذا در برخی پوشش‌ها حفاظت کاتدی اثر معکوس داشته و موجب تسریع در خوردگی گردد.

### ۴-۳-۷- مقدار جریان لازم

شدت جریان مورد نیاز جهت حفاظت کاتدی کامل بستگی به فلز و محیط اطراف آن دارد. اصولاً شدت جریان اعمالی باید از شدت جریانی که معادل با میزان خوردگی در همان محیط است بیشتر باشد. لذا هرچه سرعت خوردگی بیشتر باشد، شدت جریان خارجی که باید اعمال شود بیشتر می‌گردد. شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی را به چند طریق می‌توان محاسبه نمود که مهمتر از همه اندازه‌گیری پتانسیل فلز محافظت شده است و در صورتیکه این اندازه‌گیری میسر نباشد می‌توان با توجه به دستورالعملهای موجود (همانند جدول ۴-۱۹) عمل نمود. این جدول مقدار تقریبی شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی فولاد را در برخی مناطق نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۹: مقدار تقریبی شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی فولاد در محیطها و مناطق مختلف [۴]

محیط	میلی‌آمپر بر متر مربع
اسیدسولفوریک داغ	۳۸۰۰۰۰
آب دریا- خلیج فارس	۸۰-۱۱۰
خاک	۱۰-۳۰
فولاد با پوشش ضعیف (درخاک یا آب)	۱
فولاد با پوشش خوب (درخاک یا آب)	۰/۰۳
فولاد با پوشش عالی (درخاک یا آب)	۰/۰۰۰۳ یا کمتر

### ۴-۳-۸- انتخاب روش مناسب

همانگونه که ذکر شد اجرای عملی حفاظت کاتدی به دو طریق یعنی با اعمال جریان خارجی و یا با استفاده از آندهای فدا شونده صورت می‌گیرد که با توجه به عواملی همچون شرایط محیط اطراف (خاک و الکترولیت)، امکان دسترسی به نیروی برق و عوامل اقتصادی گوناگون این انتخاب صورت می‌گیرد. هر کدام از دو روش موجود دارای معایب و مزایایی هستند که توجه به عوامل مختلف و موثر اجرای آن را توجیه یا رد می‌نماید.

بطور کلی سیستم آندهای فداشونده به نیروی خارجی نیاز نداشته و نصب و نگهداری آنها ساده‌تر و هزینه کمتری دارد و توسعه و افزایش آنها با سهولت انجام می‌گیرد. عموماً این روش برای سیستم‌هایی در نظر گرفته می‌شود که دارای بازدهی کافی بوده و توزیع جریان یکنواختی دارند. البته این سیستم حفاظت کاتدی معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به ولتاژ و جریان حاصله محدود، عدم

فعالیت کافی و مناسب در مورد پوشش‌های ضعیف و نامناسب و نیز عدم نتیجه مناسب در زمین‌های با مقاومت زیاد اشاره نمود. سیستم‌های با اعمال جریان خارجی نیز به همان ترتیب دارای مزایایی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به امکان قابلیت طراحی، دارابودن قدرت امکان تغییر و تنظیم ولتاژ مورد نظر، دارابودن فعالیت کافی و مناسب در مورد خاک‌هایی با مقاومت زیاد اشاره نمود. از معایب موجود در این روش نیز می‌توان وجود اشکالات و مسائل مختلف در مولدها و یکسو کننده‌ها، در برداشتن هزینه زیاد جهت نصب و نگهداری و مخارج تعمیرات، تولید ولتاژ اضافی و امکان صدمه فلز و پوشش و غیره را نام برد. با توجه به مطالب اشاره شده، آند مناسب برای سیستم‌های حفاظت کاتدی انتخابی است که اغلب براساس نقطه‌نظرهای مهندسی و اقتصادی انجام می‌گیرد.

#### ۴-۳-۹- محافظت بیش از حد<sup>۱</sup>

هنگامی که میزان حفاظت فقط کمی بیش از حد لازم باشد زیان‌آور نیست، ولی ضرر عمده در مصرف نیروی اضافی و نیز افزایش در مصرف آندهای کمکی می‌باشد که در نهایت یعنی زمانی که محافظت به طور قابل ملاحظه‌ای بیش از حد لازم باشد منجر به صدماتی می‌گردد که ناشی از متصاعد شدن هیدروژن زیاد از تاسیسات حفاظت شده است، به طوری که باعث تاول‌زدگی، تورم و آسیب پوشش‌های آلی، شکنندگی فولادها و کاهش قابلیت انعطاف و ترک خوردگی آنها می‌شود. مخصوصاً زمانی که محیط حاوی مقادیری سولفور باشد صدمات شدیدتری به فولادها وارد می‌شود.

در حالتی که فلزات آمفوتر (مانند آلومینیوم، روی، سرب، قلع) مورد نظر باشند، تشکیل ترکیبات قلیائی در سطوح فلزی که تحت حفاظت بیش از حد قرار گرفته آنها را آسیب می‌رساند، زیرا در این صورت افزایش حملات جدید بیش از کاهش میزان خوردگی (توسط حفاظت کاتدی) آنها را متاثر می‌سازد. در مورد سرب مشاهده شده که حفاظت کاتدی در PHهای قلیائی ادامه می‌یابد ولی پتانسیل بحرانی برای حفاظت کامل به مقادیر خیلی فعالی تبدیل می‌شود. آلومینیوم را می‌توان با کوپله کردن روی (Zn) به آن محافظت نمود ولی اگر از منیزیم (Mg) بعنوان آند از بین رونده استفاده شود به علت حفاظت بیش از حد، آلومینیوم صدمه می‌بیند.

#### ۴-۳-۱۰- معیارهای حفاظت کاتدی

در عمل به چند طریق می‌توان میزان و تاثیر حفاظت کاتدی را ارزیابی نمود. معیارهایی وجود دارند که به کمک آنها کامل یا کافی بودن حفاظت کاتدی را تعیین می‌نمایند. مثلاً در یک خط لوله بدون پوشش و قدیمی تعداد سوراخها (حفره‌ها) را بر حسب زمان یادداشت کرده و تغییرات آنها بعد از اعمال حفاظت کاتدی بررسی می‌کنند که آیا کم شده و به صفر می‌رسد (حفاظت کامل) یا نه، و یا در بدنه کشتی عمق حفره‌ها را در فواصل و نقاطی مشخص (در زمانهائی معین) مورد بررسی قرار می‌دهند.

همچنین تاثیر محافظت کاتدی را می‌توان بوسیله آزمایشهای کوتاه مدت مورد بررسی قرار داد که از آن جمله‌اند:

#### الف) نمونه‌گذاری<sup>۲</sup>

در این روش نمونه یا قطعه‌ای کوچک از همان نوع فلز را بشکل مورد نظر در آورده و بعد از توزین دقیق آنرا در اتصال الکتریکی با تاسیسات حفاظت شده قرار می‌دهند، به طوری که شرایط اعمال شده به تاسیسات در مورد نمونه نیز وجود داشته باشد. بعد از مدت معینی نمونه را بیرون آورده و مجدداً تمیز و توزین می‌نمایند. افت وزنی در این نمونه نشان خواهد داد که حفاظت کاتدی به صورت

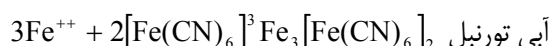
1- Overprotection

2- Coupon test

کامل انجام نمی‌گیرد. نمونه‌ها باید در نقاطی که کمترین پتانسیل حفاظتی وجود دارد و یا در محلتهائی که بعلى احتمال دارد حفاظت کاتدی مناسبی نداشته باشند قرار داده شوند.

### ب) آزمایشهای رنگی<sup>۱</sup>

در این آزمایش قسمتی از سطح فلز را تمیز کرده و کاغذی را که آغشته به محلول فری سیانورپتاسیم است در روی آن قرار داده و روی آن را با خاک می‌پوشانند. بعد از مدت نسبتاً کوتاهی آنرا بیرون آورده و مورد بررسی قرار می‌دهند، به طوری که اگر رنگ کاغذ آبی شده باشد که به علت تشکیل فری سیانور فرو است (یون‌های فرو ناشی از وجود خوردگی در فلز مورد آزمایش) معلوم می‌گردد که حفاظت کاتدی به صورت کامل انجام نمی‌گیرد، برعکس اگر رنگ آبی ظاهر نشود دلیل بر محافظت کامل می‌باشد:



آزمایشهای فوق‌الذکر فقط کیفی بوده و کمی نمی‌باشند، همچنین در مورد مقدار و اندازه دقیق جریان موجود در سیستم، اطلاعات مورد نیاز را بدست نمی‌دهند. در ضمن این روشها جهت لوله‌های پوشش دار و کابل‌های زیرزمینی قابل اجرا نمی‌باشند.

### ج) اندازه‌گیری پتانسیل

با اندازه‌گیری پتانسیل تاسیسات حفاظت شده می‌توان درجه حفاظت و وجود حفاظت بیش از حد را مشخص نمود. این اندازه‌گیری روشی مناسب و عملی بوده و اهمیت بسیار زیادی در اجرای سیستم‌های حفاظت کاتدی دارد. اساس اندازه‌گیری پتانسیل آن است که محافظت کاتدی درست زمانی کامل می‌گردد که تاسیسات حفاظت شده به پتانسیل مدار باز آند پیل‌های موضعی پلاریزه شوند. این پتانسیل در مورد فولاد (که به طور تجربی حاصل شده) برابر ۰/۸۵ ولت در برابر نصف پیل مس - سولفات مس، و برابر ۰/۵۳ ولت در اشل استاندارد هیدروژن می‌باشد.

پتانسیل مدار باز آند برای آهن را می‌توان چنین محاسبه نمود: بفرض اینکه فعالیت  $\text{Fe}^{++}$  در حالت تعادل به وسیله حلالیت قشری از پوشش  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  که در روی آهن و در محیط‌های آبی بوجود آمده تعیین شده باشد، با استفاده از رابطه نرنست:

$$\phi_H = -0.44 + \frac{0.0592}{2} \log(\text{Fe}^{++})$$

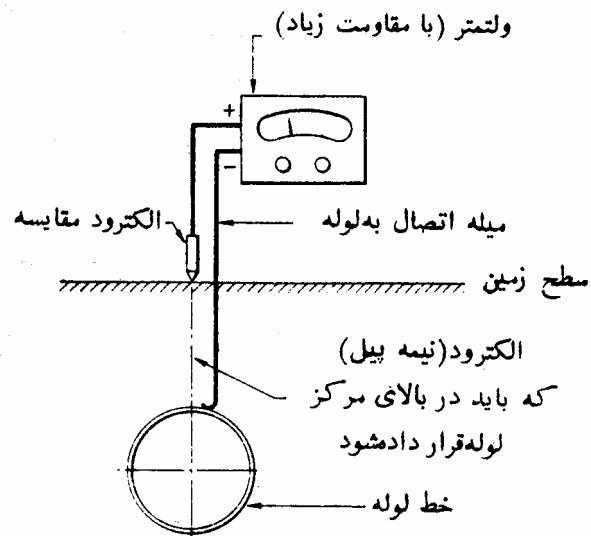
که در آن  $\text{Fe}^{++} = \frac{\text{ضریب حلالیت}}{(\text{OH}^-)^2}$  می‌باشد مقدار  $(\text{OH}^-)$  را می‌توان محاسبه نمود، زیرا غلظت آن در رابطه تعادلی:



هیدروژن برابر ۰/۵۹- ولت است که معادل با اختلاف پتانسیل ۰/۹۱ ولت و در مقابل نصف پیل مس سولفات مس می‌باشد.

مقدار تجربی پتانسیل سرب تقریباً برابر ۰/۷۸- ولت در برابر نصف پیل  $\text{Cu} - \text{CuSO}_4$  بوده و در مورد فیلم  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  معادل

۰/۵۹- ولت می‌باشد. در محیط‌های قلیائی با ایجاد پلمبیت، این مقدار محاسبه شده نزدیک به مقدار تجربی می‌گردد.



شکل ۴-۱۸: اندازه‌گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک به کمک الکتروود مقایسه‌ای

اندازه‌گیری پتانسیل در خطوط لوله به دو روش صورت می‌گیرد: «روش نزدیک» و «روش دور». در (شکل ۴-۱۸) روش اندازه‌گیری پتانسیل نشان داده شده و در جدول (۴-۲۰) مقادیر محاسبه شده برای چند فلز دیده می‌شوند.

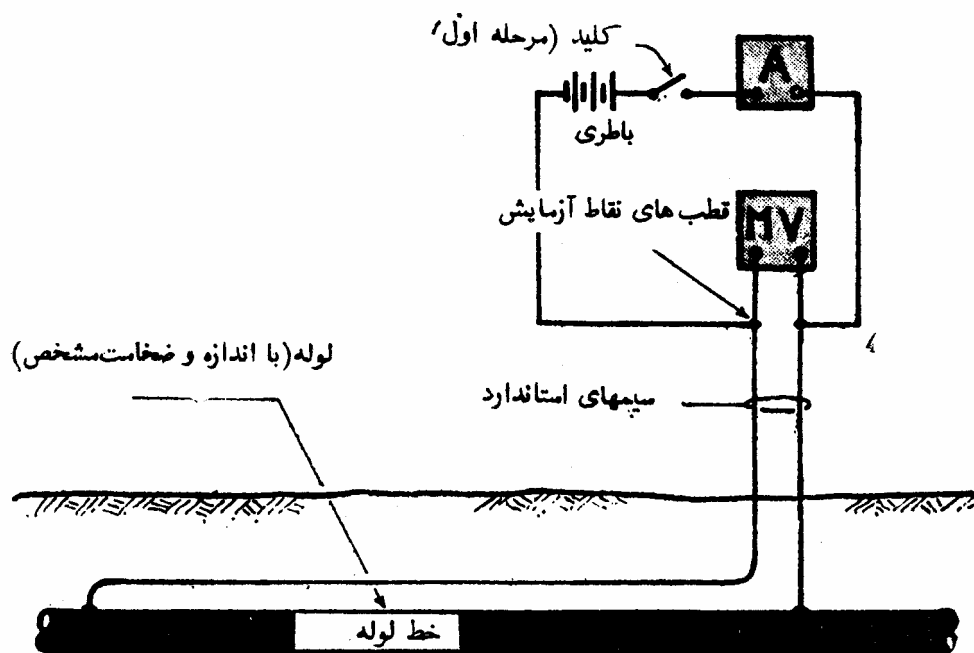
جدول ۴-۲۰: حداقل پتانسیل محاسبه شده  $\phi$  برای حفاظت کاتدی

فلز	$\phi^0$ (ولت)	حاصل ضرب حالیت $M(OH)_2$	$\phi_H$ (ولت)	$\phi$ در مقابل نصف پیل (ولت) $Cu / CuSO_5$
آهن	-۰/۴۴۰	$1/8 \times 10^{-10}$	-۰/۵۹	-۰/۹۱
مس	+۰/۳۳۷	$1/6 \times 10^{-19}$	+۰/۱۶	-۰/۱۶
روی	-۰/۷۶۳	$4/5 \times 10^{-17}$	-۰/۹۳	-۱/۲۵
سرب	-۰/۱۲۶	$4/2 \times 10^{-10}$	-۰/۲۷	-۰/۵۹

به منظور اندازه‌گیری شدت جریان خط لوله مقدار افت پتانسیل در طول معینی از آن را مورد بررسی قرار می‌دهند (شکل ۴-۱۹) و از روی افت پتانسیل حاصله و مقاومت طول معین لوله شدت جریان محاسبه می‌گردد:

$$\text{افت پتانسیل حاصله} = \frac{\text{افت پتانسیل حاصله}}{\text{مقاومت}} = \text{شدت جریان} \quad (۴-۶)$$

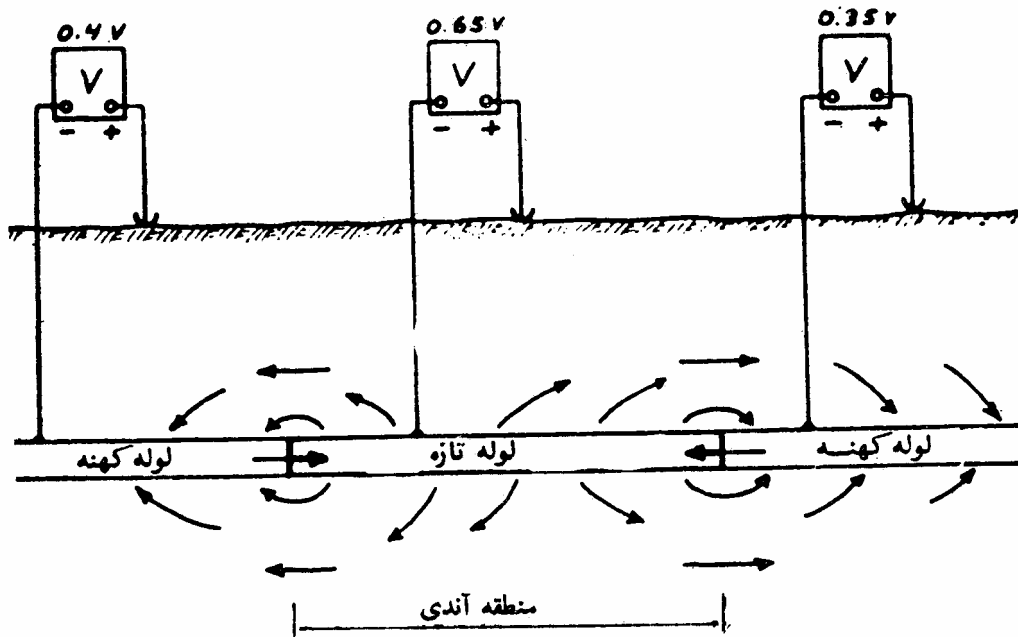




شکل ۴-۱۹: اندازه‌گیری شدت جریان خط لوله

در مورد فلزات روئین معیار حفاظت فرق می‌کند چون فلزات روئین در میزانهای کم به صورت یکنواخت ولی در میزانهای بالا به صورت حفره‌ای خورده می‌شوند، لذا حفاظت کاتدی فلزاتی مانند آلومینیوم یا فولادهای ضدزنگ ۸-۱۸ بستگی دارد به پلاریزده کردن آنها تا مقادیر خیلی فعالتر از پتانسیل بحرانی (نه تا پتانسیل مدار باز آند) که حفره‌دار شدن آغاز می‌شود. این پتانسیل در داخل منطقه روئین بوده ولی هرچه غلظت  $Cl^-$  بالاتر باشد کمتر نجیب است، به طوری که در  $NaCl$  ۳٪ این مقدار برای آلومینیوم برابر  $0.45$  ولت (در اشل هیدروژن استاندارد) می‌باشد. به این ترتیب آهن که پتانسیل خوردگی آن در آب دریا در حدود  $0.4$  ولت است برای حفاظت کاتدی آلومینیوم مناسب نیست در حالی که روی ( $Zn$ ) که دارای پتانسیل خوردگی در حدود  $0.8$  - ولت است برای این کار مناسب می‌باشد.

پتانسیل بحرانی در مورد فولادهای ضدزنگ ۸-۱۸ در  $NaCl$  ۳٪ برابر  $0.21$  ولت بوده و در مورد نیکل در حدود  $0.23$  - ولت می‌باشد به طوری که کوپله کردن نیکل یا فولادهای ضدزنگ با آهن یا روی (با مساحت‌های مناسب) سبب حفاظت در مقابل خوردگی حفره‌ای در آب دریا می‌شود. در برخی تاسیسات دریائی نظیر کشتی‌ها و سکوهای حفاری از این قبیل کوپل‌های گالوانیکی استفاده بعمل می‌آید. گاهی ممکن است قسمتی از لوله تعویض شده و یا بعلل گوناگون خراشیدگی‌هایی در لوله‌های زیرزمینی بوجود آید، در اینحالات لوله تعویض شده (تازه) یا مناطق خراشیده شده به عنوان مناطق آندی عمل می‌نمایند (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰: خوردگی ناشی از تعویض قسمتی از لوله (لوله تازه: آند- لوله کهنه: کاتد)

#### ۴-۳-۱۱- مقاومت خاک

مقاومت خاک محیط به مقدار زیادی به ترکیبات شیمیایی آن بستگی دارد. بطوریکه هرچه مقدار مواد اسیدی- بازی و یا املاح در آب آن بیشتر باشد، خاصیت هدایت الکتریکی آن زیادتر و مقاومت الکتریکی آن کمتر می شود. شدت خوردگی خاک رابطه مستقیم با مقاومت الکتریکی آن داشته بطوریکه هرچه مقاومت الکتریکی خاک کم باشد، خوردگی آن بیشتر است که در اینصورت بین قسمت های مختلف لوله، اختلاف پتانسیل بوجود خواهد آمد. جدول (۴-۲۱) دسته بندی خاکهای مختلف را برحسب مقاومت الکتریکی نشان می دهد.

جدول ۴-۲۱: انواع زمینها از نظر مقاومت الکتریکی خاک [۴]

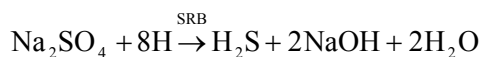
شدت خوردگی	مقاومت خاک (اهم- سانتیمتر)
شدیداً خورنده	۰-۲۰۰۰
خیلی خورنده	۲۰۰۰-۵۰۰۰
خورنده	۵۰۰۰-۱۰۰۰۰
نسبتاً خورنده	۱۰۰۰۰-۲۵۰۰۰
کم خورنده	۲۵۰۰۰-۵۰۰۰۰
تقریباً غیرخورنده	۵۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰

بدیهی است که مقاومت الکتریکی زمین به میزان رطوبت آن بستگی داشته و چون رطوبت نسبی زمین در فصول مختلف تغییر می کند لذا مقاومت الکتریکی زمین به همان اندازه متغیر خواهد بود. در بعضی از زمینها مقاومت الکتریکی خاک ممکن است بین

۲۵۰۰ الی ۱۰۰۰۰ اهم - سانتیمتر در هوای مرطوب و خشک تغییر کند. لذا برای تعیین مقاومت الکتریکی خاک مناسبترین روش آن است که در فصول تابستان و زمستان اندازه‌گیریهای جداگانه‌ای انجام گیرد. برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی خاک می‌توان از استاندارد ASTM G57 استفاده کرد. معمولاً تجهیزات زیرزمینی، در مسیر خود از زمین‌هایی با خواص شیمیایی مختلف و با PH متفاوت عبور می‌کنند. دانستن خواص شیمیایی خاک در طراحی حفاظت کاتدی اهمیت زیادی داشته و مفید خواهد بود.

بطور کلی محیط‌های خنثی و یا قلیایی اثر چندانی بر روی آهن یا فولاد ندارند ولی محیط‌های اسیدی خاصیت دپلاریزاسیون داشته و جریان الکتریسیته بیشتری لازم است تا خط را بصورت پلاریزه نگاه دارد. در چنین شرایطی مهندسین طراح، معیار حفاظت کاتدی را ۰/۸۵- ولت بیشتر گرفته و یا محل ایستگاههای حفاظت را در این نواحی قرار می‌دهند، بطوری که حفاظت کاتدی خط لوله در این مناطق از معیار استاندارد کمی بیشتر باشد.

باکتریهای زیادی به صورت هوازی و بی‌هوازی وجود دارند که در خوردگی آهن و فولاد تاثیر مستقیمی نداشته ولی در مواد موجود در خاک تغییراتی بوجود می‌آورند که در نتیجه مواد حاصله خورنده بوده و تهدیدی برای تجهیزات مدفون بشمار می‌آیند. مهمترین نوع این باکتری‌ها SRB<sup>۱</sup>ها می‌باشند که غیرهوازی بوده و قادرند ترکیبات سولفونه خاک را احیاء کرده و تبدیل به سولفور نمایند.



در این فعل و انفعال دو عمل خورنده انجام می‌شود.

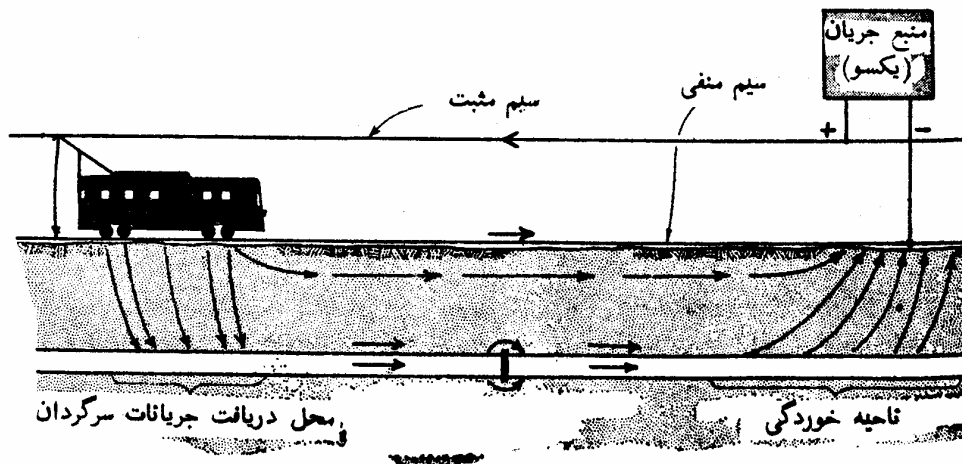
الف) انجام واکنش توام با مصرف هیدروژن بوده و باعث دپلاریزاسیون تجهیزات می‌گردد.

ب) سولفور حاصل با هیدروژن‌های اطراف ترکیب شده و در نتیجه این فعل و انفعالات، پلاریزاسیون تجهیزات از بین رفته و برای حفاظت آن جریان الکتریکی بیشتری لازم خواهد بود. در این صورت معیار حفاظت به جای ۰/۸۵- ولت باید حداقل ۰/۹۵- ولت (نسبت به الکتروود و سولفات مس- مس) انتخاب شود. این باکتریها اغلب در زمین‌های لجنزار، خاک رس و باتلاق‌ها زندگی می‌کنند.

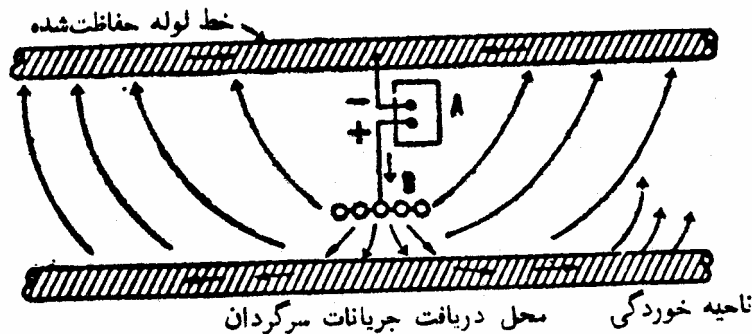
### ۴-۳-۱۲ - خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان یا پراکنده

قبل از اقدام به طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی لازم است که امکان وجود جریان‌های سرگردان در محوطه مورد نظر بررسی گردد. جریان سرگردان جریانی است مستقیم یا یکسو که به صورت مجزا در زمین ایجاد می‌گردد که در اغلب موارد متغیر بوده و در صورت بی‌توجهی نسبت به آن مشکلات و اختلالات زیادی در سیستم حفاظت کاتدی ایجاد می‌شود که در برخی موارد نیز منجر به خوردگی‌های شدید و غیرمترقبه‌ای خواهد شد. این جریانه‌ها از منابع مختلفی همچون منابع جریان مستقیم خطوط راه‌آهن (شکل ۴-۲۰)، منابع جریان مستقیم مورد استفاده در معادن، تاثیر جریانه‌های مربوط به یک سیستم حفاظت کاتدی بر روی تاسیسات حفاظت نشده مجاور (شکل ۴-۲۱) و غیره بوجود می‌آیند که البته در برخی موارد نیز متغیر بوده و در صورت بی‌توجهی می‌توانند منجر به مشکلات و اختلالات زیادی در سیستم حفاظت کاتدی شوند. در برخی موارد مقدار و اندازه این جریان‌ها ممکن است به حدی زیاد باشد که به آسانی نتوان توسط سیستم‌های معمولی حفاظت کاتدی آنها را خنثی نمود، مخصوصاً در حالتی که این جریانه‌ها

در موقع تخلیه (دشارژ) سطوحی را نسبت به محیط اطراف تا چند ولت مثبت نمایند. در صورت وجود چنین شرایطی لازم است که به روشهای کنترل از جمله: ایجاد اتصال بین تاسیساتی که تحت تاثیر قرار گرفته اند یا منبع تولید جریانهای مزاحم و یا به هر طریقی که بتوان این جریانها را بدون صدمه دیدگی به سیستم از محیط خارج نمود، توسل جست. وجود جریانهای سرگردان توسط منابعی که در بالا اشاره شد سبب ایجاد خوردگی هایی در تاسیسات می گردد که شدیدتر از خوردگی های ناشی از عوامل محیطی می باشند.



شکل ۴-۲۰: خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان (توسط قطار برقی)

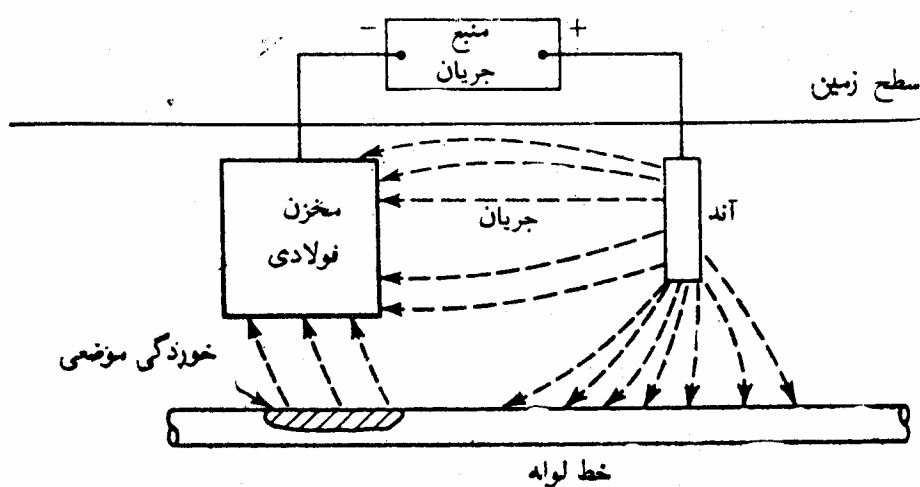


شکل ۴-۲۱: خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان (توسط یک سیستم حفاظت شده)

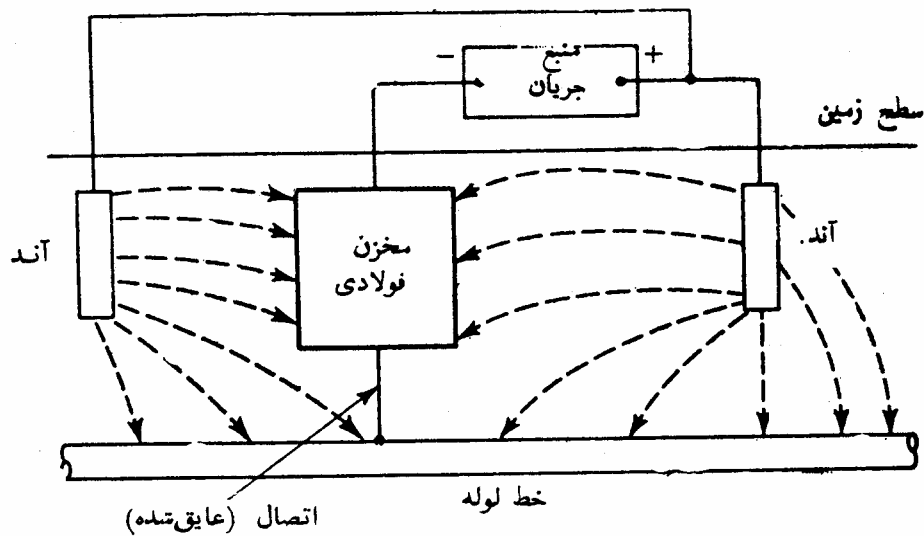
نوع دیگر از جریانات سرگردان که ماهیت متغیری نیز دارند طوفانهای مغناطیسی است. تاسیسات با طول زیاد از جمله خطوط لوله و کابل های زیرزمینی در مقابل این جریانها حساسیت بیشتری نشان می دهند. در شرایطی که طوفانهای مغناطیسی وجود داشته باشد شدت میدان مغناطیسی زمین تغییر کرده و موقعی که این تغییرات رخ می دهند، پتانسیل هایی در لوله ها یا کابل های زیرزمینی ایجاد می شود که کاملاً نظیر پتانسیل هایی است که در یک مولد برق تولید می شود. جریانهای سرگردانی که بوسیله دستگاهها یا عملیات صنعتی نظیر آنچه که قبلاً اشاره شد بوجود می آیند معمولاً یک وضع مشخص و طرح معینی دارند، ولی جریانات سرگردان ناشی از طوفانهای مغناطیسی بندرت اتفاق افتاده و وضعیت و طرح خاصی ندارند. بعلاوه ممکن است در هر باری که رخ دهند در سطح مختلفی تاثیر بگذارد و یا مثلاً تا مدتهایی طولانی دیگر ظاهر نشود (البته ایجاد این نوع جریانات سرگردان بسیار کوتاه مدت می باشد).

علاوه بر جریانهای سرگردان متغیر اشاره شده جریانهای سرگردان دائمی نیز وجود داشته که اغلب ناشی از وجود جریانهای اعمال شده به سیستمهای حفاظت کاتدی برخی تاسیسات می‌باشند. این جریانها بسهولت می‌توانند به تاسیسات مجاور (که از نظر الکتریکی مجزا هستند) وارد شوند. مخصوصاً در مواردی که حفره‌های آندی تاسیسات حفاظت شده در نزدیکی تاسیسات مجاور قرار گرفته باشند (این قبیل موارد اغلب در میدان‌های نفتی و مجتمع‌های صنعتی متراکم که شامل خطوط لوله بدون پوشش تیز باشند دیده می‌شوند).

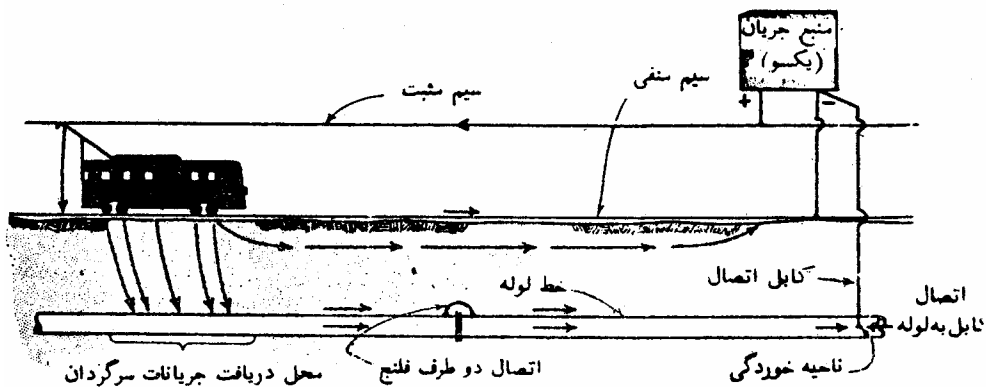
در این شرایط تاسیساتی که تحت حفاظت کاتدی قرار نگرفته‌اند در داخل میدان سرگردان قرار می‌گیرند بطوریکه زمین نسبت به آن مثبت شده و در نتیجه این اختلاف پتانسیل مثبت، جریانها وارد آن شده و چون مسیر فلزی (اتصال الکتریکی) وجود ندارد تا این جریانها را به منبعی که آن را تولید نموده برگرداند لذا اجباراً باید به زمین تخلیه شوند که منجر به خوردگی در همین نواحی (که جریانها خارج می‌گردند) خواهد شد (شکل ۴-۲۲). روش مناسب در این قبیل موارد آن است که یا تاسیسات مجاور را با اتصالهای الکتریکی به تاسیسات حفاظت شده متصل نمایند (که با تغییراتی در طراحی و احتمالاً نصب آندهای جدید همراه خواهد بود، شکل ۴-۲۳ و ۴-۲۴) و یا محل حفره‌های آندی سیستم حفاظت شده تغییر داده شوند بطوری که جریانهای سرگردان حاصل مزاحم تاسیسات مجاور نشوند که این کار بایستی در بررسی‌های اولیه از وضعیت زمین و موقعیت تاسیسات مجاور صورت بگیرد چون تغییرات بعدی مستلزم صرف هزینه‌های زیادتری خواهد بود.



شکل ۴-۲۲: خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان بر روی تاسیسات مجاور



شکل ۴-۲۳: جلوگیری از خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان در تاسیسات مجاور

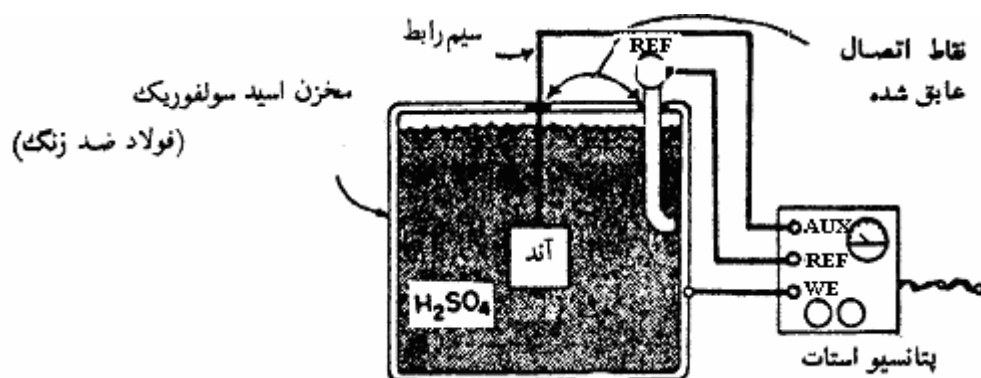


شکل ۴-۲۴: جلوگیری از خوردگی خط لوله با اتصال آن به منبع جریان یکسو

#### ۴-۴- حفاظت آندی

حفاظت آندی بر اساس تشکیل یک پوسته سطحی محافظ بر روی فلزات با اعمال جریانهای آندی صورت می‌گیرد. برای حفاظت آندی دستگاهی بنام پتانسیواستات لازم است. پتانسیواستات یک دستگاه الکترونیکی است که فلز را در یک پتانسیل ثابت نسبت به یک الکتروود مرجع نگه می‌دارد. پتانسیواستات دارای ۳ ترمینال است. یکی به قطعه‌ای یا سیستمی که باید حفاظت شود متصل می‌گردد، دیگری به یک الکتروود کمکی بعنوان کاتد (الکتروود پلاتین یا پوشش داده شده بوسیله پلاتین) و سومی به یک الکتروود مرجع (مثلاً الکتروود جیوه). در عمل پتانسیواستات همواره پتانسیل ثابتی بین سیستم حفاظت شونده و الکتروود مقیاس برقرار می‌سازد. پتانسیل لازم را با اندازه‌گیریهی الکتروشیمیایی قبلاً معین می‌سازند. حفاظت آندی سرعت خوردگی را بشدت تقلیل می‌دهد و در بعضی سیستم‌ها این سرعت به میزان ۱۰۰,۰۰۰ برابر کمتر می‌شود. هر چند حفاظت آندی محدود به فلزات فعال - غیرفعال است ولی باید توجه داشت که اکثر فلزات ساختمانی در این خانواده قرار می‌گیرند. لذا این محدودیت چندان مهم نخواهد بود. مزیت

عمده حفاظت آندی قابلیت استفاده از آن در محیطهای بسیار خورنده و نیاز به جریان الکتریکی کم می‌باشد. از آنجایی که حفاظت کاتدی در مورد فلزات روئین عملی نمی‌باشد لذا با استفاده از جریان پلاریزه کننده آندی می‌توان آنها را حفاظت آندی نمود. حفاظت آندی را می‌توان فقط در مورد فلزات و آلیاژهایی که به آسانی روئین می‌شوند (موقع پلاریزاسیون آندی) یا فلزاتی که شدت جریان روئین شدن پائینتری دارند مورد استفاده قرار داد (مثلاً جهت روی، منیزیم، کادمیوم، نقره، مس و یا آلیاژهای مسی). در عمل سیستم‌های حفاظت آندی در مورد مخازن و ظروف واحدهای عملیاتی که دارای محلول‌های خورنده حاوی اکسیژن بوده و خاصیت اسیدی داشته باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد، چرا که در این موارد کاربرد حفاظت کاتدی به علت اشکالات موجود در پلاریزه کردن کاتدی سطوح مورد نظر، غیرعملی می‌باشد. در شکل ۴-۲۵ نحوه عمل حفاظت آندی برای انجام این کار نشان داده شده است که در آن، REF: الکتروود مقایسه‌ای، AUX: الکتروود کمکی، WE: الکتروود اندازه‌گیری می‌باشند.



شکل ۴-۲۵: طرز انجام حفاظت آندی





## مراجع

- ۱- نشریه انجمن خوردگی ایران، سال چهارم، شماره ۱۱ و ۱۲، اقتصاد خوردگی، احمد پیشنمازی و غلامرضا معینی، ۱۳۸۲.
- 2- Corrosion control in the chemical process industries C.P Dillon , 1986.
- 3- Corrosion engineering , mass. Fontana & Norbert D.green , 1978.
- ۴- خوردگی و روشهای کنترل آن، مهندس رحیم زمانیان، ۱۳۷۶.
- ۵- کنترل خوردگی در صنایع، دکتر سیدمحمدسیدرضی، ۱۳۷۶.
- 6- Protective coatings for metals , R.M. burns & W.W.bradley , 1955.
- 7- Paint & coating testing manual , J.V.koleske , 1995.
- ۸- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد رنگ و پوشش صنعت برق، جلدهای "عوامل موثر در انتخاب رنگ و پوشش" و "نحوه انتخاب رنگ و پوشش"
- ۹- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد پوششهای فلزی، پوششهای بادوام و عیوب رنگ و پوششهای لاستیکی، جلدهای "ساخت و اصول کاربردی پوششهای فلزی" و "معیارهای انتخاب پوششهای فلزی"
- ۱۰- نشریه انجمن خوردگی ایران (زنگ)، سال چهارم، شماره ۱۱ و ۱۲، "خوردگی در بتن"، ۱۳۸۲.
- 11- Organic coating technology , H.F. payne , John wiley & sons , 1967.
- 12-Outlines of paint technology , W.M. Morgans , 1990.
- 13- Cathodic protection of steel in concrete , Edited P.M. chess,1998.
- ۱۴- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد طراحی بهینه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۲۸، "معیارهای طراحی و مهندسی سیستمها و تجهیزات حفاظت در مقابل خوردگی"
- ۱۵- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد رنگ و پوشش صنعت برق، جلدهای "عوامل موثر در انتخاب روش آماده‌سازی" و "دستورالعمل آماده‌سازی سطح"
- 16- International standard organization , ISO 12944 , part5 , protective paint system , 1998.
- ۱۷- پهنه‌بندی اقلیمی ایران، مرتضی کسمایی ۱۳۷۱.



**پیوست**

**مشخصات فنی روشهای  
جلوگیری از خوردگی  
در پست های فشار قوی**



## فهرست مطالب

### صفحه

### عنوان

#### فصل اول - طراحی حفاظت در برابر خوردگی در پستهای فشارقوی

۳	۱-۱- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی .....
۴	۲-۱- مطالعه شاخص‌ها و پارامترهای مشخص‌کننده طراحی .....
۴	۳-۱- نیازهای یک طراحی صحیح .....
۵	۴-۱- روش طراحی .....
۵	۱-۴-۱- روش حفاظت هادی‌های هوایی در برابر خوردگی .....
۵	۲-۴-۱- روش حفاظت سیم‌های مسی متصل به سیستم زمین در برابر خوردگی .....
۵	۳-۴-۱- روشهای حفاظت مقره‌ها در برابر خوردگی .....
۸	۴-۴-۱- روشهای حفاظت لوله‌های تأسیسات در برابر خوردگی .....
۸	۵-۴-۱- سازه‌های فلزی .....
۸	۶-۴-۱- روش حفاظت بتن در مقابل خوردگی .....
۹	۷-۴-۱- بررسی تجهیزات مدفون در خاک .....
۹	۸-۴-۱- روش حفاظت سینی‌های کابل، پایه نگهدارنده و اتصالات داخل کانالها در برابر خوردگی ...
۹	۹-۴-۱- روش حفاظت کابل‌های پست فشارقوی در برابر خوردگی .....
۱۰	۱۰-۴-۱- روش حفاظت از آسفالت خیابانهای داخلی .....
۱۰	۱۱-۴-۱- روش حفاظت تابلوهای محوطه (بدنه و تجهیزات فلزی داخلی آنها) .....
۱۱	۱۲-۴-۱- روش حفاظت ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ در برابر خوردگی .....
۱۱	۱۳-۴-۱- روش حفاظت برقگیرهای اکسید فلزی در برابر خوردگی .....
۱۲	۱۴-۴-۱- روش حفاظت در برابر جانوران و گیاهان و موجودات بیولوژیکی .....
۱۲	۱-۱۴-۴-۱- کابل‌های فشار متوسط توزیع .....
۱۲	۲-۱۴-۴-۱- برقگیرهای اکسید فلزی .....
۱۳	۳-۱۴-۴-۱- ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ .....
۱۳	۴-۱۴-۴-۱- ترانسفورماتورهای قدرت .....
۱۳	۵-۱۴-۴-۱- جلوگیری از خوردگی توسط سایر جانوران و حیوانات .....
۱۷	۱۵-۴-۱- توصیه‌های کلی در خصوص اجتناب از خوردگی .....

## فصل دوم - رنگ آمیزی و مشخصات رنگ

- ۲۱ ..... ۱-۲- محافظت از خوردگی و کاربرد رنگ در تأسیسات فلزی
- ۲۱ ..... ۱-۱-۲- سیستم‌های پوشش رنگ تأسیسات فلزی غوطه‌ور در آب آلوده
- ۲۳ ..... ۲-۱-۲- سیستم‌های پوشش رنگ تأسیسات فلزی در شرایط جوی نامناسب
- ۲۴ ..... ۳-۱-۲- سیستم پوشش رنگ تأسیسات فلزی در معرض شرایط جوی متعادل و مناسب
- ۲۵ ..... ۴-۱-۲- سیستم‌های پوشش رنگ تأسیسات فلزی در معرض حمله شیمیایی شدید
- ۲۶ ..... ۲-۲- محافظت از خوردگی و کاربرد رنگ در بتون
- ۱-۲-۲- سیستم‌های پوشش رنگ مقاوم در مقابل اسید و فاضلاب برای حفاظت بتن واقع شده در زیر آب  
و یا بالای سطح آب.....
- ۲۷ ..... ۲-۲-۲- سیستم‌های پوشش رنگ مقاوم در برابر آب برای حفاظت بتون واقع شده در زیر آب و یا بالای  
سطح آب .....
- ۲۸ ..... ۲۹ ..... مراجع

# فصل ۱

## طراحی حفاظت در برابر خوردگی در پستهای فشارقوی





## مقدمه

نظر به هزینه فراوان خسارات ناشی از خوردگی در تأسیسات الکتریکی من جمله پستهای فشارقوی، لزوم استفاده از روشهای مختلف حفاظت از تأسیسات و تجهیزات موجود در این گونه اماکن ضروری به نظر می‌رسد. تنوع فراوان شرایط محیطی و اقلیمی در سطح کشور سبب می‌شود که تجهیزات پستهای فشار قوی انواع خوردگی و شدت‌های مختلف را تجربه کنند. برای طراحی دقیق حفاظت سطوح و تجهیزات در برابر خوردگی مراحل زیر باید اجرا شوند:

## ۱-۱- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

برای طراحی روش جلوگیری از خوردگی اطلاعات زیر مورد نیاز است :

- لیست اجزاء مختلف پست به تفکیک جنس
- شرایط محیطی پست
- گزارش عملکرد تجهیزات پست در منطقه و عمر کاری مورد نظر اجزاء مختلف آن
- گزارش مکانیک خاک
- اندازه‌گیری مقاومت زمین و ارائه گزارش آن
- گزارش مطالعات بیولوژیکی و نوع موجودات آسیب‌رسان به تجهیزات

شناخت اجزاء مختلف پست برای تعیین جنس مواد تشکیل دهنده و تعیین عوامل خوردنده و نوع عامل خوردنده لازم خواهد بود. با شناخت اجزاء و مشخص نمودن عوامل خوردنده اصلی، سازگاری اجزاء با شرایط محیطی منطقه بررسی و روشهای جلوگیری از خوردگی آنها مشخص می‌شود.

گزارش عملکرد تجهیزات پست در منطقه و عمر کاری مورد نظر اجزاء مختلف آن نحوه برخورد با خوردگی تجهیزات و لزوم یا عدم لزوم اعمال روشهای جلوگیری از خوردگی را مشخص می‌نماید.

میزان مقاومت الکتریکی خاک بر حسب اهم- سانتیمتر از گزارش مکانیک خاک مورد نیاز است تا بتوانیم برای حفاظت کاتدی از آن بهره بجوییم. چرا که شدت خوردگی خاک بیشتر رابطه مستقیمی با مقاومت الکتریکی آن دارد بطوریکه هر چه مقاومت الکتریکی خاک کم باشد، خوردگی آن بیشتر است و برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی خاک می‌توان از استاندارد ASTM.G57 استفاده کرد. در ضمن دانستن خواص شیمیایی خاک در طراحی حفاظت کاتدی مفید خواهد بود بطوریکه محیطهای خنثی یا قلیایی اثر چندانی بر روی آهن یا فولاد ندارند ولی محیطهای اسیدی خاصیت دپلاریزاسیون داشته و جریان الکتریسیته بیشتری لازم است تا خط را بصورت پلاریزه نگه دارد.

گزارش مطالعات بیولوژیکی و نوع موجودات آسیب‌رسان به تجهیزات نیز ضمن ارائه اطلاعات لازم در مورد وضعیت بیولوژیکی، وجود یا عدم وجود عوامل خوردگی میکروبیولوژیکی محیط و وجود سایر حیوانات و جانوران را مشخص می‌نماید که متعاقباً روشهای جلوگیری از آنها را می‌توان ارائه نمود.

## ۱-۲- مطالعه شاخص‌ها و پارامترهای مشخص‌کننده طراحی

- مهمترین شاخص در طراحی جلوگیری از خوردگی در پست، عملی بودن آن با توجه به موقعیت محلی و شرایط آب و هوایی و آلودگی محل پست است تا تجهیزات بتوانند در دوره عمر خود نیازهای بهره‌برداری را تأمین نمایند.
- دومین شاخص در این زمینه هزینه‌های سرمایه‌گذاری بخصوص برای جلوگیری نسبتاً قابل قبول از خوردگی می‌باشد.
- شاخص‌ها و پارامترهای دیگری که در جلوگیری از خوردگی تجهیزات پست بایستی در نظر گرفته شوند عبارتند از:
  - قسمتهای فلزی مانند سینی‌ها، نگهدارنده‌ها، تابلوها و قسمتی از استراکچرها و پایه‌های فولادی تجهیزات که در بیرون خاک هستند و با خوردگی اتمسفری تهدید می‌شوند، در حد مناسب و مورد قبول در مقابل خوردگی حفاظت شوند.
  - شبکه زمین، لوله‌های تأسیساتی و قسمتی از پایه‌ها و استراکچرهای فولادی که مستقیماً در زمین و یا در بتون مدفون هستند با توجه به وضعیت خوردگی زمین، نوع بتون و تمهیدات بکاررفته در بتون، بتوانند در عمر مفید پست بدون ایجاد اشکال کارکنند.
  - کابل‌های پست که در روی سینی‌ها و یا کف کانال‌های بتونی مستقر هستند بتوانند بدون از دست دادن قدرت عایقی پوشش و ایجاد خوردگی در شیلد و یا زره، کار خود را انجام بدهند.
  - بتون پایه‌های تجهیزات و گنتریها، بتون کانال‌های کابل و فونداسیون ساختمانها با توجه به شرایط محیطی و طول عمر مفید بهره‌برداری پست بتوانند نیروهای وارده را تحمل و از پوسیدگی و ترک برداشتن آنها جلوگیری گردد.
  - خوردگی گالوانیکی تا حد امکان در محل اتصالات فلز به فلز و پیچ و مهره‌ها وجود نداشته باشد.
  - امکان شستشوی مقره‌های نگهدارنده شینه‌ها و تجهیزات وجود داشته باشد.
  - از خوردگی یراق‌آلات و سیم‌های هوایی بنحو مناسبی جلوگیری شود.

## ۱-۳- نیازهای یک طراحی صحیح

- در یک طراحی صحیح بایستی موارد زیر در نظر گرفته شوند :
- نیازهای مکانیکی و استحکام سازه بهمراه سهم خوردگی هر یک از اجزاء
  - استفاده از جوشکاری به جای پرچکاری (برای جلوگیری از خوردگی شکاری)
  - طراحی سیستم از نظر قابل تعویض بودن اجزاء
  - اجتناب از تنش‌های مکانیکی بالا و مراکز تمرکز تنش در قطعات در معرض محیط خوردنده
  - اجتناب از تماس فلزات غیرهمجنس (برای جلوگیری از خوردگی گالوانیک) و بطور کلی اجتناب از غیریکنواختی (فلزات غیر هم‌جنس، حباب هوا، گرادیان دما و غیره)
  - اجتناب از ایجاد گرادیان دمایی در قطعات
  - حذف هوا برای جلوگیری از احیاء اکسیژن در کاتد (جهت کاهش خوردگی)
  - استفاده از حفاظت کاتدیک

- حذف یا کم کردن اثرات محیطی (مثلاً GIS شدن پست)

## ۱-۴- روش طراحی

برای طراحی حفاظت در برابر خوردگی شیمیایی، آسیب جانوران و گیاهان، ابتدا گزارش فاز اول مهندسی احداث پست مورد مطالعه قرار می‌گیرد و بخشی از اطلاعات مورد نیاز طراحی که قابل استخراج از این گزارش است، استخراج و تدوین می‌گردد. قدم بعدی بدست آوردن لیست تجهیزات و اجزاء مختلف پست خواهد بود. در سومین قدم مطالعات بیولوژیکی و نوع موجودات آسیب‌رسان به تجهیزات بررسی و موارد مورد نیاز برای طراحی استخراج شده و سپس تهیه دستورالعمل‌های لازم برای جلوگیری از خوردگی و آسیب گیاهان و جانوران و شرایط محیطی و عوامل خوردگی مشخص شده برای تک تک تجهیزات و سیستم‌هایی که در معرض آسیب ناشی از خوردگی شیمیایی و آسیب گیاهان و جانوران قرار دارند در دستور کار قرار می‌گیرد. طراحی روش‌های حفاظت تجهیزات و اجزاء مختلف در برابر خوردگی بشرح زیر می‌باشند:

### ۱-۴-۱- روش حفاظت هادی‌های هوایی در برابر خوردگی

این هادیها معمولاً از آلومینیوم یا مس خالص تهیه می‌شوند لذا چندان در معرض خوردگی قرار ندارند. تنها خوردگی مؤثر در این مورد، می‌تواند ناشی از وجود سولفات یا ترکیبات سولفات در اتمسفر محل استقرار پست باشد که این امر ممکن است منجر به ترد شدن هادیهای مسی شود. در اینصورت می‌توان از پوشش‌های کرومات یا پوشش‌های نیکل بر روی آنها استفاده کرد. ضخامت این پوشش‌ها باید بنحوی تنظیم شود که بر هدایت الکتریکی این هادی‌ها تأثیر منفی نگذارد. لازم به ذکر است که این مشکلات بجز در اتمسفرهای صنعتی بسیار آلوده و همچنین در مناطق جنوبی کشور و تا فاصله ۵ کیلومتری از دریا، بندرت در سایر مناطق دیده شده است.

### ۱-۴-۲- روش حفاظت سیم‌های مسی متصل به سیستم زمین در برابر خوردگی

این سیم‌ها نیز در شرایط بسیار آلوده اتمسفرهای صنعتی ممکن است سولفات شده‌اند. بهترین روش برای جلوگیری از خوردگی آنها استفاده از پوشش برای این سیم‌هاست. در سایر نقاط بندرت این مشکل در مورد این سیم‌ها بوجود می‌آید.

### ۱-۴-۳- روش‌های حفاظت مقره‌ها در برابر خوردگی

معمولاً مهمترین مشکلی که در مورد مقره‌ها بوجود می‌آید، ایجاد رسوب بر روی مقره و کاهش مقاومت عایقی آنهاست. این رسوب در مناطق دریایی، از نوع نمک و در مناطق صنعتی معمولاً ترکیبات چرب است که چون براحتی تجزیه شده و بصورت یون درمی‌آیند باعث کاهش مقاومت الکتریکی مقره می‌گردند.

مؤثرترین روش در برطرف ساختن این عیب تمیز کردن و شستشوی مقره در فواصل زمانی معین است که این فواصل زمانی بستگی به نرخ نشست رسوب بر روی مقره دارد. لازم است قبل از آنکه این رسوبات بر خاصیت عایقی مقره تأثیر منفی گذارند زدوده شوند. همچنین مقره‌های سیلیکونی با توجه به عناصر معدنی موجود در ساختار خود دارای مقاومت حرارتی بسیار بالاتری نسبت به

پوشش‌های آلی می‌باشند. پوشش‌های ضد خوردگی سیلیکاتی خود در سه دسته موجودند که عبارتند از: اتیل سیلیکاتها، سیلیکاتهای پخت تأخیری و سیلیکاتهای هوا خشک که نوع اتیل سیلیکاتی پرمصرف‌ترین نوع در ایران است. این پوشش‌ها بدلیل ایجاد یک شبکه بزرگ معدنی مقاومت بسیار خوبی در مقابل مواد شیمیایی، حلال‌ها و عوامل خوردنده دارند. این پوشش‌ها گاه می‌توانند بصورت یک لایه ۴۰-۹۰ میکرونی سالها سطحی را از خوردگی محافظت نمایند.

تجربیات نشان داده است که با افزایش میزان رطوبت نسبی هوا، خوردگی در پراک‌آلات مقرردها افزایش می‌یابد که طراحی ویژه پراک‌آلات را به لحاظ جنس، پوشش و شکل اقتضا می‌نماید. به عنوان مثال بعضی تجربیات نشان داده است که مقرردهای با الکترودهای فداشونده (حلقه روی<sup>۱</sup>) برای استفاده در مناطق با آلودگی بالای دریایی و بیابانی یک گزینه مناسب محسوب می‌گردند. از موارد اصلی که به عنوان عامل مهم شروع فرآیند پیری و فساد اولیه مقرردهای پلیمری می‌توان ذکر کرد تشعشع ماوراء بنفش خورشیدی می‌باشد. تسریع پدیده پیری، کاهش خواص آبگریزی و اکسیداسیون سطوح از جمله مواردی است که در شرایط تابش شدید خورشید بر مقرردهای پلیمری وارد می‌گردند. در استاندارد ASTM G53 آزمون UV برای بررسی مقاومت مقرردهای پلیمری ارائه گردیده است و ضروری است مقرردهای پلیمری که در نقاطی با تابش UV زیاد به کار می‌روند از مواد مقاوم در برابر UV ساخته شده باشند و یا آزمون مذکور را با موفقیت گذرانده باشند. جدول ۱-۱ خلاصه تاثیرات شرایط محیطی بر مقرردها را به همراه پیشنهادات لازمه ارائه می‌دهد.

جدول ۱-۱: خلاصه تاثیرات شرایط محیطی بر مقره‌ها

عامل محیطی	موارد	توضیحات
	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	نوع و میزان آلودگی بر کارایی الکتریکی مقره‌ها به دلیل تاثیر در استقامت عایقی آنها تاثیر اساسی دارد.
آلودگی	پیشنهادات	<ul style="list-style-type: none"> <li>- اجرای پروژه‌های تحقیقاتی میدانی برای تهیه نقشه آلودگی برای کشور</li> <li>- انجام پروژه‌های لازم برای طراحی و انتخاب مقره‌های با پروفیل‌های مناسب در شرایط محیطی مختلف کشور</li> <li>- لزوم تدوین مبحث پوشش‌های مقره‌ها و ملزومات بکارگیری آنها در شرایط خاص</li> <li>- استفاده از تجربیات میدانی داخل کشور برای تصحیح جدول طبقه بندی آلودگی و فاصله خزشی مورد نیاز با توجه به مناطق خاص</li> </ul>
	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	نشاندن یا برداشتن ذرات آلودگی از روی سطح مقره‌ها و یراق‌آلات. به طور کلی باد کم آلودگی را بر روی مقره‌ها می‌نشاند و باد شدید آلودگی را از سطح مقره‌ها پاک می‌کند. علاوه بر آن باد شدید با ذرات شن و ماسه بر یراق‌آلات می‌تواند باعث تسریع خوردگی در آنها گردد.
باد	پیشنهادات	<ul style="list-style-type: none"> <li>- توجه به نتایج حاصل از تجربیات میدانی بکارگیری پروفیل‌های مختلف در نقاط مختلف کشور در طراحی و انتخاب مقره‌ها</li> <li>- اثر شن باد شدید در خوردگی یراق‌آلات و ساییدگی سطوح مقره‌ها با توجه به تجربیات داخل کشور رعایت گردد.</li> </ul>
	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	افزایش دمای نقطه تشکیل شبنم
دما	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	<p>نوسان دما</p> <p>رسیدن دمای شبانه‌روز به دمای نقطه تشکیل شبنم، باعث وقوع پدیده شبنم بر روی مقره‌ها و کاهش استقامت عایقی و افزایش خوردگی یراق‌آلات در آنها می‌گردد.</p> <p>عامل ایجاد انواع تنش‌های مکانیکی بر ساختار مقره‌ها و در نهایت شکست مکانیکی آنها</p>
	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	افزایش رطوبت هوا باعث افزایش خوردگی یراق‌آلات و همچنین باعث کاهش استقامت عایقی مقره‌ها در شرایط آلودگی می‌گردد.
رطوبت	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	کاهش استقامت عایقی مقره‌ها با افزایش ارتفاع محل نصب
ارتفاع	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	ایجاد نیروهای مکانیکی بر یراق‌آلات مقره‌ها و احتمال شکست مکانیکی
زمین لرزه	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	اعمال نیروهای مختلف مکانیکی
سرعت باد و بار یخ	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	افزایش سرعت خوردگی در یراق‌آلات و کاهش استقامت عایقی سطحی مقره‌ها به دلیل مرطوب شدن سطح مقره‌ها در بارش‌های اولیه
باران	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	در شروع و تسریع فرآیند پیرسازی و در نهایت کاهش استقامت عایقی مقره‌های غیرسرامیکی تاثیر اساسی دارد
تشعشعات حرارتی و ماوراء بنفش خورشید	پیشنهادات	انجام آزمون UV با توجه به استاندارد ASTM برای انتخاب و به کارگیری مقره‌ها
صاعقه	چگونگی یا میزان تاثیر گذاری	باتوجه به اینکه مقره‌ها باید بتوانند اضافه ولتاژهای مشخصی را در دوره کاری خود بدون رخداد شکست الکتریکی تحمل نمایند، در طراحی سطح عایقی مقره‌ها، سطح ایزوکرونیک منطقه نصب کاربرد می‌یابد.

### ۱-۴-۴- روشهای حفاظت لوله‌های تأسیسات در برابر خوردگی

این لوله‌ها معمولاً از نوع لوله‌های سفید (گالوانیزه) هستند که در محیط‌های معمولی چندان مشکل خوردگی ندارند، ولی در محیط‌های با نمک خیلی بالا و خصوصاً دارای ترکیبات سولفات، ممکن است خورده شده و پوشش محافظ آنها تخریب گردد. در این صورت لازم است از سایر روشهای حفاظت نیز استفاده شود. قراردادن این لوله‌ها در پشم شیشه، استفاده از پوشش قیر یا کولتار اپوکسی یا آستری واش پرایمر و پوشش حفاظتی میانی و رویه بر آن و یا حفاظت کاتدی در این مورد می‌تواند مؤثر واقع شوند. در شرایط حاد خورنده نظیر سواحل جنوبی، استفاده از روش حفاظت کاتدی به‌مراه پوشش‌ها بسیار مفید و مطمئن می‌باشد.

### ۱-۴-۵- سازه‌های فلزی

سازه‌های فلزی معمولاً از جنس فولاد با روکش گالوانیزه گرم تهیه می‌شوند. در مورد بخش‌هایی از این سازه‌ها که در معرض اتمسفر قرار گرفته‌اند (بجز در محل اتصال پیچ و مهره) معمولاً جای نگرانی وجود ندارد و در مقابل هر نوع شرایط آب و هوایی مقاوم هستند. در این بخشها معمولاً مشکل در محل کاربرد پیچ و مهره بوجود می‌آید که ممکن است خوردگی در آن تمرکز یابد. این نوع خوردگی معمولاً از نوع گالوانیکی است و علت آن غالباً به عدم استفاده از پیچ و مهره گالوانیزه، یا از بین رفتن پوشش گالوانیزه در هنگام بستن پیچ و مهره برمی‌گردد. در صورتیکه پیچ و مهره گالوانیزه در دسترس نباشد بهتر است که با بکاربردن واش‌های لاستیکی یا پلاستیکی، از ایجاد اتصال مستقیم بین پیچ و مهره و سازه جلوگیری کرد. بعلاوه در هنگام بستن پیچ و مهره‌ها دقت شود که نیروی اعمالی موجب تخریب پوشش گالوانیزه نگردد.

در سازه‌های فلزی، حادثین قسمت پایه‌های آن است که در داخل بتون قرار می‌گیرند. هرچه میزان یون‌های سولفات در بتون بیشتر باشد، خوردگی پایه‌های سازه بیشتر خواهد بود لذا مؤثرترین روش جلوگیری از این نوع خوردگی، استفاده از بتونی است که دارای مقداری اکسید آلومینیوم است که این اکسید موجب افزایش پایداری بتون و جلوگیری از واکنش شیمیایی آن با مواد دیگر و ایجاد خوردگی در پایه‌های سازه می‌گردد. بعلاوه رعایت دستورالعمل‌ها و استانداردهای بتون‌ریزی و استفاده از آب مناسب با سختی پایین در فرآوری بتون می‌تواند نقش بسیار مؤثری را در رفع این عیب بر عهده داشته باشد.

راهکار دیگر، استفاده از پوشش حاوی پودر روی، بر پایه سازه درون بتون است. این پوشش باید حدوداً از ۱۵ سانتیمتری بالای بخش قرار گرفته در بتون، بکار رود.

### ۱-۴-۶- روش حفاظت بتن در مقابل خوردگی

مهمترین عاملی که موجب خوردگی و تخریب بتون می‌گردد سولفات شدن آن است. عواملی که باعث از بین رفتن حالت بازی بتون می‌شوند در مجاورت آب یا بصورت محلول، ترکیبات آهک سیمان را تغییر داده و موجب فروپاشی بتون می‌شوند. آب هرز تحت شرایط فقدان هوا بوسیله عمل باکتریها ایجاد هیدروژن سولفور می‌نماید که می‌تواند اسید سولفوریک با غلظت مقطعی تا میزان ۷ درصد ایجاد نماید. این عمل باعث تخریب سریع بتون می‌شود. آب تصفیه شده نیز به علت داشتن مقدار کمی یون، دارای pH ۴ یا ۵ است و می‌تواند به تدریج بتون را حل نماید.

### ۱-۴-۷- بررسی تجهیزات مدفون در خاک

تجهیزات این سیستم از نوع سیم و اتصالات مسی است که بخوبی می‌توانند در محیطهای معمولی (محیطهای با نمک کم و مقاومت زیاد خاک) در برابر خوردگی مقاومت نمایند. اما چنانچه میزان نمک در خاک زیاد باشد و خصوصاً اگر ترکیبات سولفات در آن وجود داشته باشد، باعث سولفات شدن تجهیزات شده که موجب ترد شدن آن و تبدیل رنگ آن به رنگ سبز می‌شود. بهترین روش در برطرف ساختن این عیب تغییر محیط خورنده است. یعنی تعویض خاک محل عبور تجهیزات با خاکی که دارای نمک یا ترکیبات سولفات کمتر است و همچنین تغییر pH خاک نیز می‌تواند عملی مفید در جلوگیری از این نوع خوردگی باشد. وارد نمودن ترکیباتی که pH خاک را به سمت مقادیر خنثی ( $pH \approx 7$ ) متمایل می‌سازند و یا استفاده از ممانعت‌کننده‌ها می‌تواند روشی مؤثر در این زمینه باشد. کندکننده‌ها (ممانعت‌کننده‌ها) مواد شیمیایی هستند که با افزودن آنها به مقادیر جزئی در محیطهای خورنده میزان خوردگی بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

### ۱-۴-۸- روش حفاظت سینی‌های کابل، پایه نگهدارنده و اتصالات داخل کانالها در برابر خوردگی

این تجهیزات همگی از فولاد گالوانیزه گرم ساخته می‌شوند و آنچنانکه قبلاً ذکر شده، معمولاً مقاومت خوبی در برابر خوردگی در هر نوع شرایط آب و هوایی از خود نشان می‌دهند. در این نوع تجهیزات تنها خوردگی گالوانیکی در محل اتصالات و پیچ و مهره‌ای وجود دارد که با استفاده از روشهای گفته شده در مورد سازه‌های فلزی می‌توان از این خوردگی جلوگیری نمود.

### ۱-۴-۹- روش حفاظت کابل‌های پست فشار قوی در برابر خوردگی

از عبور مسیر لوله‌گذاری، از داخل خاکهای خورنده حتی‌الامکان بایستی اجتناب شود. در غیر اینصورت چنانچه که مجاری کابل لازم است در این نوع خاکها ساخته شود، بایستی آن را طوری ساخت که خوردگی آن به حداقل برسد. بعد از مشخص شدن مسیر تقریبی عبور کابل، خاک از لحاظ شیمیایی باید مورد آزمایش قرار گیرد و چنانچه حاوی موادی از قبیل نمک، کلر، اسید و آهک باشد لازم است نوع کابل یا مسیر آن تغییر نماید. وجود مواد خورنده بسته به نوع، کمیت و میزان نفوذ به کابلها، باعث فساد شیمیایی پوشش خارجی، خوردگی غلاف خصوصاً آلومینیومی، نزول کیفیت مواد سایر اجزاء کابل (از جمله شکنندگی PVC و تورم ترکیبات داخلی) و غیره می‌شوند. بنابراین، این نوع علل خرابی می‌تواند برای انواع کابلها مورد توجه قرار گیرد.

خوردگی در پوشش سربی کابل‌های انتقال مدفون در زمین، عموماً ناشی از الکترولیز است. حفره‌هایی که در نتیجه این نوع خوردگی تشکیل می‌شوند هم می‌توانند از خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان نتیجه شوند و هم می‌توانند ناشی از تشکیل پیل‌های موضعی باشند. شکل‌گیری این پیل‌های موضعی معمولاً متفاوت بوده و به محیطهای خورنده که غالباً دارای اختلاف در غلظت می‌باشند نیز وابسته است. به این ترتیب هنگامی که لوله‌ها یا کابلها یا تجهیزات مدفون دیگر در تماس با خاکهای مختلف بوده و یا هنگامی که در خاکی که درصد نمک و رطوبت آن متغیر است قرار می‌گیرند پیل‌های غلظتی در سطح آنها تشکیل می‌گردد. هنگامی که کابلی از منطقه‌ای با خاک طبیعی به منطقه‌ای با خاک دستی می‌رود در فصل مشترک خاکها یا نزدیک به آن می‌تواند تحت خوردگی قرار گیرد. به این ترتیب آن قسمت از کابل که در زمین ماسه‌ای قرار گرفته نقش کاتد و آن قسمت از کابل که در زمین خاک رسی یا خاک مرطوب قرار می‌گیرد نقش آند را خواهند داشت.

خطر خوردگی اجزاء مختلف کابل خصوصاً آلومینیوم (معمولاً بعنوان غلاف) بستگی به شرایط محیطی ویژگیهای ساختاری کابلها دارد. تا جائیکه به کابلها مربوط می شود رایج ترین علل خوردگی، اتصال با مواد فعال است که بدلیل ریختن اتفاقی این مواد در محوطه کابل و یا وجود قبلی آنها در محیط صورت می گیرد. خراشیدگی ها و آسیب های سطحی کابل هنگام نصب یا پس از نصب در اثر عملیات دیگر از جمله حفاری و غیره نیز می تواند در این مورد عامل ثانوی باشد. در حالت کلی رنگ زدن کابلها بی ضرر است، اما موادی همچون جوهر مس و مایعات نگهدارنده ای که ترکیبات مس دارند نباید برای رنگ کاری کابلها یا سطوحی که با کابلها تماس دارند بکار روند. زیرا جلوگیری از آلودگی بوسیله این مواد که بصورت مایع بکار می روند و منجر به فساد شیمیایی پوشش کابلها می گردند تقریباً غیرممکن است. حتی نصب کابلها بر روی سطوحی که از قبل با این مواد رنگ شده و خشک گردیده اند نیز مشکل ساز خواهد بود.

در برخی محیطهای صنعتی، مواد آلوده کننده و مضر ممکن است بعنوان بخش اصلی از فرآیند روزمره محیط مورد نظر باشند. فرآیندهایی شیمیایی، آبراری فلزات، کار با ترکیبات نفتی و غیره از جمله فرآیندهای مورد بحث هستند. غلافهای PVC<sup>1</sup>، PCP<sup>1</sup> و CSP<sup>2</sup> همگی دارای سوابق مناسبی در ایجاد حفاظت در اینگونه موارد می باشند.

اگر مایعات هیدروکربن و حلالهای آلی هرچند به مقدار کم برای مدت زمان قابل توجهی در محوطه کابل حضور داشته باشند با جداسازی مواد پلاستیک کننده باعث شکنندگی ترکیبات PVC می گردند. جذب روغن و حلالهای مورد نظر باعث نرم شدن و تورم ترکیبات پخت حرارتی کابل (یعنی ترکیباتی که با حرارت پخته و سخت شده اند) می گردند. ماندگاری و دوام اثرات بعدی این جذب، بستگی به میزان فراریت و درجه آلودگی مایع مورد نظر دارد. نرم شدگی و تورم حاصل از حلالهای فرار و قابل تبخیر عموماً پس از تبخیر مایع، ناپدید می شود و بدلیل شکننده شدن ممکن است در کابل خرابی دائمی ایجاد گردد.

### ۱-۴-۱۰- روش حفاظت از آسفالت خیابانهای داخلی

جهت جلوگیری از رشد گیاهان مضر در سطح پست و جلوگیری از تخریب آسفالت خیابانهای داخلی از علف کش های مناسب استفاده شود.

### ۱-۴-۱۱- روش حفاظت تابلوهای محوطه (بدنه و تجهیزات فلزی داخلی آنها)

همانطور که می دانیم خوردگی گالوانیکی در پست های انتقال نیرو در تجهیزات فلزی نصب شده مثل استراکچرها، تابلوها و سایر قسمتهای فلزی پست که دارای اتصالات می باشند رخ داده و لذا استفاده از حفاظت کاتدی یا آندی قابل استفاده نیست. در این حالات می توان از دو روش استفاده از پوشش ها و رنگ زدن (متناسب با کاربرد آنها) استفاده نمود. مثلاً در استراکچرها روش استفاده از پوشش ها به وسیله گالوانیزه کردن و در تابلوها رنگ زدن (ضمن استفاده از ورق های گالوانیزه در ساخت تابلوها) مورد استفاده قرار می گیرد.

<sup>۱</sup>- لاستیک کلروپرن

<sup>۲</sup>- لاستیک کلروسولفونیت پلی اتیلن



### ۱-۴-۱۲- روش حفاظت ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ در برابر خوردگی

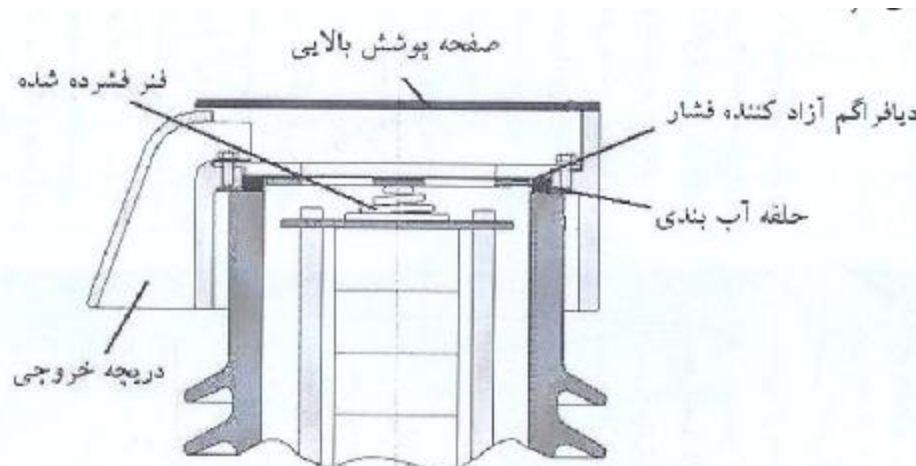
- ۱- هر بخش از تجهیزات باید از مواد مقاوم در برابر زنگ زدگی ساخته شود. استفاده از رنگ آمیزی به عنوان وسیله اصلی محافظت در برابر زنگ زدگی قابل پذیرش نخواهد بود. تمام قسمتهایی که در معرض خوردگی می باشند باید از مواد ضد خوردگی ساخته شوند یا بر طبق استاندارد ISO 1461 گالوانیزه گرم گردند.
- ۲- ترانسفورماتورها باید بطور کامل آب بندی شوند. عایق های داخلی باید بطور رضایت بخش و دائم در برابر رطوبت محافظت شده باشند. وسایل آب بندی تجهیزات باید مقاوم در برابر آفتاب، هوا، روغن و آب باشند.
- ۳- کنترل کیفیت گالوانیزه برای شرایط سخت، مانند سواحل جنوبی، باید با دقت خیلی زیاد انجام گیرد.
- ۴- ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان باید به یک جعبه ترمینال ثانویه با صفحه نگهدارنده کابل قابل برداشتن مجهز باشد که در این ارتباط باید نکات ذیل مورد توجه قرار گیرد:
  - جعبه ترمینال باید مطابق با درجه حفاظت IP54 یا IP55 حفاظت شده و وقتی که ترانسفورماتور ولتاژ یا جریان در حال کار است نیز قابل دسترسی و سوراخ های نفس کش آن در مقابل بارندگی محفوظ و با تور پوشیده شده و در مقابل اثرات نور خورشید، آب و هوا مقاوم باشد.
  - کلیه قطعات فلزی واقع در این جعبه ترمینال باید در مقابل خوردگی مقاوم باشند. در صورت لزوم گرم کننده ضد تقطیر مجهز به ترموستات باید تعبیه گردد. لزوم نصب گرمکن ضد تقطیر بستگی به مشخصات اجزاء بکار رفته در ترمینال ثانویه، به لحاظ خوردگی در مقابل شرایط محیطی دارد.
- ۵- جهت درج مقادیر نامی یک صفحه از جنس فولاد ضد زنگ یا سایر مواد غیر قابل خوردگی مقاوم در برابر هوا باید روی ترانسفورماتور و در یک محل مناسب رویت تعبیه شود. نوشته های روی صفحه باید با روش تایید شده نظیر قلمکاری، حکاکی یا سایر روشها درج گردد. دیاگرام اتصالات و نیز اطلاعات باید روی صفحه مزبور آمده باشد.
- ۶- کلیه پیچ و مهره ها و عناصر اتصال دهنده باید از فلز مقاوم در برابر خوردگی باشند.
- ۷- در ترانسفورماتورهای جریان نوع گازی (SF<sub>6</sub>) پایه و محفظه سر ترانسفورماتور جریان باید از جنس آلومینیوم مرغوب ریخته گری یا فولاد گالوانیزه با پوشش رنگ باشد.

### ۱-۴-۱۳- روش حفاظت برقگیرهای اکسید فلزی در برابر خوردگی

- ۱- برقگیر باید مجهز به پایه ها و گیره های گالوانیزه گرم جهت اتصال آن به طرف فشار قوی و زمین از طریق هادی های مسی و آلومینیومی به اندازه های ذکر شده در استاندارد باشد.
- ۲- هر بخش از برقگیر می بایست از مواد مقاوم در برابر خوردگی ساخته شود. رنگ آمیزی به عنوان روش حفاظت در برابر خوردگی پذیرفته نیست.
- ۳- کلیه کمربندهای محکم کننده، نگهدارنده های نصب و براق آلات مربوطه باید از فولاد گالوانیزه گرم باشد.
- ۴- متعلقات و نگهدارنده های ساخته شده از فولاد محفظه برقگیر باید از فولاد قابل شکل گیری و با گالوانیزه گرم شوند.

۵- دیافراگم آزادکننده فشار (سوپاپ اطمینان) در برقگیرهای پورسلینی باید از جنس فولاد زنگ نزن با خلوص بسیار بالا و یا نیکل باشد که تنها چند دهم میلیمتر ضخامت دارد. معمولاً در طراحی برقگیر، اطمینان از مقاومت این دیافراگم در برابر خوردگی برای مدت طول عمر مورد انتظار (۳۰ سال) بسیار مشکل است. این دیافراگم بر روی حلقه آببندی پرس گردیده و توسط یک حلقه فلزی به فلنج پیچ می‌شود و اهمیت دارد که تنها از ترکیبات تطبیق‌پذیر از لحاظ خوردگی و واکنشهای الکتروشیمیایی استفاده گردد که در غیر این صورت، خوردگی موجب ایجاد نشستی در یک دوره زمانی نسبتاً کوتاه می‌گردد. در شکل (۱-۱) طرح سیستم آببندی یک برقگیر متعارف پورسلینی نمایش داده شده است.

۶- تمامی اتصالات باید توسط موادی که تحت هیچ شرایط کاری فسادپذیر نباشند، مهر و موم و آببندی شوند.



شکل ۱-۱: مکانیزم آببندی در برقگیرهای متعارف پورسلینی

## ۱-۴-۱- روش حفاظت در برابر جانوران و گیاهان و موجودات بیولوژیکی

### ۱-۴-۱-۱- کابل‌های فشار متوسط توزیع

رایج‌ترین شکل خرابی توسط جانوران جویدن کابلها توسط موشها می‌باشد. واضح است که موشها هر ماده یا شیئی که مسیر مناسب یا راه دویدن آنها را سد کند می‌جویند. بنابراین محدوده انواع کابلی که به این علت ممکن است خراب شوند بستگی به نوع حفاظت آنها دارد. موارد این نوع خرابی در کابل‌های با غلاف سربی نیز گزارش شده‌اند. تنها حفاظت مناسبی که برای کابلها از این نظر می‌توان در نظر گرفت، یک پوشش سخت فلزی در قالب غلاف یا زره محافظ می‌باشد. یادآور می‌شود که زره‌های نوع رشته‌ای (WIRE) بر زره‌های نوع تسمه‌ای (TAPE) ارجحیت دارند.

### ۱-۴-۱-۲- برقگیرهای اکسید فلزی

آسیب‌های حاصله از پوسیدگی، خشکیدگی و قارچ‌زدن می‌باید از طریق لعاب‌کاری، روکش‌کاری، ورنی زدن یا سایر طرق موثر جلوگیری گردد. این امر بایستی هم در برقگیرهای با بدنه پورسلینی و هم در برقگیرهای با بدنه پلیمری رعایت گردد.

### ۱-۴-۳- ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ

آسیب‌های حاصل از پوسیدگی، خشکیدگی و قارچ‌زدن باید از طریق لعاب‌کاری، روکش‌کاری یا سایر وسایل موثر جلوگیری گردد. فروشنده باید در پیشنهاد خود نوع وسایل حفاظتی مورد استفاده در این رابطه را قید نماید. در ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی باید تمام اقدامات جهت حفاظت ترمینال کویلینگ فرکانس بالا در برابر باران و جانوران موذی در هنگام استفاده صورت گیرد، بطوریکه احتمال اتصال کوتاه به زمین از بین رود.

### ۱-۴-۴- ترانسفورماتورهای قدرت

در صورت قرار گرفتن محل پست در مناطق پرجمعیت و شهری و یا مناطقی که حیوانات در آنجا زیاد می‌باشند، احتمال ورود حیواناتی از جمله گربه و سگ به داخل محوطه پست زیاد بوده و ممکن است این حیوانات باعث ایجاد خطا قطع موقت و یا طولانی مدت پست گردند. در نتیجه وجود تورهای محافظ که از ورود حیوانات به محوطه پست به خصوص ترانسفورماتورها جلوگیری کند الزامی است.

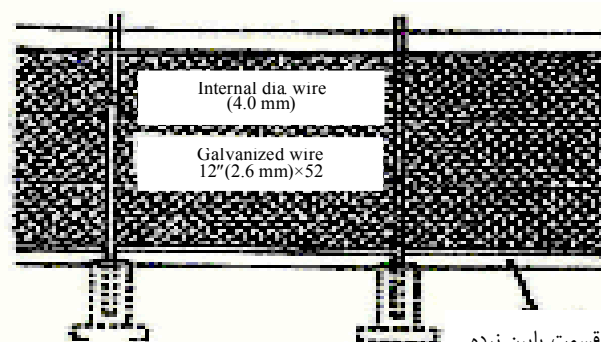
همچنین استفاده از عایق‌های پلیمری بر روی شینه‌های پست، از بروز اتصال کوتاه فازها جلوگیری خواهد نمود. این مورد جهت حفاظت در مقابل اتصال کوتاه ناشی از ورود پرندگان بسیار کارآمد می‌باشد. مطابق با استاندارد IEEE Std C57.12.00 چنانچه کاربر در ارتباط با کاهش فواصل عایقی جرعه<sup>۱</sup> و خطرات احتمالی ناشی از آن به علت نشستن پرندگان و یا حیوانات با توجه به تجربیات قبلی نیاز به طراحی ویژه‌ای را احساس می‌نماید، بایستی در مشخصات ارسالی افزایش فاصله عایقی جرعه میان بوشینگ‌ها را درخواست نماید. این امر به ویژه در سطوح ولتاژی پایین که بطور متناسب فاصله عایقی هوایی جرعه پایین‌تری را دارا می‌باشند اهمیت بیشتری می‌یابد.

### ۱-۴-۵- جلوگیری از خوردگی توسط سایر جانوران و حیوانات

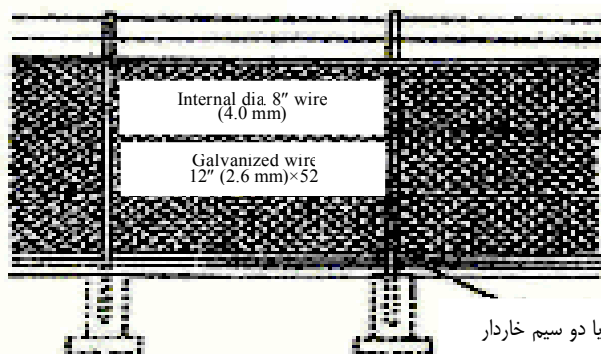
برای جلوگیری از خوردگی توسط جانوران لازم است با توجه به موقعیت پست و نوع حشرات و جانوران موجود در منطقه و زمانها و شرایطی که ظاهر می‌شوند راه‌حل‌ها و روش‌های مناسب مورد استفاده قرار گیرد. جدول (۱-۲) و شکل‌های (۱-۲) تا (۱-۴) چند گزینه نمونه در ارتباط با کاربردها و سیستمها و روشهای مقابله با نفوذ حیوانات کوچک به پست و تجهیزات می‌باشند.

جدول ۱-۲: سیستم‌ها و روشهای نمونه مقابله با نفوذ حیوانات و جانوران کوچک به پست

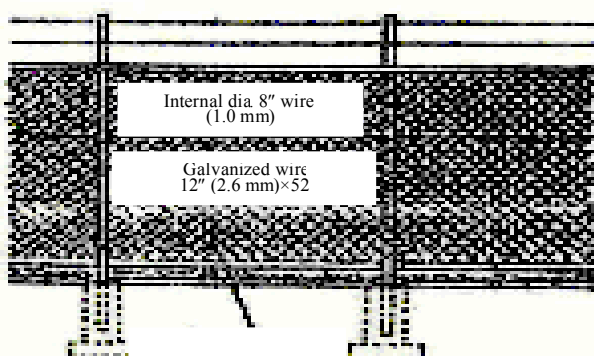
اهداف سیستم‌های مقابله	جلوگیری از نفوذ جانوران از خارج به پست	جلوگیری از صعود جانوران از پایه‌ها و تجهیزات و حفاظت طرف ۲۰ کیلوولت ترانسفورماتورها	جلوگیری از نفوذ جانوران به داخل تابلوهای محوطه و جویده شدن پوشش کابلها	جلوگیری از نفوذ جانوران به داخل ساختمانها
سیستمهای مقابله	مسدود کردن قسمت پایین فنس (شبکه سیمی) با احداث پی بتنی	۱- ایجاد مانع واشکال جهت صعود جانوران ۲- استفاده از داروها و سموم ۳- حفاظت	۱- مسدود کردن سوراخهای محل عبور کابلها ۲- استفاده از داروها و سموم	مسدود کردن فصل مشترک داخل ساختمان با ورودی کانال‌های کابل
جزئیات سیستم و روشهای مقابله	۱- پایین آوردن ارتفاع فنس به نزدیک زمین ۲- نصب یک یا دو سیم خاردار بین پای فنس و سطح زمین ۳- نصب صفحات آهنی و پلاستیکی با توری ریزپلاستیکی از سطح زمین تا ارتفاع ۵۰ تا ۷۵ سانتیمتر ۴- ممنوعیت از نگهداری حیوانات خانگی در محدوده پست ۵- از بین بردن عوامل جذب حیوانات موزی و پرندگان به داخل محوطه پست به خصوص در مناطقی که پستها در داخل منطقه مسکونی قرار گرفته‌اند. ۶- محصور نمودن محوطه با توری گالوانیزه و ایجاد شیب منفی در بالای توری با ورق گالوانیزه	۱- استفاده از پروفیل تیرآهن ۲- پوشاندن قسمتهای پایین استراکچرها بوسیله صفحات آهنی ۳- استفاده از کابل برای اتصالات ثالثیه ترانسفورماتورهای قدرت و طرف ۲۰ کیلوولت ترانسفورماتورهای زمین- کمکی ۴- استفاده داروها و سموم ضد جانوران ۵- استفاده از فنس توری مسقف برای ترانسفورماتورهای تغذیه داخلی، زمین و راکتورهای ۲۰ کیلووات مرتبط با سیم‌پیچ سوم. ۶- انجام بانداژ عایقی بر روی اتصالات سر پوشینگ‌های سیم‌پیچ سوم و تجهیزات مرتبط با آن جهت افزایش فاصله گالوانیزه	۱- استفاده از فوم در زیر تابلوها ۲- استفاده از گلند کابل در تابلوها ۳- استفاده از داروها و سموم ۴- قراردادن خروجی ثالثیه ترانسفورماتورهای قدرت و همچنین ورودی و خروجی ترانسفورماتورهای زمین-کمکی در داخل جعبه کابل ۵- استفاده از دارو و سموم مناسب	۱- استفاده از فوم نئوسل ۲- انباشتن کیسه‌های شن



پایین آوردن قسمت پایین نرده تا نزدیک سطح زمین

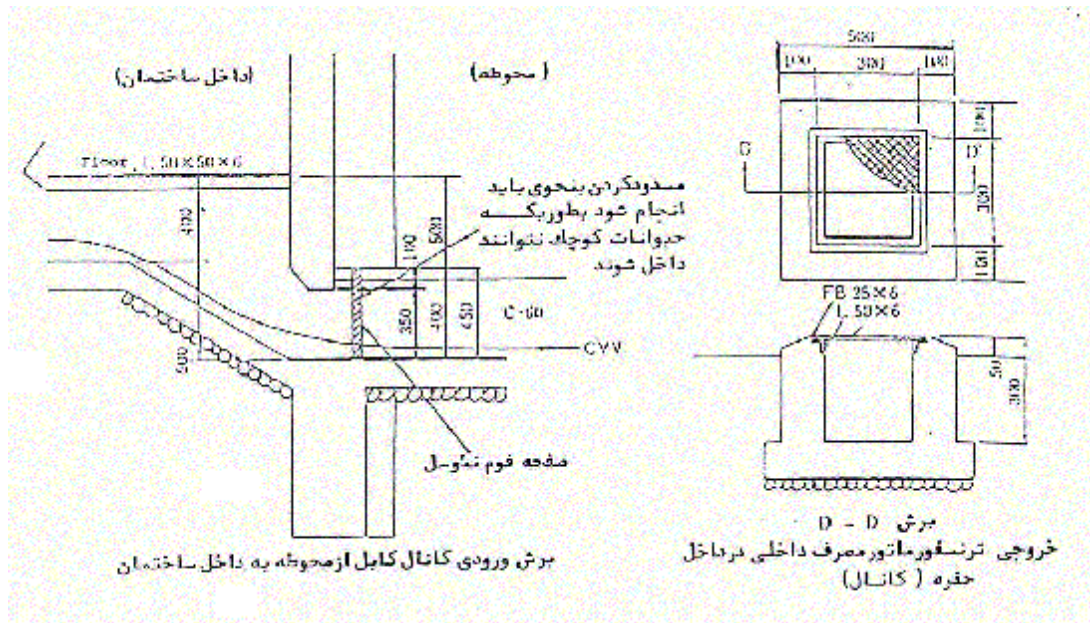


نصب یک یا دو سیم خاردار

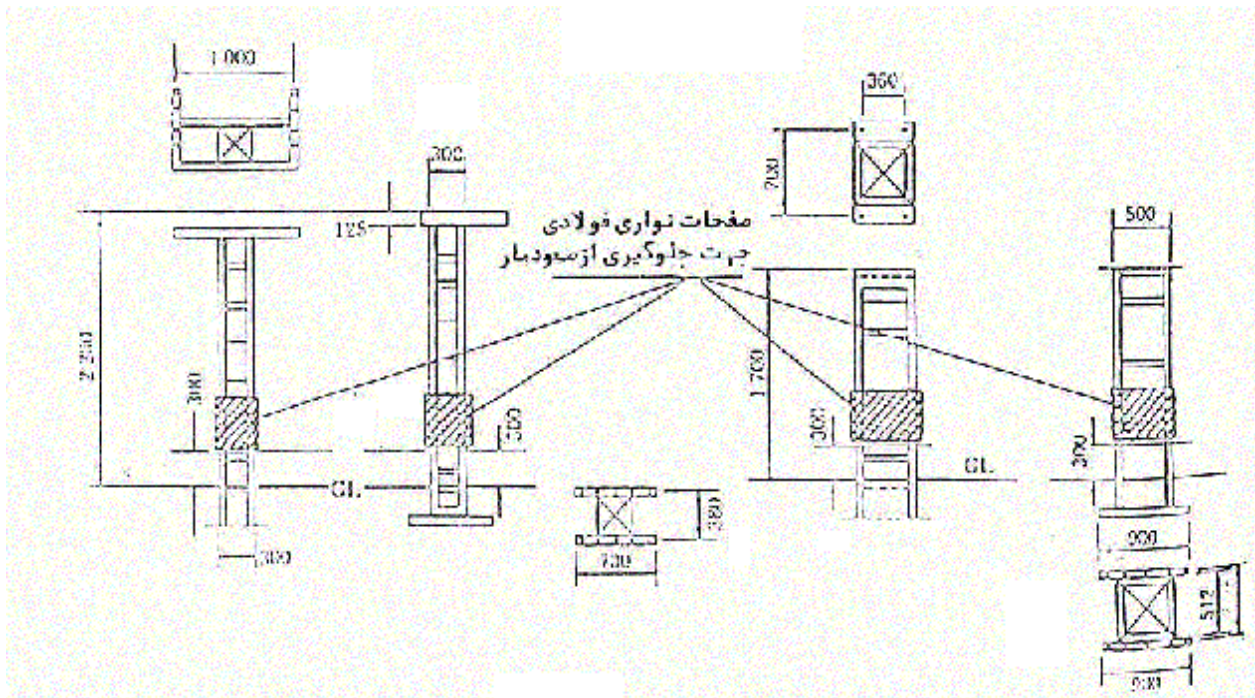


نصب صفحات آهنی یا پلاستیکی و یا توری ریز پلاستیکی

شکل ۱-۲: روشهای جلوگیری از نفوذ جانوران بوسیله تغییرات در نرده‌کشی اطراف پست



شکل ۱-۳: روشهای مقابله با ورود جانوران به داخل ساختمانها



شکل ۱-۴: روش مقابله با صعود جانوران از سازهها و پایههای مختلف در پست

### ۱-۴-۱۵- توصیه‌های کلی در خصوص اجتناب از خوردگی

- به جای پرچکاری از جوشکاری استفاده کنید. اتصالات پرچی نقاط مناسبی برای خوردگی شیاری هستند.
- سیستم‌ها را طوری طراحی کنید که اجزائی که سرعت خورده می‌شوند بسهولة قابل تعویض باشند.
- از کنش‌های مکانیکی بالا و مراکز تنش در قطعاتی که در معرض محیط خورنده قرار دارند بپرهیزید.
- حتی‌الامکان از تماس الکتریکی فلزات غیرهمجنس جلوگیری کنید تا خوردگی گالوانیکی بوجود نیاید. در صورت امکان در تمام سیستم از یک نوع فلز یا آلیاژهای هم خانواده استفاده کنید و در غیر اینصورت فلزات غیرهمجنس را از هم عایق نمائید.
- از ایجاد شیب دمائی در قطعات یا دستگاهها جلوگیری کنید و یا طوری عمل کنید که شیب درجه حرارت یکنواخت باشد. توزیع غیریکسان درجه حرارت منجر به گرم شدن موضعی و سرعت‌های خوردگی بالا میشود. بعلاوه نقاط گرمتر باعث تنش‌هایی میگردد که ممکن است منجر به خوردگی توام با تنش گردد.
- موقع طراحی حذف هوا را مدنظر قرار دهید. احیا اکسیژن یکی از مهمترین واکنش‌های کاتدی در خوردگی است و اگر اکسیژن حذف گردد غالباً خوردگی نیز کم شده یا متوقف میگردد.
- کلی‌ترین قانون، اجتناب از غیر یکنواختی است. فلزات غیرهمجنس، حباب‌های هوا، توزیع غیریکنواخت درجه حرارت و تنش اختلافات دیگر در نقاط مختلف سیستم باعث خوردگی میگردد. لذا هنگام طراحی بایستی سعی شود کلیه شرایط را در تمام سیستم تا حد امکان یکنواخت کرد.
- جهت افزایش مقاومت به خوردگی، حتی‌الامکان از فلزات خالص استفاده شود چرا که اصولاً مقاومت به خوردگی یک فلز خالص معمولاً بهتر از فلز ناخالص است.
- اثر شرایط اقلیمی در حین حمل و نقل بر تجهیزات، ماهیت موقتی دارد که عمدتاً بر نوع و نحوه ساخت سیستم بسته‌بندی تاثیر می‌گذارد. شرایط لازم در حین جابجایی، انبارداری و نصب در استاندارد DIN VDE 0660 Part 500 آورده شده است. بجز در مواردی که مشخص گردیده‌اند، لازم است که شرایط ذیل برآورده شوند:
- رطوبت نسبی در دمای +۴۰ درجه سانتیگراد نباید از ۵۰ درصد تجاوز نماید. در دمای +۲۵ درجه سانتیگراد تغییرات جزئی از این مقدار مجاز است.
- عموماً محدوده دمایی +۵۵ درجه سانتیگراد تا -۲۵ درجه سانتیگراد مجاز است. درجه حرارت +۷۵ درجه سانتیگراد سقف ۲۴ ساعت مجاز است.
- برای حفاظت لوله‌های تاسیسات در مقابل خوردگی مدفون در شرایط محیطی عادی که خوردگی سیستم زمین و لوله‌های تاسیسات نمی‌تواند زیاد چشمگیر باشد استفاده از پوشش‌های توام فلزی و غیرفلزی پیشنهاد می‌گردد ولی در محیط‌هایی که دارای خوردگی بالا و مقاومت خاک کمتر هستند مثل مناطق جنوب خصوصاً استان هرمزگان می‌توان از حفاظت کاتدی یا آندی برای سیستم زمین استفاده نمود.
- برای جلوگیری از نفوذ جانوران از خارج به پست، پائین آوردن فنس به نزدیک زمین، نصب یک یا دو سیم خاردار در پای فنس و نصب صفحات آهنی و پلاستیکی یا توری در پای فنس پیشنهاد گردیده است که پائین آوردن فنس به نزدیک

زمین در مقابل نصب صفحات آهنی، پلاستیکی یا توری مقرون به صرفه تر می باشد و برای حفظ یکنواختی و زیبایی نسبت به نصب سیم خاردار ارجح می باشد.

- برای جلوگیری از صعود جانوران از پایه ها و تجهیزات، استفاده از پروفیل، پوشاندن قسمتهای پائین استراکچرها توسط صفحات آهن و استفاده از فوم آغشته به سم پیشنهاد گردیده اند که به نظر می رسد با محافظت کامل از ورود جانوران به داخل پست نیازی به این اقدامات نباشد. ولی پوشاندن قسمتهای پائین استراکچرها توسط صفحات آهن روش ارجح و قابل اعمالی به نظر می رسد.
- برای جلوگیری از نفوذ جانوران به داخل تابلوهای محوطه و حفاظت ثالثیه ترانسهای قدرت، قراردادن خروجی ثالثیه ترانسفورماتورها در داخل داکت و یا استفاده از کابل ۲۰ کیلوولت برای ارتباطات پیشنهاد گردیده اند که استفاده از کابل ضمن عملی تر بودن مقرون به صرفه تر نیز می باشند.
- برای جلوگیری کردن از ورود جانوران به داخل ساختمان کنترل و رله از طریق کانالهای کابل استفاده از فوم و انباشتن کیسه های شن پیشنهاد گردیده اند که استفاده از کیسه های شن مقرون به صرفه می باشد.
- برای حفاظت بتن در مقابل خوردگی ضمن پیشنهاد استفاده از سیمان نوع ۵ (۳۸ درصد  $C_3S$ ، ۴۳ درصد  $C_2S$ ، ۴ درصد برای  $C_3A$  و ۹ درصد  $C_4AF$ ) و رعایت استاندارد فرآوری براساس شرایط محیط مورد استفاده، آندودکردن سطح سیمان، قیرگونی کردن، استفاده از رنگ روی بتن و الیاف مصنوعی در زمان ساخت در داخل بتن پیشنهاد می گردد.
- در صورت وجود سولفات یا ترکیبات سولفات در اتمسفر محل استقرار پست توصیه می گردد از پوشش های کروماته یا پوشش های نیکل بر روی هادی های هوایی (معمولاً از آلومینیوم یا مس خالص) استفاده می شود. ضخامت این پوشش ها باید به نحوی تنظیم شود که بر هدایت الکتریکی این هادی ها تاثیر منفی نگذارد.
- جهت جلوگیری از ایجاد رسوب بر روی مقره و کاهش مقاومت عایقی آنها، مؤثرترین روش، تمیزکردن و شستشوی مقره در فواصل زمانی معین است. در مناطقی نظیر استان هرمزگان، استفاده از مقره های سیلیکونی علاوه بر آنکه پاسخ بهتری نسبت به مقره های آلومینایی دارد، دارای فواصل زمانی شستشوی طولانی تری است و در برخی مناطق این فاصله زمانی بسیار قابل توجه است.
- چنانچه لوله های تاسیسات که معمولاً از نوع لوله های سفید (گالوانیزه) هستند، در محیط های با نمک خیلی بالا قرار گیرند، خصوصاً در محیط های با ترکیبات سولفات، ممکن است تحت خوردگی قرار گیرند و پوشش محافظ آنها تخریب گردد. لذا می بایست این لوله ها را در پشم شیشه قرار داده و یا از پوشش قیر یا Tar Epoxy یا Coal Tar Epoxy استفاده نمود.
- پیچ و مهره در استراکچرها که معمولاً از جنس فولاد با روکش گالوانیزه گرم می باشند نیز حتی الامکان گالوانیزه باشد و در غیر این صورت بهتر است با بکار بردن واشرهای لاستیکی یا پلاستیکی، از ایجاد اتصال مستقیم بین پیچ و مهره و استراکچر جلوگیری کرد. به علاوه در هنگام بستن پیچ و مهره دقت شود که نیروی اعمالی موجب تخریب پوشش گالوانیزه نگردد.
- جهت جلوگیری از خوردگی پایه های استراکچرها که در داخل بتن قرار می گیرند، می بایست از بتن با سیمان تیپ ۵ که دارای مقادیری اکسید آلومینیوم است، بهره برد. چرا که هرچه میزان یون های سولفات در بتن بیشتر باشد، خوردگی پایه های استراکچر بیشتر خواهد بود. روش دیگر، استفاده از پوشش روی بر روی پایه های استراکچر که در داخل بتن قرار می گیرند است. این پوشش باید حدوداً ۱۵ سانتیمتر بالاتر از بخش واقع شونده در بتن را نیز پوشش دهد.



## فصل ۲

# رنگ آمیزی و مشخصات رنگ



## ۲-۱- محافظت از خوردگی و کاربرد رنگ در تاسیسات فلزی

به منظور حفاظت از خوردگی توسط رنگ لازم است که شرایط زیر بوجود آید:

- کلیه رنگ‌هایی که امروزه در نقاط مختلف بکار می‌روند کم و بیش در مقابل آب و اکسیژن یا هوا نفوذپذیر می‌باشند. نفوذپذیری برخی از ناقلها کمتر است ولی به منظور ایجاد یک پوشش یا لایه محافظ و غیرقابل نفوذ می‌باید تعداد لایه‌های پوشش بیشتر گردند تا کلیه منافذ و نقاط ضعف گرفته شوند. استفاده از پیگمان‌ها تاثیر زیادی در ایجاد این مسئله دارند، بطوری که وجود آنها سبب ازدیاد مسیرهای نفوذی در لایه رنگ می‌گردد، خصوصاً پیگمان‌هایی مانند میکا، هماتیت و پودر آلومینیوم که ذرات آنها ورقه‌ای می‌باشند.

- معمولاً سیستم‌های رنگ کاری از یک لایه اولیه یا آستری و یک یا چند لایه رویه تشکیل می‌گردند. پیگمان‌های موجود در لایه آستری باید دارای خاصیت کندکنندگی باشند، بطوری که وقتی آب به سطح فلز می‌رسد مقداری از پیگمان در آن حل شده و خوردگی آب را کاهش می‌دهند. پیگمان‌های کندکننده باید خاصیت انحلال داشته باشند تا غلظت یون‌های کندکننده به مقدار لازم جهت کاهش میزان خوردگی برسد. البته میزان انحلال به آن اندازه هم نباید زیاد باشد که به راحتی از داخل رنگ خارج شود.

تعداد پیگمان‌هایی که در رنگ‌های آستری بکار می‌روند و ضمناً دارای خواص فوق‌الذکر نیز می‌باشند نسبتاً محدوداند که مؤثرترین آنها عبارتند از:

- سرنج ( $Pb_3O_4$ ) که در حقیقت ساختمان شیمیایی آن  $Pb_2PbO_4$  (ارتوپلمبات سرب) می‌باشد.
- کرومات روی ( $ZnCrO_4$ ) و کرومات روی بازی یا تتروکسی کرومات روی بازی.

مولیبدات روی ( $ZnMoO_4$ ) نیز به عنوان پیگمان کندکننده مورد استفاده قرار می‌گیرد که رنگ آن سفید است در حالی که رنگ کرومات زرد است. بعلاوه نسبت به کرومات‌ها کمتر سمی است. چون پیگمان‌های کندکننده باعث روئین شدن فولادها می‌شوند لذا واضح است که حضور مقادیر زیادی کلرور (مثلاً در آب دریا) سبب کاهش شدید تاثیر آنها می‌گردد.

رنگ‌هایی که در آنها از پودر روی به عنوان پیگمان استفاده می‌شود به رنگ‌های غنی از روی (Zinc- Rich Paints) معروف بوده و به عنوان آستر به کار می‌روند. این رنگ‌های آستری فولاد را به صورت کاتدی محافظت می‌نمایند (به همان ترتیبی که در پوشش‌های گالوانیزه عمل می‌کند). از این رنگ‌ها گاهی در سطوح گالوانیزه که قسمتی از آن زنگ زده باشد استفاده می‌کنند زیرا دارای چسبندگی خوبی در سطوح گالوانیزه می‌باشند. نتایج آزمایشها نشان داده‌اند که جهت حصول اطمینان از ایجاد اتصال الکتریکی کامل بین ذرات روی با فلز اصلی، مقدار پیگمان در فیلم رنگ خشک شده باید در حدود ۹۵ درصد وزن آن باشد بطوری که این نوع پوشش با داشتن خراشیدگی‌هایی بتواند فولاد را به مدت ۲-۱ سال در آب دریا حفاظت نماید. ولی اگر مقدار روی ۹۱-۸۶ درصد باشد زنگ‌زدگی به ترتیب بعد از ۲-۱ روز یا ۲۰-۱۰ روز ظاهر می‌گردد. از ناقله‌های مناسب برای رنگ‌های غنی از روی که بتوانند این مقدار پیگمان زیاد را در خود جای دهند لاستیک کلره و پلی‌استیرن می‌باشند.

## ۲-۱-۱- سیستم‌های پوشش رنگ تاسیسات فلزی غوطه‌ور در آب آلوده

قطعات فلزی غوطه‌ور در آب آلوده و فاضلاب می‌باید در شرایط بسیار نامناسب در مقابل خوردگی حفاظت شوند. در این شرایط، یک سیستم رنگ مناسب می‌باید قابلیت مقاومت فوق‌العاده در مقابل آب داشته باشد و همچنین در مقابل زنگ‌زدگی در لبه‌ها و نیز

صدمات ناشی از ضربات آب استقامت نماید و بالاخره می باید قابلیت انجام بلاستینگ موضعی و حتی آماده سازی بوسیله ابزار مکانیکی را دارا باشد.

سیستم های ذیل برای تأسیسات فلزی واقع در خارج از سطح آب و در معرض ترشح آب و شرایط بسیار نامطلوب نیز بصورت مؤثر عمل می نمایند.

### مشخصات:

#### مشخصات سیستم شماره ۱: سیستم رنگ اپوکسی (Coaltar epoxy based system)

این سیستم برای سطوح فلزی در تماس با آب آلوده و صدمات مکانیکی استفاده می گردد. اعمال سیستم می باید در کارگاه صورت گیرد.

آماده سازی : بلاستینگ تا استاندارد	$SIS - Sa2\frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ :	25 Micron
	Colturiet Zinc System Primer
	Colturiet Sealer
	Colturiet TCN- 300
	300 Micron

#### مشخصات سیستم شماره ۲: سیستم رنگ اپوکسی (Coaltar epoxy based system)

این سیستم برای سطوح فلزی در تماس با آب آلوده و بدون صدمات مکانیکی استفاده می شود. اعمال سیستم می باید در کارگاه صورت گیرد.

آماده سازی : بلاستینگ تا استاندارد	$SIS - Sa2\frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ :	200 Micron
	Colturiet TCN-200
	Colturiet TCN-300
	300 Micron

#### مشخصات سیستم شماره ۳: سیستم رنگ اپوکسی (Coaltar epoxy based system)

این سیستم برای سطوح فلزی در تماس با آب آلوده نظر به وجود قطعات آسیب پذیر، آماده سازی تنها بوسیله چربی گیری و با استفاده از تجهیزات مکانیکی و سنباده امکان پذیر است. سیستم می باید در کارگاه اعمال شود.

آماده سازی: پس از چربی گیری فلز، آماده سازی سطوح به منظور زدودن مواد خوردنده و آلودگی ها بوسیله تجهیزات مکانیکی و کاغذ سنباده صورت گیرد.

سیستم رنگ:	50 Micron
	Colturiet Sealer
	Colturiet TCN-300
	300 Micron

## ۲-۱-۲- سیستم‌های پوشش رنگ تاسیسات فلزی در شرایط جوی نامناسب

شرایط جوی محیط تاسیسات تصفیه آب می‌تواند بسیار نامناسب باشد و سیستم‌های رنگ می‌باید قابلیت مقاومت در مقابل ترشح آب و مواد شیمیایی و شرایط بسیار مرطوب را دارا باشد. بطور کلی لایه‌های پوشش اولیه و ثانویه که در مشخصات ذیل آمده‌اند می‌باید در کارگاه بکار گرفته شوند. پس از مونتاژ قطعاتی که در کارگاه آستری خورده‌اند لازمست سطوح چربی‌گیری شده و تمیز شوند. سپس سطوح آسیب‌دیده بوسیله دو لایه ترمیم می‌شوند. در نهایت روکش‌های مقاوم سیستم را تکمیل و با مقررات مسئولین محیط زیست هماهنگ می‌سازد.

### مشخصات:

**مشخصات سیستم شماره ۱:** سیستم رنگ اپوکسی برای سطوح فلز واقع در شرایط جوی نامناسب، جلای آرایشی پلی‌اورتان با خواص ویژه استقامت در مقابل باد.

آماده‌سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد	$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ:	25 Micron
	Colturiet Zinc System Primer - در کارگاه
	50 Micron
	Colturiet Sealer - در کارگاه
	75 Micron
	Colturiet CM Coating - در محل
	35 Micron
	Sigmatdur AC Finish - در محل

**مشخصات سیستم شماره ۲:** سیستم رنگ اپوکسی برای سطوح فلز واقع در شرایط جوی نامناسب، جلای مربوطه نیز از جنس اپوکسی بوده و خواص استقامت در مقابل باد را داراست.

آماده‌سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد	$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ:	25 Micron
	Colturiet Zinc System Primer - در کارگاه
	50 Micron
	Colturiet Sealer - در کارگاه
	105 Micron
	Colturiet CM Coating - در محل

**توضیح:** Colturiet CM Coating را می‌توان در یک لایه (۱۵۰ میکرون) بوسیله اسپری و یا دو لایه (هر یک ۷۵ میکرون) بوسیله رولرو یا قلم‌مو بکار گرفت.

**مشخصات سیستم شماره ۳:** سیستم اپوکسی برای سطوح فلزی واقع در شرایط جوی نامناسب، جلای مربوطه دارای Chlorinated Rubber و خواص استقامت در مقابل باد می‌باشد و می‌توان آن را در هوای سرد و برای سطوح نسبتاً وسیع بکار برد.

آماده سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد	$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ:	25 Micron - Colturiet Zinc System Primer - در کارگاه
	50 Micron - Colturiet Sealer - در کارگاه
	70 Micron - Nucol CRHB Coating - در محل
	70 Micron - Nucol CRHB Coating - در محل

**توضیح:** استفاده از Nucol CRHB Coating دو لایه ۷۰ میکرونی در صورت استفاده از اسپری بدون هوا و سه لایه ۴۵ میکرونی در صورت استفاده از رولر یا قلم مو می باشد.

### ۲-۱-۳- سیستم پوشش رنگ تاسیسات فلزی در معرض شرایط جوی متعادل و مناسب

حفاظت فلز در شرایط جوی مناسب در تاسیسات تصفیه آب کار مشکلی نمی باشد. بهر صورت این عمل می باید بصورت اقتصادی انجام شود و از کوتاهی در اعمال سیستم جلوگیری بعمل آید زیرا که زنگ زدگی باعث تضعیف کارائی و ایجاد هزینه های نگهداری و تعویض خواهد شد.

#### مشخصات:

**مشخصات سیستم شماره ۱:** سیستم رنگ دارای جلای آلکیدی برای محیطهای داخلی و شرایط جوی متعادل.

آماده سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد	$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)
سیستم رنگ:	25 Micron - Colturiet Zinc System Primer - در کارگاه
	50 Micron - Colturiet Sealer - در کارگاه
	35 Micron - Amarol under coating - در محل (الف)
	35 Micron - Sigmacolor - در محل
	35 Micron - Sigmaferro - در محل (ب)
	35 Micron - Sigmacolor - در محل

**توضیح:** پس از انجام سیستم رنگ در کارگاه یکی از سیستم های الف و یا ب در محل بکار گرفته می شود.

**مشخصات سیستم شماره ۲:** سیستم رنگ دارای جلای آلفیدی برای شرایط جوی متعادل (روستایی) با توجه به وجود قسمت‌های آسیب‌پذیر، آماده‌سازی سطح تنها بوسیله چربی‌گیری و با استفاده از تجهیزات مکانیکی و سنباده امکان‌پذیر است.

آماده‌سازی: پس از چربی‌گیری فلز، آماده‌سازی سطوح بمنظور زدودن مواد خورنده و آلودگی‌ها بوسیله تجهیزات مکانیکی و کاغذ سنباده صورت می‌گیرد.

Colturiet Sealer - در کارگاه	50 Micron	سیستم رنگ:
Colturiet Sealer - در کارگاه	50 Micron	
Amarol under coating - در محل (الف)	35 Micron	
Sigmacolor - در محل	35 Micron	
Sigmaferro - در محل (ب)	35 Micron	
Sigmacolor - در محل	35 Micron	

**توضیح:** پس از انجام سیستم رنگ در کارگاه یکی از سیستم‌های (الف) و یا (ب) در محل بکار گرفته می‌شود.

## ۲-۱-۴- سیستم‌های پوشش رنگ تاسیسات فلزی در معرض حمله شیمیایی شدید

برخی از قسمت‌های فلزی تاسیسات تصفیه آب در تماس با آب هرز دارای اسیدهای چرب (گهگاه بصورت امولسیون در فاز آبی) می‌باشند. در اینصورت سیستم رنگ بر مبنای رزین اپوکسی غنی شده بوسیله آمین‌های حلقوی مورد نیاز می‌باشد. سایر قسمت‌های فلزی تاسیسات ممکنست در تماس با باز و یا سایر ترکیبات شیمیایی باشند که در اینصورت سیستم رنگ مقاوم در برابر مواد شیمیایی می‌باید استفاده شود.

کلیه سیستم‌های ذکر شده در ذیل می‌باید در کارگاه اعمال شوند و در صورت بکارگیری در محل بایستی تحت شرایط کنترل شده دقیق استفاده گردند.

### مشخصات:

**مشخصات سیستم شماره ۱:** سیستم رنگ اپوکسی برای سطوح فلز در معرض فاضلاب و لجن دارای چربی‌های حیوانی و گیاهی

$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)	آماده‌سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد
Colturiet GPL- LB Primer	50 Micron سیستم رنگ:
Colturiet AS	150 Micron
Colturiet AS	150 Micron

**مشخصات سیستم شماره ۲:** سیستم رنگ اپوکسی برای سطوح فلزی در معرض فاضلاب و لجن دارای چربی‌های حیوانی و گیاهی سیستم فقط برای استفاده در تاسیسات پیچیده که سایر قسمت‌های فلزی می‌باید بوسیله اولین لایه آستری اپوکسی دارای روی پوشانیده شوند در نظر گرفته شده است. سیستم می‌باید در کارگاه اعمال شود.

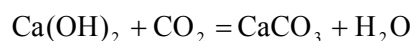
$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)	آماده‌سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد
Colturiet Zinc System Primer	سیستم رنگ: 50 Micron
Colturiet Seale	150 Micron
Colturiet AS	150 Micron
Colturiet AS	150 Micron

**مشخصات سیستم شماره ۳:** سیستم رنگ اپوکسی برای سطوح فلزی در معرض ترکیبات بازی جامد و یا مایع، سیستم در کارگاه و یا در محل و تحت شرایط کنترل شده می‌باید اعمال شود.

$SIS - Sa2 \frac{1}{2}$ (استاندارد سوئد)	آماده‌سازی: بلاستینگ مطابق با استاندارد
Colturiet GPL- HB Primer	سیستم رنگ: 50 Micron
Colturiet GPL- HB Coating	125 Micron
Colturiet GPL- HB Finish	75 Micron

## ۲-۲- محافظت از خوردگی و کاربرد رنگ در بتن

رنگ‌ها با پرکردن درزهای بتن توسط فیلم محافظ، تصعید آب موجود در بتن را به تأخیر می‌اندازند و این آب با سیمان فعل و انفعالاتی شیمیایی انجام می‌دهد و سخت می‌شود. معروف‌ترین این رنگ‌ها شامل رزین کوپلیمر و وینیل کلراید است. این ماده پس از سخت شدن بتن از نفوذ گاز  $CO_2$  موجود در اتمسفر به داخل بتن در درازمدت جلوگیری می‌کند (نفوذ گاز  $CO_2$  باعث کاهش خاصیت قلیایی بتن و کاهش دوام بتن در مقابل میلگردهای موجود در بتن می‌شود).



بتن بدون رنگ در محیط مرطوب به دلیل جذب آب وزن مخصوص بالاتری دارد و بتن رنگ شده در محیط خشک بعد از آن قرار دارد. آزمونهای مختلف نشان‌دهنده بهبود مقاومت خمشی و فشاری پس از رنگ‌آمیزی است. افزایش مقدار رنگ روی بتن تا میزان ۴۰۰ گرم بر مترمربع مقاومت خزشی را تا ۹۴ درصد افزایش می‌دهد.



## ۲-۲-۱- سیستم‌های پوشش رنگ مقاوم در مقابل اسید و فاضلاب برای حفاظت بتن واقع شده در زیر آب و یا بالای سطح آب

حفاظت بتن بوسیله پوشش‌های آلی می‌باید بدقت مدنظر قرار گیرد. آب هرز تحت شرایط فقدان هوا بوسیله عمل باکتریها ایجاد هیدروژن سولفور و اسید سولفوریک می‌نماید که می‌تواند غلظت مقطعی تا میزان ۷ درصد اسید سولفوریک ایجاد نماید. این عمل باعث تخریب سریع بتن می‌شود. پوشش آلی حفاظتی می‌باید قادر به مقاومت در مقابل اثرات اسید و جلوگیری از نفوذ گازهای موجود در فاضلاب می‌باشد. در هنگام رنگ‌آمیزی بتن، رطوبت سطح موجود باید کمتر از ۴ درصد (بر طبق مطالعات انجام شده) باشد. مشخصات سیستم رنگ ذیل می‌تواند مقداری از فشار آب ساکن (آب زیرزمین) را تحمل نماید. بنابراین تأسیسات بتنی می‌تواند در زیر سطح آب (آب زیرزمینی) قرار گرفته باشد.

می‌باید توجه داشت که سطح بتن رنگ شده بایستی به مدت دو روز دارای رطوبتی کمتر از ۴ درصد باشد و درجه حرارت (عمل آمدن رنگ) مورد نظر می‌بایست مطابق استاندارد ذکر شده در مشخصات باشد. سوراخها و حفره‌های بزرگ می‌باید بوسیله Coltura Primer M و سپس بوسیله Coltura Mortar EP پر شود. قویاً پیشنهاد می‌شود که سطح خارجی تأسیسات بتنی بوسیله سیلر Emaline 3000 به قطر ۲۰۰۰ میکرون پوشیده شود.

### مشخصات:

**مشخصات سیستم شماره ۱:** سیستم رنگ اپوکسی برای بتن در تماس با فاضلاب و یا آب هرز صنعتی تولید کننده و یا دارای ترکیبات اسیدی

آماده‌سازی: پلاستینگ بتن و انجام تعمیرات لازم بوسیله Coltura Primer M و سپس بوسیله Coltura Mortar EP  
سیستم رنگ:

Colturiet Armour Compound (Leveling)	1000 Micron
Colturiet Armour Compound	2000-3000 Micron
Colturiet AS	250 Micron
Colturiet AS	250 Micron

**مشخصات سیستم شماره ۲:** سیستم رنگ اپوکسی برای بتن در تماس با فاضلاب و یا آب هرز صنعتی تولید کننده و یا دارای ترکیبات اسیدی

آماده‌سازی: پلاستینگ بتن و انجام تعمیرات لازم بوسیله Coltura Primer M و سپس بوسیله Coltura Mortar EP  
سیستم رنگ:

Colturiet Armour Compound (Leveling)	1000 Micron
Colturiet Armour Compound	2000-3000 Micron
Tornucoat SF	500 Micron

## ۲-۲-۲- سیستم‌های پوشش رنگ مقاوم در برابر آب برای حفاظت بتن واقع شده در زیر آب و یا بالای سطح آب

حفاظت بتن در مقابل آب تصفیه شده (بدون نمک و املاح معدنی) و آب تازه، بوسیله پوشش‌های آلی می‌باید بدقت مدنظر قرار گیرد.

آب تصفیه شده دارای مقدار کمی یون می‌باشد و می‌تواند PH برابر با ۴ یا ۵ را دارا باشد. این قبیل آبها بتدریج بتن و یا سیمان مخلوط با الیاف نسوز را حل می‌نمایند. این عمل باعث کلسیم‌گیری بتن می‌گردد. بنابراین به منظور جلوگیری از این عمل، سطح بتن می‌باید توسط نوعی رنگ مقاوم که از نظر مسمومیت بی‌خطر باشد پوشیده گردد. در هنگام رنگ‌آمیزی می‌باید خشک و رطوبت سطح موجود کمتر از ۴ درصد باشد.

نظر به اینکه هیچگاه بتن بطور کامل در مقابل آب عایق نمی‌باشد باید بخاطر داشت که فشار هیدرواستاتیک آب دیر یا زود باعث متلاشی شدن پوشش آلی خواهد شد. لیکن پوشش ضخیم اپوکسی ملاطی تحت این شرایط بخوبی مقاومت می‌نماید. به هر صورت قویاً پیشنهاد می‌شود که سطوح خارجی تأسیسات بتنی بوسیله سیلر Emaline 3000 به قطر ۲۰۰۰ میکرون پوشانیده شوند. سوراخ‌های بزرگ و همچنین سطوح صدمه دیده می‌باید بوسیله Coltura Primer M و بدنبال آن توسط Coltura Mortar EP ترمیم گردند.

### مشخصات:

**مشخصات سیستم شماره ۱:** سیستم رنگ اپوکسی برای بتن در معرض آب آشامیدنی و یا آب تازه در صورتیکه تأسیسات بتنی در زیر آب (سطح آب زیرزمینی) واقع باشند.

آماده‌سازی: پلاستینگ بتن و انجام تعمیرات لازم بوسیله Coltura Primer M و سپس Coltura Mortar EP سیستم رنگ:

Colturiet Armour Compound (Leveling)	1000 Micron
Colturiet Armour Compound	2000-3000 Micron
Colturiet TCP-CSF Cream	500 Micron

**مشخصات سیستم شماره ۲:** سیستم رنگ با پایه اپوکسی برای بتن معرض آب آشامیدنی و یا آب تازه در صورتیکه تأسیسات بخوبی در بالای سطح آب زیرزمینی واقع باشند.

آماده‌سازی: پلاستینگ بتن و انجام تعمیرات لازم بوسیله Coltura Primer M و سپس Coltura Mortar EP سیستم رنگ:

Colturiet Armour Compound (Leveling)	1000 Micron
Colturiet TCP-CSF Cream	500 Micron

## مراجع

- ۱- نشریه انجمن خوردگی ایران، سال چهارم، شماره ۱۱ و ۱۲، اقتصاد خوردگی، احمد پیشنمازی و غلامرضا معینی، ۱۳۸۲.
- 2- Corrosion control in the chemical process industries C.P Dillon , 1986.
- 3- Corrosion engineering , mass. Fontana & Norbert D.green , 1978.
- ۴- خوردگی و روشهای کنترل آن، مهندس رحیم زمانیان، ۱۳۷۶.
- ۵- کنترل خوردگی در صنایع، دکتر سیدمحمدسیدرضی، ۱۳۷۶.
- 6- Protective coatings for metals , R.M. burns & W.W.bradley , 1955.
- 7- Paint & coating testing manual , J.V.koleske , 1995.
- ۸- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد رنگ و پوشش صنعت برق، جلدهای "عوامل موثر در انتخاب رنگ و پوشش" و "نحوه انتخاب رنگ و پوشش"
- ۹- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد پوششهای فلزی، پوششهای بادوام و عیوب رنگ و پوششهای لاستیکی، جلدهای "شناخت و اصول کاربردی پوششهای فلزی" و "معیارهای انتخاب پوششهای فلزی"
- ۱۰- نشریه انجمن خوردگی ایران (زنگ)، سال چهارم، شماره ۱۱ و ۱۲، "خوردگی در بتن"، ۱۳۸۲.
- 11- Organic coating technology , H.F. payne , John wiley & sons , 1967.
- 12-Outlines of paint technology , W.M. Morgans , 1990.
- 13- Cathodic protection of steel in concrete , Edited P.M. chess,1998.
- ۱۴- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد طراحی بهینه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۲۸، "معیارهای طراحی و مهندسی سیستمها و تجهیزات حفاظت در مقابل خوردگی"
- ۱۵- استاندارد صنعت برق ایران، استاندارد رنگ و پوشش صنعت برق، جلدهای "عوامل موثر در انتخاب روش آماده‌سازی" و "دستورالعمل آماده‌سازی سطح"
- 16- International standard organization , ISO 12944 , part5 , protective paint system , 1998.



## خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

## دفتر نظام فنی اجرایی



## این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - روش های جلوگیری از خوردگی در پست های فشار قوی» مابوی مطالب مربوط به اهداف، کلیات و تعاریف، شناخت انواع خوردگی و روش های جلوگیری از آن، سطوح نیازمند به حفاظت در برابر خوردگی، روش های حفاظت در برابر خوردگی، طراحی حفاظت در برابر خوردگی، رنگ آمیزی و مشخصات رنگ مورد استفاده در پست های فشار قوی ۳۳ تا ۴۰۰ کیلوولت می باشد.

