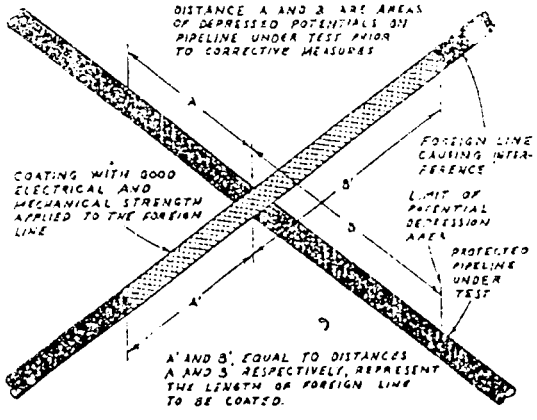
TRG - MT – 33 - 01

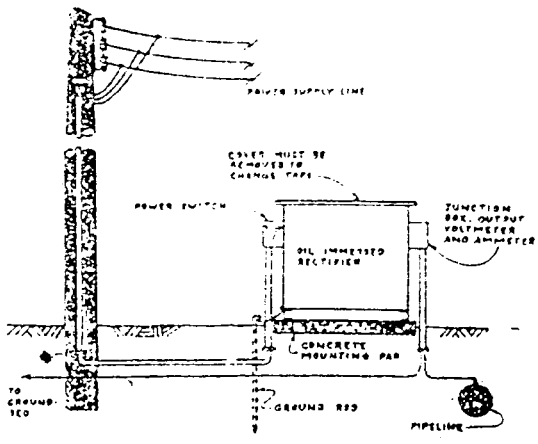
شرکت ملی نفت ایران

شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

مجتمع آموزش فنون شهید مجدزاده

خوردگی خارجی فلزات و روش های کنترل آن





تهیه و تنظیم : آموزش مکانیک و توربین

منابع:

۱ـ ترجمه کتاب خوردگی نوشته A.W.Peabody

۲ـ ترجمه کتاب خوردگی نوشته Phontana

۳ـ ترجمه کتاب خوردگی نوشته Ulic

۴ـ ترجمه کتاب خوردگی نوشته دکتر شریر

۵ـ کتاب خوردگی درصنعت نفت ترجمه احمد بزرگ زاد

۶ـ کتاب خوردگی کنترل خوردگی خطوط لوله ترجمه علی باقری

منابع:

۱- ترجمه کتاب خوردگی نوشته A.W.Peabody

۲- ترجمه کتاب خوردگی نوشته Phontana

۳- ترجمه کتاب خوردگی نوشته Ulic

۴- ترجمه کتاب خوردگی نوشته دکتر شریر

۵- کتاب خوردگی درصنعت نفت ترجمه احمد بزرگ زاد

۶- کتاب خوردگی کنترل خوردگی خطوط لوله ترجمه علی باقری

بنا م خدا وندبخشنده مهربا ن

پیشگفتا ر:

ا مروزه با توجه به تحمیل هزینه های هنگفت نا شی ا زخسا رات خوردگی بلحا ظ ا قتصا دی وجا نی درصنا یع مختلف بخصوص درصنعت نفت وگا ز ،مسئولین ومتصدیا ن تا سیسا ت وکا رخا نجا ت را متوجه شنا خت هرچه بیشترا ین علم نسبتا " جدیدسا ختها ست . ا زآنجا کها ین پدیده برا ی صنعت یک دشمن جدی محسوب میشود ، بنا برا ین ا بتدا میبا یست آنرا کا ملا" شنا خت وبا نحوه عملکردشکل ها ی متنوع آن آشنا شد ، تا بتوا ن برا حتی با ا نتخا ب بهترین وبا صرفه ترین روش با آن مبا رزه وخسا رات نا شی ا زآن را بحدا قل ممکن رسا نید .

درا ین را ستا مرکزآموزش مها رتها ی فنی به رسا لت خویش که ها نا تا مین ونیا زها ی آموزش مها رتی کا رکنا ن صنعت میبا شدا زدیربا زبا برگزا ری سمینا رها ی کوتاه مدت ودعوت ا زا سا تیددا نشگا ها ومتخصصین صنعت نفت بخصوص ا زمسئولین و مهندسین با تجربه ا دا ره خوردگی فلزا ت ،ا قدا م به شنا سا ئی ا همیت ویژه ا ین علم جدیدکرده ا ست . با توجه به ا ستقبا ل شا یا ن همکا را ن وا علام نیا زآموزشی ا زطرف مسئولین ا دا را ت کل وهما هنگ کنندگا ن آموزشی واحدها ی عملیا تی وتعمیرا تی در خصوص فرا گیری هرچه بیشتروکا ملترا ین علم ،ما را برآن دا شت تا با تجهیزکردن وسا یل کمک آموزشی ا زجمله ،تهیه وسا یل آزما یشگا هی ا یجا دخوردگی سریع روی فلزا ت مختلف، تهیه فیلم ها ی آموزشی با کیفیت با لا، برنا مه ریزی با زدیدا ز واحدها ی مختلف صنعت وبررسی مسا ئل خوردگی ا زنزدیک ،ترجمه وتهیه کتا بها ی کا ربردی ،با زدیدا زکا رگا ه ا دا ره خوردگی فلزا ت وآشنا ئی با وسا یل وا بزا ر ا ندا زه گیری وکنترل خوردگی موجوددرصنعت و .... سعی برتکا مل بخشیدن دوره ها ا زنظرکمی وکیفی دا شته با شیم .

اکنون با کما ل مسرت با طلاع کلیه همکا را ن رسانیده میشودکه ا ین مرکزعلاوه برا دا مه دوره ها ی خوردگی عمومی دردوسطح عملیا تی وتعمیرا تی ا زسا ل گذشته ا قدا م به برگزا ری دوره ها ی تکمیلی وتخصصی ویژه کرده ا ست .

دوره ها ی تخصصی برنا مه ریزی شده درسا ل جا ری عبا رتندا ز :

۱ـ خوردگی دا خلی فلزا ت وروشها ی کنترل آن
۲ـ خوردگی خا رجی فلزا ت وروشها ی کنترل آن
۳ـ کنترل خوردگی فلزا ت بوسیله پوششها ورنگها
۴ـ خوردگی خطوط لوله وا ستفا ده ا زتوپکها

شا یا ن توجه میبا شدکه همکا را ن متقا ضی برا ی شرکت دردوره ها ی تخصصی ا بتدا لازم ا ست دوره خوردگی عمومی را بگذرا نند .

جزوه حا ضر به همت آقا ی مهندس حمید منصوری ا زا دا ره خوردگی فلزا ت گردآوری وترجمه گردیده ا ست .

ضمن تشکروقدردا نی ا ززحما ت ا یشا ن وآقا ی مهندس نا درتقوی رئیس ا دا ره خوردگی فلزا ت که جهت تشکیل وترفیع دوره ها ی مذکورا هتما م نموده ا ندتوفیق روزا فزون برا ی نا مبردگا ن را ا زخدا وندمنا ن خوا ها نیم .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
واکنشهای الکتروشیمیائی	۱
مکانیزم خوردگی	۳
عوامل موثردرواکنشهای خوردگی	۵
اهمیت خسارات خوردگی	۸
اصول خوردگی وتعاریف	۱۱
انواع خوردگی	۱۳
روشهای تشخیص وکنترل خوردگی خارجی	۱۷
حفاظت کاتدیک	۱۹
انواع آندهای فداشونده	۲۰
مقایسه عمرآندهای فداشونده	۲۱
اندازه‌گیری مقاومت الکترولیت	۲۲
بررسی شدت جریان لازم	۲۶
حفاظت کاتدی چگونه‌کارمیکند	۲۷
رنگی فایبر	۲۹
ارزش پتانسیلی فلزات مختلف درخاک	۳۰
بسترآندی	۳۱
مقایسه دوسیستم‌حفاظت کاتدی	۳۲
تاسیسات بهره‌برداری وحفاری داخل دریا	۳۶
جریانهای سرگردان وتداخل جریان	۳۹
طراحی بسترآندی	۴۱
طراحی سیستم‌حفاظت کاتدی ساختارهای دریایی	۴۴
جدول شدت جریان مجازومیزان مصرف آندهای دریایی	۴۶

* * *

بسمه تعالی

خـــوردگـــی خـــارجـــی وروشهای کنترل آن

۱- مقدمـــــــه

ازبین رفتن فلزات به‌واسطه‌فعل وانفعالات شیمیائی والکتروشیمیایی خوردگـــــی نامیده میشودکه‌سالیانه‌خسارات مالی چشمگیری را متوجه‌صنایع می‌نماید. وظیفـــه مهندسین خوردگی کاهش دادن این ضرربا درنظرگرفتن کلیه‌امکانات بوده‌وانجـــام تحقیقات ودرک مسائل ازمهمترین نکات درکنترل خوردگی است.

درایران مسائل خوردگی زیادی بویژه‌درصنایع دریائی، صنایع نفت، صنـــایـــع شیمیایی، صنایع گازرسانی ونیروگاههای تولیدبرق وجوددارکه‌مبارزه‌با هریـــک بستگی به‌شرایط موجودخواهدداشت. یکی ازعلل عمده‌خوردگی که‌سبب تخریب تأسیسات صنعتی می‌شود، میل فلزات دربازگشت به‌حالت اولیه‌خودیعنی اکسیدهای فلزی است که‌حالت اولیه‌آنها درطبیعت میباشد. خوردگی آهن یاآلیاژهای مربوطه‌که‌نهایتا" شامل اکسیدفریک آب دارخواهدبودزنگ زدگی نامدارودوبنابراین واضح است کـــه فلزات غیرآهنی دچارخوردگی می‌شوندولی دچارزنگ زدگی نخواهندشد.

۲- واکنشهای الکتروشیمیایی

ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی را میتوان بوسیله‌واکنش های فلزروی(Zn)درا سیدـ کلریدریک نشان داد. وقتی فلزروی درمحلول رقیق اسیدکلریدریک قرارگیردیـــک واکنش شدیدصورت میگیرد. گازئیدروژن متصاعدمی‌شود، روی حل می‌شودویک محلـــول کلرورروی تشکیل می‌شود. واکنش به‌این ترتیب است :

$$Zn + 2Hcl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2 \qquad (۱)$$

با توجه‌به‌این که‌یون کلردراین واکنش دخالت ندارد، میتوان معادله‌واکنش را بصورت ساده‌شده‌زیرنوشت :

$$Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{+2} + H_2 \qquad (۲)$$

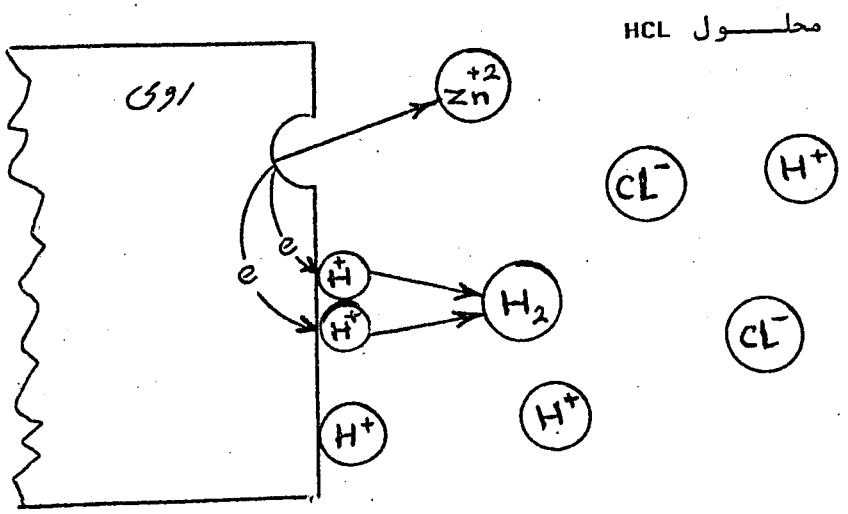
.../...

روی با یون ئیدروژن درمحلول اسیدوا ردواکنش می‌شودویون روی وگا زئیـــــدروژن حاصل می‌شود. با بررسی معادله‌فوق مشاهده می‌شودکه‌درطی واکنش ، روی اکسیدشده وبه‌یون روی تبدیل می‌شودویون ئیدروژن‌احیاء شده ، گا زئیدروژن متصاعدمی‌شـــودو بنا براین معادله (۲) را میتوان به‌دوواکنش اکسیداسیون روی واحیای ئیـــدروژن تقسیم‌کرد :

اکسیداسیـــون (واکنـــش آنـــدی) (۳) $Zn \longrightarrow Zn^{+2} + 2e$

احیـــــاء (واکنـــش کاتـــدی) (۴) $2H^{+} + 2e \longrightarrow H_2$

اکسیداسیون یا یک واکنش آندی وبا ازدیادظرفیت یا تولیداالکترون مشخص میشـــود. کاهش ظرفیت یا مصرف الکترون مشخص کننده‌یک واکنش کاتدی یا احیاء می‌بـــاشـــد. معادلات (۳) و (۴) واکنش های جزئی نامیده می‌شوندکه‌هردوبایدهمزمان وبا سرعـــت مساوی روی سطح فلزصورت پذیرند. این موضوع‌یکی ازمهمترین اصول اساسی خوردگی می‌باشد. هنگام‌خوردگی فلزی سرعت اکسیداسیون با سرعت احیاء ازنظرتولیدومصرف الکترون برابراست. مفهوم بالا درشکل زیرنشان داده‌شده‌است. دراینجا یک اتم روی به‌یک یون روی ودوالکترون تبدیل شده‌است. این الکترون ها که‌درفلزباقـی می‌مانندفورا "درواکنش احیای یون ئیدروژن مصرف می‌شوند.



خوردگی روی در اسیدکلریدریک یک فرآیند الکتروشیمیایی است . بدین معنی درهرواکنشی که بتوان آنرا به‌دویا تعداد بیشتری واکنش های جزئی اکسیداسیون واحیاء تقسیم‌نمودواکنش الکتروشیمیایی نامیده می‌شود .

آهن وآلومینیوم‌نیزهمانندروی به‌سرعت توسط اسیدکلریدریک خورده می شوند . واکنش ها به‌ترتیب زیرهستند :

$$Fe + 2HCL \longrightarrow FeCL_2 + H_2 \qquad (۵)$$

$$2AL + 6\ HCL \longrightarrow 2ALCL_3 + 3H_2 \qquad (۶)$$

گرچه این واکنش ها درنظراول کاملا" متفاوت با هم‌به‌نظرمی‌رسندا ما مقایسه واکنش های جزئی اکسیداسیون واحیاء نشان می‌دهدکه‌واکنش های (۱) و (۵)و (۶)کاملا" شبیه هم هستند . درهرسه‌واکنش یون ئیدروژن احیاء می‌شودوتنها اختلافشان‌در واکنش های آندی یا اکسیداسیون است .

$$ZN \longrightarrow Zn^{+2} + 2e \qquad (۳)$$

$$Fe \longrightarrow Fe^{+2} + 2e \qquad (۷)$$

$$AL \longrightarrow AL^{+3} + 3e \qquad (۸)$$

۳- مکانیزم خوردگی

این عمل مبتنی براصول وشرایط ذیل حادث می‌گردد :

۱- یک کاتدویک آندبایدوجودداشته‌باشد .

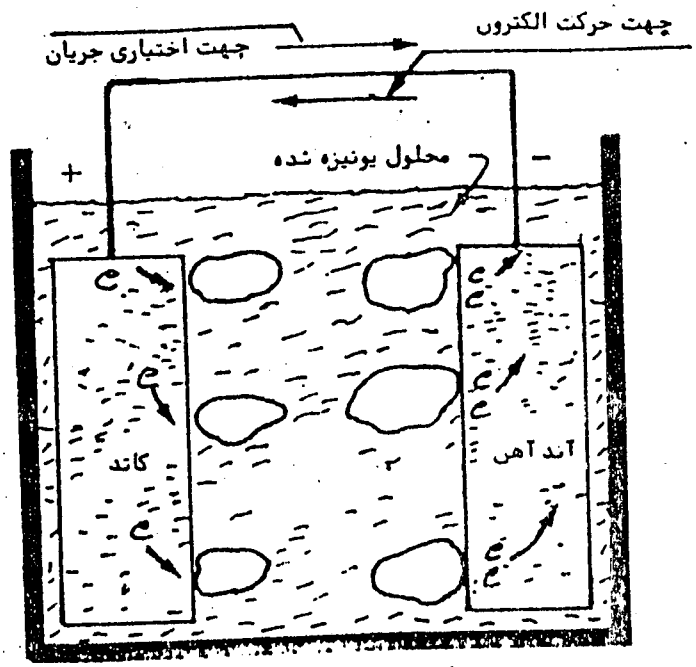
۲- بایدآندوکاتداختلاف پتانسیل داشته‌باشند .

۳- بایدیک رابط فلزی بین آندوکاتدوجودداشته‌باشد .

۴- آندوکاتدبایددریک الکترولیت هادی ، بدین معنی که‌مقداری ازمولکولهای آب به‌صورت یون درآمده‌باشد ، قراردا شته‌باشند .

حال برای یک لوله‌مدفون شده‌فراهم‌شدن شرایط یک ودورا شرح خواهیم‌داد . برای شرط سوم خودلوله‌بصورت رابط فلزی عمل می‌کندوشرط چهارم‌با توجه‌به‌رطوبت موجود

درخاک که‌ها دی است فراهم‌می‌باشد . با فراهم‌شدن این شرایط است که‌یک جریان الکتریکی برقرار شده‌وفلزدرناحیه‌آندی خورده‌خواهدشد . برای سهولت درک این مفاهیم‌به‌شکل زیررجوع‌کنید .



نمودارتصویری‌خوردگی آهن

اختلاف پتانسیل موجودبین آندوکاتدباعث بوجودآمدن یک جریان الکترونی ازطرف آندبه‌کاتددرمدارفلزی بین آندوکاتدخواهدگردید . درآندفلزبا ازدست دادن‌الکترونها تولیدیونهای آهن با بارمثبت خواهدکردکه‌با OH موجوددرآن حوالی تولیدئیدروکسید دوظرفیتی آهن به‌فرمول $Fe(OH)_2$ خواهدکردکه‌با یک مرحله‌اکسیدشدن بصورت Fe_2O_3 یعنی همان زنگ آهن درخواهدآمد .

درناحیه‌کاتدی تعدادی الکترون اضافی ازطرف آندتأمین شده‌است . این الکترونها دارای بارمنفی با یونهای مثبت ئیدروژن محیط تولیدگازئیدروژن یا H_2 خواهندکرد که‌بصورت لایه‌ای دراطراف کاتددرخواهدآمدوبه‌قشرپلاریزاسیون موسوم‌است .
با تبدیل یونهای ئیدروژن به‌گازئیدروژن درکاتدمقداری یون OH اضافی درناحیه کاتدی بوجودخواهدآمدکه‌نتیجتا "خاصیت بازی ناحیه‌کاتدی افزایش پیدا خواهدکرد .

.../...

بهتر است نکات زیر را جهت اجتناب از اشتباه به خاطر داشته باشیم .

۱- جهت جریان الکتریسته (خلاف جهت حرکت الکترونها) درمدار فلزی از کاتد به آند خواهد بود .

۲- جهت جریان الکتریسته در داخل الکترولیت از آند به کاتد خواهد بود .

۳- خوردگی فلز در آند یعنی قطبی که جریان از آن به طرف الکترولیت خارج میشود اتفاق می افتد .

۴- فلزی که جریان از محیط اطراف (الکترولیت) دریافت میکند خورده نمی شود .

مقدار کاهش وزن فلز با شدت جریان خورندگی متناسب خواهد بود . یک آمپر جریان مستقیم (DC)که از فولاد به طرف خاک خارج میشود میتواند سالانه حدود بیست پوند فولاد را بخورد . البته در مسائل مربوط به خورندگی یک لوله بندرت با شدت جریان زیادی مواجه خواهیم شد و معمولا "جریانهای گفته شده در حدود چند میلی آمپر خواهد بود ولی نباید از این مسئله غافل بود که حتی یک میلی آمپر در طول سال اگر فقط از چند نقطه لوله خارج شود ، میتواند باعث ایجاد هفت عدد سوراخ به قطر $\frac{1}{4}$ اینچ روی یک لوله دو اینچی با ضخامت استاندارد گردد . فعل و انفعالات زیر که سبب ضایع شدن کامل آهن میگردد به شرح زیر است :

آزاد شدن الکترون در سطح آند فلز (اکسیداسیون) $Fe \longrightarrow Fe^{++}+2e^{-}$

الکترولیز آب $2H_2O \longrightarrow 2H^{+} + 2OH^{-}$

حرکت الکترون و ترکیب در کاتد (احیاء) $2H + 2e^{-} \longrightarrow H_2$

ترکیب در سطح آند (ناپایدار) $Fe^{++} + 2OH^{-} \longrightarrow Fe(OH)_2$

زنگ آهنی $2Fe(OH)_2 + H_2O + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3$

۴- عوامل موثر در واکنشهای خوردگی

از مهمترین عواملی که در واکنشهای خوردگی دخالت موثر دارند عبارتند از :

درجه حرارت :

افزایش درجه حرارت موجب ازدیاد میزان وسرعت خوردگی می‌شودحتی زمانیکه درجه حرارت قسمتهای مختلف ازقطعه معینی متفاوت باشدوعموما "آن قسمت که درجه حرارتش بیشتراست نسبت به سایرنقاط آندترمی‌گردد .

اختلاف پتانسیل:

درحالتی که فلزات غیرهم‌جنس ومتصل به‌هم درمحیط مشترکی قرارگرفته باشندبعلت اختلاف پتانسیل موجودبین آنها (مثلا"دوفلزروی وآهن درآب نمک) فلزی که درجدول سری گالوانیکی بالاتراست آندبوده وخورده خواهدشودودرنتیجه این عمل فلزدیگر را حفاظت خواهدنمود .

عملیات حرارتی :

درنتیجه اعمال عملیات حرارتی ، رفتارخوردگی اغلب فلزات وآلیاژها شدیدا "متأثر خواهدشد .

سرعت :

تأثیرسائیدگی مکانیکی (errosion) خودبه‌تنهائی موردبحث نیست ولی چون فیلمهای اولیه‌خوردگی (که‌دربسیاری ازمواردموانعی برای جلوگیری ازپیشرفت خوردگی می‌باشند) بدلیل وجودسائیدگی ازبین رفته (دراثرسرعت) وسطح فلزات سخت وفعال مجددا "درمعرض خوردگی های‌بعدی قرارمی‌گیردکه‌ازاینرومورددبررسی وتوجه می‌باشد .

تشعشع :

دراین زمینه‌بررسیها وتحقیقات کمتری صورت گرفته‌واطلاعات کاملی دردست نیست ، البته‌دربارهٔصدمات ناشی ازمحیطهای حاوی تشعشعات اتمی برروی فلزات آزمایشاتی انجام‌گرفته‌وروشن نموده‌که‌درچنین شرایطی میزان وشدت خوردگی تاحدودی افزایش می یابد .

ناخالصی محیطی:

وجودناخالصیهای مختلف درمحیط عامل بسیارمهمی بوده واثرات گوناگونی برروی خوردگی میگذارند .

زمـــان :

پیشرفت وگسترش اثرات وصدمات خوردگی معمولا"نسبت بهزمان افزایش مییابد . البته شرایطی نیزوجوددارندکه میزان خوردگی نسبت بهزمان کاهش مییابد .

تنـــش :

موادوقطعات درشرایطی که تحت تنشهای کششی درمعرض محیطهای خورنده قرارمیگیرند شدیدتروسریعتراز بین میروندمخصوصا "زمانیکه تنشها درحدودیا بیشازحدارتجاعی آنها باشند .

فشـــار :

بررسیها ومطالعات نشان دادهاندکه فشارعامل موثری روی واکنشهای شیمیائی واکسیداسیون موادمیباشدازاینروبدقت موردتوجه قرارمیگیرد .

خواص فلزی:

توجه بهخواص ومشخصات متالورژی ازاهمیت بسیارزیادی برخوردارا ست . ساختمان بلوری ، مرزدانهها ، خواص مکانیکی اختصاصی فلزات وآلیاژها ، روشهای ریختهگری، عملیات حرارتی وترکیب شیمیایی آلیاژها ازعوامل مهموموثری هستندکه مدنظرقرار میگیرند .

سایرعوامل:

وجودعوامل مختلف درپروسسها وشرایط محیطی باعث پیچیدگی های زیادی دربررسیها ومطالعات خوردگی میگردندازجمله :

الف ـ وجوداختلاف هوادهی(دمیدگی) درسطوح مجاوربا الکترولیتها کهسبب ایجاد مناطق آندی وکاتدی میگردد .

ب ـ وجوداختلاف غلظت (یا اختلاف در PH) درنقاط مختلف ازسطح فلزی که در محیط الکترولیت یا خورنده قرارگرفته باشدسبب ایجادمناطق آندیوکاتدی میشود .

.../...

ج- اثرات بیولوژیکی وجود ماکروارگانیسمها یا میکروارگانیسمها درخوردگی موردبررسی وآزمایشات بسیار زیادقرارگرفته وصدمات وخطرات آنها آشکار شده است . دربرخی موارد ایجاد لایه‌ها یا موانعی درسطوح فلزات سبب تولیدپیلهای اختلاف غلظتی می‌شوندودرموارد دیگربا جذب ئیدروژن ازسطح فلزولذا حذف ئیدروژن بعنوان یک عامل مقاوم درپیلهای خوردگی منجربه انهدام فلزات می‌گردند . ازجمله باکتریهای احیاء کننده سولفات (SRB) که تولیدسولفورهای آهن درمناطق نزدیک به نقاط کاتدی نموده وباعث تسریع ویا تشدیدخوردگی می‌شوند .

اهمیت خسارات خوردگی

توجه به پدیده خوردگی وبررسی مشکلات وارزیابی خسارات ناشی ازآن دارای سه بعد اصلی است ، یعنی اقتصادی (ECONOMIC) ، ایمنی (SAFTY) وکاهش ضایعات (CONSERUTION) .

الف- مهمترین وحساسترین بخش خوردگی واساسی ترین وظیفه مهندسین خوردگی درنظر گرفتن جنبه‌های مالی واقتصادی این موضوع بوده ودرضمن اتخاذ بهترین تصمیمات مستلزم دراختیار داشتن اطلاعات بسیار وسیعی است . درواقع هدف اصلی کاهش هرچه بیشتر اتلاف موادی است که موردحملات خوردگی قرارمی‌گیرند ، که ازآن جمله می‌توان به خوردگی شبکه‌های لوله‌کشی ، مخازن ، قطعات ماشینها ، پلها ، تاسیسات بندری ودریائی ، وسائط نقلیه وغیره اشاره نمود .

ب - ازآنجائیکه اثرات ونتایج واکنشهای خوردگی دربسیاری ازموارد منجربه زیانهای مالی وجانی غیرقابل جبران یا تأسف باری می‌شودلذا مراعات نکات ایمنی بطور دقیق مخصوصا " درموارد حساس ازقبیل ظروف تحت فشار ، دیگهای بخار ، ظروف و دستگاههای حاوی مواد شیمیائی یا سمی ورادیواکتیو ، توربینها ، قطعات هواپیماها وسفینه‌های فضائی ، پلها وغیره بسیار ضروری وحیاتی میباشند .

ج - ذخائرومنابع جهانی فلزات ونیزتولیدات آنها محدوداست . لذا با توجه به رشدسریع صنایع ، رونددائمی کاهش ذخائروافزایش استخراج ، سبب بالارفتن سریع قیمتها واز بین رفتن منابع وذخائرطبیعی میگرددکه ازمسائل بسیارجدی درآینده خواهدبود . همچنین درنظرگرفتن ضایعات مربوط به انرژی ونیزضایعات مربوط به نیروی انسانی ازاهمیت زیادی برخوردار است ، بطوریکه ازوظایف عمده مهندسین خوردگی کاهش هرچه بیشتراین قبیل ضایعات میباشد .

ارزیابی دقیق اقتصادی درموردخوردگی به علت وسعت ودامنه مسائل ، میزان خسارتهای وارده ، مخارج لازم جهت اعمال روشهای حفاظتی وعوامل موثردیگرکاربسیارپیچیده ومشکل است . طی سالهای گذشته حرکتها واقداماتی دراین زمینه به منظورتهیه آمار وارقامی که بتواندمیزان کلی خسارات وارده وهزینه های سالیانه رانشان دهدبعمل آمده است . زیانهای مالی ازدوقسمت تشکیل میشود :

زیانهای مستقیم

زیانهای غیرمستقیم

زیانهای مستقیم :

دراین قسمت زیانهای حاصل ازهزینه های تعویض قطعات ودستگاهها ، ماشین آلات یا اجزاء مربوطه ، تاسیسات وواحدهای عملیاتی ، شهری ، ساختمانها ، هزینه های مربوط به نیروی انسانی لازم رامینوان نام برد . همچنین به اعمال روشهای محافظتی از قبیل مخارج رنگ آمیزی ، هزینه های سرمایه ای ، تعمیرات ونگهداری ونصب سیستمهای حفاظت کاتدی میتوان اشاره نمود . اززیانهای مستقیم مالی مهمی که درهمه جا مشاهده میشودوجودصدمات خوردگی ومخارج تعویض میلیونها مخزن آبگرم خانگی ، اگزوزاتومبیلها مخارج اضافی ناشی ازتغییرنوع آلیاژها گالوانیزه کردن وآبکاری فلزات ، تزریق موادکندکننده خوردگی و ... را می توان نام برد .

زیانهای غیرمستقیم :

ارزیابی این نوع زیانها به مراتب دشوارتراست . برخی ازعواملی که دراین نوع

زیانهای مالی تاثیرداردبشرح زیرمیباشند :

۱- ازسرویس خارج شدن دستگاهها وواحدهای عملیاتی:

تعویض ونوسازی لولههای خورده‌شده (مثلا"دردیگهای بخارویا مبدلهای حرارتی) در یک واحدصنعتی ظاهرا "ممکن است هزینه‌چندانی نداشته‌باشدولی وقتی به‌خارج‌ساختن برخی ازدستگاهها یا توقف کلیه‌دستگاهها برای زمانی معین که‌بعلت این تعویض باید صورت گیردتوجه می‌شود ، اهمیت وعظمت خساراتی که‌به‌ازدست رفتن مقدارمعینی از محصولات می‌انجامدآشکارمی‌گردد .

۲- اتلاف محصولات :

ضایعات موادنفتی ، گاز ، آب وغیره‌که‌دریک خط لوله‌خورده‌شده‌ایجادمی‌شود ، یا اتلاف ماده‌ضدیخ دراثرسوراخ شدن رادیاتورها مثالهائی ازاین دست می‌باشد . همچنین دربعضی مواردازاین نشتیها منجربه‌تجمع موادواحتمال بروزآتش سوزیها ویاآلودگیهای محیطی میگرددکه‌بدنبال آن مشکلات بعدی راسبب می‌شوند .

۳- کاهش راندمان :

درمواردی بعلت رسوب ویا تجمع محصولات خوردگی اشکالاتی ازنظرکاهش انتقال حرارت ویا گرفتگی کامل لوله‌ها بوجودمی‌آید .

به‌منظوربرطرف ساختن مسائل ایجادشده‌علاوه‌برخارج نمودن دستگاه ازسرویس جهت انجام تعمیرات میبایستی تمهیداتی مقتضی اتخاذگرددکه‌اجرای آنها نیزمخارجی رادربر خواهدداشت . همچنین صدمات ناشی ازخوردگی جداره‌رینگ وپیستونها درموتورهای احتراق داخلی توسط گازهای سوختی که‌منجربه‌کاهش اندازه‌های طراحی شده‌ولیه‌ونیز افزایش مصرف سوخت وروغن میگرددمثالهائی ازاین نوع‌صدمات می باشند .

۴- آلودگی محصولات :

ایجادمسمومیتهای گوناگون درصنایع غذائی، داروئی ونوشابه‌سازیها دراثرتماس‌آنها با برخی فلزات (مثلا"سرب) امکان ایجادآلودگیهای میکربی درظروف نامرغوب وخورده‌شده، همچنین آلودگی محصولات مختلف شیمیائی توسط محصولات خوردگی (ازجمله زنگ) وتاثیرآن برروی خلوص وکیفیت آنها ونیزپی آمدهای اعتباری قضیه‌ازمثالهائی است که‌دراین قبیل صنایع رخ می‌دهد .

.../...

۵- شکل ظاهری:

مواردی وجوددارندکه‌گرچه‌وجودخوردگی های جزئی ممکن است خطراتی نداشته‌باشند ولی بدلائل دیگری ازجمله‌حفظ ظاهر، جلب مشتری، جلوگیری ازآلودگیهای محیطی وغیره، تولیدکننده‌گان‌مربوطه‌هزینه‌های اضافی را متحمل می‌شوندازآن جمله‌رنگ‌کردن اتومبیلها، دستگاهها وماشین آلات وسائل خانگی وغیره‌را میتوان نام‌برد.

۶- مخارج تعمیرات ونگهداری:

هزینه‌های مربوط به‌تعمیرات ودستگاهها با توجه‌به‌عوامل موثردرآن (عمدتا "قیمت اولیه‌قطعات ومواد، مشکلات موجوددرزمینه‌تهیه‌وتدارک، پرداخت‌کارمزدها وحقوقهای واقعی وکاذب وغیره) با یک افزایش دائمی روبرواست. درمواردی با صرف هزینه‌ای بسیارکم‌مثلا"با بت تغییرجنس ونوع‌آلیاژویا نصب سیستمهای حفاظت‌کاتدی میتوان کاهش قابل ملاحظه‌ای درهزینه‌های تعمیراتی بوجودآورد.

اصول خوردگی وتعاریف

خوردگی (CORROSION) حالت پیچیده‌ای ازدگرگونی وانهدام موادبوده‌که‌با توجه‌به دیدگاهها وتخصصهای مختلف وبمنظوربیان مفهوم آن تعاریفی چندارائه‌شده‌است. پیشتر تصورمی‌شدکه‌خوردگی تنها یک واکنش الکتروشیمیائی بوده‌وباوقوع آن فقط حضورمحلولهای آبی امکان پذیرمیباشددرحالیکه‌عوامل ومحیطهای دیگرنظیرانیدریدکربنیک، ترکیبات آلی، نمکها وفلزات مذاب، آمونیاک، گازکلر، گازهای گوگردی(مانند H_2S ، SO_2) نیز ممکن است سبب خوردگی شوند. همچنین با درنظرگرفتن جنس مواد، لازم‌است کلیه‌اجسام جامدمانندفلزات، شیشه، پلاستیک، لاستیک، چوب، اجسام مرکب، موادتراکم(بتن) وغیره‌ازنظرخوردگی موردبررسی قرارگیرد. تعاریف ارائه‌شده‌جهت بیان خوردگی‌عبارتنداز:

الف- تخریب وانهدام‌مواددرنتیجه‌واکنش آنها با محیط اطراف.

ب - تخریب وانهدام‌مواددبهرعلتی بجزعوامل مکانیکی.

ج - خلاف جهت عملیات متالورژی استخراجی.

ولی ازآنجائیکه‌درصنعت عمدتا "فلزات وآلیاژها موردبحث وبررسی قرارمی‌گیرند، لذا

.../...

تعریف خاصی‌را درمورد خوردگی فلزات بدین صورت بیان می‌نمایندکه :

خوردگی عبارتست از : انهدام ، فسادیا دگرگونی فلزات بعلت واکنشهای شیمیایی یا الکتروشیمیایی آنها با محیطهای اطراف .

خاطرنشان می‌شودکه‌به‌انهدامهای حاصله‌ازعوامل فیزیکی ومکانیکی " خوردگی" اطلاق نمی‌شود ، بلکه‌این موادرا تحت عناوینی ازقبیل :

- سائیدگی (EROSION)
- فرسودگی (WEARING)
- شکنندگی (EMBRITTLEMENT)
- خراشیدگی (FRETTING)
- خستگی (FATIGUE)
- صدمات محفظه‌ای (CAVITATION)

وغیره‌موردبحث قرارمی‌دهند

دربرخی ازحالات ممکن است خوردگی شیمیایی همراه‌باصدمات فیزیکی ومکانیکی‌همراه‌باشد که‌دراین صورت باعناوینی مانند :

- خوردگی سائیدگی (EROSION - CORROSION)
- " تنشی (STRESS - CORROSION)
- " خستگی (FATIGUE - CORROSION)
- " خراشیدگی (FRETTING- CORROSION)

وغیره‌تشریح می‌شود . یادآوری می‌نمایدکه غیرفلزات شامل این مباحث نمی‌شوند .

اصطلاح زنگ زدگی (RUSTING)، فقط درموردآهن یاآلیاژهای آهنی بکارمی‌رود ، بطوریکه "زنگ" محصول خوردگی یعنی اکسیدفریک هیدراته‌می‌باشد .

محیطهای خورنده‌وانواع شکلهای خوردگی

عملا"کلیه‌محیطها تاحدودی خورنده‌هستند . بعضی ازاین محیطهاکه‌دارای خورندگی قابل ملاحظه‌ای می‌باشندعبارتنداز: هوا ، رطوبت ، آب شیرین ، آب نمک ، بخارآب ، گازهای کلر، آمونیاک ، هیدروژن سولفوره (H_2S)، دی اکسیدکربن (CO_2)، گوگرد ، گازهای

.../...

حاصله از سوختها ، اسیدهای معدنی از قبیل اسیدسولفوریک ، اسیداستیک ، اسیدفرمیک ، اسیدتفتانیک ، خاک وحلالها وبسیاری از محصولات غذائی . بطورکلی مواد غیرآلی بسیار خورنده‌تر از مواد آلی هستند .

استفاده روزافزون از فشارودمای بالا درصنایع ، فرآیندهای جدیدوپیشرفته‌ای را بوجود آورده است که معمولا "خوردگی را شدیدترکرده است . برای مقابله با این چنین محیطهای خورنده تکنولوژی پیشرفته وروشهای بدیع وموثری موردلزوم است .

آندوکاتد

با قراردادن دوهادی جریان برق درداخل یک الکترولیت پیل گالوانیک (GALVANIC CELL) بوجودمی‌آید . دراین پیل انرژی شیمیائی بدانرژی الکتریکی تبدیل میگردد . قبل از کشف وپی بردن به واکنشهای آندوکاتدوقوانین مربوط بدالکترولیزفرض براین بوده که وقتی مدار پیل بسته‌باشدجریان الکتریسته درقسمت خارج از قطب مثبت به قطب منفی است ، با وجوداینکه امروزه ثابت شده که فقط الکترونها درداخل فلز حرکت میکنند این قرارداد رعایت میشود . بطوریکه درداخل الکترولیت جریان بوسیله حاملهای منفی وحاملهای مثبت منتقل میشوندکه آنها را یون (ION) مینامند . بنا به تعریف اتمها یا دسته‌هائی از اتمها که دارای بار الکتریکی باشندیون نامیده میشوند . جریانی که بوسیله هریون حمل میشود بستگی به قابلیت تحرک (MOBILITY) وبارالکتریکی مربوط به آن میباشد . مجموع جریانهای منفی ومثبت درالکترولیت یک پیل برابر است با جریان کلی حمل شده از راه اتصال فلزی که فقط بوسیله الکترونها انجام میگیرد . دراینجا قانون اهم یعنی $I = \frac{E}{R}$ را همانطوریکه دربارهٔ فلزات بکار میرود درمورد الکترولیتها نیزمیتوان استفاده نمود (که در آن I شدت جریان به آمپر ، E اختلاف پتانسیل به ولت و R مقاومت به اهم است) .

انواع خوردگی

انواع خوردگی از نظرشکل ظاهری به ترتیب زیراست وبه ده قسمت طبقه بندی میشود .

۱- خوردگی یکنواخت
۲- " گالوانیکی
۳- " درزوشکاف (شکافی)
۶- خوردگی انتخابی (موضعی- یکنواخت)
۷- " سایشی
۸- " تنشی

.../...

۴- خوردگی حفره ای
۵- " بین دانه ای
۹- خوردگی هیدروژنی
۱۰- " باکتریولوژیکی

۱- خوردگی یکنواخت :

این نوع خوردگی که میتواند منشاء شیمیائی ویا الکتروشیمیایی داشته باشد با سرعت مشابهی در تمام سطح نسبتاً پیشرفت مینماید. کاهش ضامت در نتیجه خوردگی باعث سستی و نهایتاً " شکست فلز میشود. روشهای متداول جلوگیری از خوردگی یکنواخت عبارتند از: انتخاب مواد مناسب برای محیط مورد نظر استفاده از پوششها و رنگهای صنعتی استفاده از صنعت کننده های شیمیایی و حفاظت کاتدی.

۲- خوردگی گالوانیکی:

زمانیکه دو فلز غیرهمجنس در درون یک الکترولیت قرار داده شوند اختلاف پتانسیلی بین آندو کاتد بوجود میآید. چنانچه مدار الکتریکی بین دو فلز با از طریق تماس با یکدیگر و یا از طریق یک هدایت کننده کامل و جریان الکتریکی برقرار شود تبادل الکترون بین دو فلز انجام پذیرفته و یکی از دو فلز (فلز فعال تر) خورده میشود. در این حالت سرعت خوردگی فلز فعال بیشتر از زمانی است که آن فلز به تنهائی در محلول خورنده قرار دارد. هرچه اختلاف پتانسیل بین دو فلز بیشتر باشد خوردگی در فلز فعالتر تسریع میشود پیشگیری از این نوع خوردگی را میتوان با استفاده از عایقی که تماس بین دو فلز را قطع میکند و با عدم بکارگیری دو فلز فعال در تماس با یکدیگر کنترل نمود.

۳- خوردگی شکافی :

این نوع خوردگی اغلب در اثر تشکیل پیلهای غلظتی در شکاف و درزهای اتصالات، سطوح پرچ شده پیچ ها، زیر قطعات پلاستیکی بتونی، شیشه ای و غیره که در مجاورت فلزات میباشند اتفاق میافتد. علت آن نیز مایع بین دو سطح است. روشهای پیشگیری شامل طراحی مناسب، جوشکاری قطعات (پر کردن درزها و شکاف ها) و با استفاده از واشرهای تفلن است.

.../...

۴- خوردگی حفره‌ای :

خوردگی موضعی است که‌با عث سوراخ شدن فلزمی‌شود ، ابعاد زه‌حفره‌ها متفاوت ومعمولا" کوچک است . فاصله‌حفره‌ها میتوانندقابل توجه‌وبا بقدری بهم‌نزدیک باشدکه‌تشکیل یک سطح خیلی زیادرا بدهند . این خوردگی ازانواع بسیارخطرناک است زیرا با ازدست رفتن مقدار بسیارناچیزی ازفلزحفره‌ها وسوراخهای عمیقی میتواندایجاد شودکه‌باعث اختلال درامرتولیدگردد . روش جلوگیری شامل انتخاب فلزمقاوم‌در مقابل این پدیده‌درشرایط خاص عملیاتی‌واستفاده‌ازممانعت کننده‌آلی می‌باشد .

۵- خوردگی مرزدانه‌ای :

دراین نوع خوردگی شدت خوردگی درمرزدانه‌ها متمرکزبوده‌ودانه‌ها تقریبا " سالم می‌مانند بنابراین پس ازبین رفتن مرزدانه‌ها آلیاژ خواص مکانیکی خودرا ازدست می‌دهدوبا توجه‌به‌حساسیت این نوع خوردگی به‌حرارت می‌توان آنرا حاصل ناخالصی‌های مرزدانه‌دانست که‌عمدتا " بعلت عملیات حرارتی غیرمتناسب اتفاق می‌افتدوروش پیشگیری دقت درعملیات حرارتی است .

۶- خوردگی انتخابی :

عبارت است ازانحلال یکی ازعناصرآلیاژ درمحیط خورنده ، بهترین موردزدایش روی دربرنجها میباشدکه‌باعث باقی ماندن مس بصورت یک حجم متخلخل وبدون مقاومت می‌شود . البته‌این نوع خوردگی دیگرآلیاژهاازجمله‌آلیاژهای دارای آلومینیوم ، آهن ، کبالت وکرم نیزاتفاق می‌افتدکه‌درآنها عناصربادشدهازبین می‌روند .

۷- خوردگی سایشی :

این نوع خوردگی حاصل حرکت نسبی بین محیط خورنده‌وسطح فلزات می‌باشدومعمولا" باعث تسریع انواع دیگرخوردگی میگردد . رابطه‌مستقیمی بین سرعت سیال ومیزان خوردگی وجوددارکه‌هرچه‌بیشتربا شدعمل مکانیکی سایش بالاترمی‌رود . روشهای پیشگیری شامل استفاده‌ازفلزات مقاوم دربرابرسایش باطراحی متناسب ، تغییر محیط واستفاده‌ازپوششها خواهدبود .

.../...

۸- خوردگی تنشی :

در اثر فعل و انفعالات خاصی بین محیط خورنده و فلز در شرایطی که فلز تحت تنش قرار داشته باشد حاصل میشود ، ترکها که معمولا" پس از فاصله کوتاهی چندشاخه می شوند و میتوانند از مرز دانه عبور نمایند . روشهای جلوگیری عبارتند از تنش زدائی ، از بین بردن عامل خورنده از محیط ، تغییر مصالح (استفاده از آلیاژ مناسب) ، استفاده از ممانعت کننده های شیمیایی خاص .

۹- خوردگی هیدروژنی :

در این نوع خوردگی ابتداء میبایستی هیدروژن در محیط و یا درون فلز وجود داشته باشد حضور هیدروژن تواما با وجود تنشهای باقیمانده درون فلز و یا فشارهای خارجی باعث شکست نهائی یا تورم آلیاژ میگردد .

۱۰- خوردگی باکتریولوژیکی :

باکتریها براساس موقعیت زیستی به دو دسته هوازی و غیرهوازی دسته بندی شده اند .
خوردگی ناشی از باکتریها را میتوان چنین توصیف نمود ، از بین رفتن فلز با پروسه خوردگی در نتیجه فعل و انفعالات متابولیکی (غیرمستقیم یا مستقیم) باکتریهای موجود در آب و خاک ، اثرات مخرب و ویژگیهای عمده آنها به قرار زیر است :

۱- تاثیر مستقیم بر فعل و انفعالات آندی و کاتدی بوسیله ایجاد پیلهای غلظتی که در نتیجه تشدید پروسه خوردگی حاصل میگردد .
۲- تغییر مقاومت سطح فلز بوسیله متابولیزم خود یا محصولات وابسته .
۳- ایجاد محیط خورنده با توجه به ساختمان فیزیولوژیکی .
۴- رشد و ازدیاد آنها باعث ایجاد محیط مناسب برای تشکیل پیلهای غلظتی بر روی سطح فلز .
۵- بعضی از باکتریها بعنوان عامل دی پولاریزاسیون عمل میکنند (SRB) .

باکتریها موجودات ذره بینی هستند که نقش بارزی در ایجاد خوردگی در سیستمهای مخصوصا" آبی صنعت نفت دارند . (COOLING SYSTEMS) .

.../...

روشهای تشخیص وکنترل خوردگی خارجی :

این روشها دراصول کلی تفاوت چندانی با روشهای کنترل خوردگی داخلی ندارد. با این وجودهدف ازبکارگیری این روشها دستیابی وحصول اطمینان ازکارآئی وعملکردسیستمهای حفاظت کاتدی درتامین پوششهای حفاظتی مطلوب برای تاسیسات تحت حفاظت کاتدی میباشد. ازجمله میتوان به روشهای زیراشاره نمود:

۱- روش بازرسی عینی

۲- روشهای کنترل وتشخیص کارآئی سیستمهای حفاظت کاتدی

۳- روشهای بررسی معایب پوشش خط لوله

۴- روش بازرسی بوسیله توپک های الکترونیک (هوشمند)

۱- روش بازرسی عینی :

این روش ازابتدائی ترین وساده ترین انواع روشهای بازرسی است.
خاکبرداری ازروی خط لوله درچندمحل که برمبنای تجارب وتخمینها معین میشوند آغازمیشود. بازرسی عینی ازاین محلها، برآوردوصدمعایب موجودبرکل خط لوله را تخمین وارائه مینمایدکه براین اساس درموردخاکبرداری ازروی سرتاسرخط لوله تصمیم گیری میشود. معایب ومحاسن این روش به شرح زیراست:

الف- مهمترین عیب این روش خطای فاحش درتخمین های اولیه است. بطوریکه برآوردهای اولیه جوابگوی واقعیات موجودنبوده وباعث ایجاد هزینه های هنگفت وبدون نتیجه بوده است.

ب- با این روش امکان کشف خوردگی های داخلی وجودندارد.

ج- هزینه خاکبرداری وتعویض پوشش برای قسمت های خاکبرداری شده چه سالم و چه معیوب ونیزصدمات مکانیکی بوجودآمده درحین کاروهزینه بسیار بالائی را شامل خواهدشد.

د- طولانی بودن مدت عملیات درمقایسه با سایرروشها وعدم بهره گیری ازخط لوله درطول انجام عملیات.

.../...

۵ - از مهمترین محاسن این روش یکی عدم نیاز به تکنولوژی پیشرفته و دیگری دسترسی بی واسطه به عیوب خارجی بدون نیاز به هیچگونه تغییر و تفسیر اضافی است .

۲- روشهای کنترل و تشخیص کارآئی سیستمهای حفاظت کاتدی :

جهت حصول اطمینان از کارآئی سیستم حفاظت کاتدی روشهای زیر اجرا میگردد .

- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در حالت روشن (رکتی فایر) .
- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در حالت روشن و خاموش رکتی فایر .
- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل به‌وفواصل اندک (اصطلاحا " متر به متر) .

۳- روشهای بررسی معایب پوشش خط لوله :

این روشها نیز انواع مختلف داشته که متداولترین آنها روش پیرسون که منحصرا " میتوانند پارگیهای پوشش و محلهای بدون پوشش در خط لوله مدفون در خاک را مشخص سازند . از دیگر انواع این روشها میتوان از روش CURRENT GRADIENT SURVEY و روش C- SCAN نام برد .

هیچیک از این روشها قادر به تشخیص عدم چسبندگی پوشش (DIS BONDING) که از معایب بسیار رایج خطوط لوله‌ا ند نیستند .

۴- روش بازرسی بوسیله توپکهای الکترونیک (هوشمند) :

از جدیدترین روشهای بازرسی استفاده از توپک هوشمند یا الکترونیک است . انواع موجود توپک هوشمند از سازندگان مختلف اصولا " بکارگیری روشهای مختلف قبلی بازرسی در یک مجموعه است که عمدتا " به دو دسته تقسیم میشوند :

- یکی بر مبنای عبور شار مغناطیسی از جداره قطعات و بررسی آشفتگیهای حاصل در عبور آنها در صورت برخورد با معایب موجود (MAGNETIC FLUX LEAKAGE) .
- دیگری استفاده از تابش امواج ماوراء صوت و سپس اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت این امواج (ULTRASONIC) میباشد . با بکارگیری سیستمهای کامپیوتری در این روشها ، امکان بازرسی درون لوله نیز میسر گردیده است .

حفاظت کاتدیک

تعریف حفاظت کاتدیک : اصطلاحا " الکترون ازقسمتی ازلوله که خوردگی به نحوی ایجاد شده حرکت کرده وبه قسمت سالم لوله که کاتدمی باشد جذب میگردد وچنانچه با روشی بتوان از جدا شدن الکترونها ازاتم فلزلوله جلوگیری بعمل آورد ، لوله ازخوردگی حفظ میگردد .

بمنظورجلوگیری ازآزادشدن الکترونهای فلزات وتامین حفاظت آنها میتوان همواره سطح فلزرا ازیک منبع تغذیه خارجی با الکترون مازاد اشباع نمود تا دراثر نیروهای الکتروشیمیایی الکترونهای مازاد به حرکت درآمده وازمصرف شدن الکترونهای فلزودر نتیجه ازخوردگی آن جلوگیری بعمل آید .

چون دراین روش حفاظتی همواره قطب منفی منبع خارجی تغذیه الکترون (رکتی فایر) به فلزمرتبط میگردد وقطب منفی درتعاریف برقی کاتدنامیده میشود ، این روش بنام حفاظت کاتدی فلزات نامیده میشود .

روشهای حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی به دوطریق انجام میگیرد :

۱- روش آندهای فداشونده SACRIFICIAL ANODE

۲- روش اعمال جریان برق مستقیم IMPRESSED CURRENT

۱- روش آندهای فداشونده :

چنانکه لوله موردنیاز دارای طول کم ومقاومت زمین پائین باشد وضمنا " برای رفع اشکالات تداخلی با سایرلوله های مجاوراز آندهای فداشونده استفاده میگردد .

بدیهی است که آندهای فوق با تماس به لوله حالت دوفلزمتفاوت را پیدا نموده وتشکیل یک سل را میدهند . چون پتانسیل آندهای فداشونده منفی تراز لوله فلزی است در نتیجه فلزفعال تریعنی آندها خورده شده وجریان الکتریکی درمدارتخلیه مینماید وفلزغیرفعال یعنی لوله سالم میماند .

معمولا" آندهای فداشونده درموادی بکارمیرودکه شدت جریان موردنیازکم باشد و

.../...

ضریب مقاومت الکتریکی پائین باشد .

الف- چنانچه درطول خط لوله نقاطی بدلایلی احتیاج بیشتری به جریان داشته باشد در این نقاط از آندهای فداشونده بصورت موضعی استفاده می‌کنند .

ب- برای رفع نواقص غلافهای بکار رفته که به نحوی صدمه دیده است .

ج - برای نواحی از خط لوله که درمجاورت موانع الکتریکی قرار گرفته و توزیع شدت جریان در آن نقاط به خوبی انجام نمی‌گیرد .

د - برای رفع جریانهای سرگردان در نقاط لوله تحت حفاظت و لوله فاقد حفاظت

هـ - خطوط لوله ممکن است از نواحی عبور کند که تراکم شبکه‌های زیرزمینی بسیار زیاد باشد در آن حالت بکارگیری روش آندفداشونده در این نواحی اقتصادی‌تر میباشد .

مزیت سیستم آندهای فداشونده :

الف- احتیاج به برق یا ترانس ندارد .

ب- هزینه نصب و مصالح ارزانتر است .

ج - اشکالات تعمیراتی کمتری دارند .

معایب سیستم آندهای فداشونده :

الف- وسعت کمتری را تحت حفاظت کاتدی درمی‌آورد .

ب- عمر مفید آنها کمتر از عمر آندهای سیستم اعمال جریان است .

ج - برای زمینهائی که مقاومت بالائی دارند مناسب نمی‌باشند .

انواع آندهای فداشونده :

الف- آندهای منیزیم برای زمینهائی که مقاومت خاک آنها بالای ۱۵۰۰ اهم سانتی‌متر است .

ب- آندهای روی برای تاسیسات بندری ، با درنظرگرفتن مقاومت خاک زیر ۱۵۰۰ اهم سانتی‌متر .

ج - آندهای آلومینیوم برای تاسیسات دریایی .

.../...

محاسبه عمر آندهای فدا شونده :

اگر شدت جریان خروجی یک آند با وزن معین مشخص باشد ، در این صورت میتوان عمر آند را محاسبه نمود . محاسبات بر مبنای انرژی ذخیره در یک پوند آند ، بازدهی شدت جریان و ضریب کارآئی آند دارد . ضریب کارآئی را میتوان ۸۵٪ فرض نمود ، یعنی اگر آندی ۸۵٪ آن مصرف شده باشد ، نیاز به تعویض و جایگزینی دارد .

طول عمر آند منیزیم برحسب سال = (وزن آند (پوند) × بازدهی آند × ضریب کارآئی) / شدت جریان

طول عمر آند روی برحسب سال = (وزن آند (پوند) × ۴۲۲٪ × بازدهی آند × ضریب کارآئی) / شدت جریان

پس از پلاریزاسیون کامل آند روی دارای نیروی محرکه ۰/۵ = E ولت و مقاومت مدار ۳/۳۴ = R اهم بوده در نتیجه شدت جریان خروجی $I = \frac{E}{R}$ یعنی $I = \frac{\text{ولت } ۰/۰۵}{\text{اهم } ۳/۳۴}$ برابر ۰/۰۱۵۴ آمپر خواهد بود . آند منیزیم در این حالت دارای نیروی محرکه E = ۰/۲۵ ولت و مقاومت مدار R = ۶/۸۱ اهم بوده در نتیجه شدت جریان خروجی برابر $I = \frac{۰/۲۵}{۶/۸۱}$ برابر ۳۶۶ ٪ آمپر میباشد . این طول عمرها با استفاده از بازدهی ۵۰ ٪ برای منیزیم و ۹۰٪ برای روی محاسبه میشوند .

عمر آند روی = $\frac{\text{٪ ۴۲۲} \times ۳۰ \times \text{٪۹۰} \times \text{٪۸۵}}{\text{٪۱۵۴}}$ = ۶۲/۹ سال

عمر آند منیزیم = $\frac{\text{٪۱۱} \times ۲۰ \times \text{٪۵۰} \times \text{٪۸۵}}{\text{٪۳۶۶}}$ = ۲۵/۵ سال

مقاومت مدار برابر با مجموع مقاومتهای آند نسبت به زمین و کابل آند .

اگر هزینه های نصب بسترهای آندی را محاسبه کنیم مشاهده میشود که مخارج سالانه بستر آندی روی بسیار کمتر از آند منیزیم میباشد . اما طول عمر واقعی خطوط لوله بسیار کمتر از طول عمر بستر آندی بدست آمده میباشد . اگر طول عمر متوسط یک خط لوله ۲۵ سال در نظر گرفته شده ، در اینصورت مشاهده میشود که هزینه سالانه آند منیزیم

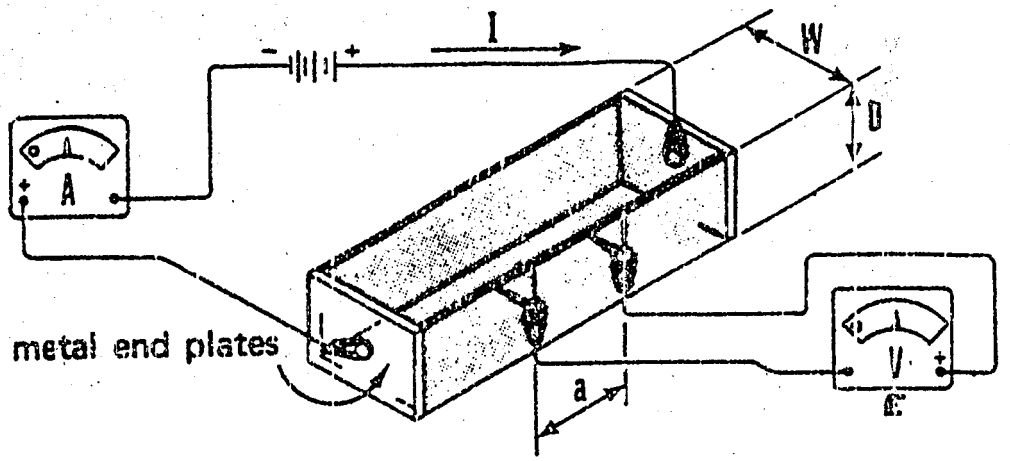
کمتر می‌باشد و انتخاب آندمنیزیم درصورت عدم افزایش شدت جریان موردنیاز لوله اقتصادی ترخواهدبود .

اندازه‌گیری مقاومت الکترولیت

درطرح یک سیستم‌حفاظت کاتدی اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی خاک (یا آب) بایستی تعیین گردد . آمار مقاومت الکتریکی خاک حداقل برای تشخیص حفره‌آندی ویا نصب‌آندها لازم است .

ازاین نوع آمرمیتوان نوع واندازه‌وتعدادآندهای فداشونده‌ودرصورت استفاده‌ازآندهای دائمی ، انتخاب اندازه‌حفره‌آندی ومیزان قدرت خروجی برق مستقیم (dC) را تعیین نمود . واحد اندازه‌گیری مقاومت خاک که‌بیشترموردا ستفاده‌است اهم‌سانتی متراست . موقعی که‌طول خط لوله‌تحت حفاظت زیاد باشدبایدمقاومت خاک درفواصل معین ، درطول مسیرلوله‌اندازه‌گیری شودومحلهائیکه‌ممکن است با خوردگی تندیدروبروباشندتعیین‌گردند. بطورکلی درطول مسیریک خط لوله‌مقاومت محیط (خاک) درعمقی که‌لوله‌مدفون است نسبت به‌سطح خاک تغییردارد ودرنواحی که‌دارای مقاومت کم‌باشندقسمت آندیک لوله‌است وخوردگی دراین قسمت شدیدترخواهدبود . برای بدست‌آوردن آمار صحیح مقاومت الکتریکی لازم است که‌حدمتوسط مقاومت خاک را درارتفاعات زیرسطح زمین بدانیم . برای مثال یک حفره‌آندی معمولی که‌شامل آندهائی اعم ازدائمی یا فداشونده‌میباشدودرعمق۱۰ فوتی (۳ متر) زیرخاک قرارگرفته‌اند ، بهتراست آماری ازحدمتوسط مقاومت خاک که‌ازهر ۲/۵ فوت‌گرفته‌وتا عمق ۱۵ تا ۲۵ فوتی رفته‌را دارا باشیم . درصورتیکه‌اختلاف مقاومت فاحشی مشاهده‌شودبهتراست که‌تا عمق ۵۰ تا ۱۰۰ فوتی را ادامه‌داد . مقاومت خاک‌را بدون اینکه‌نیازی به‌کندن زمین تاآخرین عمق باشدمیتوان اندازه‌گیری نمودواینکار با استفاده‌ازروش ۴ میله‌ونر (WENNER) انجام‌میگیرد . یکی ازروشهای دیگراندازه‌گیری مقاومت خاک استفاده‌ازجعبه‌خاک (SOIL BOX) است . نمونه‌ای ازخاک را برای تعیین مقاومت آن درداخل این جعبه‌گذارده‌وازفرمول $\rho = RA : a$ مقاومت را حساب می‌نمایند .

طبق شکل زیر :



$\rho = RA \div a$.

R= مقاومت (اهم)

A= مساحت سطح مقطع (سانتیمتر مربع)

a= فاصله (سانتیمتر)

ρ= خد متوسط مقاومت خاك (اهم سانتیمتر)

جمبه اندازگیری مقاومت خاك

روش ۴ میله ونر

متداولترین روشی که برای تعیین مقاومت الکتریکی خاک بکار می‌رود این روش میباشد که حد متوسط مقاومت خاک را در هر مکانی اندازه‌گیری می‌نماید. با استفاده از این روش بوسیله اندازه‌گیری مقاومت خاک در سطح ، میتوان حد متوسط مقاومت خاک را در عمق های مختلف تقریبا " تخمین زد. روش استفاده از این سیستم بدین قرار است که ۴ عدد میله آهنی در طول یک خط مستقیم با فاصله مساوی بین میله‌ها بداخل زمین (در حدود ۳۰ سانتیمتر یا بیشتر) طبق شکل زیر فرو می‌گردد. جریانی بین دو میله خارجی (اول وآخر) عبور داده

.../...

این جریان باعث تغییرات ولتاژ (ΔE) بین دو میله وسطی شده که مقدار این تغییرات، بستگی به مقاومت موادی است که اندازه‌گیری می‌شود. برای هر فاصله میله یک مقاومت موثر به‌اهم بین دو میله وسطی بوسیله تقسیم کردن تغییرات ولتاژ (ΔE) به جریانی که باعث این تغییرات شده ($R = \frac{\Delta E}{I}$) بدست می‌آید. اگر ΔE به ولت باشد پس شدت جریان I بایستی به آمپر و اگر ΔE به میلی ولت باشد شدت جریان هم به میلی آمپر خواهد بود. برای بدست آوردن مقاومت خاک از این مقاومت بدست آمده از فرمول زیر استفاده می‌گردد.

$$\rho = 2\pi aR$$

حد متوسط مقاومت خاک (اهم سانتی‌متر) = ρ

فاصله میله‌ها (به سانتی متر) = a

مقاومت اندازه‌گیری شده (اهم) = R

بعنوان مثال - در یک مکان مخصوص، میله‌ها به فاصله ۵ فوت از یکدیگر برای تعیین مقاومت خاک قرار گرفته‌اند. سپس ۵۰۰ میلی آمپر جریان مستقیم بین دو میله خارجی (اول و آخر) عبور داده همین جریان باعث تغییرات ولتاژ از ۵۰ به ۴۶۰ میلی ولت شده که از روی آن مقاومت خاک محاسبه می‌گردد.

تغییرات ولتاژ (میلی‌ولت) $\Delta E = ۴۶۰ - ۵۰ = ۴۱۰$

$$R = \frac{\Delta E}{I} = \frac{\text{۴۱۰ میلی‌ولت}}{\text{۵۰۰ میلی‌آمپر}} = ۰/۸۲ \text{ اهم}$$

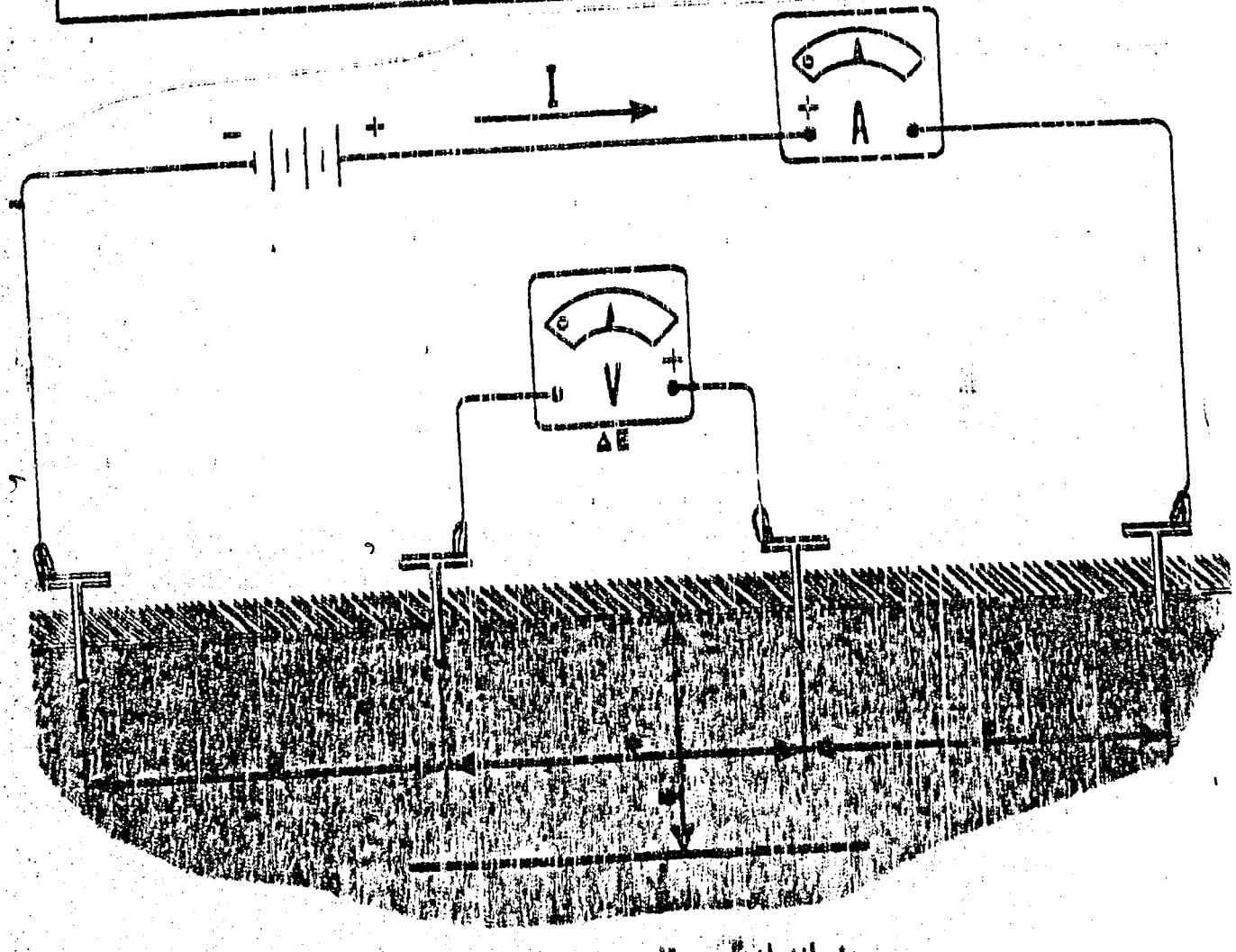
مقاومت خاک $\rho = 2\pi aR = 2\pi(۵\times۲۰)$ (فوت به سانتی‌متر ۷۸۴=(۰/۸۲) = مقاومت خاک

پس از تعیین مقاومت خاک با بدنوع خاک را مشخص نموده و با استفاده از جدول صفحه بعد این عمل انجام می‌گیرد.

.../...

خورندگی خاک برحسب مقاومت آن

مقاومت خاک (اهم‌سانتی‌متر)	شدت خورندگی
بین ۰ تا ۵۰۰	خیلی خورنده مثل زمینهای باطلاقی وشوره‌زار
بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	خورنده
بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	نسبتا " خورنده
بین ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	بطور ملایم خورنده مثل زمینهای زراعتی وخاک رس
از ۱۰۰۰۰ به بالا	کم‌وبیش خورنده مثل زمینهای ریگ زاروشوره‌سنگی وکوهستانی



روش اندازگیری مقاومتی ۴ میله وندر (Wenner)

بررسی شدت جریان لازم

مقدار شدت جریان الکتریسته به عوامل زیر بستگی دارد .

۱- مقدار سطحی از لوله که بوسیله پوشش عایق نشده است .

۲- مقاومت الکتریکی خاک

۳- میزان اثر پولاریزاسیون برروی لوله

از تجربیات و آزمایشات انجام شده مقدار جریان الکتریسته برای حفاظت یک فوت مربع لوله بدون پوشش از یک یا چند میلی آمپر در محیطهای مختلف تغییر می‌کند بطوریکه هرچه مقاومت خاک بیشتر باشد مقدار جریان الکتریسته لازم برای حفاظت لوله کمتر خواهد بود . یکی از دلائل که وقتی مقاومت خاک در محلی کمتر است مقدار جریان الکتریسته بیشتر لازم خواهد بود، این است که چون در این نقاط مقدار خوردگی بیشتر است لذا مقداری از جریان حفاظتی اعمال شده، صرف از بین بردن جریان تولید شده برای خوردگی می‌شود . (جریان برعکس) .

در لوله‌های پوشش شده هرچه لوله بهتر و سریعتر پولاریزه شود مقدار جریان حفاظتی کمتری لازم خواهد بود . لوله‌هائی که در مسیر جریان آب قرار گرفته اند بعلت وجود اکسیژن محلول در آب ، این اکسیژن ها با هیدروژن پولاریزاسیون (H_2) ترکیب شده و سبب دی‌پولاریزاسیون شدن خط لوله می‌شوند لذا برای این خطوط مقدار بیشتری جریان حفاظتی لازم خواهد بود .

زمینهائیکه PH سیدی دارند و یا باکتریهائیکه غیر مستقیم تولید اسید می‌نمایند سبب از بین بردن خاصیت پولاریزاسیون می‌شوند و در اینگونه زمینها جریان الکتریسته حفاظتی بیشتری مورد نیاز است . جدول زیر نشان دهنده جریان لازم در هر فوت مربع لوله در محیطهای مختلف است .

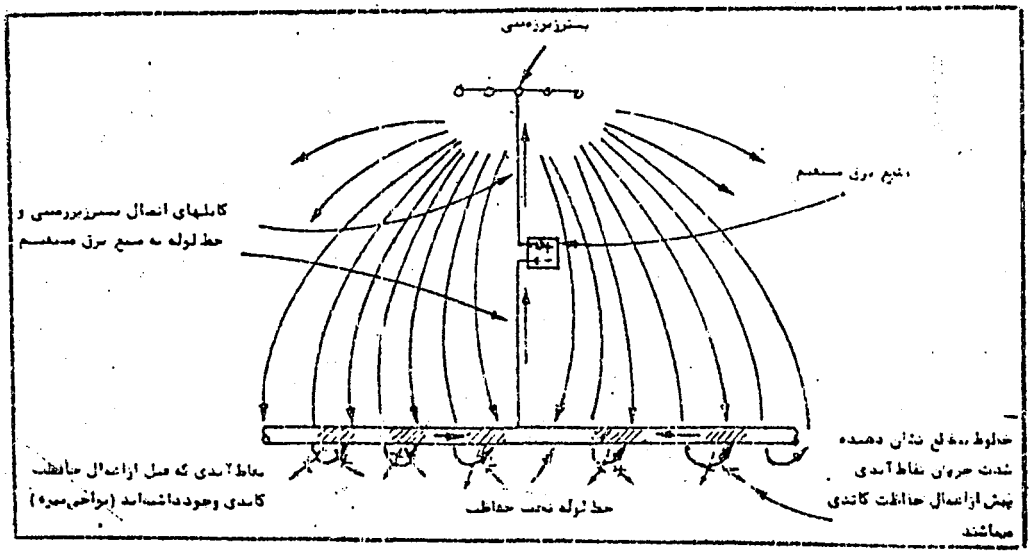
مقدار تقریبی شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی آهن

مقدار شدت جریان لازم برای هر فوت مربع		شرایط
۱۰ — ۱۵	میلی آمپر	آهن بدون پوشش (لخت) در آب دریا پرحرکت
۵ — ۸	میلی آمپر	آهن بدون پوشش (لخت) در آب دریا ساکن
۱ — ۳	میلی آمپر	آهن بدون پوشش (لخت) در زمین
۰/۱	میلی آمپر	آهن با پوشش بد در آب یا خاک
۰/۰۰۲	میلی آمپر	آهن با پوشش خوب در آب یا خاک
کمتر از ۰/۰۰۳	میلی آمپر	آهن با پوشش خیلی خوب در آب یا خاک

حفاظت کاتدی چگونه کار می‌کند

درحقیقت اگر جریان الکتریسته از طرف محیط به تمام سطح لوله برسد دیگر خورندگی نخواهیم داشت و بدین ترتیب کل لوله کاتدی خواهد بود. این دقیقا "کاری است که یک سیستم حفاظت کاتدی انجام می‌دهد. یعنی جریان مستقیم از یک منبع خارجی به تمام سطح لوله می‌رسد. هرگاه مقدار این جریان بطور متناسب تنظیم شود بر تمام جریانهای نواحی آندی فائق آمده و یک جریان منتجه به طرف لوله در تمام سطوح آن خواهیم داشت و در اینصورت است که تمام سطح لوله به کاتد تبدیل شده و حفاظت بطور کامل اعمال می‌گردد.

برای درک بهتر این مفهوم به شکل زیر رجوع کنید.



بدین ترتیب جریان خروجی از نقاط آندی توسط جریان حفاظتی خنثی می‌شوند. خروج جریان فقط از بستر آند طراحی شده اتفاق افتاده و موجبات خورندگی این آندها فراهم خواهد شد. معمولا "سعی می‌شود که بستر آندها از موادی استفاده شود که طول عمر نسبتا "زیادی داشته باشند. بدین ترتیب نتیجه گرفته می‌شود که سیستم حفاظت کاتدی خورندگی را حذف نکرده بلکه آنرا از سیستم لوله مورد حفاظت به یک بستر آند طرح شده منتقل می‌نماید که با یک آزمایش می‌توان پایان عمر مفید بستر آندی را تشخیص داد و نسبت به تعویض آن اقدام نمود.

محدوده حفاظت کاتدی

در مبحث قبل گفته شد که حفاظت کاتدی یک لوله توسط اعمال جریان که در خلاف جریان نهای آندی عمل می‌کند حاصل می‌گردد. مقدار جریان لازم برای حفاظت چقدر است؟ واضح است که با توجه به شرایط خاک از نظر مقاومت الکتریکی و درجه عایقی پوشش مصرفی و سطح لوله مقدار این جریان مورد نیاز متفاوت خواهد بود. با عبور جریان پتانسیل لوله نسبت به خاک در جهت منفی تغییر می‌نماید، پتانسیل جدیدی را که لوله بعد از اعمال جریان حفاظتی اختیار خواهد کرد بعد از معیار محسوب می‌نمایند. بطوریکه هرگاه پتانسیل لوله نسبت به خاک اطراف بعد از اعمال جریان حفاظتی به ۰/۸۵ ولت در مقایسه با الکترود مرجع مس/سولفات مس برسد میگوئیم حفاظت کاتدی بطور کامل اعمال گردیده است.

سیستم گالوانیک

در سیستم حفاظت کاتدی آندهای دائمی تمام کابلهای زیرزمینی و یا آنهائیکه در آب قرار گرفته اند و از قطب مثبت برق مستقیم رکتی فایر به حفره آندی آمده اند نسبت به زمین دارای ولتاژ مثبت بوده و به همین دلیل باید از پوشش و عایق خوبی برخوردار باشند. اگر کوچکترین نقطه آن فاقد عایق و یا ناقص در عایق آن باشد جریان برق ممکن است به زمین جاری شده و این باعث خوردگی سیم گردیده تا اینکه به دو نیم شود. وقتی این حالت پیش آمد تمام یا قسمتی از حفره آندی از منبع برق جدا شده و قسمتی یا تمامی سیستم حفاظت کاتدی بی اثر خواهد شد. کابلهائی که از قطب منفی رکتی فایر به فلزیکه محافظت می‌شود (لوله)، سیمهائیکه از آند، های گالوانیک (فدا شونده) به فلزیکه محافظت می‌شود و سیمهائیکه برای آزمایش (نشانگر) به فلز محافظت شده (لوله) وصل می‌شود، درصورتیکه اشکالی در عایق (روپوش) پیش آید تمامی "تحت حفاظت هستند و با مسئله خوردگی یا جاری شدن جریان روبرو نخواهند شد. لهذا بهتر است که کابلها و سیمها را بخوبی عایق کرده تا از مصرف شدت جریان حفاظت کاتدی غیرضروری جلوگیری شود. اتصال بین یک سیم مسی بدون پوشش (لخت) و آهن ممکن است یک نیل خوردگی که از دو فلز مختلف تشکیل شده باشد ایجاد شود.

رکتی فایر

رکتی فایرها (دستگاه مبدل) برق مستقیم (DC) موردنیاز درسیستم حفاظت کاتدی آندهای دائمی را تامین مینماید . بازدهی رکتی فایرها که معمولا" کمتر از ۱۰۰ درصد میباشد از فرمول زیر محاسبه میگردد :

$$\text{درصد بازدهی} = \frac{V \cdot I}{W} \times 100$$

V = ولتاژ برق مستقیم (dc) به ولت

I = شدت جریان برق مستقیم (dc) به آمپر

W = قدرت برق متناوب (AC) به وات

بعنوان مثال : ازرکتی فایری که با شدت جریان ۲۰ آمپر و ۳۲ ولت برق مستقیم (dc) خروجی بهره برداری میشود دارای ۹۴۰ وات قدرت برق ورودی است ، بازدهی رکتی فایر بصورت زیر محاسبه میگردد :

$$\text{درصد بازدهی} = \frac{۳۲ \times ۲۰}{۹۴۰} \times 100 = ۶۸ \text{ درصد}$$

پوشش اطراف آنود (Anode bacfill)

دربیشترحالتها ازمواد شیمیایی برای پوشاندن اطراف آندهای گالوانیک درزیرزمین استفاده میشود . استفاده ازاین مواد چندین مزیت دارد ، این نوع مواد پوشاننده دراطراف آندها ، محیط یکنواختی ایجاد میکنندوباعث میشودکه آندبطوریکنواخت مصرف شودوحداکثر بازدهی را ارائه دهد . همچنین تماس آندرا ازتماس با زمین مجزا نموده واز فعل و انفعالات شیمیایی خاک که ممکن است باعث تشکیل یک لایه فیلم (غیرفعال) با مقاومت بالا درسطح آندشودجلوگیری مینماید وما نع خروج مقداری ازشدت جریان مورداستفاده میگردد . این مواد شیمیایی دارای مقاومت الکتریکی کم بوده ودرجاهائیکه خاک اطراف آنددارای مقاومت بالا باشندب استفاده ازاین مواددراطراف آند ، باعث میشودکه مقاومت آندنسبت به زمین کم شده ودرنتیجه شدت جریان خروجی بیشتری ارائه دهد .

یک نمونه از مواد پوشش که در اطراف آندهای منیزیم ریخته می‌شود شامل ۷۵ درصد گچ متبلور و ۲۰ درصد بنتونایت (bentonite) و ۵ درصد سولفات سدیم است . برای آندهای روی ، از مخلوط ۵۰ درصد آهک و ماسه (گچ) و ۵۰ درصد بنتونایت استفاده می‌شود . در آندهای دائمی در زیر زمین معمولا از ذغال و یا پوشش گرافیت در اطراف آند استفاده می‌شود . استفاده از این نوع پوشش دو مزیت دارد ، یکی اینکه گرافیت یا ذغال مناسب (کک) دارای مقاومت الکتریکی کمی بوده (کمتر از خیلی خاکها) و باعث می‌گردد که بین آند و خاک مقاومت کمی ایجاد شود . دومین مزیت این است که اگر ذغال و گرافیت بطور محکم اطراف آندهای دائمی را پوشانیده باشند به واسطه رابطه مستقیمی که بین آند و ذرات پوشش (back fill) وجود دارد باعث می‌شود که جریان بیشتری که از آند خارج می‌شود ، از آنده به پوشش عبور کند و این عمل باعث کم مصرف شدن آند می‌گردد .

ارزش پتانسیلی فلزات مختلف در خاک نسبت به الکترود مس /سولفات مس

فلزات	ولت
منیزیم خالص تجارتی	- ۱/۷۵
آلیاژ منیزیم	- ۱/۶۰
روی	- ۱/۱۰
آلیاژ آلومینیوم (۵ درصد روی)	- ۱/۰۵
آلومینیوم خالص تجارتی	- ۰/۸۰
آهن کم کربن (تمیز و بدون زنگ)	۰/۸ - تا ۰/۵ -
آهن کم کربن (زنگ زده)	۰/۵ - تا ۰/۲ -
چدن	- ۰/۵
سرب	- ۰/۵
آهن کم کربن (در کانکریت)	- ۰/۲
مس - برنج	- ۰/۲
کربن ، گرافیت ، ذغال	+ ۰/۳

بستر آندی

نحوه نصب افقی ویا عمودی آندها با توجه به موقعیت زمین ، شرایط محلی ومقاومت خاک در عمق های مختلف تعیین میگردد .

نصب افقی :

برای اینکار معمولا" کانالی به عمق تعیین شده (حداقل ۱/۵ متر) برحسب وضعیت زمین و بطول معین (برحسب تعداد آندها) حفرمیگردد . عرض این کانال حدود ۵۰ تا ۷۵ سانتی متر میباشدواین کانال میتواندبه موازات ویا عمودبرامتداد خط لوله قرارداشته باشد . دربستر آندی افقی ، آندها طوری کارگذاشته میشوندکه فاصله بین آندها ازیکدیگربرابر با فاصله مرکز به مرکزآنها باشد . درکف کانال ذغال کک به ارتفاع حدود ۱۵ سانتی متر ریخته وبه خوبی کوبیده میگردد . پس ازقراردادن آندها دربستر مربوطه مجددا" روی هرآندبه ارتفاع حدود ۱۵ سانتی مترذغال کک ریخته میشود . سپس روی ذغال کک حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتی مترشن قلوه ریخته میشودوپس ازآن ستونی ازشن به کمک لوله ای سبک به قطر ۱۰ تا ۱۲ اینچ درطرف سرآند به نحوی بوجودآیدکه پس ازریختن شن درون لوله وپرکردن اطراف لوله با خاک ، لوله مزبور ازخاک بیرون کشیده شود . ارتفاع این ستون میتواندتا سطح زمین باشد .

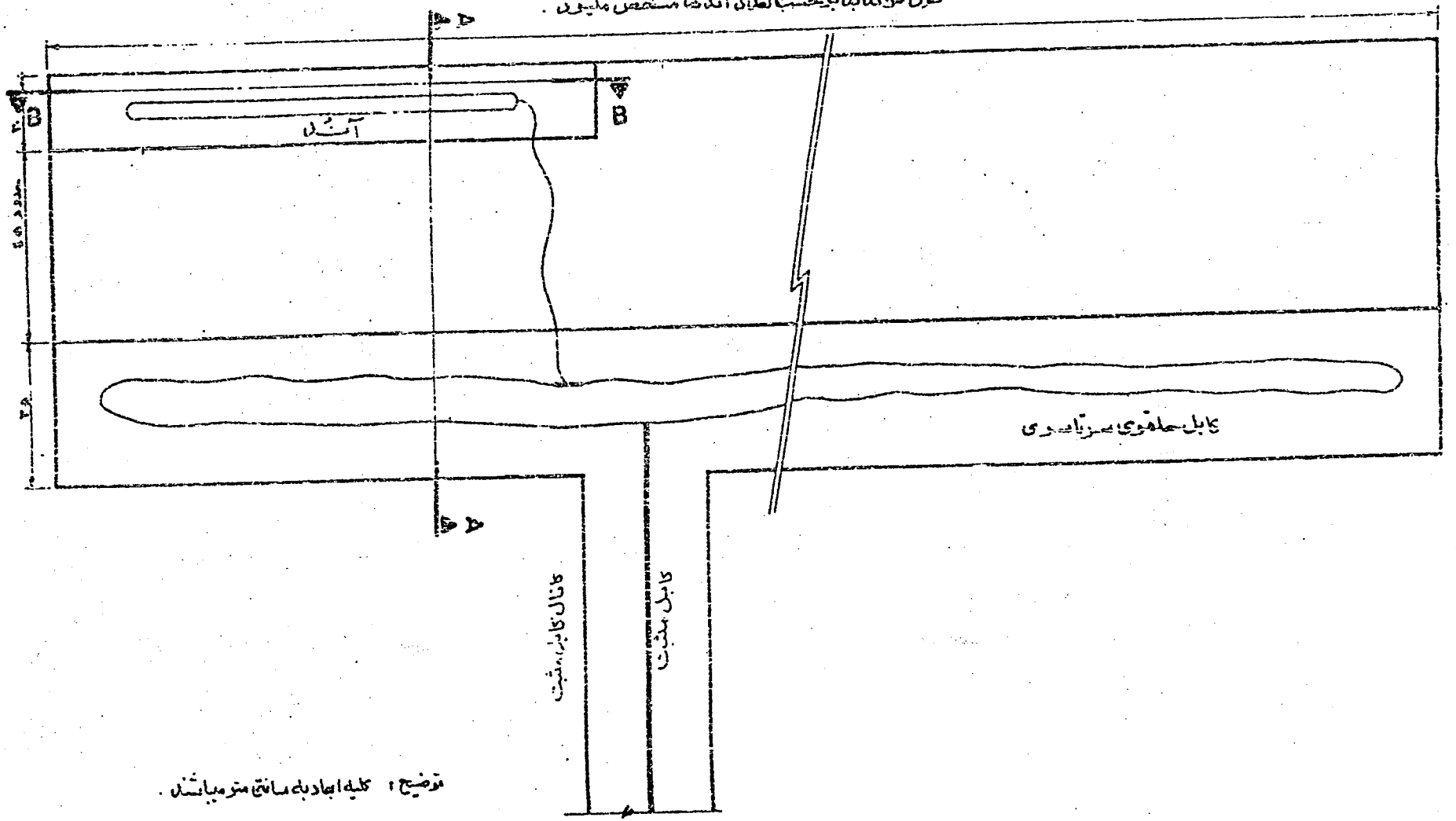
نصب عمودی :

دراین شیوه حفردهای محل آندها به کمک ماشین حفاری ایجادمیگرددکه میتواندتا عمق حدود ۱۰ فوت (۳ متر) وقطربین "۹ (۲۳ سانتی‌متر) تا "۱۲ (۳۰ سانتی‌متر) باشد . مقداری ذغال کک به ارتفاع حدودیک فوت درون حفره ها ریخته وخوب کوبیده میشودسپس آندها دقیقا" درمرکز حفره قرارداده شده واطراف آنها نیزذغال کک ریخته وضمن اینکارذغالها خوب کوبیده میشوند . همچنین روی آندها نیزبه ارتفاع یک فوت ذغال ریخته میشود . برای اتصال کابل آندها به کابل سرتاسری حفره آندی قبلا" کانالی به عمق ۷۵ سانتی‌متردرطول مسیرآندها کنده شده که به این ترتیب کابل هرکدام ازآندها ازطریق حفره ای به عمق ۷۵ سانتی‌متر به یکدیگروصل وسپس محل اتصال آنها عایق خواهدشد . درپایان بقیه حفره آندها بوسیله شن پر میگردد .

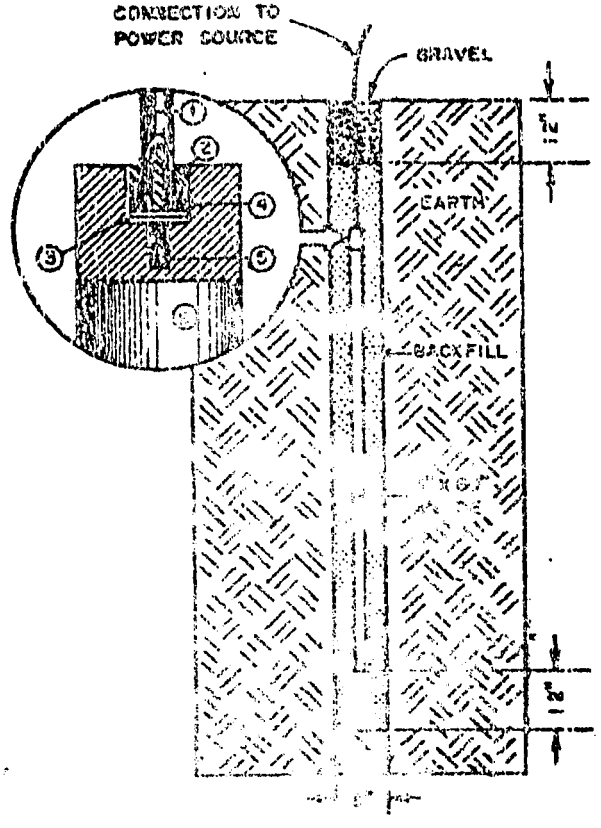
.../...

موقعیت یک آند، کابل حلقوی سرتاسری کابل مثبت در یک گراند بد افتی

طول گراند بد بیحسب تعداد آندها مشخص میشود .



توضیح : کلیه ابعاد به سانتی متر میباشند .



۶- سطح مقطع یک الکترود که بصورت عمودی در زمین
خانه قرار گرفته. فضای بین الکترود و سوراخ
که از مخلوط نمک و ذغال پر شده است قرار گرفته.

مقایسه دو سیستم حفاظت کاتدی

در استفاده از آندهای فداشونده محاسنی که دارا می‌باشند به شرح زیر است :

۱- احتیاج به تهیه برق ندارند .

۲- خرج تعمیرات بعد از نصب حداقل می‌باشد .

۳- خرج نصب نسبتاً پائین است .

۴- با مسائل تداخل لوله خارجی کمتر روبرو هستیم .

۵- مکانی که برای نصب مورد احتیاج است معمولاً کم است .

۶- تغییرپذیری در مکان آندها ممکن است ایجاد جریان بیشتر و در نتیجه توزیع بهتر شود .

بعضی از معایب که آندهای فداشونده در سیستم حفاظت کاتدی دارند به قرار زیر است :

۱- پتانسیلی که وجود دارد کم و نسبتاً ثابت می‌باشد .

۲- شدت جریان خروجی نسبتاً کم و ثابت است .

۳- استفاده از این نوع آندها در محلهائیکه مقاومت الکترولیت (خاک) خیلی بالا باشد محدود می‌شود .

۴- به خاطر شدت زیاد آنها بازرسی آندها مشکل خواهد بود .

محاسن استفاده از آندهای فدائی به قرار زیر است :

۱- مقدار خیلی زیاد ولت موثر وجود دارد .

۲- مقدار شدت جریان زیادی وجود دارد .

۳- در تمام نواحی (مقاومت کم و زیاد) می‌توان استفاده شود .

۴- ولتاژ را می‌توان طوری تنظیم کرد که شدت جریان خروجی به میزان معینی باشد .

۵- لوله‌های بدون پوشش (لخت) و لوله‌هائیکه پوششان ضعیف است به آسانی می‌توانند محافظت شوند .

۶- وسائل و تاسیسات بزرگ و خیلی گران را می‌توان به آسانی حفاظت نمود .

۷- هزینه استفاده از برق آن خیلی کم است .

بعضی ازمعایب این سیستم به‌قرارزیراست :

۱- یک نوع منبع جریان الکتریکی باید وجود داشته باشد .

۲- خرج نصب زیاد است .

۳- خرج تعمیرات معمولا" بیشتر است .

۴- مسائل تداخل جریان الکتریکی معمولا" بیشتر رخ می‌دهد .

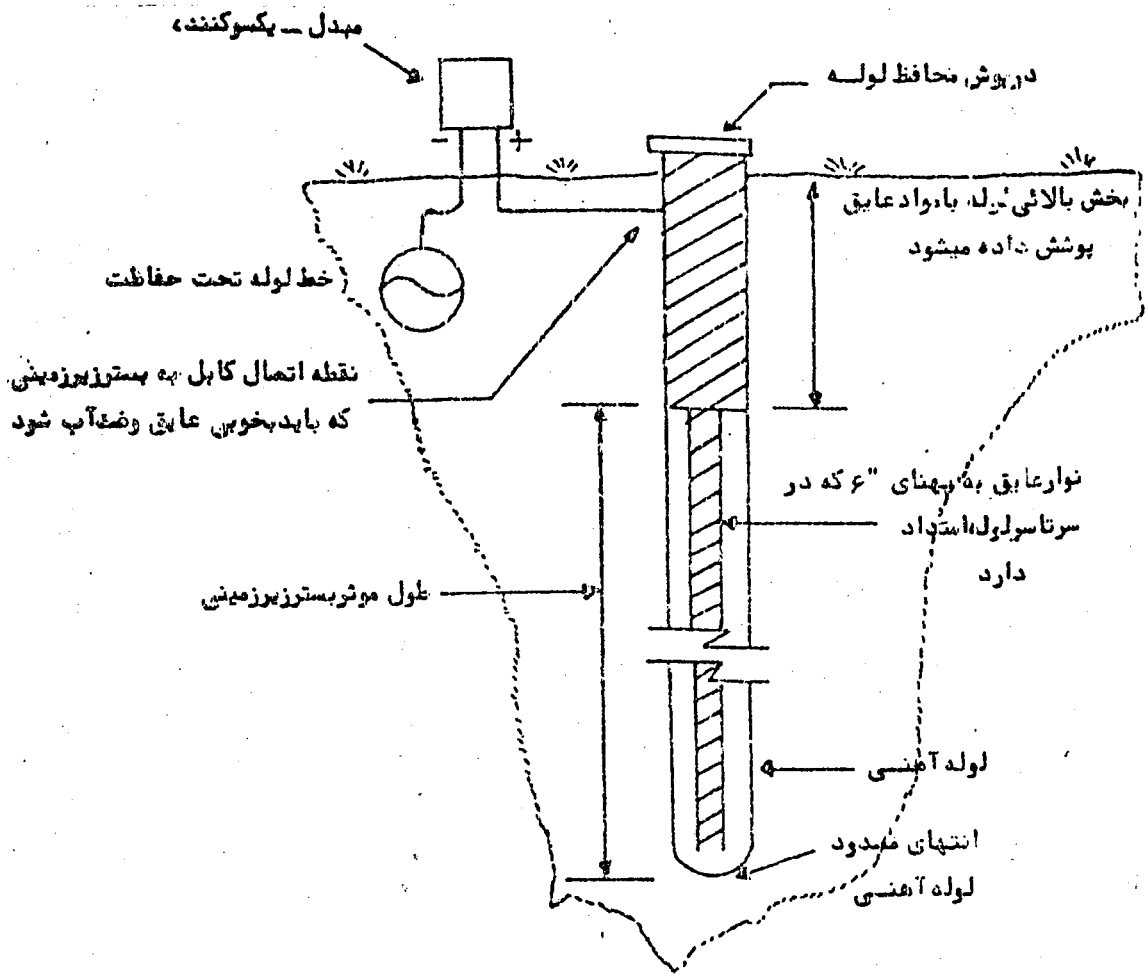
۵- بازرسی های متناوبی غالبا " باید انجام گیرد .

بسترچاه آندی عمیق

دریک بسترچاه آندی عمیق تعدادی ازآندها یا همه آنها نسبت بدلوله دورمی‌باشندبعبارتی دربسترآندهای دورطول قابل ملاحظه‌ای ازلوله‌تحت حفاظت قرارمی‌گیرد . حداقل فاصله بستر آندی ازلوله‌تحت حفاظت ۱۰۰ مترمیباشد . این طریقه‌شباهت بسیاری به‌کارگذاری آندهای به‌شیوه‌افقی که‌درسطح زمین درعمق معینی دریک امتداد قرارگرفته‌اندارد . درمناطقی که‌ضریب مقاومت الکتریکی زمین درسطح زمین بسیارزیاداست یا لایه‌های معدودی اززمین دارای مقاومت پائین می‌باشند ، شیوه‌بسترچاه‌آندی عمیق بسیارموثرمی‌باشد . دراین شیوه اگرلایه‌های عمیق زمین دارای ضریب مقاومت الکتریکی کم‌باشند ، توزیع شدت‌جریان‌دراطراف خط لوله‌بسیارعالی انجام‌خواهدگرفت . درنواحی که‌ضریب مقاومت الکتریکی زمین پائین باشدولی تراکم شبکه‌های فلزی زیادباشد ، بطوریکه‌بسترهای آندی سطحی بعلت نزدیکی به‌ساختارهای تحت حفاظت یا ساختارهای خارجی نتیجه‌بخش نباشند ، میتوان ازبسترچاه‌آندی عمیق درصورت کم بودن ضریب مقاومت الکتریکی زمین درلایه‌های عمیق استفاده‌کرد . ضریب مقاومت الکتریکی زمین با روش متداول ۴ میله‌ونرا ندازه‌گیری می‌شود . ابتداء اندازه‌گیری درعمق ۵۰ فوت انجام‌می‌گیردودراندازه‌گیری های بعدی فواصل میله‌ها ازیکدیگر ۵۰ فوت افزایش داده‌می‌شود . این اندازه‌گیری ممکن است تا عمق صدها فوت نیزانجام‌گیرد . دراین اندازه‌گیری ها نیازبه‌سطح گسترده‌ای می‌باشدکه‌هاری ازتاسیسات باشندونیزمسیرتمام ساختارهای زمینی (خطوط لوله - کابل - اتصال زمین وغیره) بایدکنترل شود ، زیرا بخشی ازجریان اعمال شده‌توسط این شبکه‌های فلزی جذب یا پخش خواهندشدونتیجه‌بدست آمده دقیق نخواهدبود . اندازه‌گیری ها درمناطق شهری ومسکونی عملا"ناممکن میباشد . طرق

.../...

گونا گونی درنصب بسترچاه آندی عمیق اجراء گردیده است . یکی ازطرق متداول جاگذاری لوله‌ای با دیواره ضخیم درچاه حفرشده میباشدکه درشکل زیرنشان داده شده است .

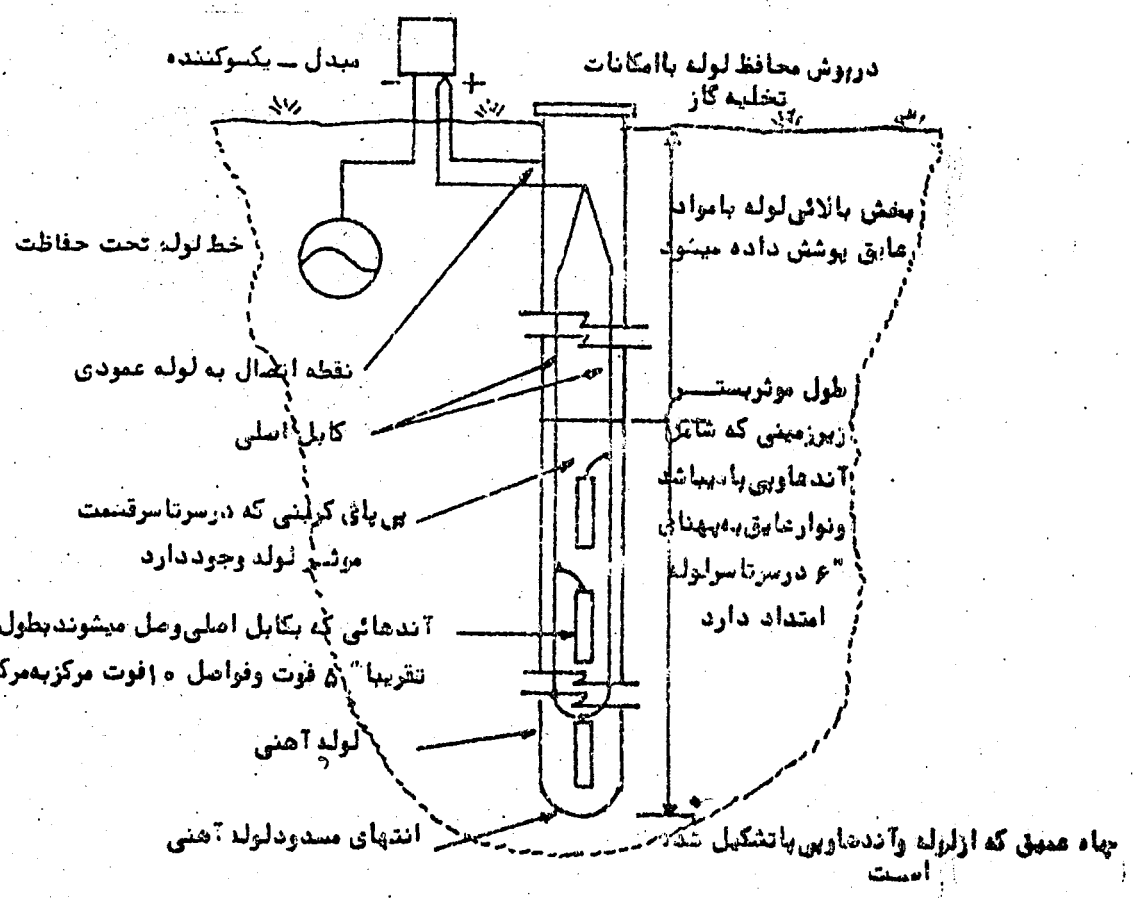


بسترزیرزمینی چاه عمیق ساخته شده ازلوله آهنی

بخش فوقانی لوله را برای جلوگیری ازخروج جریان با پوشش عایق میکنند . یک نوار پوششی درا متداد طول لوله نیزبرای کاهش احتمال جدا شدن قسمت های لوله از یکدیگردرا ثرخوردگی بکار میرود . اینکار دردمورد لوله های درزدار انجام میشودونوار درطول درزلوله ومحل جوشکاریهای مربوط به اتصال لوله ها چسبانده میشود . ازفواید این طریقه این است که میتوان

.../...

پس از خورده شدن و فرسایش لوله ها ولیه از لوله های بعدی که دارای قطر کمتر هستند استفاده کرد. در این حالت لوله های بعدی به قطب مثبت مبدل - یکسوکننده وصل می شوند و آبهای زیرزمینی موجود نیز اتصال بین لوله ها را برقرار خواهند کرد. طریقه ایجاد بستر آندی عمیق با استفاده از غلاف لوله ای را می توان توسعه و تکمیل کرد. این شیوه بدین ترتیب اجرا می شود که داخل غلاف لوله ای را با آندهای سیلیکان یا گرافیت و ذغال کک (پی پا) انباشته می سازند، در این شیوه ابتداء غلاف فلزی مصرف می شود ولی محتویات آن مصرف نخواهد شد. پس از فرسوده شدن لوله آندها و ذغال کک در مدار قرار می گیرند که در شکل زیر نشان داده شده است.



طراحی بستر آندی

تاسیسات بهره‌برداری وحفاری داخل دریا

خوردگی وزنگ زدگی این تاسیسات ازلحاظ اقتصادی مسئله‌بغرنجی بوده‌ودر ۲۰ سال گذشته مطالعاتی دربارهٔ میزان وروش مبارزه‌با خوردگی وهمچنین طرحهائی که‌ضررخوردگی را به حداقل برساند انجام‌گرفته‌است .

تاسیسات دریایی ازلحاظ حملات خوردگی به‌چهارمنطقه‌تقسیم می‌شوند :

۱- منطقه گل (Mud Zone) ، که‌قسمتی ازتاسیسات (Structure) درزیردریا قرار گرفته‌است .

۲- منطقه‌زیرآب (Submerge Zone) ، جائیکه‌فلزهمیشه‌بوسیله‌آب پوشانیده‌شده (زیر ۲۵ فوت اکسیژن کم‌وبالای ۲۵ فوق اکسیژن به‌مقدارزیاداست) .

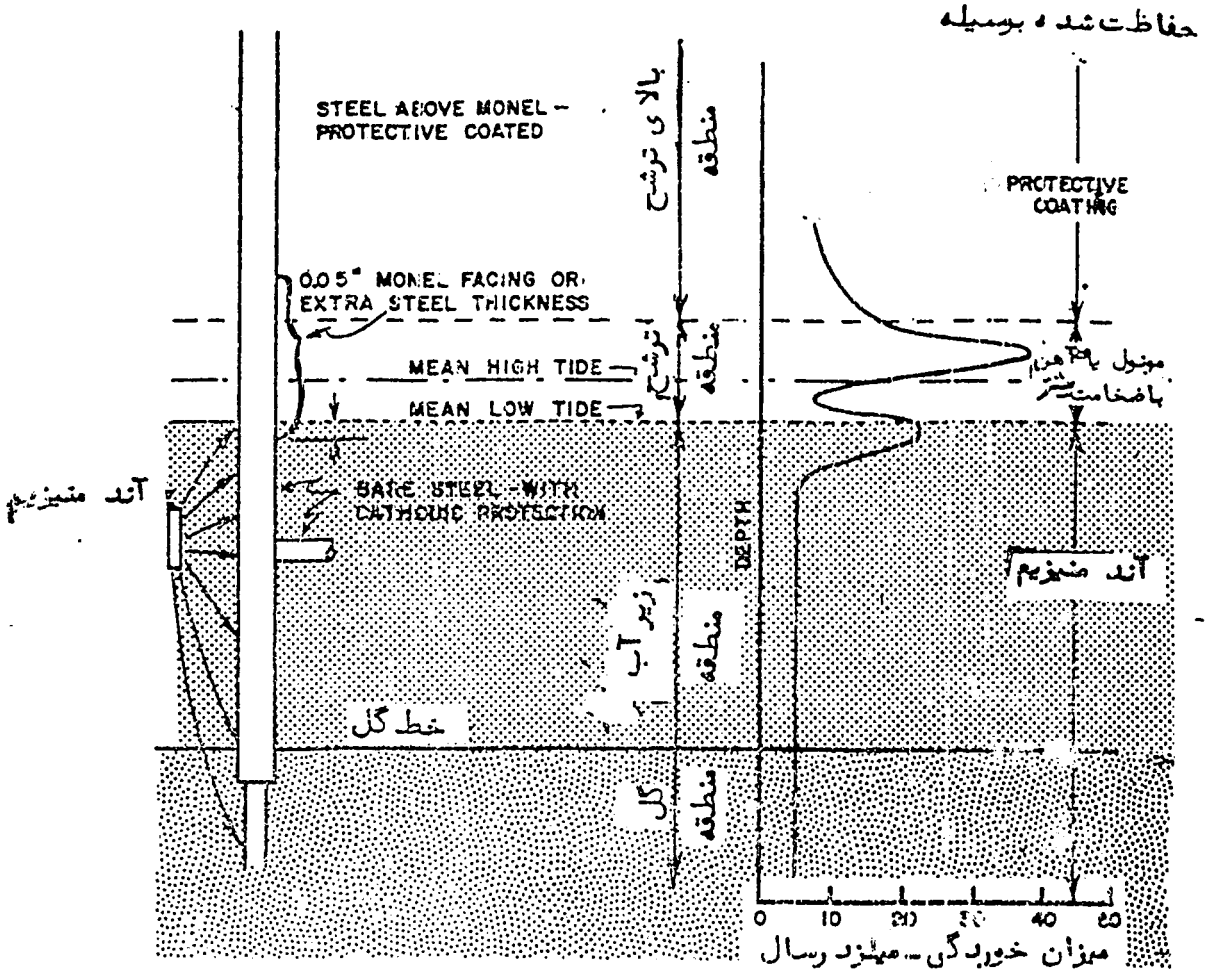
۳- منطقه‌ترشح (Splash Zone)، بالای خط آب جائیکه‌عملیات امواج فلزراخیس نگهداشته‌است .

۴- منطقه‌بالای ترشح (Spray Zone) ، جائیکه‌فلزبیشترخشک به‌نظرمی‌رسد .

درمنطقه‌گل بعلت کمبوداکسیژن میزان خوردگی به‌مقدارکم بوده (کمترازیک میل درسال یا ۱ MPY) .

درمنطقه‌زیرآب میزان خوردگی غیرازدوناحیه‌تقریبا " یکنواخت وحدود۵ میل درسال است .
این دوناحیه‌یکی درست دربالای خط گل (Mud line) ودیگری درست درزیرسطحی که‌جذر ومدمیشود قراردارد . دلیل افزایش خوردگی دراین دوناحیه‌به‌خاطرتغییرات حجم اکسیژن درسطح مرزی که‌باعث تشکیل یک پیل هوازی میشوداست . درخط گل هرگونه‌عملیات شستشوئی بوسیله‌شن وماسه‌یا لجن دراثرامواج یا جریان آب ، خوردگی را بوسیله‌این مواد سایینده شدیدنموده‌واین درست همان نوع خوردگی فرسایشی است . حفاظت کاتدی درمبارزه‌با خوردگی درنواحی گل وزیرآب می‌تواندصددرصدموثرباشد .
نظربا ینکه‌عملیات امواج درمنطقه‌ترشح (Splash Zone) خوردگی را درحداکثرنگاهداشته ، خسارت به‌تاسیسات دریایی خیلی شدیدمیباشد . دراین منطقه‌آن چنانکه‌تولیدات خوردگی تشکیل ویا ضخیم‌شده‌که‌باعث میشودکه‌ازضخامت لوله‌کم‌شود . اندازه عمودی منطقه‌ترشح‌بستگی به‌تغییرات جذرومدوارتفاع موج معمولی دارد .

.../...



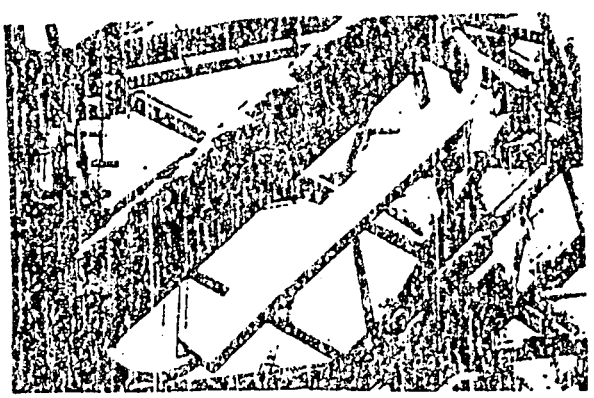
از تجربیات بدست آمده ، حفاظت کاتدی برای کنترل خوردگی در این ناحیه بدمقدار کمی موثر بوده و برای مبارزه با خوردگی در این منطقه میتوان از آهن با ضخامت بیشتر کدار یک سیستم خوب یا اینکه با آلیاژ نیکل - مس (Ni- Cu) پوشیده شده باشد استفاده کرد .

منطقه بالای ترشح (Spray Zone) که خشک به نظر می‌رسد ولی همیشه یک لایه از نمک بر روی سطوح وجود دارد . بیشترین فعل و انفعالات خوردگی در این منطقه در شبها رخ می‌دهد . همچنانکه ساختار در شب خنک و رطوبت زیاد می‌شود ، این لایه نمکی ، نم (آب) را از هوا جذب نموده و بزودی یک لایه نمکی نمناک سطح را می‌پوشاند . در روز خورشید این لایه نمناک را خشک نموده و میزان خوردگی را کم می‌کند . تولیدات خوردگی بصورت پوسته پوسته بدور آمدن تمایل پیدا می‌کنند و این

.../...

ورآمدن بی ترتیب تولیدات خوردگی ، باعث میگرددکه‌خوردگی ازنوع حفره‌ای (Pitting) ایجادشود. بطورکلی‌خوردگی ازنوع حفره‌ای درسطح زیرساختار (Structure) کدسایه است نسبت به‌سطوح بالای ساختارکدبوسیله‌آفتاب خشک می‌شوندعمیق تراست. برای کنترل خوردگی این سطوح ازروش پوشش (رنگ)استفاده میگردد. درانتخاب حفاظت کاتدی برای تاسیسات دریایی بوسیله‌آندهای گالوانیک (فداشونده) ویاسیستم آندهای دائمی(رکتی فایر) بستگی به‌وجودبرق متناوب (AC) وهمچنین توجه‌به سهولت تعمیرات آن خواهدبود.

درصورت استفاده‌ازآندهای دائمی بایدرکتی فایرهائی که‌شدت جریان خروجی آنها زیاداست بکاربرده‌شود. درسالهای اخیر، آندآلیاژسربی (Lead Silver) که‌دارای ۶ درصد آنتیمونی و ۱ درصدنقره‌درآن است استفاده‌میگردد. درحال حاضراسکله‌ها دراتی شرقی(T) درجزیره‌خارگ بوسیله‌این نوع آندها حفاظت میشود. میزان مصرف این آندبه‌ازای یک آمپر (۰/۱) پونددرسال است. آندهای دیگری مانندتیتانیم باروکش پلاتین درتاسیسات اسکله آذرپادخارگ موردا استفاده‌قرارمیگیرد. تقریبا " درتمام سیستم های آندهای گالوانیک که‌درساختاردریایی نصب میشوندبه‌منظوراقتصادی بودن ازآندآلومینیم استفاده‌میشود. برای سیستمهای کوتاه‌مدت مانندکلکل حفاری نابرجا (غیرثابت) غالبا " آندهای برای مدت ۵ ، ۱۰ یا ۲۰ سال انتخاب میشوند. برای تاسیسات ثابت ازیک سیستم ۱۰ یا ۲۰ ساله استفاده‌میگردد. یک نمونه‌ازآندآلومینیم‌باوزن ۷۲۵ پوندکه‌برای ۲۰ سال انتخاب شده و برروی یک سکوی دریایی نصب شده‌است درشکل دیده‌میشود.



یک آند ۷۲۵ پوندی آلومینیم که بر روی یک سکو مکان داده شده است.

برای سیستم‌های کوتاه مدت معمولا"بین ۱/۵ تا ۲ سال از آندهای منیزیم استفاده می‌گردد. اسکله‌ها و پایه‌های پل حتی اگر در آب شیرین روان یا جاری باشند غالبا " دچار خوردگی می‌شوند که برای حفاظت آنها از سیستم آندهای دائمی استفاده می‌گردد.

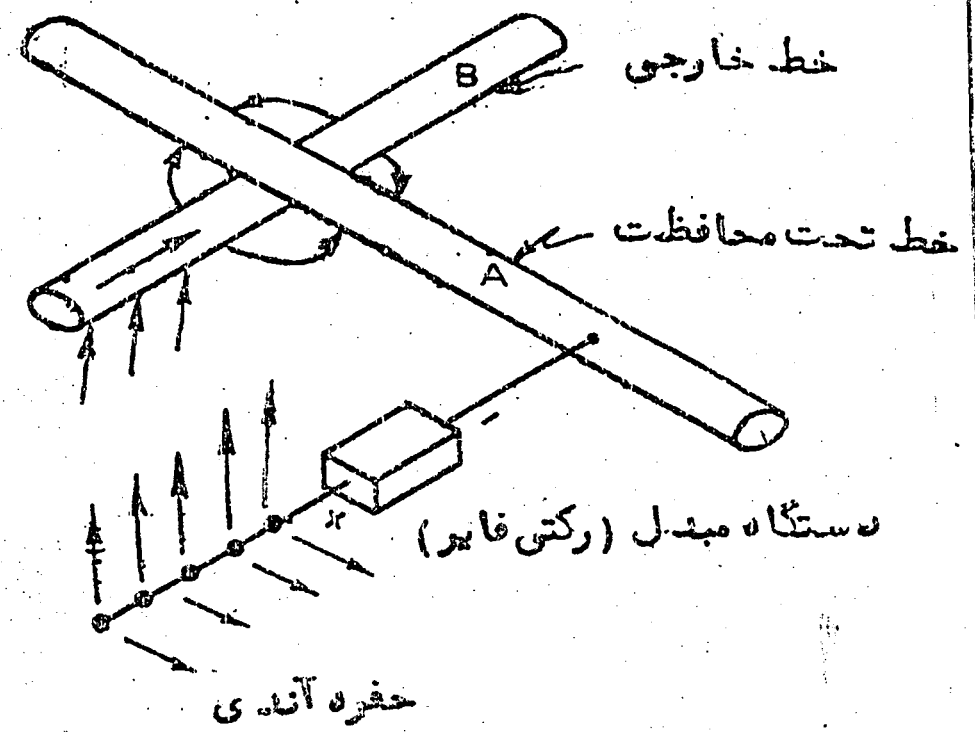
جریانهای سرگردان و تداخل جریان

الف- جریانهای سرگردان :

معمولا" از توزیع جریان حاصله از دیگر تاسیسات صنعتی و الکتریکی از قبیل مترو، راه آهن برقی و کابلهای زیرزمینی که معمولا" با جریان برق دائمی (DC) تغذیه می‌شوند در خاک ناحیه محل عبور و مسیر خطوط لوله ایجاد می‌گردد.

در مورد تاثیر جریان برق متناوب (AC) نیز عوامل نظیر تغییر سریع جریانهای زیاد ولتاژهای بالا و اتصال کوتاه دکلهای انتقال برق نیروی (۶۳ کیلوولت به بالا) باعث صدمه رساندن به پوشش اتصالات و عایقها می‌گردد. بطوریکه مشاهده میشود مقدار خوردگی بوسیله جریانهای سرگردان ، بستگی به مقدار عبور شدت جریان دارد.

.../...



جریانی که برای حفاظت لوله A استفاده میشود ممکن است از حفره آنودی (Anode Bed) به یک لوله خارجی B نزد یک حفر ه آنودی عبور نموده و سپس در نقطه تقاطع A و B از لوله B خارج گشته و به رکتی فایر رفته و در جائیکه جریان از B خارج گشته محل وقوع خوردگی است.

برای پیشگیری از ایجاد چنین اشکالاتی روشهای مشروحه زیر بکار میرود .

۱- درمحل تقاطع لوله‌ها با قطع ووصل کردن جریان حفاظتی محل خروج جریان را توسط اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل خط خارجی (غیرحفاظت) پیدا نموده وبین دولوله را مقاومت الکتریکی مناسب نصب مینمایند .

۲- برای جلوگیری از خروج جریان الکتریکی که مستقیما " از سطح فلز خارج شده وآن نقطه خورده میشود با ستدکف مخازن روی زمین ، با نصب آندمنیزیم اولا" مخزن را تحت حفاظت کاتدی قرار داده وثانیا " جریان سرگردان را از طریق آندبه زمین منتقل میکنیم .

۳- با اجرای پوشش عایق خوب میتوان از خوردگی بوسیله جریانهای مداوم جلوگیری نمود .

ب - تداخل جریان :

معمولا" در اثر مجاورت موازی یا متقاطع چندخط لوله که هرکدام بطور مستقل دارای سیستم حفاظت کاتدی میباشند بوجود می‌آید ، این پدیده باعث خوردگی شدید موضعی میگردد .

برای پیشگیری از ایجاد تداخل جریان یکی از روشهای زیر را میتوان مورد استفاده قرار داد .

۱- پوشش اضافی وچندلایه‌ای ، نقاط صدمه دیده .

۲- اتصال الکتریکی (ساده یا با مقاومت)

۳- نصب آندهای گالوانیک (منیزیم) ودرصورت استفاده از رکتی فایر ، آهن قراضه بجای آند .

۴- جابجا کردن منبع مولد تداخل جریان .

.../...

طراحی بستر آندی

درتعیین موقعیت بستر آندی مهمترین عامل ضریب مقاومت زمین میباشد . عوامل دیگری در تعیین موقعیت مکانی بستر آندی موثرخواهندبودکه به شرح زیرمیباشند :

۱- وجودشبکه‌های فلزی درحوزه موثرآندی که بخشی ازشدت جریان را جذب خواهندکرد . در این حالت مسئله پدیده تداخل بایدبرطرف گردد .

۲- آیا بسترهای آندی انتخاب شده درحریم خط لوله قرار دارند؟ درصورت قرارنداشتن بستردرحریم خط لوله ، مالکیت این مکان معین وروشن گردد .

۳- اگرروش حفاظتی ازنوع جریان اعمالی درنظرگرفته شده باشد ، آیا برق دراین نقطه وجوددارد؟ ونیزامکان انشعاب ازخط انتقال برق وجوددارد؟

۴- موقعیت مکان درنظرگرفته شده ازنظرکارهای تاسیساتی وتعمیراتی .

۵- بررسی برنامه‌های ساختمانی، جاده‌سازی وغیره که درآینده نزدیک دراین محل انجام خواهدشد .

بطورکلی تعیین موقعیت آندهای فداشونده سهل ترازبسترآندی با روش جریان اعمالی میباشد، زیرا این آندها درحریم خط لوله کارگذاشته می‌شوند ، نیازی به منبع تولیدبرق مستقیم نداشته وتداخلی با سایرشبکه‌های فلزی نخواهندداشت درصورتیکه درروش جریان اعمالی ناچار به تعیین مکان ازمناسب ترین نقطه به نقاط دیگربا ضریب مقاومت بیشتروجوددارد .

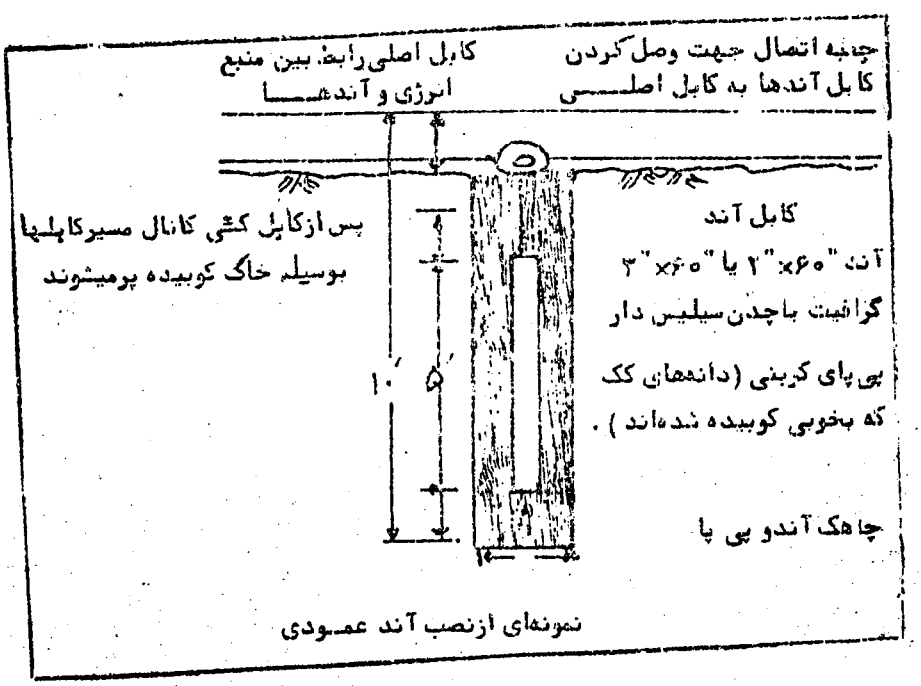
طراحی واقعی هنگامی انجام میگیردکه موقعیت دقیق بسترآندی وضریب مقاومت زمین دراین ناحیه مشخص شده باشد . با توجه به عوامل گوناگونی که دراین طراحی تاثیرخواهندداشت دقت عمل زیادنبود دولی اگرمقاومت بسترآندی ساخته شده با طراحی کمتر ازده درصدتفاوت داشته باشدنتیجه کارموفقیت آمیزمیباشد .

نمونه‌ای از کارگذاری آند به حالت عمودی در شکل زیر دیده می‌شود. ذرات کک (پی‌پا) در اطراف آند که تا حد لازم فشرده می‌باشند دارای دو خاصیت می‌باشند.

۱- با داشتن ضریب مقاومت کم موجب افزایش ابعاد آند و کاهش مقاومت آند نسبت به زمین می‌شوند.

۲- بخش اعظمی از جریان مستقیماً از آند وارد ذغال کک شده، در نتیجه بیشتر مصرف مواد در سطح خارجی ستون ذغال کک انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه پتانسیل مثبتی بر مجموعه بستر آندی اعمال می‌شود، سالم بودن عایق (روپوش) کابل اصلی، کابل آندی به بدنه آند و اتصال کابل آند به کابل اصلی از اهمیت بسزائی برخوردار می‌باشد، در غیر اینصورت جریان از طریق نقاط صدمه دیده خارج شده و موجب خوردگی در سیم‌های کابل می‌گردد که نتیجتاً منجر به جدا گردیدن قسمت‌های مختلف بستر آندی از یکدیگر می‌شود.

اتصال کابل آند و کابل اصلی باید دارای مقاومت کمی باشد. برای این اتصال میتوان از روش جوشکاری با پودر، لحیم‌کاری و با اتصالات پیچی استفاده کرد.



نمونه‌ای از نصب آند عمودی

مقاومت کلی آندنسبت به زمین برابر است با مجموع مقاومت آندنسبت به ذغال کک اطراف آن ومقاومت ذغال اطراف آندنسبت به زمین .

مقاومت آندنسبت به ذغال کک با استفاده از فرمول زیر تعیین میشود .

$$R_V = \frac{0/00521\ P}{L}\left(2/3\ \text{Log}\ \frac{8L}{d} - 1\right)$$

در این فرمول

R_V = مقاومت آندعمودی نسبت به زمین برحسب اهم

L = طول آندبرحسب فوت

P = ضریب مقاومت الکتریکی ذغال کک یا زمین برحسب اهم - سانتیمتر

d = قطر آندبرحسب فوت

مقاومت یک مجموعه آندکه به موازات یکدیگر قرار گرفته اند از فرمول زیر بدست می آید :

$$R = \frac{0/00521P}{NL}\left(2/3\ \text{Log}\ \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S}\ 2/3\ \text{Log}\ 0/656N\right)$$

در این فرمول :

R = مقاومت آندها (عمودی وموازی هم) نسبت به زمین برحسب اهم

P = ضریب مقاومت الکتریکی زمین برحسب اهم سانتیمتر

N = تعداد آندها به موازات یکدیگر قرار گرفته اند

L = طول آندبرحسب فوت

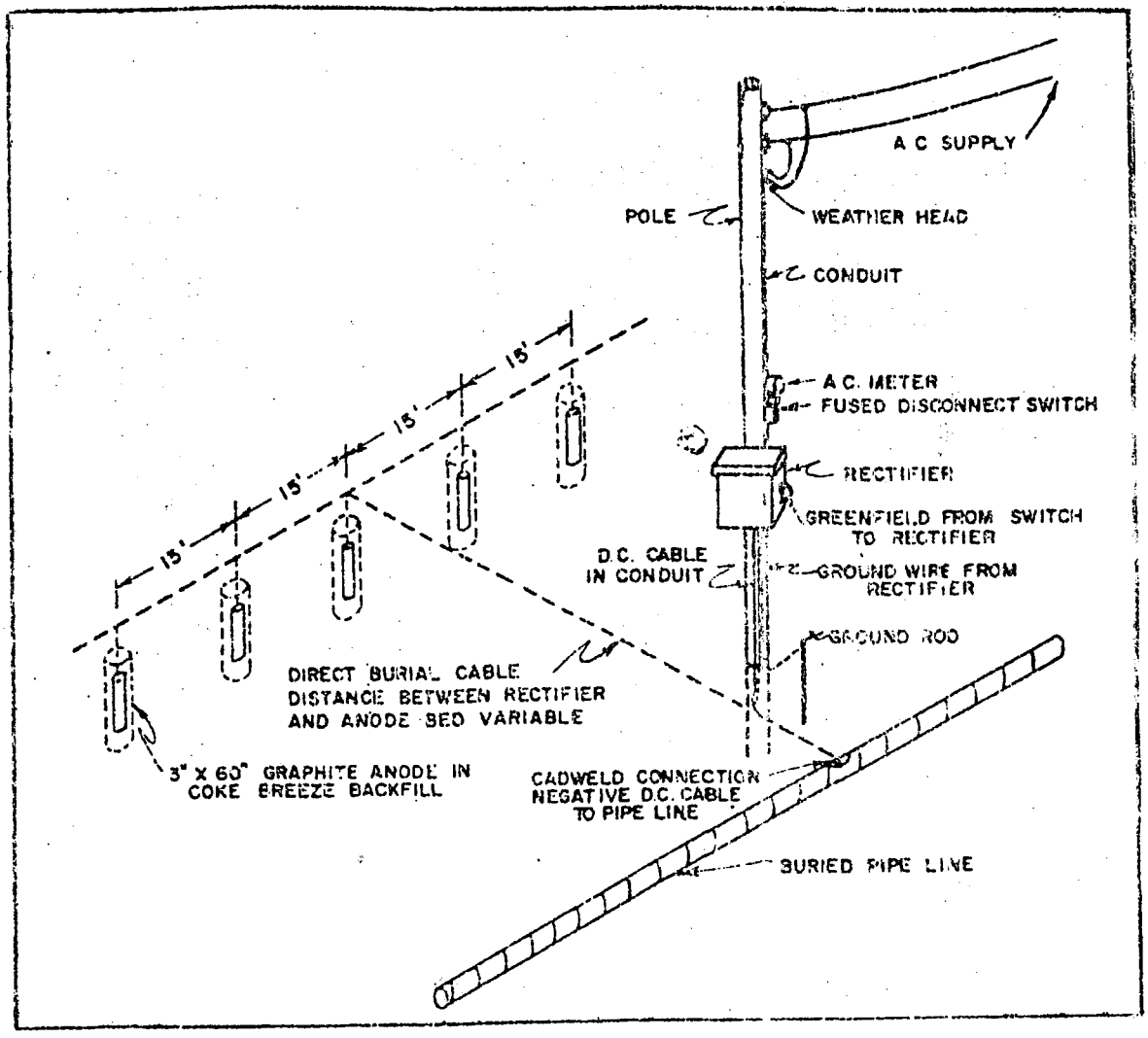
d = قطر آندبرحسب فوت

S = فواصل آندها از یکدیگر

مثال : فرض کنید میخواهیم درنقطه ای که ضریب مقاومت الکتریکی زمین ۲۸۰۰ اهم - سانتی متر است بستر آندی تشکیل دهیم . فاصله نزدیکترین آندبه خط لوله ۳۰۰ فوت بوده ومبدل یکسوکننده انتخاب شده نیز بتواند ۲۰ آمپر و ۲۴ ولت از این بستر آندی تامین بنماید علاوه برمقاومت آندنسبت به زمین عوامل زیر نیز باید درنظر گرفته شوند :

۱- ولتاژ مخالف بین بستر آندی ولوله

.../...



نشان دهنده یک نمونه از وصل رکتی فایر به خط لوله که در زیر خاک قرار گرفته

۲- مقاومت خط لوله نسبت به زمین در نا حیه بستر آندی

۳- مقاومت کابلهای ارتباطی بین خط لوله ، منبع برق مستقیم وبستر آندی

ولتاژ مخالف بین بستر آندی وخط لوله درجهت مخالف ولتاژ اعمال شده میباشد . برای یک بستر آندی با ذغال کک این مقدار درحدود ۲ ولت میباشد . برای تعیین ولتاژ مخالف اختلاف پتانسیل بین خط لوله وبستر آندی بلافاصله پس از روشن کردن منبع برق مستقیم اندازه گیری میشود . اگر ولتاژ مخالف ۲ ولت باشد در اینصورت موجب خنثی شدن ولتاژ اعمال شده بمیزان ۲ ولت خواهد شد . مقاومت خط لوله نسبت بزمین بستگی به کیفیت پوشش لوله دارد . اگر در مثال فوق ۲۰ آمپر اعمال شود موجب تغییر پتانسیل لوله به مقدار ۱/۵- ولت نسبت به الکترود مرجع شود ، مقاومت موثر خط لوله برابر $R = \frac{E}{I} = \frac{1/5}{۲۰} = ۰/۰۷۵$ اهم میباشد .

طراحی سیستم حفاظت کاتدی ساختمانهای دریایی

برای اینکار مواردی را که در پیمانکاری مقرر داشته بلا" تشریح می گردد :

۱- انتخاب روش حفاظت کاتدی برای تاسیسات دریایی

۲- انتخاب نوع آندهای دریایی برای سیستم حفاظت با روش جریان القائی

۳- محاسبات مربوط به میزان شدت جریان الکتریکی مورد نیاز حفاظت کاتدی وتوزیع آن

۱- انتخاب روش حفاظت کاتدی :

یک سیستم حفاظت کاتدی مناسب برای تاسیسات دریایی باید دارای شرایط زیر باشد :

۱-۱ قادر به تامین شدت جریان الکتریکی کافی برای حفاظت کامل تاسیسات باشد .

۱-۲ بتواند شدت جریان الکتریکی لازم را بصورت تقریبا " یکنواختی به قسمتهای مختلف تاسیسات توزیع نماید .

۱-۳ دارای عمر طولانی باشد .

۱-۴ سیستم ساده بوده وتعمیرات آن بآسانی میسر باشد .

۱-۵ از نظر استحکام مکانیکی برای شرایط خاص منطقه ای مطمئن باشد .

۱-۶ در مقابل لرزش وحرکات امواج مقاوم باشد .

۱-۷ اقتصادی باشد .

تجارب چندین ساله مهندسین خوردگی فلزات ، دانش باارزشی برای چگونگی حفاظت کاتدی تاسیسات دریایی بوجودآورده است . این تجارب با تدوین استانداردها وکتب مرجع دردسترس متخصصین علم خوردگی قرارگرفته وهم اکنون برای انتخاب روش حفاظتی تاسیسات دریایی درسطح جهان مورداستفاده قرارمیگیرد . تاسیسات دریایی را میتوان با هریک ازدوروش حفاظت کاتدی ، یعنی روش گالوانیک یا جریان القائی حفاظت نمود. هریک ازروشها ی موردنظردارای محاسن ومعایبی نسبت به یکدیگرمی باشند . طبق استاندارد BS- C.P1021 انتخاب روش حفاظت کاتدی برای تاسیسات دریایی بستگی به میزان شدت جریان الکتریکی موردنیاز جهت حفاظت تاسیسات را دارد . لیکن بطورکلی شدت جریانهای الکتریکی کم را میتوان با استفاده ازسیستم گالوانیک وشدت جریانهای زیاد را ازروش جریان القائی بدست آورد . درمواردی که نیروی برق برای حفاظت کاتدی موجودباشد معمولا" برای تاسیسات بزرگ دریایی استفاده ازسیستم جریان القائی اقتصادی ترمیباشد . بعنوان مثال درارتباط با اسکله آدرپادخارگ جمع شدت جریان محاسبه شده برای پلاریزه کردن تاسیسات زیرآب بالغ بر ۵۰۰۰ آمپربوده که گویای میزان جریان بسیار زیادی میباشد . حال چنانچه استفاده ازآندهای گالوانیک نوع آلومینیم درحفاظت کاتدی تاسیسات جزیره استفاده بعمل میآمد برای یک عمر ۲۰ ساله سیستم ، به میزان زیرمیبایدآندآلومینیم مصرف میگردید :

$$\text{وزن آند آلومینیم به پوند} = \frac{\text{عمرسیستم به ساعت} \times \text{میزان شدت جریان موردنیاز}}{1215}$$

$$\text{وزن آندآلومینیم} = \frac{5000 \times (20 \times 365 \times 24)}{1215} = 720/000 \text{ پوند}$$

این میزان آندبرابر با حدود ۲۴۰۰ عددآندبه وزن ۳۰۰ پوندآلومینیم میباشد ، که با توجه به طول هرآند (۲/۴ متر) وتعداد موردنیاز برای هرپایه ازتاسیسات اسکله وعمق آب ونیازبه فضای کافی برای نصب آندها ومسائل ومشکلات نصب وتعمیرات ، انتخاب این روش مقدورنبوده است . بنا براین به خاطروجودبرق درتاسیسات اسکله روش جریان القائی مقرون به صرفه تراست .

۰۰۰/۰۰۰

۲- انتخاب نوع آندهای دریایی برای حفاظت کاتدی با روش جریان القائی:

آندهائی که برای سیستم های حفاظت کاتدی دریایی مصرف می‌شوند باید دارای خصوصیات زیر باشند:

۲-۱ قادر به بهره‌برداری با ظرفیت زیاد شدت جریان الکتریکی باشند.

۲-۲ میزان مصرف سالیانه آنها کم باشد.

۲-۳ نصب و تعویض آنها به سهولت امکان پذیر باشد.

۲-۴ در مقابل صدمات مکانیکی مقاوم باشند.

طبق تجارب و مراجع موجود آندهای تیتانیوم با روکش پلاتین، آلیاژ نقره-سرب، فروسیلیس یا سیلیکان آیرون و گرافیت برای نصب در سیستمهای حفاظت کاتدی تاسیسات دریایی مناسب می‌باشند. آندهای فروسیلیس و گرافیت را نمی‌توان با شدت جریانهای الکتریکی زیاد مورد بهره‌برداری قرار داد و حداکثر مجاز میزان شدت جریان الکتریکی آنها برابر با ۲۳ آمپر بر متر مربع برای آندهای فروسیلیس و ۲۱ آمپر بر متر مربع برای آندهای گرافیت میباشد. بنابراین استفاده از آندهای مذکور در مواردی که شدت جریانهای زیاد مورد نیاز باشد کافی نیست. میزان مصرف این نوع آندها نیز زیاد بوده و برای آند فروسیلیس در آب دریا در حدود ۰/۱ و برای آند گرافیت در حدود $\frac{1}{2}$ کیلوگرم برای هر آمپر شدت جریان الکتریکی در هر سال میباشد. آندهای تیتانیوم با روکش پلاتین و آلیاژ نقره- سرب را می‌توان با شدت جریانهای زیاد مورد بهره‌برداری قرار داد. جدول زیر شدت جریان مجاز و مصرف انواع آندهای فوق الذکر را نشان می‌دهد.

جدول شدت جریان مجاز و میزان مصرف آندهای دریایی

نوع آند	شدت جریان مجاز (آمپر بر متر مربع)	میزان مصرف در آب دریا (گرم یا میلی گرم برای هر آمپر در سال)
فروسیلیس با کروم	۴۳	۱۰۰ گرم
گرافیت	۲۱	۵۰۰ "
آلیاژ سرب- نقره	۲۰۰	۹۰ میلی گرم
تیتانیوم با روکش پلاتین	۴۰۰ *	$۸/۶\times۱۰^{-۳}$ میلی‌گرم

* برای هر میکرون ضخامت پلاتین

لازم به ذکر است که روکش ذخامت پلاتین آندهای تیتانیوم برابر ۶/۲۵ میکرون میباشد .
با توجه به تجارب موجود و اطلاعات فوق دیده میشود که آندتیتانیوم با روکش پلاتین و انواع مشابه آن مانند وانادیم ، نئوبیوم وتانتالم که به آندهای فلزات گرانبها مشهورند مناسب ترین نوع آند برای استفاده در حفاظت کاتدی تاسیسات دریایی میباشد این آندها تقریبا " عمری بوده وچنانچه صدمات مکانیکی به آنها وارد نگردد و یا از مفصل کابل ضایع نگردند ، دارای دوام فوق العاده زیادی میباشند . این نوع آندها همچنین سبک بوده و به همین دلیل نصب آنها در زیر آب هرچند میبایدبا دقت صورت پذیرد لیکن با مشکلی مواجهه نمیباشد .
لازم به تذکر است که روکش پلاتین آندهای تیتانیوم میتوانند حداکثر ولتاژی به میزان ۱۲ ولت را نسبت به آب دریا تحمل نمایند . ولتاژهای بالاتر از این رقم سبب پوسته کردن روکش وضایع شدن تیتانیوم میگردد .

۳- محاسبات مربوط به میزان شدت جریان الکتریکی مورد نیاز حفاظت کاتدی وتوزیع آن :

میزان شدت جریان الکتریکی مورد نیاز جهت حفاظت کاتدی تاسیسات دریایی ، بستگی به محیط نصب تاسیسات دارد . سرعت آب ، اثرات گالوانیک ، عوامل موثر دیگر و نظایر آن از عواملی هستند که سبب تغییر میزان شدت جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی تاسیسات دریایی میگردند . چنانچه اثرات گالوانیک در ساختمان تاسیسات دریایی وجود نداشته باشد ، معمولا " جریانی بمیزان ۳۰ میلی آمپر بر متر مربع برای تکامل داشتن پلاریزاسیون تاسیسات دریایی کافی میباشد ، مشروط براینکه تاسیسات قبلا " پلاریزه شده باشند . معمولا برای بدست آوردن پلاریزاسیون ساختارهای دریایی شدت جریانهائی در حدود ۱۵۰-۱۰۰ میلی آمپر بر متر مربع لازم است . پس از پلاریزاسیون تاسیسات این میزان به حدود ۳۰ میلی آمپر بر متر مربع کاهش مییابد میزان شدت جریان الکتریکی اولیه مورد نیاز جهت حفاظت قسمتهای زیر آب ۱۰۰ میلی آمپر بر متر مربع وبرای قسمتهای زیر بستر دریا برابر ۲۰ میلی آمپر بر متر مربع خواهد بود .