

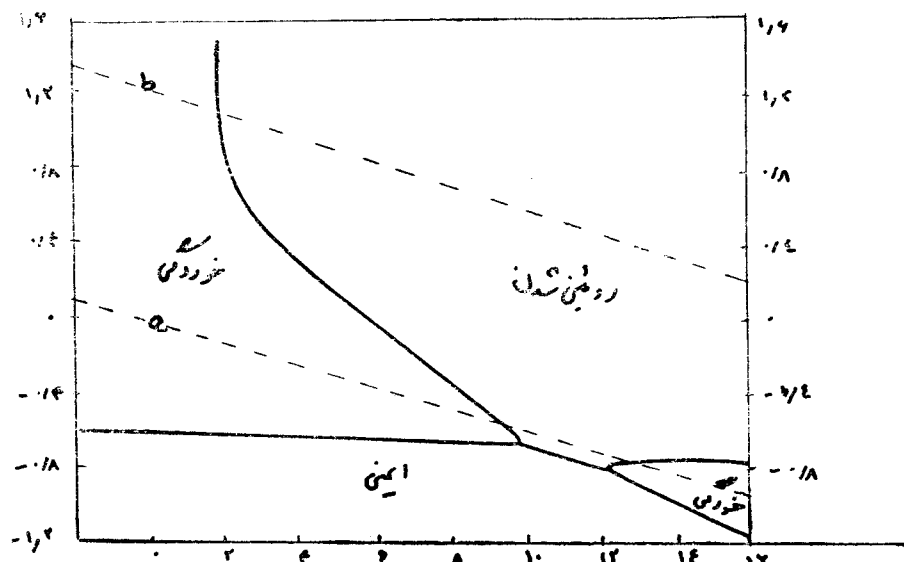
## روشهای الکتروشیمیائی حفاظت فلزات

نوشته

دکتر افسر سیار

استادیار متالورژی دانشکده فنی

برای روشن شدن موضوع دیاگرام پتانسیل فلز (در اینجا آهن) را برحسب pH در نظر می گیریم. در این دیاگرام قسمت چپ محیطهای اسیدی و قسمت راست محیطهای قلیائی می باشد. در پائین خط a آب تحت فشار یک جو احیا شده هیدروژن آزادمی کند در نتیجه محیط احیا کننده است. در بالای خط b آب اکسید شده و اکسیژن می دهد و نواحی بالا در نتیجه اکسید کننده است. بین دو خط a و b آب از لحاظ ترمودینامیکی پایدار است.



شکل ۱ - مناطق مختلف خوردگی، ایمنی و روئین شدن آهن در ۲۵°C

در روی شکل ۱ می بینیم که در دو قسمت مثلثی شکل فلز خورده می شود در صورتیکه در بالا و پائین این دو قسمت آهن محفوظ میماند. بنابراین برای جلوگیری از خوردگی فلز می توان از دو راه مختلف حفاظت کاتدی و حفاظت آندی استفاده کرد.

— در روش حفاظت کاتدی تانسینون فلز را بحدی پائین می برند که در منطقه ایمنی قرار گیرد. در این حالت فلز از لحاظ ترمودینامیکی پایدار است و دیگر خورده نمی شود و در ضمن سطح آن کاملاً فلزی است و پوششی ندارد. در این نوع حفاظت اغلب از یک منبع جریان خارجی استفاده می شود و بر روی فلز هیدروژن متصاعد می گردد.

— در حفاظت آندی یا حفاظت توسط « روئین کردن » تانسینون فلز را بحدی بالا می برند تا در منطقه روئین شدن قرار گیرد. در این حالت خود فلز پایدار نمی شود بلکه روی آن از یک پوسته پایدار ( در مورد آهن  $Fe_2O_3$  یا  $Fe_3O_4$  ) پوشیده می شود.

### ۱ - حفاظت کاتدی

در این روش پتانسیل الکترود فلز مورد حفاظت را پائین می برند تا در منطقه ایمنی قرار گیرد و اینکار به دوراه مختلف صورت می گیرد :

الف - حفاظت کاتدی توسط آندهای فعال یا « فدائی »

ب - حفاظت کاتدی توسط جریان تحمیلی.

حفاظت توسط آندهای فدائی اغلب پرخرج تر از حفاظت توسط جریان تحمیلی خارجی است و به همین جهت فقط در مورد قطعات کوچک و در محیطهائی که مقاومت مخصوص آنها نسبتاً کم باشد و یا هنگامی که جریان الکتریکی در دسترس نباشد بکار می رود.

### الف - حفاظت کاتدی توسط آندهای فدائی

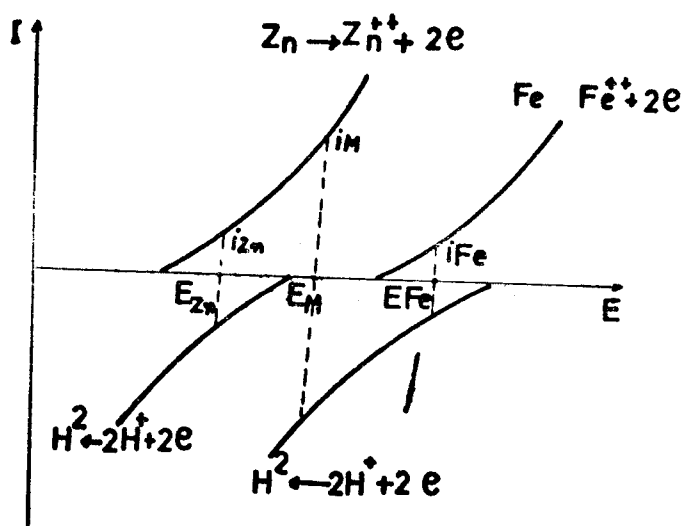
در این روش فلز مورد حفاظت را بفلزی که کمتر از آن نجیب باشد اتصال می دهند و بدین طریق در پیل احتمالی که تشکیل می شود فلز اضافی نقش آنرا دارا خواهد شد و خورده می شود. ( همین اساس تا حدودی در گالوانیزاسیون دخالت می کند). این روش ساده است و اغلب بکار می رود ولی دارای اشکالاتی نیز می باشد. معمولاً اختلاف پتانسیلی را که در فاصله مدار باز بین دو فلز بوجود می آید نمی توان از روی جنس فلزات تعیین کرد زیرا هنگام کار پیل مقاومتی که مقدار آن بستگی به مقاومت مخصوص الکترولیت ( و یا در کانالهای زیرزمینی به مقدار مقاومت خاک ) دارد نیز دخالت می کند. بدین طریق یک افت مقاومت حاصل می شود و پتانسیل برخی از نقاط فلز مورد حفاظت بیشتر از مقدار لازم می گردد و در نتیجه انرژی زیادی تلف می شود. بنابراین باید بجای یک آند از چندین آند که با دقت در اطراف فلز پراکنده شده باشد استفاده

جدول ۱ - ترکیب و خواص برخی از آندهای فدائی

مصرف	بتانسیل الکترود	راندمان	ترکیب %													نام آند	
			E	%	Sn	Cd	Pb	Fe	Ni	Cu	Si	Zn	Mn	Al	Mg		
۷۷	۱۰۰۰ -	۵۰							۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	حد اکثر	۲۰ تا ۳۰	حد اقل ۰.۱۵	۰.۲ تا ۰.۷	بقیه تا حد مینیزیم	مینیزیم
۱۲	۱۰۱ -	۹۰			۰.۰۰۳ تا ۰.۰۲	حد اکثر ۰.۰۰۶	حد اکثر ۰.۰۱۴		حد اکثر ۰.۰۰۵			حد اکثر ۰.۰۰۵	۰.۰۲ تا ۰.۰۷	حد اکثر ۰.۰۰۵	۰.۱ تا ۰.۳	بقیه تا حد مینیزیم	روی
۶ تا ۳	۱۰۱ -	۵۰							حد اکثر ۰.۰۱۷		حد اکثر ۰.۰۲	حد اکثر ۰.۱۰	۳		بقیه تا حد مینیزیم		آلومینوم روی

کنند. برای حفاظت آهن می‌توان آند روی و یا منیزیم بکاربرد. پتانسیل انحلال منیزیم از روی منفی‌تر است (۱۱۰۰ — نسبت به الکتروود سولفات مس در مقابل ۱۱ — برای روی) و ظاهراً باید برای حفاظت آهن بهتر از روی باشد (بسیب زیادتر بودن اختلاف پتانسیل انحلال) ولی عملاً بهره‌الکتروشیمیائی آندهای روی بیشتر از منیزیم است (۹٪ برای Zn و ۰.۵٪ برای Mg). علت این امر اینست که آندهای منیزیم از منیزی پوشیده می‌شود و در نتیجه دبی پیل کم می‌گردد. بعنوان مثال، خواص اصلی فلزات و آلیاژهایی که برای حفاظت کاتدی تشکیلات درون خاک بکار می‌رود ذکر می‌گردد (جدول ۱).

تفسیر الکتروشیمیائی حفاظت کاتدی توسط آند فدائی - بعنوان مثال حفاظت آهن توسط آند فدائی روی را در نظر می‌گیریم (شکل ۲). اگر آهن بتنهائی در محلول قرار گیرد پتانسیل انحلال آن EFe و

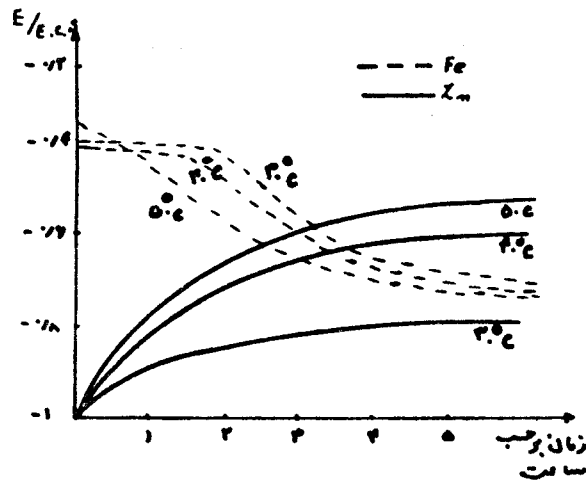


شکل ۲ - تفسیر الکتروشیمیائی حفاظت کاتدی توسط آند فدائی

شدت خوردگی آن  $i_{Fe}$  خواهد بود. روی نیز اگر تنها باشد نسبت بمحلول دارای پتانسیل  $E_{Zn}$  و شدت  $i_{Zn}$  خواهد بود. حال اگر این دو فلز را بیکدیگر مربوط سازند پتانسیل مجموعه  $E_M$  می‌شود و آهن دیگر در این پتانسیل خورده نمی‌شود زیرا واکنش  $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$  دیگر نمی‌تواند انجام گیرد. بعکس روی توسط جریان آندی  $i_M$  که بیشتر از جریان خوردگی  $i_{Zn}$  است خورده می‌شود. عملاً برای حفاظت آهن در آب باید آنرا پتانسیلی حدود  $U/E.C.S - 0.800$  ببرند.

باید توجه داشت که مقدار پتانسیل دوفلزی که پیل را تشکیل می‌دهد، ممکن است برحسب درجه حرارت تغییر کند. بدین طریق فلزی که در درجه حرارت عادی کمتر نجیب بوده و فلز اصلی را حفظ می‌کند می‌تواند در درجه حرارت بالا نجیب‌تر از فلز اصلی شده و در نتیجه سبب خوردگی آن گردد. این حالت در مورد کوپل آهن - روی در آب مشاهده می‌شود. چنانچه در شکل ۳ می‌بینیم پتانسیل تعادلی آهن

در  $30^{\circ}\text{C}$  نجیب تر ( کمتر سفی ) از پتانسیل تعادلی روی است در صورتی که در  $40^{\circ}\text{C}$  بعکس آهن کمتر نجیب می گردد. بنابراین در درجه حرارت بالا نمی توان از آهن گالوانیزه استفاده کرد.



شکل ۳ - اثر درجه حرارت بر روی تغییرات مقدار پتانسیل خوردگی آهن و روی

### ب - حفاظت کاتدی توسط جریان تحمیلی

در این روش حفاظت ، جریان مستقیم خارجی را در پیل متشکل از فلز مورد حفاظت که بعنوان کاتد عمل می کند و یک آند بی اثر وارد می کنند و از راههای مختلف مثل زه کشی ، زه کشی پلاریزه ، بی ون کشیدن (Soutirage) و یا استفاده از آندهائی که آنها را وسیله مکش جریان (déversoir de Courant) می نامند انجام می گیرد. جنس آند می تواند بسیار متنوع باشد چنانچه می توان از ریلهای کهنه بدین منظور استفاده کرد. گاهی برای حفاظت تشکیلات توزیع آب از وسیله مکش آلومینیومی استفاده می کنند ولی در بیشتر موارد آند از موادی مانند فروسیلیسیوم ، گرافیت ، سرب و پلاتین است که بصورت ، ورقه و یا لایه ای بر روی فلزات دیگر ( مثل لایه پلاتین ) مصرف می شود. چنانچه وسیله مکش از جنس تیتان پوشیده از پلاتین زیاد بکار می رود.

در جدول ۲ خواص مشخصه برخی از این وسایل مکشی دیده می شود.

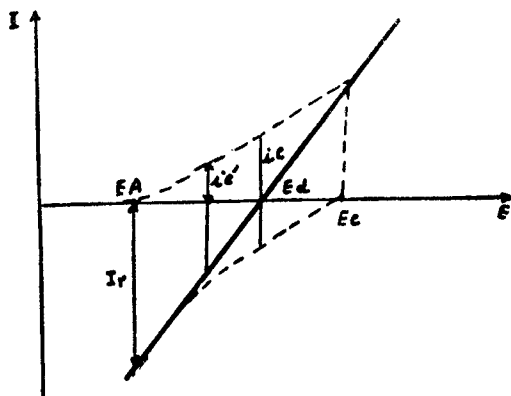
تفسیر الکتروشیمیائی - هنگامی که فلز مورد حفاظت در محیط خورنده قرار می گیرد ( بدون جریان تحمیلی ) شدت جریان خوردگی آن یا  $i_c$  از روی دیاگرام تئوری پلاریزاسیون بدست می آید ( شکل ۴ ). بنابراین پتانسیل انحلال یا پتانسیل خوردگی آن  $E_d$  خواهد بود.

حال اگر این فلز را که در کاتد پیل قرار گرفته است با تحمیل جریان  $I_1$  به پتانسیل  $E_1 < E_d$  ببرند تا حدودی حفاظت می شود زیرا جریان خوردگی به  $i'_c$  تقلیل می یابد ولی برای اینکه فلز بطور کامل حفاظت شود باید جریانی مانند  $I_2$  را به آن تحمیل کنند و در اینحال پتانسیل فلز  $E_A$  خواهد شد که مطابق

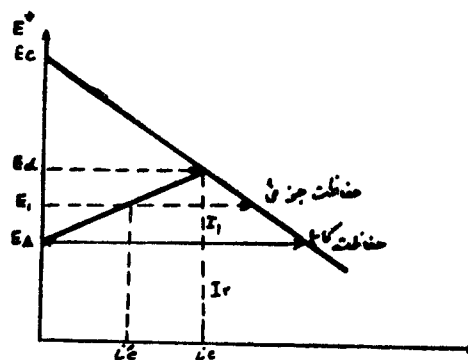
جدول ۲ - مشخصات اندهائی که بعنوان وسیله مکش جریان بکار می رود

جنس آند	دانشیه جریان حداکثر برحسب $\frac{A}{dm^2}$		مصرف تقریبی برحسب کیلوگرم آمپر درسال
	درآب	درخاک	
فولاد	۰.۰۵	۰.۰۵	۶۸ تا ۹۱
چدن	۰.۰۵	۰.۰۵	۶۸ تا ۴۵
آلومینیوم	—	—	۴۱
فروسلیسیوم	۰.۳ تا ۰.۴	۰.۳	۰.۴ تا ۰.۹
گرافیت	۰.۲	۰.۱	۰.۹
سرب	۱۱۰	—	—
پلاتین	۱۱۰ <	—	—
تیتان پلاتینه	۱۱۰ <	—	—

با آستانه واکنش آندی می باشد و دیگر خوردگی انجام نمی گیرد. از روی منحنی شدت پتانسیل نیز همین امر تأیید می شود. زیرا برای اینکه جریان آندی حذف شود باید پتانسیل کاتدی فلز کمتر و یا مساوی  $E_A$  گردد.



شکل ۵ - تفسیر حفاظت کاتدی بوسیله جریان تحمیلی بوسیله منحنی شدت - پتانسیل



شکل ۴ - تفسیر حفاظت کاتدی بوسیله جریان تحمیلی (دیاگرام تئوری پلاریزاسیون)

باید توجه داشت که تنها اتصال فلز بقطب منفی یک پیل برای حفاظت آن کافی نیست بلکه باید پتانسیلی که دارا می گردد نیز بحد کافی منفی باشد. چنانچه در دو شکل بالا اگر فلز را پتانسیل  $E_1$  ( $E_A < E_1 < E_d$ ) ببرند هنوز هم جریان آندی  $i'_c$  در آن وجود دارد و در نتیجه خورده می گردد.

این روش حفاظت بسیار دقیق و نسبت به تغییرات مکانیکی و الکتریکی حساس است و باید تشکیلات را کاملاً عایق نمایند و دائماً از آن مراقبت کنند زیرا تغییرات شدت جریان ممکن است سبب تغییرات پتانسیل تحمیل شده بفلز گردیده و خوردگی شدید گردد زیرا در این حال در منطقه آندی عمل می نمایند. بعکس جریان

مورد استفاده ارزان و تعداد آندهای لازم محدود است. از این روش برای محافظت تشکیلات زیرخاک و یا درون آب استفاده می‌شود.

در تشکیلاتی که در آب سخت قرار دارند در اثر عمل حفاظت یک خاصیت قلیائی موضعی بوجود می‌آید و در نتیجه اگر این حفاظت در آب دریا که محتوی منیزیم است انجام گیرد روی سطح فلز از منیزی پوشیده می‌شود و با شدت جریان تحمیلی کمتری نیز می‌توان فلز را حفاظت کرد. بعنوان مثال شدت جریان لازم برای حفاظت فولاد در اسید سولفوریک ... ۰.۰۴ ، درخاک ۰.۱ تا ۰.۲ و در آب دریا در شروع عمل ۰.۱۵ و در پایان ۰.۳  $\text{mA/dm}^2$  است. عملاً می‌توان با تحمیل شدت جریان الکتریکی شدید فلز بدون پوششی را کاملاً محافظت کرد. با وجود این اغلب حفاظت کاتدی را با حفاظت توسط پوشش توأم می‌کنند و در نتیجه شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی کم می‌گردد. این پوشش باید بخوبی در مقابل قلیاها مقاومت کند زیرا در نقاطی که پوشش جدا می‌شود محیط قلیائی می‌گردد و این مقاومت نسبت به قلیا حتی از عایق کردن الکتریکی نیز مهم‌تر است.

باید توجه داشت که این نوع حفاظت در تشکیلاتی که در تماس با آب هستند مؤثر نمی‌باشد. H.H.UHLIG تذکر می‌دهد که برای حفاظت یک خط لوله درون خاک می‌توان بوسیله استفاده از پوشش، بجای ۳.۰ متر ۸۰۰ متر را بوسیله یک آند منیزیم حفاظت کرد و یا در حالتی که از وسیله مکشی استفاده می‌شود می‌توان تا ۸۰۰ متر با یک وسیله مکش حفاظت کرد.

### کاربرد حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی را یک روش حفاظتی کامل می‌دانند و در محافظت آهن، مس، سرب، آلومینیوم و آلیاژهای آنها (برنجها، فولادهای اکسید نشدنی) بکار می‌رود ولی برای اینکه حفاظت عملی باشد باید این فلزات درون محلولی قرار گرفته باشند و یا اینکه محیط مرطوبی در اطراف آنها وجود داشته باشد و همچنین بتوان در نزدیکی آنها آندهائی را که جریان از آنها عبور می‌کند قرارداد. بدین طریق از این روش برای حفاظت تشکیلات درون خاک، اسکلت‌های بتون‌آرمه، بدنه کشتیها و مخازن آب و امثال آن استفاده می‌شود ولی نمی‌توان تشکیلاتی را که در معرض خوردگی جوی هستند و یا قسمتی از مخازن را که در بالای سطح آب قرار دارند محافظت کرد. چند مورد حفاظت کاتدی را در زیر بررسی می‌کنیم.

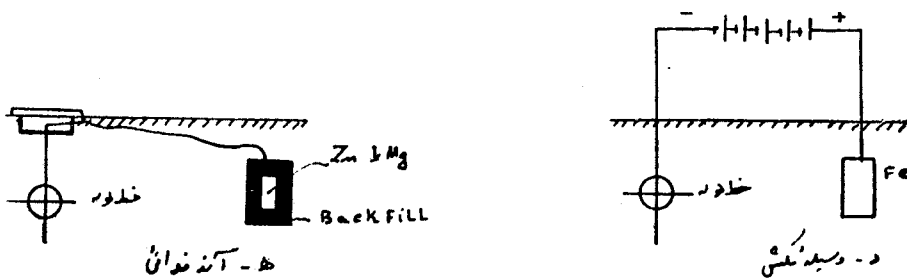
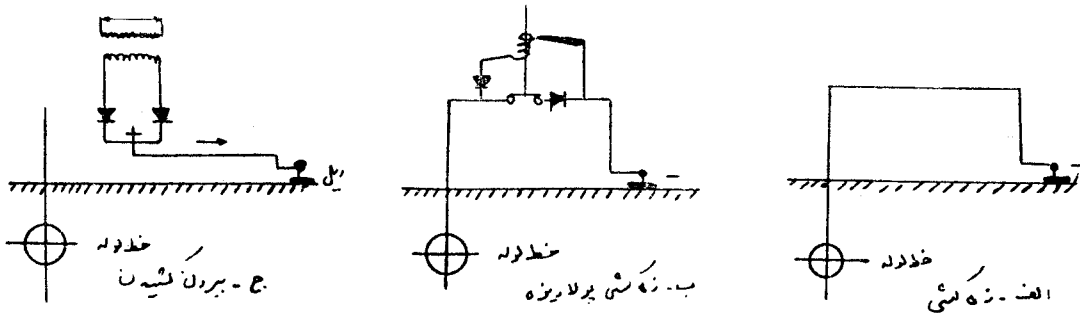
۱ - حفاظت کاتدی کانالهای زیر خاک - در شکل ۶ پنج روش مختلف حفاظت کاتدی کانالهای درون خاک دیده می‌شود. در چهار مورد اول از یک منبع خارجی جریان الکتریک استفاده می‌شود. الف - زه کشی (drainage) - در این حالت برای حفاظت کانال آنرا به یک ریل الکتریکی که پتانسیل آن همواره منفی باشد وصل می‌کنند.

ب- زه کشی پلاریزه (drainage polarisé) - در حالت الف اگر یک وسیله نقلیه (ترن، تراموای) از روی ریل بگذرد در همان لحظه عبور پتانسیل ریل بحد کافی منفی نخواهد بود و سبب خوردگی می شود. به همین جهت در زه کشی پلاریزه کلیدی وجود دارد که هنگام عبور واگن ارتباط الکتریکی بین کانال و ریل را قطع می کند.

ج - بیرون کشیدن (Soutirage) - در این حالت یک منبع الکتریکی خارجی که مجهز به ترانسفورماتور و یک طرفه کننده است جریان منفی را بطور دائم از ریل به کانال فرستد.

د - وسیله مکش (deversoir) - یک جریان الکتریکی مستقیم خارجی که از با تری آکومولاتور و یا یک یک طرفه کننده جریان متناوب حاصل می شود، جریان منفی را از یک وسیله مکش که دارای پتانسیل بیشتری هست به کانال می دهد. وسیله مکش ممکن است جسمی مثل گرافیت باشد که خورده نمی شود و یا آلیاژی مانند فروسیلیسیوم باشد که کم خورده می شود و آنرا در پوشش هادی قرار می دهند و بدین طریق در اطراف وسیله مکش قابلیت هدایت الکتریکی کافی بوجود می آید.

ه - آند فدائی (anode sacrificielle) - در این حالت جریان الکتریکی که برای حفاظت لازم است از فلزی مانند روی، منیزیم یا آلیاژ آلومینیوم روی که در پتانسیل کم خورده می شود تأمین می گردد. برای این منظور فلز فدائی را به کانال وصل می کنند و در نتیجه این فلز در پیل احتمالی تشکیل شده آند می شود و فلز اصلی خورده نمی شود.

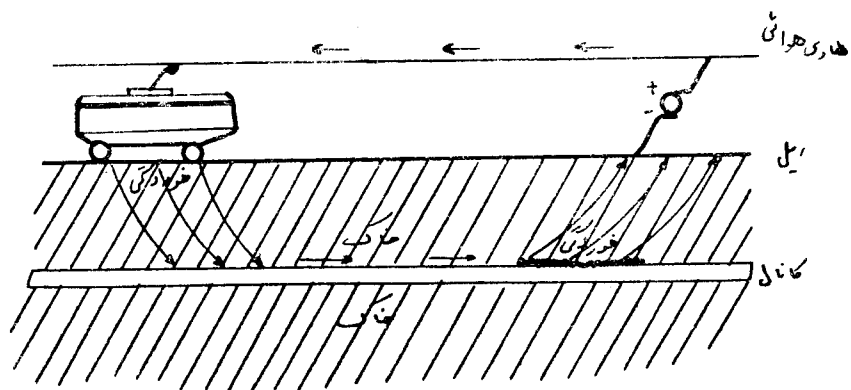


(شکل ۶)



در تمام این موارد برای کنترل حفاظت کافی است که پتانسیل الکترو دکانال را در نقاط مختلف اندازه بگیرند و این پتانسیل بایستی همواره کمتر از پتانسیل حفاظت یعنی در اینجا که منظور حفاظت آهن است حدود ۰.۲۲ ر. - ولت نسبت بالکترو د استاندارد هیدروژن باشد ( ۰.۸۷ ر. - ولت نسبت الکترو د کلمل اشباع شده ویا ۰.۹۳ ر. - ولت نسبت به الکترو د سولفات مس اشباع شده ) . بهتر است که حفاظت کاتدی دائمی باشد ولی چون بعد از مدتی بسبب قلیائی شدن محیط یک عدم فعالیت در کانال بوجود می آید ، اگر جریان گاهی قطع گردد چندان مهم نیست .

- یک مورد خوردگی که در حوالی خطوط تراکسیون الکتریکی مشاهده می شود ، خوردگی بسبب جریانهای سرگردان است . یک واکن الکتریکی را در نظر می گیریم . جریان مثبت از سیم هوایی وارد می شود و پس از عبور از ریل به ایستگاه تغذیه الکتریکی می رود ( شکل ۷ ) . حال اگر مقاومت قسمتی از



شکل ۷ - خوردگی بوسیله جریانهای سرگردان

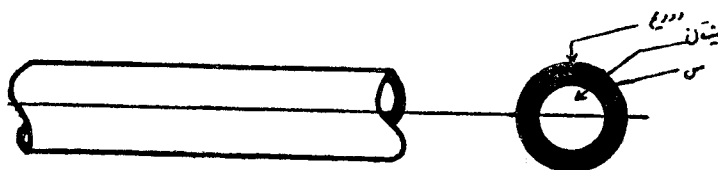
ریل بعلت لعیم کردن زیاد باشد ویا اینکه در منطقه ای از مسیر قابلیت هدایت خاک زیاد باشد ( مثلاً بعلت پاشیدن کلرور کلسیم بمنظور ذوب یخ و برف ) در اینصورت قسمتی از جریان وارد خاک می شود و از راه لوله زیر زمینی بایستگاه تغذیه برق می رسد و در همان محلی که جریان کانال را ترك می کند خوردگی شدید مشاهده می شود . البته قسمتی از ریل که جریان از آن خارج می شود نیز خورده می شود ولی این خوردگی شدید نیست زیرا واکن ثابت نیست و محل آندهای ریل دائماً تغییر می کند بنابراین در ریل خوردگی عمومی است ولی در کانال خوردگی متمرکز و شدید است .

برای حفاظت از این نوع خوردگی از « زه کشی » استفاده می شود ( شکل ۲ قسمت الف ) بدین طریق که قسمت مورد تهدید را مستقیماً به قطب منفی ایستگاه برق وصل می کنند . در این نوع حفاظت بایستی دقت زیاد کرد زیرا اگر خوب اجرا نشود سبب خوردگی شدید تأسیسات فلزی مجاور خواهد شد .

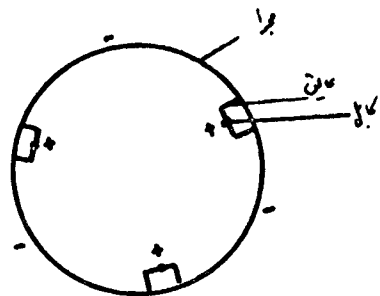
**حفاظت کاتدی ساختمانهای شناور و جدار درونی کانالها** - برای حفاظت بدنه کشتیها ، حوضچه های شناور ، دریچه سدها ، مخازن آب ، ظرفهای حرارت مرکزی و بسیاری دیگر از دستگاههای صنعتی معمولاً

از حفاظت کاتدی بوسیله آندهای فدائی (منیزیم ، روی یا آلیاژ منیزیم روی ) و همچنین از وسیله مکشی که خورده نشود مثل تیتان یا تیتان پوشیده از پلاتین استفاده می کنند.

در کانالهایی که نتوان درون آنها را توسط آندهای معمولی حفاظت کرد ، حفاظت کاتدی جدار درونی بوسیله وسیله مکش خورده نشدنی انجام می گیرد . این وسائل مکش کابل‌هایی هستند که هسته آنها مسی است و قسمت خارجی آنها تیتان پلاتین دار و یا تیتان رودیم دار می باشد . قابلیت هدایت الکتریکی زیاد مس و مقاومت بخوردگی تیتان ، پلاتین یا رودیم سبب می شود که این کابلها آندهائی بطول زیاد باشند و مورد استعمال آنها نیز زیاد است . در شکل ۸ یک نمونه از این کابل و در شکل ۹ حفاظت کاتدی بوسیله سه کابل از این نوع مشاهده می شود . این کابلها توسط قسمت‌های عایقی از لوله اصلی جدا می شوند .



شکل ۹ - وسیله مکشی خورده نشدنی برای حفاظت کاتدی



شکل ۱۰ - ترتیب حفاظت مجاری بکمک سه وسیله مکشی دوفلزی

در شکل ۱۱ کابل محافظ که مجهز بیک رشته عایق است دیده می شود و می توان آنرا بدون ترس از مدار کوتاه ( Court circuit ) بکار برد .



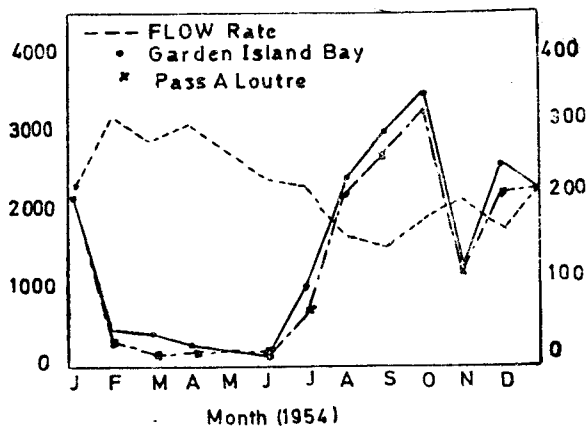
شکل ۱۱ - وسیله مکشی با سه قسمت بافته عایق

### حفاظت کاتدی تشکیلات offshore و بهره آندا

بخش حفاظت کاتدی هوستون تگزاس برای حفاظت تشکیلات Offshore که وابسته به خطوط لوله گاز و نفت بوده و در ساحل لوئیزیانا ، در نزدیکی دلتای میسی سیپی قرارداد طرحی برقرار کرده است . در این طرح برای حفاظت از یک آند آلومینیومی بنام گالوالوم ( galvalum ) با ترکیب ۹۰٪ آلومینیوم ،

۰۰۴۵٪ Zn و ۰۰۴۵٪ Hg استفاده شده است. بهره تئوری جریان حدود ۹۵٪ است. جریانی که این آند می دهد برحسب گفته Hanson حدود ۱۳۰۰ am. hrs/lb و دانسیته جریان حدود ۶۳ تا ۲۲ ma/sqft است. بررسی نشان می دهد که وقتی این آلیاژ در مدار بسته قرار گیرد مقدار پتانسیل آن بازمان بطور استثنائی پایدار است و در نتیجه مشخصات جریان در طول زمان ثابت می ماند. مصرف این آند حدود ۶۸  $\frac{\text{پوند}}{\text{آمپر-سال}}$  است و پتانسیل آن در مدار بسته نسبت به الکتروود Cu-CuSO<sub>۴</sub> برابر ۱۱۱- ولت می باشد.

اثر شوری آب - برخی از این تشکیلات مورد حفاظت در قسمتی از آب قرار گرفته است که مجاور آب شیرین است و در اوقات مختلف سال آب شور و شیرین بنسبت متفاوتی باهم مخلوط می شوند و در نتیجه غلظت نمک در آبی که با تشکیلات حفاظت شدنی در تماس است تغییر می کند. شکل ۱۱ این تغییرات فصلی را



شکل ۱۲ - تغییرات فصلی مقدار نمک در مجموعه 24

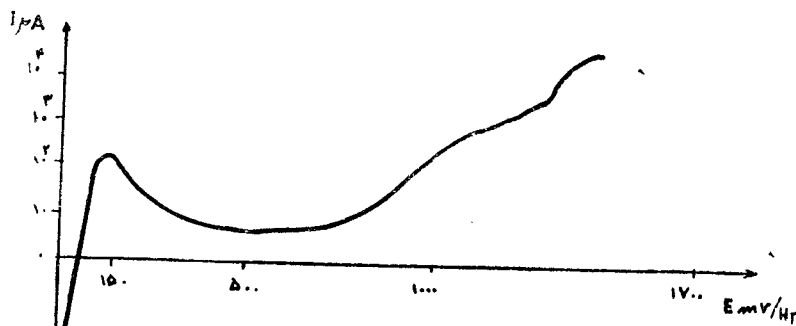
نشان می دهد و می بینیم که غلظت NaCl در یکی از قسمتها تقریباً از ۱۰۰ تا ۳۰۰ ppm تغییر می کند. بنابراین برای حفاظت کامل این مجموعه در زمانی که مقاومت مخصوص آب به حدود ۱۰۰ اهم سانتیمتر ویا کمتر می رسد بایستی پتانسیل برابر ۰.۹ ر. - ولت باشد. یک بررسی ده ساله نشان می دهد که اگر بخواهند بتناوب از یک سیستم آند منیزیم برای حفاظت استفاده کنند مخارج لازم چهار برابر مخارج سیستم آند آلومینیوم خواهد شد. در ضمن تجربه نشان می دهد که در عمقی که آنها قرار دارند تغییرات درجه حرارت بر روی جریان خروجی آنها تأثیری ندارد.

اندازه یکی از آنها بعنوان مثال ۶۳ × ۶۳ × ۷۲ اینچ و وزن آن ۲۴۴ پوند و عمر آن حدود ۱۱۱ سال محاسبه شده است و بهر حال تا ۱ سال ضمانت شده می باشد. آند بصورت دوتائی مصرف می شود.

## حفاظت آندی یا حفاظت برسيله روئين کردن

اساس اين روش حفاظت براینست که برخی از فلزات و آلياژها اگر در محيط معيني تحت اثر جريان آندی قرار گیرند پتانسیل الکتروود آنها بالا رفته و در منطقه روئين شدن قرار می گیرند. اين عمل با استفاده از یک ماده اکسید کننده (ویا کند کننده اکسید کننده) و توسط پلاریزاسیون ویا فقط با قلیائی کردن محلول صورت می گیرد و در نتیجه پوسته محافظی روی فلز بوجود می آید. باید توجه داشت که در این حالت اگر حفاظت بخوبی انجام نگیرد خطر خوردگی خیلی بیشتر می شود. مثلاً اگر پوسته اکسیدی که در اثر روئين شدن تولید شده است کامل نباشد خوردگی در نقاط ضعف متمرکز و خیلی شدید می شود. ضخامت پوسته روئين نباید بیشتر از  $A_{10}$  باشد و تولید آنها نباید به مقدار زیاد الکتروسیتمه احتیاج داشته باشد. این روش مانند حفاظت کاتدی گسترش ندارد ولی می توان از آن در حفاظت آلومینیوم و آلياژهای آن و همچنین برخی از فولادهای اکسید نشدنی استفاده کرد.

منحنی شدت - پتانسیل فلزاتی که خاصیت روئين شدن دارند دارای شکل بخصوصی است و برای پتانسیل آندی معینی بنام پتانسیل فلاد (flade) شدت جريان ناگهان سقوط می کند و بعد از آن تا مدتی با زیاد شدن پتانسیل ثابت میماند. این قسمت افقی را پلکان روئين شدن می نامند. اگر پتانسیل خیلی زیاد شود شدت جريان مجدداً بالا خواهد رفت (شکل ۱۳).



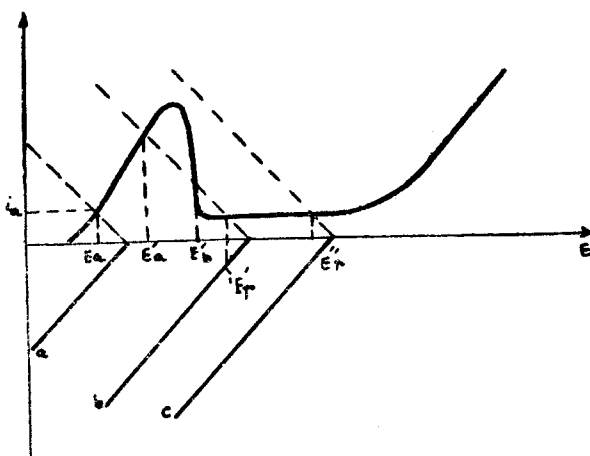
شکل ۱۳ - منحنی شدت پتانسیل درحالتی که فلزی تواند

روئين شود (نیکل در  $\frac{N}{10} H_2SO_4$ )

تفسیر الکتروشیمیائی شکل منحنی ها - منحنی آندی فلزی که استعداد روئين شدن داشته باشد دارای یک بلندی (pic) مخصوص می باشد. برای سادگی فرض می کنیم که منحنی های اولیه کاتدی خط راستی باشد. قرینه این خط راست را نسبت به محور پتانسیل رسم می کنیم. طول محل تقاطع منحنی اولیه آندی و قرینه منحنی اولیه کاتدی پتانسیلی را می دهد که در آن پتانسیل شدت جريان کاتدی از لحاظ قدرمطلق مساوی شدت جريان آندی می باشد و این مقدار همان پتانسیل انحلال ویا پتانسیل خوردگی می باشد. سه حالت زیر ممکن است دیده شود (شکل ۱۴، a، b، c):

۱- محل تقاطع قبل از ما کزیمم منحنی اولیه آندی است - در این حال پتانسیل خوردگی  $E_a$  یک پتانسیل

فعال می باشد و اگر فلز در نبودن جریان تحمیلی در الکترولیت قرار گیرد شدت جریان خوردگی  $i_a$  خواهد بود. منحنی موضعی شبیه شکل ۱۰- a می باشد و در مورد آهن در اسید نیتریک رقیق مشاهده می گردد.



شکل ۱۴ - تفسیر شکل منحنی های شدت پتانسیل در حالتی که فلز می تواند روئین شود.

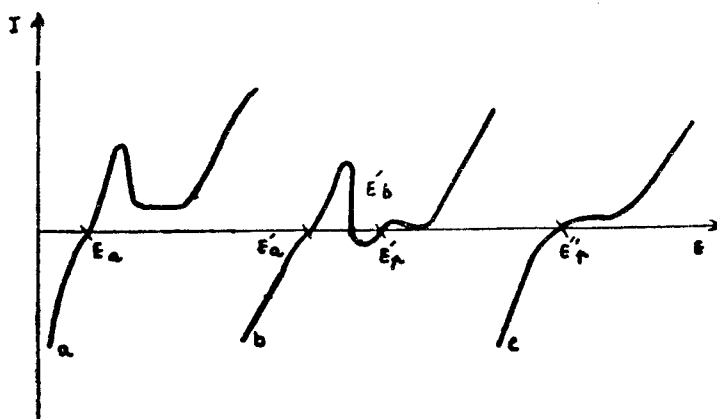
۲ - منحنی ها در سه نقطه یکدیگر را قطع می کنند - پتانسیل  $E'_a$  مربوط به حالت فعال و پتانسیل  $E'_p$  مربوط به حالت روئین شده است. این حالت روئین فقط در اثر جریان تحمیلی حاصل می گردد و اگر عبور جریان قطع شود فلز به حالت فعال برمی گردد. پتانسیل  $E'_b$  مربوط به حالت سوئی است که معنای فیزیکی چندانی ندارد و در حقیقت بین خوردگی و روئین شدن رقابتی وجود دارد.

سطح محصور بین منحنی موضعی، در منطقه آندی قبل از قسمت اقی، و محور پتانسیل ها مقدار

انرژی لازم برای روئین شدن فلز در اثر جریان تحمیلی را نشان می دهد.

این نوع منحنی در فولاد اکسید نشدنی  $Cr \approx 0.18$ ،  $Ni \approx 0.08$  (۸-۱۸) در محلول اسید سولفوریک

$v_N$  دیده می شود (شکل ۱۰- b). باید توجه داشت که منحنی شدت - پتانسیل برای پتانسیل بین  $E'_p$ ،  $E'_b$  که باز هم آندی است وارد منطقه کاتدی می شود.



شکل ۱۵ - اشکال مختلف منحنی های شدت پتانسیل در موردی که فلز می تواند روئین شود

۳ - قرینه منحنی کاتدی و منحنی آندی فقط در یک نقطه بر روی قسمت افقی یکدیگر را قطع می کنند. پتانسیل انحلال فلز  $E^0_p$  مربوط به حالت روئین شدن پایدار می باشد یعنی فلز می تواند بطور طبیعی در محیط مورد نظر روئین گردد.

این حالت در فولاد اکسید نشدنی ۸-۸ که محتوی ۳٪ مولیبدن باشد در محلول اسید سولفوریک ۷N محتوی اکسیژن مشاهده می گردد. باید توجه داشت که در این حالت وجود پیک (pic) فعالیت آندی، بصورت یک ماکزیمم در منطقه کاتدی، بر روی منحنی موضعی آشکار می شود (شکل ۱۰-c).

این روش حفاظت در صنعت برای مثلاً مخازن فولاد اکسید نشدنی  $2m^3$  که محتوی اسید سولفوریک باشد بکار رفته است. کافی است که جریان چند آمپری را بمدت کسری از ثانیه از مخزن عبور دهند تا مخزن روئین گردد. شدت جریان بعدی برای نگاهداری حفاظت فقط حدود  $10 \text{ mA}$  خواهد بود. روئین کردن سطح تک بلور نیکل - آزمایش نشان می دهد که دانسیته جریان لازم برای روئین کردن سطح تک بلور نیکل در  $1N H_2SO_4$  وابسته به اریانتاسیون تک بلور است و در جهت زیر تغییر می کند:  $\{100\} < \{110\} < \{111\}$  و در حقیقت برای اریانتاسیون های مختلف مقدار دانسیته جریان لازم یکی نیست.

### منابع مورد استفاده

- 1 - Leçon sur le corrosion electrochimique (5<sup>eme</sup> fascicule) par: M. pourbaix (1966)
- 2 - Métallurgie Générale, par: J. Benard, A. Michel, J. Philibert et J. Talbot. (Masson zcie Editeurs). 1969.
- 3 - Materials, piotection and performance (Volume Ten, May 1971)
- 4 - Corrosion. Vol 27. No. 12. december 1971.