

TRG - MT - 32 - 01



شرکت ملی نفت ایران

شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

مجتمع آموزش فنون شهید مجدزاده

# آشنایی با خوردگی داخلی و روش های کنترل آن

مجتمع آموزش فنون اهواز  
با همکاری  
اداره مهندسی خوردگی فلزات

تهیه و تنظیم: آموزش مکانیک و توربین  
محمد رضا دهقان

قلمرو و حوزه فعالیت خوردگی

- مقدمه
- خوردگی
- اهمیت اقتصادی
- خوردگی در اطراف ما
- گونه‌های فلزات
- یک فرآیند طبیعی
- انتخاب مواد
- اندازه‌گیری خوردگی
- علت خوردگی چیست؟
- کنترل خوردگی در صنایع

اساس خوردگی

- چرا فلزات خورده میشوند
- اشکال خوردگی
- شیمی و الکتروشیمی خوردگی
- اسیدیته و آلکالینیتی (PH)
- خوردگی بصورت یک واکنش شیمیایی (خوردگی در اسیدها - محلولهای خنثی و قلیائی - سایر سیستمها)
- محصولات خوردگی
- الکتروشیمی خوردگی (تعاریف - فرآیندهای آندی - فرآیندهای کاتدی)
- پلاریزاسیون
- اثرات اندازه سطح
- اهمیت اکسیژن
- پیل های غلظت اکسیژن
- پیل ناشی از اختلاف غلظت یون فلز
- اثر گالوانیک
- پتانسیل خوردگی و جهت اثرات گالوانیک
- سری گالوانیک
- مقدار اثر گالوانیک
- اثرات مساحت
- تشخیص خوردگی گالوانیکی
- جلوگیری از خوردگی گالوانیکی

- پتانسیل استاندارد
- پتانسیل خوردگی
- پتانسیل های اکسیداسیون و احیاء
- سنجش خوردگی
- خوردگی رسوب
- مقایسه پتانسیل اکسیداسیون - احیاء با سری گالوانیک
- دیاگرام پتانسیل - پهاش
- روئین شدن و تشکیل فیلم های محافظ
- تعاریف و ماهیت
- اثر اکسید کننده ها
- اثر آلیاژها
- جلوگیری از خوردگی بوسیله روشهای الکتروشیمیائی (حفاظت آندی - حفاظت کاتدی)
- اندازه گیری میزان خوردگی بوسیله روشهای الکتروشیمیائی

#### عوامل مؤثر بر خوردگی

- نقش آب در فرآیندهای خوردگی
- تاثیر اکسیژن محلول
- تاثیر دی اکسید کربن
- تاثیر سولفید هیدروژن
- تاثیر نمک های محلول
- تاثیر PH
- تاثیر دما
- تاثیر سرعت

#### ویژگیهای محیط های خورنده در مناطق نفتخیز

- خوردگی در تاسیسات نفت و گاز
- خوردگی توسط گاز خورنده دی اکسید کربن
- خوردگی توسط مایعات خورنده مخازن نفتی
- خوردگی توسط گاز خورنده سولفید هیدروژن
- شناخت مبانی تئوری و تجربی خوردگی و روشهای کنترل آن در سیستمهای تزریق آب
- مقدمه
- خوردگی در آبهای شیرین
- عمر مفید خطوط لوله
- نمودار سنجش خوردگی
- خوردگی آبهای شور
- مشکل خوردگی در سیستمهای آب تزریقی
- مبنای خوردگی و کنترل آن در سیستم های آب زائد
- واکنشهای کاتدیک
- خوردگی اسید

- ممانعت از خوردگی اکسیژن
- واکنشهای آندیک
- جلوگیری از خوردگی ناشی از اسیدها
- اثرات ساختمان مواد شیمیائی کند کننده
- تمیزکاری سطح فلز
- خوردگی میکروبی و کنترل آن
- تشخیص مشکل خوردگی میکروبی
- ارزش انجام آزمایشات کوپن گذاری
- آزمایشات عملیاتی یا شبیه سازی عملیاتی
- مشخصه های خوردگی میکروبی
- جلوگیری از خوردگی میکروبی
- کیفیت آب و فیلتراسیون
- ذرات جامد معلق
- عملکرد فیلتر
- مقادیر سنجش خوردگی و کیفیت آب
- سنجش خوردگی اکسیژن
- سنجش خوردگی دی اکسید کربن
- مقادیر سنجش سایر پارامترها

مشاهده و کنترل خوردگی ( MONITORING ) مناطق نفتخیز

- اندازه گیری کاهش وزن کوپن
- پروب مقاومتی
- پروب های فشار هیدروژنی
- پروب های پلاریزاسیون خطی
- مشاهده و کنترل خوردگی در سیستم های گاز ترش

مواد شیمیائی کند کننده خوردگی

- تعاریف
- مواد کند کننده خوردگی در تولید نفت گاز
- کند کننده های خوردگی در فاز آبی
- کند کننده های خوردگی در فاز هیدروکربوری
- خصوصیات فیزیکی مواد شیمیائی کند کننده خوردگی
- اثرات جانبی مواد کند کننده خوردگی
- طرق مختلف استفاده از مواد شیمیائی کند کننده خوردگی

قلمرو و حوزه فعالیت خوردگی

مقدمه :

هنگام مطالعه خوردگی اولین چیزی که باید مورد قبول واقع شود ، این است که خوردگی را میتوان در بیشتر اوقات یک واکنش ساده منفرد تصور کنیم که اگر یکبار مورد بررسی و شناخت قرار گیرد قادر خواهیم بود در بسیاری موارد برای حل مشکلات مشابه آنرا مورد استفاده قرار دهیم .

اگر هزینه و قابلیت دسترسی از فاکتورهای انتخاب مواد نباشد و بهترین مواد همیشه انتخاب شوند ، با این وجود همیشه از موادی مانند طلا و پلاتین میبایست صرف نظر نمود و در مورد مواد قابل حصول تر برای استفاده عملی در خانه ها ، صنایع و اتومبیل ها تصمیم گرفته شود .

مواد قابل استفاده مانند فولاد ، آلومینیم و آلیاژهای مس ، پلاستیک ، سرامیک ، چوب ، مواد مقاوم ، فولاد زنگ نزن و تعداد زیادی از سایر آلیاژهای مدرن همگی به همان اندازه مزیت های شان را از زیانهای هستند . هر کدام از این آلیاژها و یا گروهی از آنها ممکن است بشکل بهترین انتخاب برای عملکرد خاصی به خدمت گرفته شوند ولی چیزی که در این باره باید یاد بگیریم آنست که انتخاب هر کدام از این مواد میبایست همراه با تجربه و دانش کافی انجام گیرد .

تمام پدیده های خوردگی شبیه به هم نیستند بنا بر این دلیل اینکه چرا چنین انتخاب گوناگونی از مواد در یک محیط معین بر حسب تنزل قابلیت های آنها درجه بندی و لیست میشوند بعلمت مکانیزمهای مختلف حملات خوردگی است که قبلاً" تجربه شده اند . همچنین در این درجه بندیها خواص و ویژگیهای مواد توضیح داده میشود . درک بهتر تمام این پارامترهای شرکت کننده در ایجاد خوردگی هنگام تجزیه و تحلیل مشکلات و توصیه های پیشگیرانه اساسی میباشد .

در خوردگی مانند بسیاری از علوم تدوین شده کلمات معین ، روشهای ارائه اطلاعات و علائم اختصاری که ویژه کاربردهای عملیاتی هستند مورد استفاده قرار گرفته است اگر اصلاحات مخصوص این رشته شناخته شود در آینده شما قادر خواهید بود موضوعات خوردگی را با درک و اطمینان بیشتری بخوانید و مورد بحث قرار دهید .

همچنین لازم است از جنبه های گوناگون روشهای کنترل خوردگی شناخته و بررسی شود . خیلی افراد فقط در یک حوزه از زمینه فوق به فعالیت مشغول هستند . شناخت میزان گستردگی فعالیت هایی که امروزه در تجزیه و تحلیل خوردگی و مبارزه با آن انجام میگیرد بسیار مهم میباشد . بسیاری از این تجربیات و تعداد زیادی راه حل های توسعه یافته در یک حوزه از کارهای خوردگی میتواند سبب بهبود روشهای کنترل در زمینه های دیگر گردد .

یکی از بهترین روشهای که هم اکنون برای آشکار کردن خوردگی مورد استفاده قرار میگیرد، تعیین مقاومت مواد یا ارزیابی میزان کارائی دستورالعمل های کنترل خوردگی میباشد که به کمک وسایل با زرسی، روزانه بمنظور مقابله با حملات خوردگی به کمک هزاران نفر پرسنلی که در این رابطه مشغول میباشند انجام میگیرد. در این رابطه نیز لازم است آشنائی و شناخت کاملی وجود داشته باشد.

یقیناً " هر کسی در رابطه با کار خوردگی در ابتداء به روشها و دستورالعمل های توجه دارد که استفاده اقتصادی و ایمن از مواد را در محیط ها و شرایط ویژه اجازه میدهد. بنا بر این به جنبه های مقدماتی بیشتر روشهای متداول در کنترل خوردگی نیز میبایست توجه نمود. بعد از یادگیری اساس هر روش و دستورالعمل های مربوط به آن میتوان امکان استفاده از این راهها را برای حل سایر مشکلات مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار داد.

### خوردگی

بیشتر مردم با خوردگی در بعضی اشکال آن آشنائی دارند مانند زنگ زدن نرده های آهنی یا قوطی های حلبی، تنزل کیفیت و وسائل استیلی، الوارها، قایقها یا زنگ زدن میخهای آهنی و سایر موارد.

اغلب اشخاص شاهد نصب پلها یا برجهای فلزی بوده اند یا در مورد ساخت ساختمانهای مدرن که با اسکلت فلزی کار میشوند آشنائی دارند، معمولاً این اسکلتها دارای رنگ های سبز، نارنجی یا قرمز میباشند. این رنگها بمنظور حفاظت آهن در مقابل خوردگی حتی بعد از خارج شدن از کارخانه به آنها زده میشود. معمولاً بعد از نصب این اجزاء آهنی در پلها و ساختمانها مجدداً " توسط مواد دیگری که ممکن است ظاهر بهتری یا حفاظت بهتری در مقابل خوردگی داشته باشند پوشش داده میشوند. پیشرفت تکنولوژی نیز تولید فولادهای کم آلیاژ (LOW ALLAY)، نصب اسکلتهای فولادی را بدون استفاده از رنگ در شرایط محیطی مختلف ممکن ساخته است. همچنین آلیاژهای ویژه ای در فولادهای که اساساً " زنگ میزنند، بکار برده میشود که در این مورد توقف کامل زنگ زدگی (RUSTING) مشاهده میشود.

خطوط لوله نیز از دیگر انواع عمده تجهیزاتی است که در خوردگی مورد بحث قرار میگیرد. این خطوط از لوله های آب خانه که خوردگی آنها بیشتر از داخل میباشد تا خطوط لوله زیرزمینی آب، گاز و نفت را شامل میباشد. بنا بر این میتوان گفت هر کسی تقریباً " مختصری آشنائی با خوردگی دارد که بصورت زیر تعریف شده است: خوردگی زوال ماده (معمولاً فلز) یا خواص آن به دلیل واکنش با محیط اطرافش است.

باید توجه شود که کلمات شیمیائی یا الکتروشیمیائی در این تعریف بکار برده شده است. این بدلیل تعداد کمی از انواع خوردگی است که مورد بحث قرار میگیرند و با فرآیند شیمیائی توجیه پذیر نمیباشند.

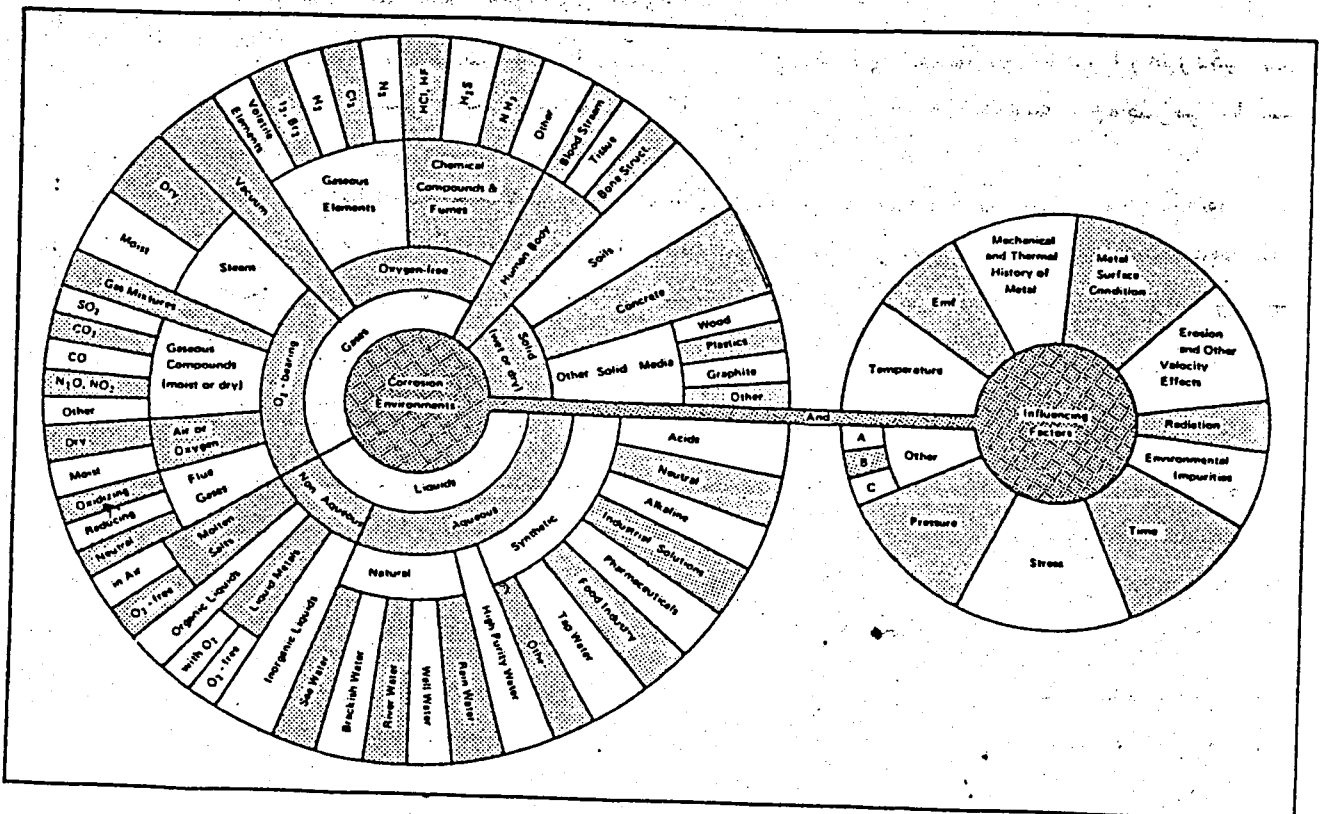
از این گذشته، تعریف بالا نشان میدهد که موادی غیر از فلزات نیز ممکن است خورده شوند. زوال و تخریب چوب، سرامیک، پلاستیک و غیره نیز میبایست توسط مهندسين

خوردگی مطالعه شود و واژه خوردگی را هم میتوان به آنها اطلاق نمود.

در پایان تعریف، همچنین توجه به این موضوع شده است که خواص مواد مانند جنس مواد، نیز میتواند رو به زوال برود. بعضی انواع خوردگی، نهکاشی وزن دارد و نه تخریب مرئی (قابل مشاهده)، با این حال خواص ماده تغییرمی یابد و ماده ممکن است به دلیل تغییرات معینی در داخل آن دچار تخریب غیرمنتظره ای گردد. چنین تغییراتی ممکن است در بازرسیهای عینی متداول یا اندازه گیریها و تعیین وزن مواد تاثیرنگذارند.

با توجه به تعریف خوردگی، انواع و اشکال مهمی از فعالیتهای خوردگی وجود دارد که لازم است با هر کدام از آنها مهندسین خوردگی آشنائی داشته باشند. همچنین کارشناسان و تکنسینهای این فن باید بتوانند مواد مناسب برای انواع وسیعی از محیط های خوردنده را در محدوده مشخصی از دما تعیین نمایند. لذا ضروری است از رفتار و خواص تعداد بیشمار آلیاژها و مواد جانشین احتمالی مانند پلاستیکها، چوب، سرامیک، لاستیک، شیشه، چرم و گرافیت شناخت کافی داشته باشند. بنا بر این معنی واژه خوردگی، زوال مواد غیرفلزی جایگزین فلزات را نیز شامل میشود.

در پاسخ به این سوال کلی که در چه محیطی، خوردگی رخ میدهد تنها پاسخ مناسب این است که مسلماً "در مورد هر محیطی بستگی به ماده ای که استفاده میشود دارد. در شکل زیر انواع محیط های که در آنها خوردگی رخ میدهد و عوامل موثر در خوردگی نشان داده شود.



سوال کلی دیگری که اغلب در مورد خوردگی وجود دارد اینست که انواع شکل‌های خوردگی چه تعداد هستند در جواب این سوال اعتقاد بعضی‌ها بر این است که ۲ یا ۳ مورد خوردگی وجود دارد و بعضی دیگر، اشکال خوردگی را تا ۸ مورد نام می‌برند و خیلی هم بر این اعتقاد هستند که واقعا "تعداد اشکال خوردگی خیلی کم است".

### اهمیت اقتصادی

متاسفانه بسیاری از مردم، جدا فرادی که در داخل صنایع مشغول بکار هستند و چه سایر اقرا، اغلب خوردگی را مشاهده نمیکنند با این حال بسادگی می‌پذیرند که این پدیده، یک مشکل اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با وجود این طرز تلقی، بعضی اقدامات واقعا "میتواند" می‌تواند و می‌بایست بمنظور طول عمر بسیاری از فلزات که در معرض محیط‌های خوردنده هستند انجام شود. ملاحظه‌انهدام تدریجی مواد توسط خوردگی و هزینه‌های مالی تعویض و تعمیر متعاقب آن، تنها از یک احساس مشترک نزدیک بین افراد نشأت گرفته و علی‌رغم آن کنترل خوردگی یک فاکتور اساسی در محدوده بسیار مهم از مسائل اقتصادی بشمار میرود. در حالی که مطالعات علمی فرآیندهای خوردگی بر اساس موضوعات بسیار جالب که غالباً "در زمینه واکنشهای شیمیایی و بویژه الکتروشیمیایی است، شکل میگیرد. همزمان با این شکل‌گیریها و بررسیهای علمی، یک توجه فزاینده وجود دارد و آن اینست که چگونه میتوان از این فرآیندهای خوردگی جلوگیری نمود.

برآوردهای گوناگونی سالانه در مورد زیانهای اقتصادی ناشی از خوردگی انجام می‌گیرد ولی هیچ توافقی کلی در این رابطه که دقیقاً "چه چیزی بایست در محاسبات این زیانها به حساب آید وجود ندارد.

به همان اندازه که محصولات و فرآیندهای تولیدی پیچیده ترمی شوند و جریمه‌های ناشی از آسیب‌های خوردگی مانند خطرات ایمنی و توقف در عملیات سیستم‌ها بسیار پرهزینه‌تر و مشخص ترمی شوند، در این حالت توجه به اهمیت کنترل و جلوگیری از خوردگی نیز افزایش می‌یابد.

### خوردگی در اطراف ما

بطور کلی همه مواد و آلیاژها می‌توانند خورد شده شوند. در این مورد یافتن همه خوردگی‌هایی که اطراف ما رخ می‌دهد به همان اندازه یافتن بعضی مواد که به هیچ وجه خوردگی را آشکار نمی‌سازند، به راحتی امکان پذیر است. در زیر بعضی مثالهای مربوط به موضوعات عمومی و متعارف و نواحی حساس و مستعد خوردگی آورده شده است.

۱- اتومبیل یک وسیله بررسی واقعی خوردگی است. مواد بکار رفته در آن باید برای استفاده در اتمسفر، دمای بالا سیستم بسته آب، سایش، خستگی و درزها و شکافهای باز انتخاب شوند. فلزات خیلی متفاوت، پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، ورقه‌ها و مواد بازدارنده بمنظور افزایش طول عمر قطعات در آن بکار برده میشود. در هر حال، بدنه و بطور یقین انبارا گزوز مجموعاً "در مراحل مختلف



خوردگی دیده میشوند. درحقیقت وقتی یک ماشین بعد از پنج سال استفاده مورد بررسی قرار میگیرد، حتما " لزومی ندارد زیر ماشین دیده شود، فقط تماشای بدنه، احتمالا" خوردگی را در نقاط بیشماری آشکار می نماید. حتی سپراتومبیل حفره های ریزیا حملات شدید بیشماری از خوردگی را نشان میدهد.

۲- در یک نگاه به سیستم لوله کشی یک خانه قدیمی، بویژه اگر از فلزی غیر از فولاد و یا حتی از فولاد کالوانیزه ساخته شده باشد، یافتن بعضی خوردگیها "معمولا" بدیهی است. بخصوص در اتصالات (زانوئی - لولا) جایی که پوشش کالوانیزه میبایست بریده شود و یا محل مجاور اتصال شیر برنجی که معمولا" خوردگی شدید پیدا میکنند.

۳- بر روی سقف انبارها که معمولا" از فولاد یا آهن کالوانیزه ساخته میشود در تمام مدت زنگ زدگی مشاهده میشود در حالیکه سقف های آلومینیمی جدید (یا از آلیاژ آلومینیم) روشن و درخشان و بدون خوردگی دیده میشوند.

۴- لوازم و ظروف آشپزخانه با اینکه براق و شفاف بنظر میرسند ولی داخل آنها اغلب زنگ زده و لکه دار میباشند زیر خطوط لوله مسیر آب بعضی اوقات خوردگی حفره ای و یا انواع دیگری از خوردگیها دیده میشود.

۵- پوشش سبزی که بر روی سقفهای مسی یا برنجی کلیساها یا بعضی ساختمانهای شهری دیده میشود، ناشی از خوردگی است. فلز مس (COPPER-BEARING) که با ترکیبات مشخصی از اتمسفر واکنش می نماید، بصورت پوشش سبزی که غالبا " PATINA یا AERUGO نامیده میشود شکل میگیرد. این پوشش لایه محافظی در مقابل خوردگی تشکیل میدهد که ادامه روند خوردگی را کند می نماید و همچنین یک نمای خوشایند و دلپذیری ایجاد می نماید.

۶- صنایع گوناگون، خصوصا " صنعت نفت و شرکتهای مواد شیمیائی مشکلات خوردگی بیشماری نظیری در عملیات خود دارند که بیشتر اشخاص احتمالا" بی اطلاع از آنها هستند. چنین کمپانیهای معمولا" تخصص های آشنا به خوردگی برای نگهداری سیستم هایشان در اختیار دارند.

۷- در رابطه با قایقهای آلومینیمی اغلب بنظر میرسد خوردگی ناچیز باشد. اگرچه یک بررسی دقیق اغلب حفره های باریک ناشی از حملات خوردگی را در آنها آشکار می نماید. البته این حملات بهمین مقدار محدود میشوند و هیچگاه بطور گسترده و شدید دیده نمی شوند ولی حتی یک نشانی کوچک هم ممکن است مشکلات خیلی جدی فراهم آورد.

۸- فلزاتی که در معرض آب دریا قرار دارند ممکن است بسختی خورده شوند. تنبیه کشتی ها (داخل و خارج آنها)، اسکله ها، دکلهای حفاری، سکوهای دریائی، تجهیزات آب شیرین کن و دیگر وسایل در معرض این محیط دارای هدایت الکتریکی زیاد، میبایست از طرق مختلف حفاظت شود. خوشبختانه انواع زیادی روشهای کنترل خوردگی در آب دریا مورد استفاده قرار میگیرد.

۹- تخریب و زوال سیمان در پلها، بزرگراهها، ساختمانها، لولهها و کانالهای تخلیه اغلب به دلیل واکنش با محیط و بیش از فاکتورهای مکانیکی دیده میشود. هنگامی که روشهای کنترل خوردگی در مدت ساخت اولیه بکار برده نشود، اغلب هزینههای مالی زیادی برای ترمیم قسمتهای تخریب شده تحمیل می گردد.

۱۰- خانههای زیادی در سطح شهر هستند که خطوط لوله آب سرد مجاری ورودی و خروجی و دیگر اجزاء ساختمانی آنها از مواد پلاستیکی ساخته شده است. کارایی این وسایل خیلی خوب می باشد. اما بسیاری از مردم از محدودیتهای آنها بی اطلاع هستند، نمی دانند چطور آنها را مورد استفاده قرار دهند و اختلاف بین پلاستیکهای موجود چیست؟

۱۱- مردم ممکن است در طول بزرگراهها را نندگی کنند و جعبه های فلزی نصب شده در سمت راست جاده که با علامت XYZ GAS مشخص شده است را ببینند. در حالی که این موضوع ممکن است برای بیشتر افراد نا آشنا باشد که این جعبه ها محل نصب یک نشانگر است که به متخصصین کنترل خوردگی، به کمک وسایل الکتریکی برای اندازه گیری میزان حفاظت بر روی لوله آهنی زیر خاک بنا م حفاظت کلندی، کمک می کند.

### گوناگونی فلزات

از ۱۰۵ عنصر شناخته شده برای بشر، نزدیک به ۸۰ عنصر فلز هستند. هر کدام از آنها خواص مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی متفاوتی دارند و اگر چه همه آنها میتوانند خورده شوند. ولی هر کدام از آنها ممکن است تحت شرایط معین و میزان متفاوت و از طرق مختلف خورده میشوند. گذشته از آن، از تیمی از این ۸۰ فلز، بیش از ۴۰۰۰۰۰ آلیاژ مختلف ساخته میشود. بدون شک در سالی که خواهد آمد تعداد بیشتری به آنها اضافه خواهد شد.

بدیهی است که خیلی ها نمی توانند ترکیبات بسیاری از این آلیاژها را به خاطر سپارند، مراجعه به نوشتجاتی از قبیل مهندسی آلیاژها یا هندبوک آلیاژها که برای یافتن چنین اطلاعاتی در دسترس هستند خواص ویژه خوردگی بسیاری از آلیاژها با توجه به آنالیز هر ماده و جایگاه آن در تقسیمات کلی انجام شده در مورد مواد از این مراجع قابل استنتاج است.

### یک فرآیند طبیعی

در حقیقت خوردگی که اتفاق می افتد نباید موجب تعجب و غافلگیری گردد، تقریباً تمام مواد هنگامی که در معرض محیط طبیعی قرار می گیرند با گذشت زمان در انتظار نابودی می باشند. خوردگی بطور ترجیحی یک فرآیند طبیعی است به همان صورت که آب از تپه ای به طرف پائین جاری می شود. اگر آب از یک تپه بلندی جریان یا بدیا

در بالای آن باقی بماند ممکن است باعث بوجود آمدن یک موقعیت غافلگیرکننده شود با این حال قوه هوش و ابتکار بشر با هدایت آب در یک سیستم (خطوط لوله) وسدود نمودن انتهای آن یا فقط با منجمد کردن آن میتواند جریان یافتن آب را بصورت کنترل شده انجام دهد. شبیه این پدیده طبیعی، اگر آهن در معرض هوا و آب قرار گیرد باید تشکیل و گسترش زنگ آهن را انتظار داشته باشیم. با گذشت زمان در واقع جای تعجب است اگر آهن در شرایط فوق خورده نشود یا زنگ نزنند. البته اگر مس، برنج، آلومینیم یا فولاد زنگ نزن جانشین آهن شود، مدت زمان میزان معین خوردگی باید طولانی تر شود. اما بروز برخی خوردگیها را هنوز میبایست انتظار داشته باشیم. در این فلزات شبیه تشکیل زنگ آهن (اکسید آهن) اکسیدهای دیگر مانند اکسید مس، آلومینیم یا کرومینیوم خیلی به آرامی تشکیل میشود و سطح فلز لخت را پوشش میدهد. این پوششهای اکسیدی، حتی اگر بسیار نازک هم باشند، میتوانند یک مانع جزئی برای جلوگیری از ادامه حملات و کاهش میزان خوردگی بوجود آورند.

تشکیل لایه سطحی، چه بصورت اکسید، کربنات، سولفات یا هر ترکیب دیگر، فاکتور اصلی در مقاومت خوردگی است بویژه اگر این لایه بصورت موثری سطح فلز را از محیط جدا نگه دارد. همچنین پوششها که بطور طبیعی تشکیل شده اند، باید در مقابل نفوذ، رطوبت و سایر عناصر، مقاوم باشند تا موثر واقع گردند. معمولاً آهن بطور طبیعی، مانع موثری را تشکیل نمیدهد. زنگ آهن به اکسیژن و رطوبت اجازه نفوذ و در نتیجه ادامه عمل اکسید شدن را میدهد. بنابراین، اگر این موضوع پیش بینی و پیشگیری نشود، آسیب بطور حتم رخ خواهد داد. پیش بینی جلوگیری مداوم آهن و آلیاژهای آن از خوردگی یک تلاش عمده در کنترل خوردگی است. در اینجا است که ما اغلب با رنگ یا الکتروپلیتنگ یا سایر روشها موجب تشکیل لایه های حفاظتی مصنوعی بر روی سطح آهن و طولانی شدن عمر مفید آن میشویم.

بعضی فلزات، مانند فولاد زنگ نزن، تیتانیوم یا آلومینیم غالباً "بدون پوشش رنگ گذاشته میشوند. این عمل بدان علت نیست که این فلزات بی اثر و خنثی هستند بلکه بدلیل آن است که اکسیژن هوا به تشکیل یک لایه سطحی از اکسید کرومینیوم یا اکسید تیتانیوم و اکسید آلومینیم محافظ بر روی آنها کمک میکند این لایه ها را اگر چه بسیار نازک هستند بطوریکه با چشم دیده نمیشوند، وجود آنها را میتوان آشکار و تأیید کرد اگر چنین پوششی بطور طبیعی شکل نگیرد تمامی سطح این فلزات مقاوم در مقابل حملات خوردگی مستعد خواهند شد. در اینجاست در چنین جاهایی انتظار حملات خوردگی انتظار میرود و اگر چه فرآیند طبیعی وجود دارد، ما باید یا دبگیریم که راههای طبیعی استفاده از آن را بخوبی بکار ببندیم.

بعضی محیط ها نسبت به سایر محیط ها خورنده تر هستند. در حالیکه استثناهایی وجود دارد عبارت زیر بطور کلی بصورت یک حقیقت پذیرفته شده است:

۱- هوای مرطوب خورنده تر از هوای خشک میباشد.

- ۲- هوای گرم خورنده تر از هوای سرد میباشد.
  - ۳- آب گرم خورنده تر از آب سرد میباشد.
  - ۴- هوای آلوده خورنده تر از هوای تمیز میباشد.
  - ۵- اسیدها خورنده تر از بازها میباشد.
  - ۶- آب نمک خورنده تر از آب تازه میباشد.
  - ۷- فولاد زنگ نزن از فولادهای معمولی دوام بیشتری دارد.
  - ۸- هیچ خوردگی در خلا حتی در دمای خیلی بالا رخ نمی دهد.
- با وجود موارد فوق ممکن است در بعضی شرایط غافلگیر شویم، مواردی است که هر یک از عبارات بالا، حتی آخرین عبارات آن صحیح نمیباشند. این نشان میدهد که میزان گستردگی حملات قطعی در مورد خوردگی شک برانگیز میباشد. واقعیت این است که اساساً " هیچ جمله‌ای در رابطه با خوردگی یا استفاده از مواد وجود ندارد که یک مورد استثناء نداشته باشند. فولاد زنگ نزن بعنوان مثال، لزوماً "بهبتر از فولاد معمولی نمیباشد. بنابراین آشنائی مهندسی با فاکتورهائی که در تشخیص مقاومت خوردگی مواد مؤثر هستند ضروری میباشد.

#### انتخاب مواد

در یک شرایط ویژه استفاده از یک آلیاژ مشخص ممکن است از سایر آلیاژها بهتر باشد ولی در همین شرایط بدلیل فاکتورهای دیگری از خوردگی مقایسه‌های زیادی بین آلیاژها میتواند صورت پذیرد. قیمت یک فاکتور اساسی است که قبلاً به آن اشاره شده است. سایر ویژگیها ممکن است شامل یک یا ترکیبی از موارد زیر باشد:

- ۵- ایمنی
- ۱- قیمت
- ۲- رفتار خوردگی
- ۳- قابلیت لحیم کاری و جوشکاری
- ۴- خواص شکل پذیری (خمیدگی، کشیدگی،.....)
- ۵- خواص مکانیکی مناسب (مقاومت کششی، مقاومت ضربه پذیری، خستگی،.....)
- ۶- استحکام دمای بالا و پائین ( DUCTILITY )
- ۷- قابلیت دسترسی به ماده
- ۸- سازگاری با سایر مواد در سیستم
- ۹- خواص گرمائی و الکتریکی
- ۱۰- خواص ویژه از قبیل دانسیته کم، خاصیت مغناطیسی و هسته‌ای (رادیواکتیو)

توجه به این نکته لازم است که هنگام، انتخاب مواد هیچ شماره‌ای به فاکتور ایمنی داده نمی‌شود. . از این رو، اگر در بعضی شرایط با انتخاب ماده خاصی یا استفاده از روش کنترل خوردگی معینی امکان پائین آمدن شرایط ایمنی و آسیب رساندن به انسان وجود دارد، آن ماده یا روش مورد نظر باید کنار گذاشته شود. بعد از اطمینان از اینکه چنین ضایعه‌ای در نظر گرفته شده است، دیگر فاکتورها نمیتوانند برای رسیدن به یک رادخل بهینه مورد ارزیابی قرار گیرد. خوردگی در بیشتر مواقع بی سروصدا و غافلگیرکننده عمل می‌نماید. بطور نا مشخص و پنهان در داخل بعضی ماشینها، مخازن و خطوط لوله مشغول بکار است تا سرانجام تجهیزات را از کار بیندازد. بعضی اوقات در یک حادثه فاجعه آمیز منجر به آسیب رساندن یا مرگ اپراتور و ناظر مربوطه میگردد. انفجار دیگ بخار در گذشته اغلب ماشه آن توسط فرآیند خوردگی کشیده شده است و مسئول مرگ یا صدمه رساندن به هزاران نفر شده است. در کارخانجات پتروشیمی، انجام خیلی فرآیندها در دمای بالائی صورت می‌پذیرد که اگر با اتمسفر تماس حاصل نمایند بطور خود به خود مشتعل میشوند در این مواقع دقت زیادی باید در ارزیابی مقاومت خطوط لوله انتقال این سیستم‌ها در مقابل خوردگی انجام گیرد و برنامه‌های بازرسی شدیدی باید برای اطمینان از عملیات ایمن این سیستم‌ها به اجرا گذاشته شود. گذاشتن یک ارزش اقتصادی به روی زندگی انسانها بسیار مشکل است لذا ملاحظات ایمنی و رای تمام ملاحظات اقتصادی میباشد.

بعد از ایمنی، قیمت بیشترین اهمیت از فاکتورهای گفته شده در انتخاب مواد را دارد. . اگرچه واژه قیمت در اینجا، فقط به قیمت اولیه یا قیمت نصب شده اطلاق نمی‌شود، بلکه علاوه بر اینها باید سایر هزینه‌ها مانند میزان عمری که از قطعه انتظار میرود، مالیات ساخت (مبلغ سرمایه‌گذاری شده یا مخارج نگهداری)، استهلاک قطعه، ارزش پول رانیز در بررسی هزینه‌های ملحوظ داشت. . برای این اساس استفاده از فولاد معمولی در شرایط معینی ممکن است اقتصادی تر از فولاد زنگ نزن بشود حتی اگر میزان خوردگی در محیط مورد نظر بر روی فولاد معمولی بیشتر باشد.

بمنظور تامین شرایط ایمن و تعیین و انتخاب اقتصادی مواد، لزوماً "به دانش و اطلاعات کافی از خواص خوردگی محدوده وسیعی از مواد گوناگون نیاز می‌باشد. دانستن اینکه چه ماده‌ای برای انتخاب مناسب میباشد یک موضوع ساده‌ای نمیباشد. در بعضی شرایط، خوب همیشه بهترین انتخاب میباشد. انتخاب دیگر ممکن است استفاده از لوله فلزی یا تانک با پوشش داخلی از پلاستیک و یا سرامیک باشد. همچنین در همین شرایط استفاده از آلیاژهای ویژه نیز میتواند انتخاب شود

### اندازه‌گیری خوردگی

تجربه نشان داده است هنگامیکه خوردگی اتفاق می‌افتد موجب افزایش یا کاهش وزن میشود. از این موضوع بطور خیلی متداول در اندازه‌گیری میزان پیشرفت خوردگی استفاده میشود. البته اگر تغییر وزن معینی بر روی یک نمونه تحت شرایط مشخصی رخ بدهد، یک قطعه با دو سطح مختلف، دو تغییر وزن متفاوت خواهد داشت.

بنا بر این اندازه سطح باید در اندازه گیری مقدار خوردگی در نظر گرفته شود. همچنین طول مدت زمان نیز در تغییرات وزن نیز مؤثر می باشد بطوریکه تغییر وزن برای مدت زمان طولانی تری که نمونه در معرض محیط خوردنده قرار میگیرد، بیشتر خواهد بود. واحدهائی که در اندازه گیری مقدار خوردگی بکار میروند بصورت زیر میباشند:

### ۱- تغییر وزن

کاهش یا افزایش وزن بر واحد سطح و زمان، یک اندازه گیری رایج میلی گرم بر دسی متر مربع در روز می باشد که با  $Mdd$  نمایش میدهند (میلی گرم یک هزارم گرم و دسی متر ۱۰ سانتی متر یا معادل تقریباً " ۴ اینچ می باشد). این واحد اندازه گیری معمولاً در آزمایشگاه جایی که معمولاً آزمایشات تکراری از یک فلز بخصوص انجام میشود مورد استفاده قرار میگیرد.

### ۲- تغییر ابعاد

کاهش ضخامت فلز در واحد زمان، واحدهائی که از این نوع متداول میباشند بصورت زیر میتوان نام برد.

UM/Y (میکرون در سال) یک میکرون معادل یک میلیونوم متر می باشد.

MM/Y (میلی متر در سال)

MPY (میلز در سال) یک میل معادل یک هزارم اینچ می باشد.

واحدهای دیگری نیز برای اندازه گیری مقدار خوردگی مورد استفاده قرار میگیرند که در مواقع لزوم میتوان آنها را به آسانی به سایر واحدها تبدیل نمود.

### ۳- تغییر خواص مکانیکی

درصد کاهش فلزات در مقاومت کششی، DUCTILITY, YIELD و سایر خواص مکانیکی این تغییرات بهترین نشانه های پیشرفت خوردگی است هنگامیکه سایر حملات موضعی (مرز دانه ای، SCS) بر روی فلز رخ میدهد، تغییر در خواص مکانیکی (سختی، کشش، DUCTILITY) در ساختمان مواد قابل انعطاف، در بیشتر مواقع بمنظور شناخت قطعی حملات خوردگی بر روی آنها با اهمیت می باشد.

### علت خوردگی چیست؟

در باره این موضوع که در بیشتر اشکال خوردگی چه فاکتورهائی مؤثر هستند مباحث کمی وجود دارد ولی اعتقاد فراگیر در باره خوردگیهای معمول و مشخص با قاطعیت بر اساس تئوری الکتروشیمی، استوار می باشد و فرمولها و معادلات گوناگونی در این باره ارائه گردیده که واکنشهای شیمیائی که بسیاری فرآیندهای خوردگی را بوجود می آورند را شرح میدهد. اساساً، خوردگی بر پایه الکتروشیمی به چهار فاکتور ابتدائی نیاز دارد.

- ۱- یک آنود
- ۲- یک کاتد
- ۳- یک الکترولیت
- ۴- یک جریان الکتریکی

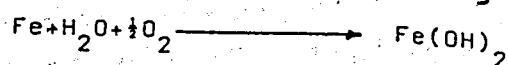
بنا بر این تئوریهای خوردگی مجبور هستند ملاحظات مربوط به ذرات بی نهایت کوچک و لزوماً "فعالیت‌های پیچیده، در سطح مولکولی و یونی، الکترونیک و اتمی را پذیرفته و به حساب می‌آورند. در این حالت میتوان ۳ پایه اساسی انواع خوردگیها را بصورت زیر ارائه نمود.

۱- شیمیائی

۲- الکتروشیمیائی

۳- فیزیکی

این اختلاف بر طبق میزان درگیری یونی، الکترونها و اتمها بوجود آمده است. برای مثال، واکنش خوردگی در رابطه با آهن، آب، اکسیژن ممکن است در یک نمایش متداول با واکنش شیمیائی زیر توضیح داده شود.



این واکنش نشان میدهد که در واکنش آهن با اکسیژن در آب خالص هیدرواکسیدفروس تشکیل میشود. در این واکنش اگر هر کدام از عناصر حضور نداشته باشند، خوردگی آهن (زنگ زدن) رخ نمیدهد و هنگامی که غیر از آب خالص وجود داشته باشد، محصولات خوردگی متفاوت دیگری احتمالاً تشکیل میگردد. فاکتورهای دیگری نیز وجود دارد که در هر محیطی میتواند موجب خوردگی شوند و در اینجا برای شناخت درست علت خوردگیها لازم است اثرات ناشی از آنها دقیقاً "بررسی و مورد توجه قرار گیرد. درست‌تر است شکل ارائه شده این فاکتورها بصورت زیر نشان داده شده است.

- اثرات تغییر دما

- اختلاف پتانسیل (EMF)

- عملیات حرارتی

- شرایط سطح

- اثر سائیدگی

- رادیو اکتیو

- ناخالصیهای محیطی

- زمان

- اثرات تنش

- فشار

- سایر موارد (اختلاف هوای دهی - اختلاف غلظت - اثرات موجودات ذره بینی)

## کنترل خوردگی در صنایع

بعضی صنایع بدلائل مختلف اهمیت بسیار زیادی برای مشکلات ناشی از خوردگی و کنترل آن قائل هستند و بسیاری از واحدها در این صنایع معمولاً " بدون کنترل خوردگی در مدار عملیات قرار نمی گیرند. مانند صنایع شیمیائی بدلیل حمل و انتقال مواد خورنده و شدیداً " سمی، صنایع پالایش نفت بدلیل احتمال احتراق و انفجار ناشی از فرآیندهای شیمیائی در آنها، صنایع تولید انرژی با نیروی بخار بدلیل وجود حرارت زیاد و تحت فشار بالا در آنها.


خیلی از صنایع نیز ممکن است بدلائل زیر به مشکلات خوردگی توجه داشته باشند. مانند شرکت‌های مخابراتی بدلیل نیاز به نگهداری کامل و درست سیستم‌هایشان و صنایع غذایی و بهداشتی بدلیل جلوگیری از ورود ناخالصیها به محصولات تولیدی آنها.

صنایع دیگر نیز به روشهای مختلف ممکن است به موضوع خوردگی و اثرات ناشی از آن توجه نمایند ولی در هر حال تمام صنایع به همان اندازه که در معرض اثرات ناشی از خوردگی قرار دارند آگاهی و توجه بیشتری نسبت به کاهش هزینه‌های اقتصادی در صورت داشتن یک برنامه کنترل خوردگی مناسب پیدا می نمایند. چنین برنامه‌های نه تنها بطور خاص قادر است صرفه جوئی اقتصادی در برداشته باشد در مجموع نیز میتواند از نظر اقتصادی برای حفظ منابع ملی هر کشوری بسیار با اهمیت باشد.



چرا فلزات خورده میشوند

نیروی محرکه‌ای که باعث خوردگی میشود، یک پیا آمد طبیعی ناشی از وجود حالت موقت در شکل فلزی آنها میباشد. برای رسیدن به این شکل فلزی از ترکیبات شیمیائی گوناگون طبیعی (سنگ معدن)، لازم است که فلزات، انرژی که برای آزاد شدن از ترکیبات اولیه نیاز دارند، جذب و ذخیره نمایند. لزوماً "بازگشت مجدد از این حالت موقت به ترکیبات طبیعی اولیه با از دست دادن تدریجی این انرژی و بوسیله خوردگی رخ میدهد. این مقدار انرژی برای انواع فلزات متفاوت و از فلزی به فلز دیگر فرق میکند. این مقدار انرژی برای فلزاتی مانند مگنزیوم، آلومینیوم و آهن نسبتاً زیاد و برای فلزاتی مانند مس و نقره نسبتاً کم است. در جدول زیر مقدار این انرژی برای بعضی فلزات رایج نشان داده شده است.

Most Energy Required    Least Energy Required	Potassium
	Magnesium
	Barium
	Aluminum
	Zinc
	Calcium
	Iron
	Nickel
	Tin
	Copper
	Silver
Platinum	
Gold	

در زیر یک سیکل نمونه در مورد آهن شرح داده شده است. متداولترین سنگ آهن در طبیعت هماتیت (اکسید آهن  $Fe_2O_3$ ) میباشد و معمولترین محصول خوردگی آهن، زنگ آهن همان ترکیب شیمیائی را دارا میباشد. انرژی مصرف شده برای تبدیل سنگ آهن به شکل فلزی آن زمانی که آهن بصورت زنگ آهن خورده نمیشود مجدداً "بهمان مقدار آزاد میشود فقط سرعت تغییرات انرژی در اینجا متفاوت میباشد. تفاوت انرژی بین فلز و سنگ معدن آنها در یک مباحث الکتریکی مرتبط با حرارت تشکیل ترکیبات قابل توضیح میباشد...

مشکل استخراج فلزات از سنگ معدن آنها در بحث انرژی مورد نیاز و به دنبال آن تمایل به آزاد ساختن این انرژی توسط خوردگی، در یک جدول توسط موقعیت نسبی فلزات بصورت خالص نشان داده شده است. این جدول بنام سری الکتروموتیو شناخته شده است.

## اشکال خوردگی

انهدام و تخریبهای ناشی از خوردگی در شکلهای زیادی انجام میگیرد که بستگی به طبیعت فلز یا آلیاژ مورد استفاده دارد. وجود ناخالصی در مواد معدنی یا سایر مواد خارجی در سطح، میزان یکنواختی ساختمان فلزات، طبیعت محیطهای خورنده، فاکتورهای شایع محیطی مانند اکسیژن و مقدار یکنواختی آن، دما، سرعت حرکت و سایر فاکتورها از قبیل وجود تنشها (باقیمانده یا حمل شده، یکنواخت یا دوره‌ای) رسوبات اکسیده (یکنواخت یا شکسته) خلل و فرج یا منافذ یا رسوبات نیمه متخلخل روی سطح، ترکهای شکل گرفته ضمن ساخت، اثرات کالوانیکی بین دو فلز هم جنس و حضور گاه بیگاه و تا مین جریانهای الکتریکی سرگردان از منابع خارجی از عوامل مؤثر در بروز خوردگی میباشد.

بطور کلی بجز در مواردی که برای عملیات و شرایط ویژه این انتخاب خیلی نابجایی از یک ماده انجام شود و یا تغییر خیلی مؤثر و دور از انتظار در محیط و شرایط خوردگی و یا درک کاملاً اشتباهی از آن صورت گیرد، معمولاً در بیشتر مواقع با حوادث خوردگی بصورت حملات عمومی خیلی شدید مواجه نخواهیم شد. اشکال مختلف خوردگی بعداً در بحث جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## شیمی و الکتروشیمی خوردگی

می‌دانیم ماده، از اتم ساخته شده است و همچنین از ذرات کوچکتری که اتم را ساخته‌اند. تعداد بیشماری از این ذرات طوری کنار هم قرار گرفته‌اند که حامل بار مثبت میشوند و دسته‌های خنثی از این ذرات با تجمع اطراف یکدیگر هسته‌های تشکیل داده‌اند که ذراتی با بار منفی در مدارهای خیلی شبیه به چرخش سیارات اطراف خورشید به دور این هسته در حال گردش هستند. در یک اتم طبیعی ذرات منفی را الکترون مینامند که دقیقاً "با بارهای مثبت روی هسته موازنه شده‌اند. الکترونها لایه‌هایی در اطراف هسته را اشغال میکنند که اصطلاحاً "پوسته (SHELL) می‌نامند. این لایه‌ها در مورد آهن زمانیکه ۸ الکترون بر روی آنها قرار گیرد کامل میشوند و در مواردی ممکن است الکترونها را اضافی که برای موازنه بارهای مثبت هسته مورد نیاز میباشد به آنها اضافه شود. همچنین الکترونها موجود در لایه آخر پوسته قادرند از اتم جدا شوند در این حالت توازن بار روی هسته بهم خورده و اتم یک بار مثبت را نشان میدهد. در این حالت اتم باردار شده را یون می‌نامند و به این فرآیند یونیزاسیون می‌گویند.

معمولاً این تغییرات با علائم شیمیایی بصورت زیر نشان داده میشود.

برای مثال Fe یک علامت شیمیایی برای اتم آهن طبیعی است. در حالیکه  $Fe^{++}$  اتم آهنی را که ۲ الکترون خود را از دست داده است مشخص مینماید و یون فروس FERRUS نامیده میشود. بهمین صورت  $Fe^{+++}$  مشخص می‌نماید یک اتم آهن ۳ الکترون خود را از دست داده است و یون فریک نامیده میشود. فرآیند از دست دادن الکترون از اتم با مراجعه به الکتروشیمی اکسیداسیون (OXIDATION) نامیده میشود.

یک فرآیند مثبت نیز وجود دارد و آن زمانی است که الکترونها را دیگری به اتم اضافه شده و بار منفی به آن می‌دهند. هر افزایشی در بار منفی (یا کاهش در بار مثبت) یک اتم احیاء (REDUCTION) نامیده می‌شود.

خیلی از ترکیبات شیمیایی وقتی در آب حل می‌شوند خود به خود به ۲ یا چند یون جداگانه تقسیم می‌شوند که بارهای مخالف یکسان دارند. این فرآیند نیز یونیزاسیون نامیده می‌شود. این ذرات هستند که عامل جریانهای الکتریکی در محلولهای آبی هستند.

### اسیدیته و آلکالینیتی (PH)

یونهای که در بالا به آنها اشاره کردید یک محیط (معمولاً آب) با هدایت الکتریکی را بوجود می‌آورند.

وقتی در مورد محیط های آبی بحث می‌شود. معمولاً در بیشتر مواقع این سؤال مطرح می‌گردد که اسید در محلول چیست (یا آلکالین) در یک پاسخ ساده باید دید که در محلول آبیون اضافی  $H^+$  (شیدروژن) وجود دارد یا یون اضافی  $OH^-$  (شیدرواکسید)، یونهای اضافی  $H^+$  اسید و یونهای اضافی  $OH^-$  منفی الکالین می‌باشد. اجزاء دیگر یک اسید یا آلکالین اضافه شده به آب هدایت الکتریکی یا سایر خواص مایع را افزایش می‌دهد. اما مقدار اسیدیته را افزایش یا کاهش نمی‌دهد. به عنوان مثال، تعداد معین یون  $H^+$  در آب توسط اضافه نمودن  $HCl$  و  $H_2SO_4$  یا بطور خیلی جزئی توسط اسید استیک تولید می‌شود. در این حالت PH محلول در صورتیکه مقدار اتم شیدروژن محلول به یک اندازه باشد. یکسان خواهد شد. دیگر خواص محلول ممکن است تغییر کنند. اما PH پارامتری است که به اندازه غلظت  $H^+$  بستگی دارد.

PH ممکن است به کمک دستگاه اندازه‌گیری تعیین شود و یا در صورت مهیا بودن پارامترهای معینی قابل محاسبه می‌باشد. آب نیز تجزیه شده و مقادیر جزئی و مساوی  $H^+$  و  $OH^-$  تولید نمی‌نماید.

از آنجا که مقادیر مساوی از  $H^+$  و  $OH^-$  در آب وجود دارد این محلول یک محلول خنثی نامیده می‌شود. در این حالت گفته می‌شود، محلول پ-هاش ۷ دارد. با تغییر مقدار یونهای  $H^+$  و اگر عدد پ-هاش کاهش پیدا کند ( $PH < 7$ ) نشان دهنده آن است که مقدار بیشتری  $H^+$  نسبت به  $OH^-$  وجود دارد و این محلول اسیدی است. اگر عدد پ-هاش افزایش یابد ( $PH > 7$ ) در این حالت مقدار یونهای  $OH^-$  در محلول بیش از  $H^+$  بوده و محلول قلیایی می‌باشد. اختلاف بیشتر از عدد ۷، حالت اسیدی یا بازی بیشتری را بوجود خواهد آورد به عنوان مثال پ-هاش ۲ محلول بسیار اسیدی و پ-هاش ۱۲ محلول بسیار قلیایی را نشان می‌دهد.

## خوردگی بصورت یک واکنش شیمیائی

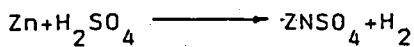
### خوردگی در اسیدها

یکی از راههای معمول تولید هیدروژن در آزمایشگاه قرار دادن روی در داخل یک محلول اسیدی رقیق مانند اسید کلریدریک یا اسید سولفوریک میباشد. وقتی این کار انجام شود، یک واکنش سریع انجام میگردد که در آن روی مورد حمله قرار گرفته و هیدروژن بصورت گاز آزاد میشود.



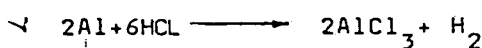
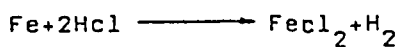
در این واکنش یک اتم روی به دو مولکول اسید کلریدریک اثر نموده و یک مولکول کلرید روی (نمک) و مولکول گاز هیدروژن تشکیل میشود.

به همین صورت روی یا اسید سولفوریک بصورت زیر اثر نموده و سولفات روی (نمک) و هیدروژن تولید می نماید.



لازم است توجه شود که هر اتمی در مواد شرکت کننده در سمت چپ این واکنش وجود داشته باشد، باید در سمت راست نیز ظاهر گردد. همچنین قانونی وجود دارد که مشخص میکند اتمها به چه نسبت در هر سمت میبایست با هم ترکیب شوند.

فلزات دیگری نیز بوسیله اسید خورده یا حل میشوند و نتیجه آن یک نمک محلول و گاز هیدروژن میباشد.



واکنش های فوق نشان میدهد که دو فلز آهن و آلومینیم هر دو بوسیله اسید کلریدریک خورده میشوند.

در این واکنشها فلز روی و آهن با ۲ یون کلر در حالیکه آلومینیم با ۳ یون کلر ترکیب میشوند که نشان میدهد دو فلز آهن و روی هنگام خورده شدن ۲ الکترون از دست میدهند و ۲ بار مثبت در شکل یونی نمایش میدهند و گفته میشود دارای ۲ ظرفیت میباشد. در حالیکه آلومینیم هنگامیکه سطح آندی را ترک میکند، ۳ الکترون از دست میدهد از اینرو ۳ بار مثبت را نشان میدهد و گفته میشود دارای ظرفیت ۳ میباشد. بعضی فلزات دارای چندین ظرفیت میباشد و بعضی از آنها فقط یک ظرفیت دارند.

### خوردگی در محلولهای خنثی و قلیائی

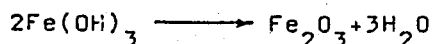
خوردگی فلزات همچنین میتواند در آب تازه، آب دریا، محلولهای نمکی و قلیائی اتفاق بیافتد. در اغلب این سیستم ها خوردگی فقط هنگامیکه اکسیژن حضور داشته باشد، رخ میدهد. محلولهای آبی به سرعت اکسیژن هوا را که منبع تامین اکسیژن در واکنش

خوردگی است در خود حل می نماید. زنگ آهن شناخته شده ترین خوردگی از این نوع است، هنگامیکه آهن در معرض هوای مرطوب یا آب قرار میگیرد.

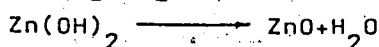
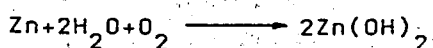


در این واکنش دیده میشود که آهن با آب و اکسیژن ترکیب میگردد و یک محصول خوردگی غیر محلول قرمز متمایل به قهوه‌ای تولید می نماید.

هنگام زنگ زدن آهن در اتمسفر، فرصتهائی هم برای خشک شدن بوجود می آید و هیدرواکسید فریک آب خود را از دست میدهد و اکسید قرمز متمایل به قهوه‌ای رنگ آهن که شناخته شده است، تولید میکند.

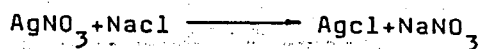


شبه همین واکنش هنگامیکه روی در معرض آب قرار میگیرد، نیز رخ میدهد.

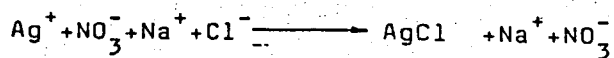


اکسید روی حاصل یک رسوب سفید رنگ است که بر روی سطوحی گالوانیزه، کانالهای عبور آب باران، شیرهای باروکش ناقص کروم دیده میشود.

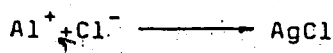
بمنظور مقایسه در زیر واکنشی را که الکتروشیمیائی نیست مورد بررسی قرار میدهم. اگر یک محلول نیترات نقره به یک محلول کلرید سدیم اضافه شود، رسوب سفید رنگ کلرورنقره تشکیل میشود.



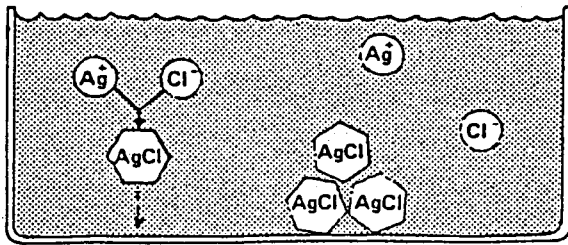
قبلاً گفته شد بعضی مواد در واکنش بالا میتوانند بصورت یونهای مجزا در محلول وجود داشته باشند.



بررسی آزمایشگاهی این واکنش نشان میدهد که هر دو یون نیترات و سدیم در هر دو طرف واکنش وجود دارند. بنا بر این آنها مستقیماً درگیر نمی شوند و میتوان آنها را نادیده گرفت. بنا بر این واکنش بالا را میتوان بصورت ساده شده بصورت زیر نشان داد.



همانطور که دیده میشود در واکنش فوق هیچ واکنش احیاء و اکسیداسیون (انتقال الکترون) وجود ندارد.

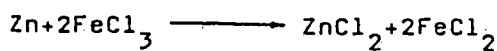


ظرفیت هردو نقره و کلیرین در تمام مدت این واکنش بدون تغییر باقی می ماند و در نتیجه امکان تقسیم این واکنش به دو واکنش منفرد اکسیداسیون و احیاء وجود ندارد. واکنش های خوردگی معمولاً فرآیندهای الکتروشیمیایی هستند که انتقال الکترون در آنها صورت می گیرد.

بطور خلاصه واکنشهای خوردگی اساساً "الکتروشیمیایی هستند و دلیل این موضوع آن است که امکان تقسیم این واکنشها به دو واکنش آندیک و کاتدیک (اکسیداسیون و احیاء) وجود دارد و این است امتیازی که بسادگی امکان ارائه بیشتر فرآیندهای خوردگی وجود دارد.

#### خوردگی در سایر سیستم ها

فلزات ممکن است در محلولهای خیلی خورنده بدون اکسیژن یا اسید نیز مورد حمله واقع شوند. نمک های اکسید کننده ای مانند ترکیبات فریک یا مس از بارزترین انواع این محلولها هستند. در زیر واکنشهای خوردگی از این نوع نشان داده شده است.

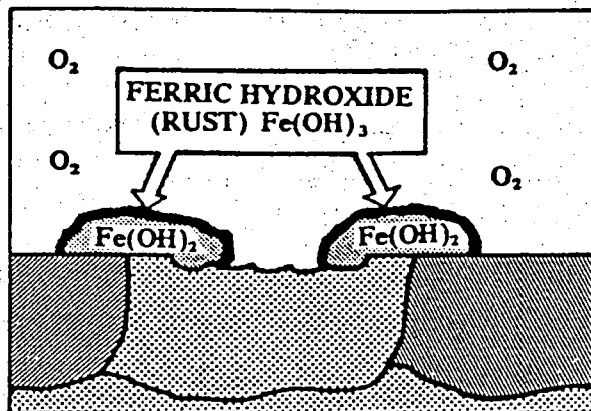


همانطور که دیده میشود در مورد اول کلراید فریک و در حالیکه موجب خوردگی روی میشود به کلراید فروس تغییر میکنند و در مورد دوم روی با سولفات مس ترکیب شده و سولفات روی به همراه جرم اسفنجی از رسوب فلزی مس بر روی سطح روی تشکیل میدهد. این واکنش اغلب بنام واکنش جایگزینی فلزنا دیده میشود.

#### محصولات خوردگی

واژه محصولات خوردگی به موادی که در طی واکنش خوردگی ایجاد میشوند اطلاق میگردد. این مواد میتوانند مانند کلراید روی یا سولفات روی که در مثال قبلی ذکر شد، بصورت محلول یا مانند اکسید یا هیدروکسید آهن بصورت ترکیبات غیر محلول باشند. وجود محصولات خوردگی یکی از راههای تشخیص خوردگی است. هرچند باید توجه نمود

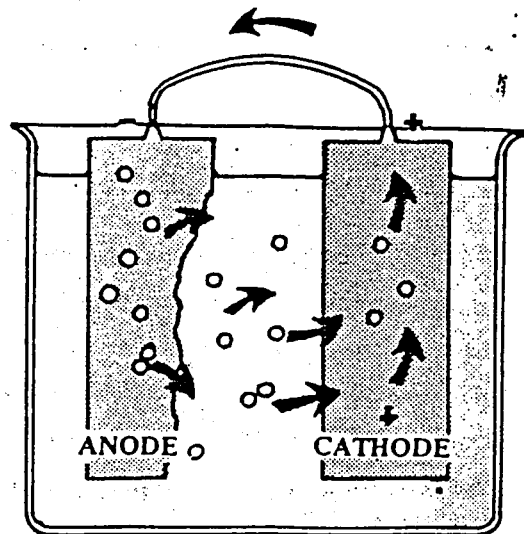
که محصولات خوردگی غیرمحلول همیشه قابل مشاهده نمیباشند. آلومینیم به محض اینکه در معرض هوا قرار گیرد، اغلب یک فیلم اکسیدی غیر قابل مشاهده تشکیل میدهد که قادر است از ادامه خوردگی اتمسفری جلوگیری نماید. این فیلم بدلیل آنکه بسیار نازک میباشد غیر قابل مشاهده میباشد. این موضوع استفاده از آلومینیم را بطور گسترده در پنجره ها و کرکره های بادشکن و تزئینات داخل اتومبیل توجیه می نماید. محصولات حاصل از فرآیندهای کاتدی و آندیک غالباً " در داخل محلولها مهاجرت می نمایند و منجر به انجام واکنشهایی میشوند که خیلی از آنها محصولات خوردگی قابل مشاهده تولید می نمایند. برای مثال در مورد واکنش آهن در آب، یون هیدرواکسید حاصل از واکنش کاتدی که در داخل الکترولیت به طرف سطوح آندیک مهاجرت میکنند، با یونهای آهن فرس که در جهت مخالف حرکت میکنند مواجه شده و ترکیب یونی هیدرواکسید فرس را بوجود می آورند که سرانجام با اکسیژن محلول واکنش نموده و هیدرواکسید فریک را ایجاد می نمایند. در شکل زیر تشکیل زنگ آهن نشان داده شده است.



### الکتروشیمی خوردگی

زمانی خوردگی میتواند هرکدام از واکنشهایی که قبل توضیح داده شد را داشته باشند، که مکانیزم حملات خوردگی در محلولهای آبی یا بعضی جنبه های الکتروشیمیائی انجام شده باشد و جریان الکتریسیته از ناحیه مشخصی از سطح فلز به سایر نواحی از طریق محلولی دارای هدایت الکتریکی، مانند آب دریا یا آب سخت ایجاد گردد. در این حالت به آن بخش از سطح فلز که خورده میشود و از آنجا جریان فلز را بطرف محلول ترک میکنند، آنند گفته میشود. در مقابل بخشی از سطح فلز که از آن قسمت جریان محلول را ترک کرده و بطرف فلز بر میگردد کاتد نامیده میشود.

مدار الکتریکی در خارج از محلول از طریق فلز یا اتصال الکتریکی دو قطعه فلز کاملاً میگردد. اجزاء اصلی این مدار کامل شده در شکل صفحه بعد نمایش داده شده است.



نقطه‌های شکل نشان دهنده آنست که الکتروسیته (نه الکترونها) در داخل محلول از آنند (-) به طرف کاتد (+) جریان یافته و از آنجا از طریق سیم رابط فلزی مجدداً "به طرف آندبرمی گردد".

محلولی که قابلیت هدایت الکتروسیته را دارا باشد الکترولیت نامیده می شود و این محلول قادر است الکتروسیته را از طریق یونها هدایت کند. یونها، اتمها یا گروهی از اتمهایی با بار مثبت یا منفی می باشند. الکترولیتی که بصورت یک محیط خورنده عمل می کند هر محلولی ممکن است باشد. باران و یا حتی رطوبت هوا، میتواند در آب تازه یا آب نمکی محدوده‌ایی بصورت قلیایی یا اسیدی شدید داشته باشد.

آندها و کاتدهایی که در واکنش‌های خوردگی ایجاد می شوند الکتروند نامیده می شوند. این الکترونها ممکن است از دو نوع مختلف فلز یا نواحی مختلف بر روی سطح یک قطعه فلزی کسان تشکیل شده باشند در این حالت الکتروند منفی جایی است که خوردگی در آنجا اتفاق می افتد.

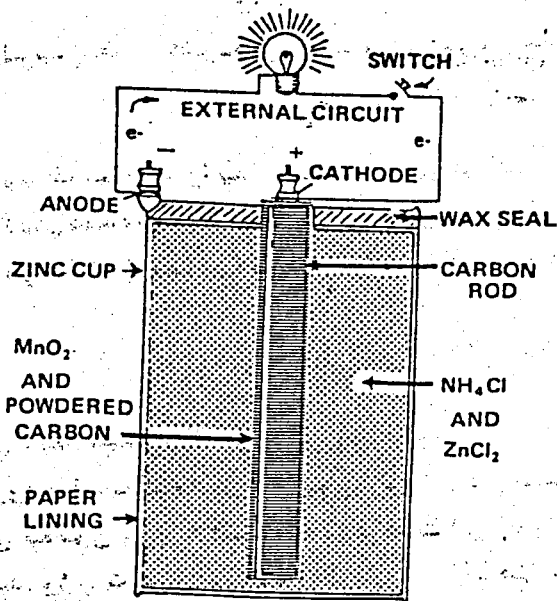
### واکنش‌های الکتروشیمیایی

تعاریف، واژه‌ها و اصطلاحات فنی

یک واکنش الکتروشیمیایی به این صورت تعریف شده است. . . واکنش شیمیایی که در آن انتقال الکترون صورت می پذیرد. یا واکنشی شیمیایی است که در آن اکسیداسیون و احیا نیز انجام می شود. از آنجا که واکنشهای خوردگی فلزات اغلب یک فرآیند الکتروشیمیایی است، خیلی مهم است که پارامترهای اساسی واکنشهای الکتروشیمیایی



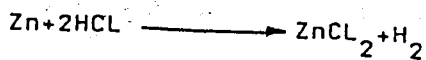
شناخته شود. تعاریف بالا زواکنش های الکتروشیمیایی میتواند خیلی ساده با بررسی جزئیات بعضی از واکنشهای خوردگی نشان داده شود. یک باطری خشک رایج ترین واکنش خوردگی شناخته شده می باشد که در آن میتوان تمام واکنشهای الکتروشیمیایی گفته شده را مورد بررسی قرار داد. در شکل زیر نمونه ایی از آن نشان داده شده است.



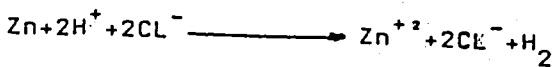
در این باطری به دلیل خوردگی کالوانیکی جریان الکتریکی تولید می شود. همانظوری که دیده می شود روی (آند) در یک مدار الکتریکی در حضور یک الکترولیت خورنده با گرفت یا کربن قرار داده شده اند. وقتی در این مدار یک لامپ کوچک یا زنگ اخبار نصب شود و کلید مدار بسته شود. جریان الکتریکی بین این دو الکترودمبر قرار می شود. علت برقراردن جریان شدت گرفتن خوردگی روی و ایجاد واکنش کاتدی در الکترودمبر فست می باشد. زمانی که روی بطور کامل خورده شود قدرت باتری نیز کاملاً تخلیه می گردد در این حالت امکان ایجاد سوراخ در محفظه روی و نشتی الکترولیت داخل آن به بیرون می باشد که با قرار دادن در داخل یک روکش استیلی این مشکل حل شده است. در اینجا چهار پارامتر اساسی برای این پیل مورد نیاز است.

- ۱- یک آند ( Zn )
- ۲- یک کاتد ( C )
- ۳- الکترولیت (  $NH_4Cl, ZnCl_2$  )
- ۴- مدار خارجی

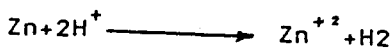
تمام پیل های خوردگی باید این چهار پارامتر را داشته باشند . پتانسیل قابل توجهی بین الکتروده بسیار کاتدیک کربن و آنده روی ایجاد میشود . واکنشهای موجود را میتوان به روشنی بوسیله خوردگی روی در اسید کلریدریک که قبلاً مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد .



در این واکنش اسید کلریدریک و کلرید روی بصورت زیر در محلول آب یونیزه میشوند .

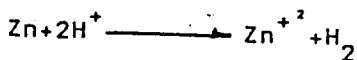
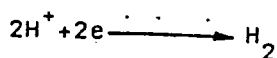
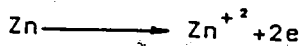


در این حالت دیده میشود که یون کلراید مستقیماً در واکنش شرکت نمی کند . یون کلرید در هر دو طرف واکنش دیده میشود ولی در واکنش خوردگی تغییر نمی کند (ظرفیت آن بدون تغییر باقی می ماند) بنابراین میتوان واکنش بالا را با حذف کلراید ساده تر نشان داد .



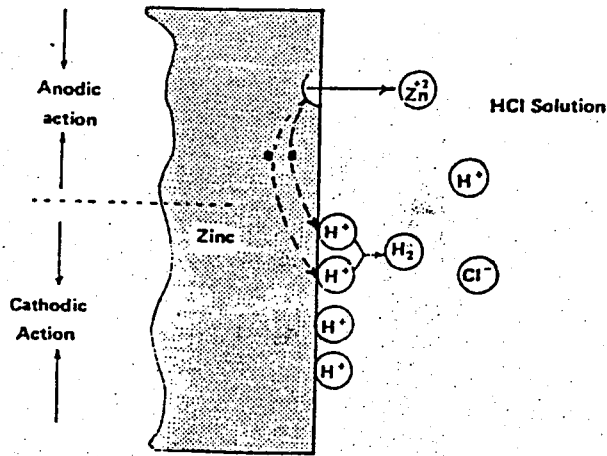
از این واکنش بسادگی دیده میشود که خوردگی روی توسط اسید کلریدریک شامل واکنش بین روی و یون هیدروژن است که حاصل آن یون روی و گاز هیدروژن میباشد . در ضمن این واکنش ، فلز روی به یون روی اکسید شده و ظرفیت آن افزایش می یابد . یون هیدروژن نیز به گاز هیدروژن تبدیل میشود (ظرفیت آن کاهش می یابد) .

این واکنش را با زهم بصورت ساده تر با تقسیم آن به دو واکنش اکسیداسیون و احیاء میتوان نمایش داد .



یک واکنش اکسیداسیون ، مانند واکنش بالا با یک افزایش در ظرفیت یا تولید الکترون مشخص میشود . به همین صورت یک واکنش احیاء با کاهش در ظرفیت یا مصرف الکترون مشخص میگردد . در اصطلاحات مورد استفاده در خوردگی ، واکنش اکسیداسیون بنام واکنش آندیک و واکنش احیاء بنام واکنش کاتدیک شناخته شده است .

در واکنشهای فوق ، خوردگی حداقل از یک واکنش اکسیداسیون و یک واکنش احیاء تشکیل شده است . در شکل صفحه بعد این موضوع بصورت شماتیک نشان داده شده است .



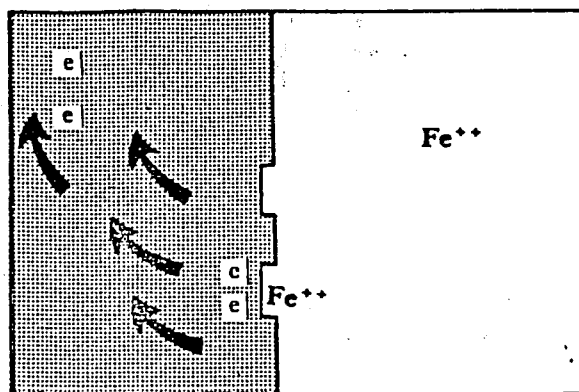
در این شکل، قسمتی از یک فلزروی در اسید کلریدریک قرار داده شده است. در این حالت در بعضی نقاط، سطح، فلزروی به یون روی تغییر شکل میدهد، بر طبق واکنش آندی، این واکنش تولید الکترون می نماید و این الکترونها از طریق عبور از فلز به قسمتهای دیگر، جایی که یون هیدروژن به گاز هیدروژن تبدیل می شود (واکنش کاتدی) انتقال می یابند.

دو واکنش گفته شده در بالا و این شکل، اساس یک واکنش الکتروشیمیایی را نمایش میدهند. در طی چنین واکنشهایی الکترونها انتقال می یابند یا به گفته دیگر، یک فرآیند اکسیداسیون همراه با فرآیند احیاء رخ میدهد.

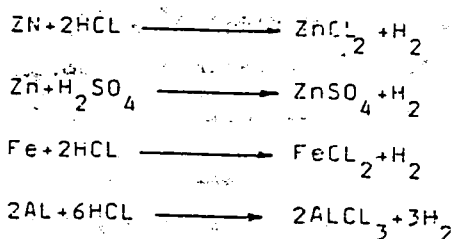
بطور مختصراً میتوان گفت زمانی که خوردگی اتفاق می افتد، تشکیل یونها و آزادی الکترونها در یک سطح آندی جایی که اکسیداسیون یا تجزیه یا زوال فلز رخ میدهد انجام میشود. همچنین در سطح کاتدی الکترونها تولید شده از آنجا باید پذیرفته شوند. این قبول الکترون میتواند بصورت خنثی ساختن یون هیدروژن مثبت یا تشکیل یک یون منفی باشد. واکنش آندی یک واکنش در یک لحظه یکسان و با یک سرعت مساوی انجام میشود. با این حال خوردگی تنها در ناحیهای که بصورت آندی میباشد رخ میدهد.

### فرآیندهای آندی

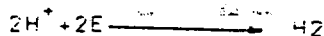
در این قسمت، اتفاقاتی که در آنجا هنگام خوردگی رخ میدهد با جزئیات بیشتری توضیح داده شده است. آنها با بار مثبت سطح فلز را ترک میکنند و بصورت یون داخل محلول میشوند. همزمان بر روی سطح فلز بهمان اندازه با منفی و بشکل الکترونها که میتوانند در فلز یا هر ماده الکتریکی خارجی جریان یابند، باقی میگذارند. آنها یونیزه میشوند یا تعداد بیشتری بار مثبت داشته باشند. در خوردگی آهن، هر اتم آهن به یک یون آهن با دو بار مثبت تبدیل شده و ۲ الکترون نیز تولید میکند.



این الکترونها از طریق فلزها هر دو الکتریکی خارجی انتقال می یابند و مقدار الکتریکی را در کاتد ( جایی که یک واکنش مشابه آنها را مصرف می کند ) می نمایند . در مدت حملات خوردگی ، واکنش آنندیک همیشه اکسیدکننده فلز به یک ظرفیت بالاتر ( معمولاً از ظرفیت مثبت ) می باشد . معادلات زیر را بعنوان مثال می توان ملاحظه نمود :



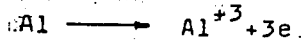
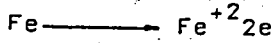
در تمام این واکنشها مطابق واکنش زیر ، یون هیدروژن مثبت به گاز هیدروژن احیا میگردد :



تنها اختلاف در واکنشهای با اختلاف در فرآیندهای آنندیک یا اکسیداسیون میباشد . بنا بر این درک خوردگی بوسیله سیدبه خاطر آنکه تمام واکنشهای کاتدیک آن تنها تغییر یون هیدروژن به گاز هیدروژن می باشد بسیار ساده میشود . در حالت در مورد تعداد زیادی از واکنشهای فلزات در اسیدها به طور مثال ، کلریدریک ، سولفوریک ، فسفریک و دیگر اسیدهای قوی اتفاق می افتد .

بنا بر این اگر واکنشهایی که قبلاً گفته شد بصورت واکنشهای آنندی و کاتدی جدا کنیم تنها اختلافی که پیدا میشود در واکنشهای اکسیداسیون می باشد . در زیر واکنشهای

آندیک آورده شده است :



در این حالت میتوان واکنش های آندیک را که در زمان خوردگی رخ میدهد بطور کلی زیر

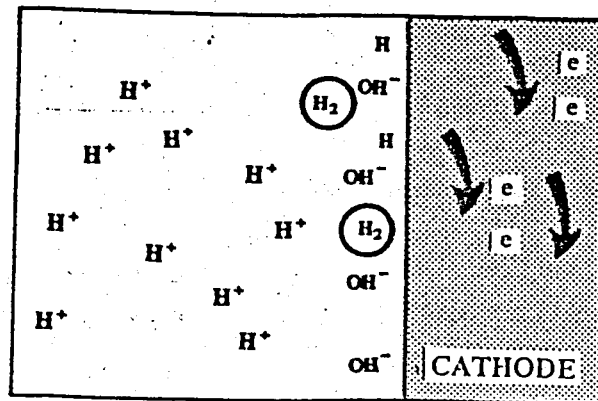


نمایش داد :

بعضی فلزات مانند نقره، یک ظرفیتی هستند. در حالی که دیگر فلزات مانند آهن، تیتانیوم، اورانیوم چند ظرفیتی هستند و با رهای مثبت بیش از ۶ مطابق این واکنش که یک واکنش کلی است و برای تمام واکنشهای خوردگی قابل اجراست پیدا می کنند.

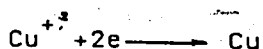
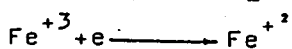
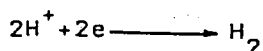
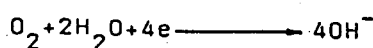
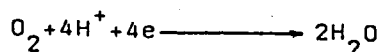
### فرآیندهای کاتدی

در این قسمت نیز به اتفاقی که به موازات واکنشهای آندی در کاتد رخ میدهد با توضیحات بیشتری اشاره شده است. الکترونها تولید شده توسط یونها فلزی در آنداز فلز به سطح کاتدیک فلز که در الکترولیت قرار دارد عبور می نمایند. و در آنجا موازنه الکتریکی سیستم با واکنش خنثی سازی یونها مثبت الکترولیت مانند یون هیدروژن انجام می گیرد. یون هیدروژن، میتواند به شکل اتمی احیا گیرد و اغلب بصورت گاز هیدروژن در سطح کاتدی واکنش می نماید. احیا هیدروژن در سطح کاتدی موازنه بین یونها هیدروژن اسیدی ( $H^+$ ) و یونها های هیدرواکسید قلیایی ( $OH^-$ ) را برهم میزند و یک محلول کمتر اسیدی و بیشتر قلیایی در آن ناحیه ایجاد می نماید.



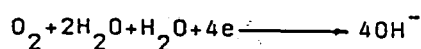
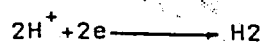
این تغییر در غلظت هیدروژن را میتوان با استفاده از معرفهای شیمیایی مشاهده و بدین طریق نیز میتوان محلی از سطح فلز که در آن قسمت واکنش کاتدی خوردگی رخ میدهد تعیین و اثبات نمود.

واکنشهای کاتدی دیگری نیز وجود دارد که در هنگام خوردگی فلزات با آنها مواجه می شویم. بعضی از این واکنشها بصورت زیر می باشند:

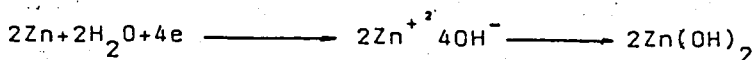
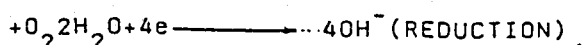
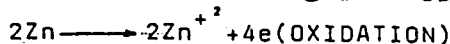


مجموع این واکنشها را بصورت 20 HM2 میتوان به خاطر سپرد. که نشان دهنده آن است که میتوان ۲ واکنش اکسیژن، یک واکنش هیدروژن و ۲ واکنش فلز زد که تا ملاحظه نمود. احیا یون هیدروژن و تشکیل گاز هیدروژن هما نظیر که قبلاً بحث شد از واکنشهای کاتدی است که ذراتی خوردگی اسیدها رخ میدهد. احیا اکسیژن نیز به دلیل آنکه اکسیژن در اتمسفر و محلولهای در تماس با آن حضور دارد و واکنش کاتدی خیلی معمول می باشد. احیا یون فلز و رسوب آن اگرچه کمتر معمول است لیکن در صورت مشاهده سبب مشکلات خوردگی شدیدی می شود.

در مورد واکنشهای بالاموضوع قابل توجه آن است که همه آنها در یک مورد یعنی مصرف الکترون شبیه به هم هستند تمام واکنشهای خوردگی ترکیبی از واکنشهای آندی و یک یا چند واکنش کاتدی گفته شده در بالا هستند و در هر مورد خوردگی در فلزات تقریباً "این ۶ واکنش به تنهایی یا بصورت مرکب میتواند ایجاد شود. برای مثال هما نظیر که قبلاً دیدیم خوردگی اسید میتواند با واکنشهای اکسیداسیون فلز، احیا هیدروژن و احیا اکسیژن مطابق زیر ایجاد شود.

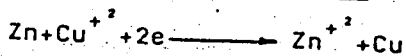
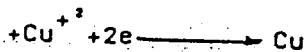
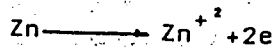


واکنش خوردگی روی توسط آب و یا هوای مرطوب را نیز میتوان مورد بررسی قرار داد. با ضرب کردن واکنش اکسیداسیون روی در ۲ و جمع آن با واکنش احیا اکسیژن، واکنش کلی به شکل ساده هما نظیر که قبلاً نمایش داده شد بصورت زیر می باشد:



محصول این واکنش  $Zn^{+2}$  و  $OH^-$  هستند که فوراً "به شکل محلول  $Zn(OH)_2$  برهم اثر میکنند.

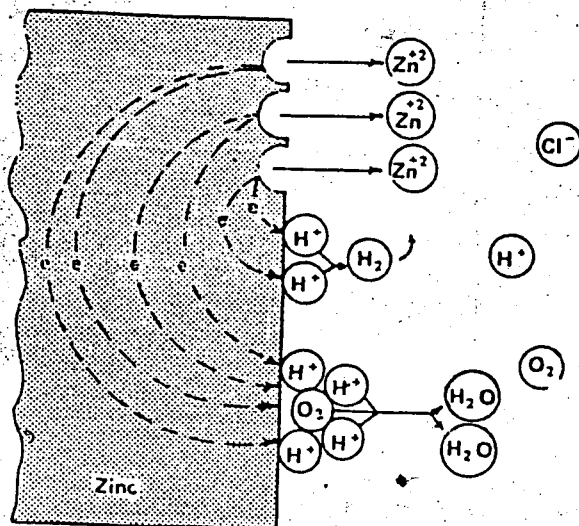
مورد دیگر خوردگی روی توسط سولفات مس میباشد که مجموعی از واکنش اکسیداسیون روی و واکنش رسوب فلز توسط یون مس بصورت زیر میباشد.



مقایسه این واکنش با واکنش  $Zn + CuSO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + Cu$  نشان میدهد که این دو واکنش اساساً "یکسان هستند.

هنگام خوردگی ممکن است تعداد واکنشهای اکسیداسیون و احیائی که رخ میدهد، بیشتر از یک واکنش باشد. برای مثال در طی حملات خوردگی بر روی یک آلیاژ ترکیبات اتمی فلزات تشکیل دهنده این آلیاژ، بصورت یونی به داخل محلول وارد میشوند. بنابراین در خوردگی آلیاژ آهن - کبزم، کروم و آهن هر دو اکسید میشوند و بیش از یک واکنش کاتدی نیز میتواند بر روی سطح فلز اتفاق بیافتد.

بررسی واکنش خوردگی روی در اسید کلریدریک محتوی اکسیژن محلول نشان میدهد که انجام دو واکنش کاتدی محتمل میباشد تشکیل گاز هیدروژن و احیاء اکسیژن در این حالت به دلیل آنکه، ۲ واکنش کاتدی یا بیشتر وجود دارد که در آنها الکترون به مصرف میرسد بنابراین سرعت کلی خوردگی روی افزایش می یابد.

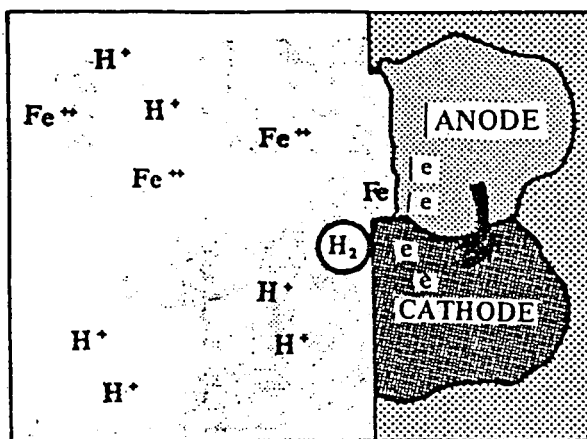


بنا بر این محلول اسیدی که محتوی اکسیژن محلول میباشد یا در معرض هوا قرار دارد، خیلی خورنده تر از اسید غازی از هواست. در این حالت با خارج نمودن اکسیژن از محلولهای اسیدی، میتوان خوردگی ناشی از آنها را به شدت کاهش داد. این روش یکی از معمول ترین راهها برای کاهش خوردگی بسیاری از محیطها خصوصا " محیطهای اسیدی میباشد. حذف اکسیژن ممکن است بوسیله روشهای شیمیائی یا مکانیکی انجام گیرد.

اگر یک قطعه فولاد نرم ( MILD STEEL ) در یک محلول اسید کلریدریک قرار داده شود، تشکیل خیلی شدید حبابهای هیدروژن مشاهده میشود تحت چنین شرایطی، فلز نیز خیلی سریع خورده میشود. در این حالت همانطور که قبلا گفته شد حل شدن فلز فقط در سطوح آندی رخ میدهد و حبابهای هیدروژن نیز تنها در سطوح کاتدی ایجاد میگردد ولی با این وجود ممکن است بنظر آید که خروج حبابهای هیدروژن از داخل سطح فلز انجام میشود. دلیل این امر آنست که نواحی آندیک و کاتدیک به تنهایی در لحظه به لحظه با یکدیگر تغییر مکان میدهند. بطوریکه در این حالت نمودی از خوردگی یک نواحی خوبی قابل مشاهده است. اگر این پدیده را از طریق یک میکروسکوپ مناسب بررسی نمائیم، مشاهده میشود که نواحی خیلی کوچک آندیک و کاتدیک بر روی یک سطح دائما " تغییر مکان میدهند. این نواحی اغلب بقدری کوچک هستند که غیر قابل مشاهده میباشند و تعداد آنها بقدری بسیار است که قابل جدا سازی نمیباشند.

#### ترکیب فرآیندهای آندیک و کاتدیک

بطور خلاصه اگر تنها یک آند و یک کاتد را بخواهیم در یک قطعه آهن که در محلول اسید قرار دارد مورد بررسی قرار دهیم، خواهیم دید که الکترونی از تشکیل یونهای فرس تولید میشوند و از سطح فلز از یک ناحیه آندی بطرف ناحیه کاتدیک حرکت میکنند.



در سطح کاتدی این الکترونها با یونهای هیدروژن محلول ملاقات میکنند، یک یون هیدروژن یک الکترون را می پذیرد و به اتم هیدروژن تبدیل میشود که میتواند داخل فلز شود و تردی هیدروژنی ایجاد نماید و یا در بسیاری موارد با دیگر اتمهای



شیدروژن ترکیب میشود و یک مولکول شیدروژن ایجاد می نماید که به سطح فلز می چسبد یا بصورت حبابهای از سطح کاتد آزاد میشود. همانطور که این فرآیند ادامه می یابد، اکسیداسیون (خوردگی) آهن در سطح آنندیک و احیاء شیدروژن در سطح کاتدیک رخ میدهد. در اینجا باید به این نکته توجه شود که واژه اکسیداسیون لزوماً "در رابطه با واکنش با اکسیژن نمیباشد".

### پلاریزاسیون

بررسی واکنشهای شیمیائی نشان میدهد که این واکنشها تعادل دارند. سرعت تعادلی کمتر از سرعت اولیه واکنش برسد. به همین صورت در فعالیت های خوردگی نیز به دلیل اثرات ناشی از محصولات واکنشهای آنندیک و کاتدیک، روند کند شدن واکنشها دیده میشود. واکنش کاتدیک همراه با آن، واکنش کلی خوردگی آهسته تر میشود. اگر محصول هیدروژن تولید شده از آن با ایجاد گاز شیدروژن یا دیگر واکنشها با اکسیژن مصرف نشود، در این حالت گفته میشود این کاهش سرعت در واکنش از پلاریزاسیون کاتدیک نتیجه شده است.

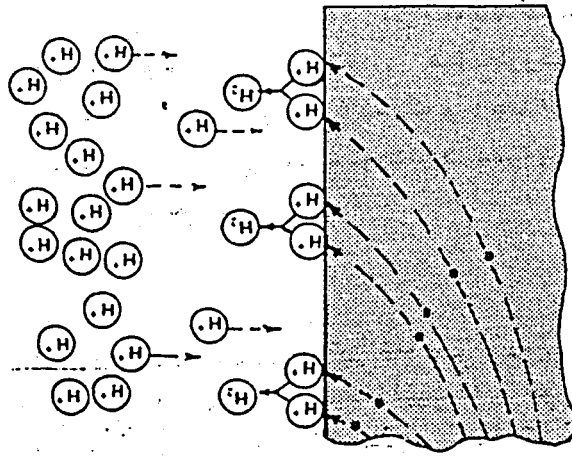
بررسی این اثر با اندازه گیری پتانسیل فلز در آن جایی که واکنش اتفاق می افتد امکان پذیر میباشد. برای مثال اگر پتانسیل سطح کاتدی فلز قبل و بعد از برقراری با سطح آنندی آن اندازه گیری شود، مشخص میشود که پتانسیل اندازه گیری شده تغییراتی داشته و به مقداری نزدیکتر به پتانسیل آنندی رسیده است.

به همین صورت اندازه گیری پتانسیل قسمت آنندی قبل و بعد از برقراری جریان نشان دهنده نزدیکتر شدن پتانسیل این قسمت به پتانسیل قسمت کاتدی میباشد که میتواند نتیجه افزایش غلظت یونهای فلز در ناحیه آنندی و در مجاورت سطح فلز در حال خورده شدن باشد.

دو نوع مختلف پلاریزاسیون یا راههای که واکنشهای الکتروشیمی کندتر می شوند وجود دارد. این دو پلاریزاسیون ناشی از فعالیت و غلظت عوامل موثر به واکنشها میباشد.

واژه پلاریزاسیون ناشی از فعالیت در نشان دادن فاکتورهای کند کننده ای که خودشان از عوامل اصلی واکنش هستند بکار میرود. برای مثال در واکنش احیاء یون شیدروژن که قبلاً توضیح داده شد، سرعتی که یونهای شیدروژن را به گاز شیدروژن احیاء میکنند، به عواملی بستگی دارد که در سرعت انتقال الکترون به سطح فلز موثر هستند. این عوامل شامل نوع فلز، غلظت یون هیدروژن و دمای سیستم میباشد. در حقیقت اختلاف زیادی در قابلیت های فلزات مختلف در انتقال الکترون به یون هیدروژن وجود دارد در نتیجه سرعت تشکیل هیدروژن از سطوح فلزات مختلف کاملاً متفاوت میباشد.

در مقابل پلاریزاسیون ناشی از غلظت در مورد عوامل کند کننده واکنش بدلیل تغییرات غلظت محلول مجاور سطح فلز، بکار برده میشود.



در این شکل تشکیل هیدروژن بر روی سطح فلزی که سرعت خورده میشود، نشان داده شده است. برای سادگی واکنشهای اکسیداسیون فلز نشان داده نشده است.

اگر این واکنش با سرعت نسبتاً خوبی پیشرفت کند و غلظت یونهای هیدروژن در محلول نسبتاً پائین باشند، میتوان دید که ناحیه خیلی نزدیک به سطح فلز از یونهای هیدروژن خالی خواهد شد و این موضوع بدلیل آنست که این یونها بوسیله واکنش کاتدی یک مصرف میشوند. تحت این شرایط واکنش توسط میزان نفوذ یونهای هیدروژن به سطح فلز کنترل میشود.

پلاریزاسیون میزان فعالیت، معمولاً "فاکتور کنترل کننده خوردگی" در اسیدهای قوی است و پلاریزاسیون ناشی از غلظت معمولاً "وقتی غلظت عوامل فعال کم باشد، تسلط می یابد برای نمونه در اسیدهای ضعیف و در آبهای هوا دهی شده و محلولهای آبی اثرات این نوع پلاریزاسیون را میتوان دید. شناخت انواع پلاریزاسیونی که رخ میدهد بسیار مفید میباشد بطوریکه میتواند به پیش بینی مشخصات سیستمهای خوردنده کمک زیادی نماید.

بعنوان مثال، اگر خوردگی بوسیله پلاریزاسیون ناشی از غلظت کنترل گردد، در این حالت هر تغییری که موجب افزایش سرعت نفوذ عوامل فعال (مانند  $H^+$ ) شود، میتواند باعث سرعت خوردگی گردد. در چنین سیستمی، این انتظار هم وجود دارد که آشفته نمودن محلول یا به هم زدن و تکان دادن آن، تمایل به افزایش خوردگی فلز را بیشتر می نماید.

در حالی که اگر فعالیت واکنش کاتدی کنترل میشود، به هم زدن یا تکان دادن هیچ اثری بر روی سرعت خوردگی نخواهد داشت. شناخت نوع پلاریزاسیون که واکنش خوردگی را کنترل میکند، به ما اجازه میدهد که پیش بینی های خیلی مفید در رابطه با اثرات نسبی بر روی سرعت خوردگی داشته باشیم. بطور کلی میتوان گفت: نوع پلاریزاسیونی که در آنند و کاتد رخ میدهد میزان خوردگی ایجاد شده را در بیشتر پیل های الکتروشیمیایی تعیین میکند.

## اثرات اندازه سطح

هما‌نطور که قبلاً گفته شد، تا شیرمقدار جریان خوردگی بر روی پدیده پلاریزاسیون نه تنها به مقدار کلی مقدار جریان بلکه همچنین به دانسیته جریان یا مقدار جریان در واحد سطح هم بستگی دارد. در واقع براحتی میتوان فهمید که اگر مقدار معینی جریان بصورت متمرکز بر روی یک ناحیه کوچک از سطح فلز بسیار بیشتر از زمانی است که همان مقدار جریان بر روی سطح خیلی بزرگتر پراکنده شده باشد.

اگر اندازه سطح و مقدار دانسیته جریان در مورد دو فلز فولاد و مس وقتی که بصورت ورقه یا میخ پرچ در یک محلول خورنده قرار میگیرند مورد بررسی قرار گرفته است. در حالتی که میخ پرچ استیلی برای اتصال ورقه مسی استفاده میشود، دانسیته جریان بر روی ورقه های مسی دارای سطح کا تدیک نسبتاً " بزرگ کم خواهد شد، پلاریزاسیون کا تدیک بر روی مس مقدار نا چیزی میشود و ولتاژ دو فلز نا هم جنس (جفت کالوانیکی) دارای مقداری نزدیک به پتانسیل مدار با ز آنها خواهد شد. در همین زمان، دانسیته جریان بر روی پرچ استیلی دارای سطح آن دیک کوچک خیلی زیاد میشود و نتیجتاً " موجب خوردگی خیلی شدید در این قسمت میشود.

برعکس هنگامیکه از پرچ مسی در اتصال دادن ورقه های استیلی استفاده میشود، دانسیته جریان بر روی پرچ های مسی کا تد شده زیاد میشود در نتیجه بدلیل پلاریزاسیون قابل ملاحظه پرچ های مسی پتانسیل مدار با ز جفت کالوانیکی کمتر از مقدار اولیه خواهد شد. در این حالت جریان آن دیک کا هش یافته بر روی ورقه های استیلی بزرگ پخش میشود و از اثر نا مطلوب ناشی از اتصال دو فلز غیر هم جنس شدت کا سته میشود.

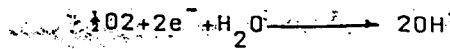
اندازه گیری پتانسیل مدار با ز برای پیش بینی اندازه و مقدار اثرات ناشی از دو جفت کالوانیکی نا مناسب میباشد. بدلیل آنکه با این اندازه گیری نمیتوان اندازه سطح و میزان اثرات پلاریزاسیون را محاسبه نمود. بلکه این اندازه گیری تنها برای پیش بینی جهت چنین اثراتی قابل اطمینان و استفاده میباشد.

## اهمیت اکسیژن

اکسیژن شناخته شده ترین کا هش دهنده پلاریزاسیون (دی پلاریزر) واکنش های کا تدیک میباشد. نقش اکسیژن را در افزایش خوردگی به آسانی با قرار دادن دو قطعه آهن در ظرف پر شده با آب میتوان نشان داد. در داخل ظرف اول لوله هایی برای ورود اکسیژن قرار داده شده و در ظرف دوم برای حذف اکسیژن محلول آب با کا ز نیتروژن اشباع میشود. پس از آنکه بعد از چند ساعت در دو ظرف کا ز های اکسیژن و نیتروژن وارد گردید خواهیم دید که آهن قرار گرفته در آب بدون اکسیژن براق و روشن باقی می ماند. اما آهن قرار داده شده در آب اشباع از اکسیژن شروع به زنگ زدن میکند.

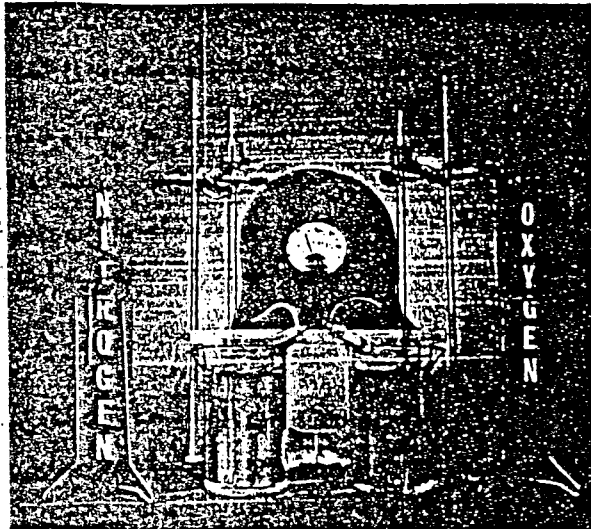
اکسیژن موجود در هر محلول یکی از مهمترین فاکتورهای موثر در خوردگی آهن و مقدار زیادی از دیگر فلزات قرار میگیرد. حذف اکسیژن بوسیله عملیات هوا زدائی یک وسیله موثر جلوگیری میباشد. بعنوان مثال در مورد دیک های بخار عملیات هوا زدائی و آب ورودی بصورت کامل انجام میشود.

نقش اکسیژن در واکنشهای خوردگی، این حقیقت را نشان داده است که اکسیژن نه تنها میتواند به انجام شدن و تداوم یک واکنش کا تندی کمک نماید بلکه میتواند موجب گسترش و پیشرفت این واکنش نیز گردد.



این واکنش درجایی که اختلاف در غلظت اکسیژن محلول بر روی قسمتی از سطح فلز نسبت به سایر قسمتها وجود دارد رخ میدهد. از آنجا که این واکنش نیز تماما پیل دارد که به نسبت تعادل پیش برود. تنها راه رسیدن به تعادل بوسیله خوردگی و با کاهش غلظت اکسیژن درجایی که بیشترین غلظت را دارد امکان پذیر می باشد. چنین واکنشی میتواند نسبتا - مصرف اکسیژن انجام شود. در نتیجه جایی که اختلاف غلظت اکسیژن محلول در دو نقطه روی سطح فلز وجود دارد قسمتهایی در تماس با غلظت اکسیژن بیشتر نسبت به قسمتهایی در تماس با غلظت اکسیژن کمتر کا تدی می شوند. در این حالت قسمتهایی در معرض غلظت اکسیژن کمتر بصورت آندهایی در یک پیل ناشی از اختلاف غلظت اکسیژن به خوردگی شدیدتری دچار می شوند.

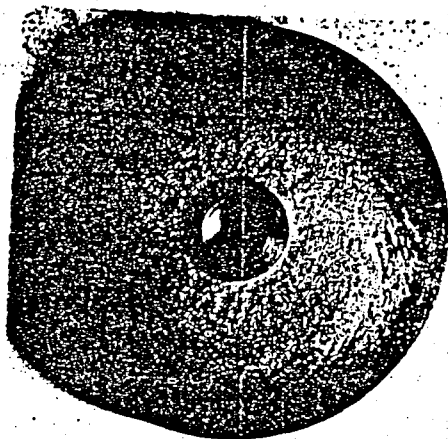
یک پیل ناشی از اختلاف غلظت اکسیژن میتوان به سادگی در یک شرایط آزمایشگاهی در دو ظرف مرتبط هما نند دستگای که برای ا ثبات پیل ناشی از اختلاف یون فلز با رمی رود نشان داد.



در این آزمایش قطعات آهن در محلول کلرید سدیم در هر دو ظرف قرار داده میشوند. محلول

در یک ظرف با اکسیژن و در ظرف دیگر بوسیله نیتروژن اشباع میشود. این حالت موجب بوجود آمدن اختلاف زیادی در غلظت اکسیژن محلول در تماس با دو قطعه آن می گردد. غلظت زیاد اکسیژن در محلول ظرف اول سطح آهن را شدیداً "نسبت به ظرف دوم" کاتدییک می سازد. پتانسیل اندازه گیری شده میزان اختلاف در غلظت اکسیژن و اندازه جریان را با توجه به مساحت سطوح فلز مورد نظر و مقاومت مدار تعیین می کند.

اختلاف غلظت اکسیژن میتواند بوسیله گراویا ن سرعت و همچنین وجود شکافها و درزها ایجاد گردد. محل آندها و کاتدها در این پیل درست برخلاف پیل غلظت یونهای فلز می باشد، بر روی سطوحی که با سرعت بیشتری حرکت می کنند اکسیژن بیشتری قرار می گیرد. در این حالت این سطوح کاتدییک شده و سطوح با قابلیت دسترسی کمتر به اکسیژن که در سرعت کمتری در حال حرکت هستند نقش آندییک خواهند داشت. به عنوان مثال معمولاً در سطوح نزدیک مرکز دیسک نوار خوردگی شدید دیده میشود.



شدت خوردگی بوسیله یک پیل ناشی از اختلاف غلظت اکسیژن در داخل درزها یا زیر رسوبات بیشتر از خارج آن می باشد. مشابه حالت قبلی در این مورد نیز محل آندها و کاتدها برخلاف پیل حاصل از اختلاف غلظت یونهای فلزی می باشد. این اختلاف بین دو نوع پیل غلظتی پیش بینی شدت و محل خوردگی ناشی از فعالیت آنها را پیچیده می نماید.

بصورت یک قانون کلی، آن فلزاتی که در بالای سری الکتروموتیو قرار گرفته اند به عنوان مثال آهن با احتمال زیادتری برای حملات شدید ناشی از پیل های اختلاف غلظت اکسیژن مساعد می باشند. در حالی که آن دسته از فلزاتی که در سمت پائین سری فوق قرار می گیرند به عنوان مثال مس، در مقابل فعالیت پیل اختلاف یون فلز آسید پذیرتری باشند. فلزات آلایتهای قرار گرفته در محدوده وسط به عنوان مثال، آلایتمس - نیکل از اثرات مخالف دو نوع پیل بهره می برند.

آلایتهای ساخته شده از ترکیب فلزات نزدیک به قسمت بالای سری الکتروموتیو بعنوان

مثال آهن و کرومینیوم (فولاد ضد زنگ) که پتانسیلی خنثی تری از فلزات تشکیل دهنده دارند به دلیل اشرفیلم خنثی ناشی از واکنش با اکسیژن بطور ویژه ای در مقابل قابلیت دسترسی به اکسیژن حساس هستند و بنا بر این در مقابل فعالیت پیل اختلاف غلظت اکسیژن آسیب پذیری می باشند.

### پیل ناشی از اختلاف غلظت یون فلز

در مباحثی که بعداً "در مورد اساس سربهای الکتروموتیو خواهد شد خواهیم دید که در اندازه گیری پتانسیل هر فلز و تعیین محل آن در این سری، لازم است فلز در محلولی محتوی غلظت معینی از یونهای خودش قرار گیرد. به این دلیل که وقتی در تماس با محلولی از یونهای خودش می باشد تعادلی بین تمایل فلز برای رفتن به محلول و افزایش یونهای خودش و تمایل مخالف یونها داخل محلول برای قرار گرفتن روی فلز و در نتیجه کاهش غلظت آنها در محلول، بوجود می آید.

Metal		Standard Potential Volt
Potassium	Active End	-2.922
Magnesium		-2.34
Aluminum		-1.67
Zinc		-0.762
Chromium		-0.710
Iron		-0.440
Nickel		-0.250
Hydrogen		0.000
Copper		+0.345
Silver		+0.800
Platinum	Noble or	+1.20
Gold	Passive End	+1.68

در این حالت میزان تمایل فلز برای رفتن به داخل محلول با اندازه گیری پتانسیل انعکاس می یابد. که این مقدار در محلول محتوی غلظت کم یونهای فلزی نسبت به محلولهایی با غلظت بیشتر یونهای فلزی بیشتر می باشد. در این شرایط وقتی در نقطه ای از سطح فلز یونهای فلزی با غلظت کم و در نقطه دیگری این یونها با غلظت کم یونهای فلزی، یونها به راحتی داخل محلول می روند و پتانسیل منفی تری پیدا می کند و بنا بر این بصورت آن در حال خورده شدن در سیستمی که بنا به پیل غلظتی یونهای فلزنا میوه میشود فعالیت می نماید.

در این پیل، مانند سایر واکنشهای شیمیایی، جهت واکنشها به سمتی است که به حالت تعادل برسند، خوردگی در سطح آنجایی که غلظت یونهای فلز نسبتاً "پائین است رخ

میده با ادا مه واکنش این غلظت افزایش می یابد، در همان زمان یونهای فلزی از آن قسمت از محلول که دارای یونهای فلزی بیشتری باشد بر روی سطح کاتدیک نشست می نماید بطوریکه با ادا مه واکنش غلظت یونهای فلز در این قسمت به مقداری کمتر از غلظت اولیه این یونها در اطراف آنند خواهد رسید.

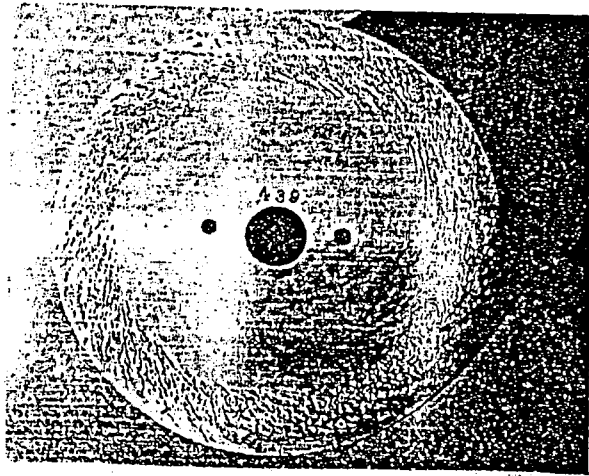
فعالیت پیل غلظتی یون فلز با آزمایش بر روی ۲ قطعه مس قرار گرفته در دو محلول سولفات مس اثبات می گردد. از مخلوط شدن دو محلول سولفات مس با استفاده از غشاء متخلخلی جلوگیری شده است ولی این غشاء میتواند هدایت یونی بین دو محلول را برقرار نماید.



پیل الکترولیتی ایجاد شده از این طریق، تولید جریانی می نماید با ولتاژی که بستگی به اختلاف غلظت یونهای مس در دو محلول مختلف دارد. میزان این جریان با توجه به مساحت نمونه فلزات مورد آزمایش و مقاومت مدار تعیین می گردد.

در عمل اختلاف در غلظت یونها که پیل های خوردگی از این نوع بوجود می آورد میتواند با سرعت ایجاد شده بر روی سطح فلز نیز ایجاد گردد. یونهای فلزی در محصولات خوردگی در جایی که سرعت و توربولنس بیشتری وجود دارد سریعتر جدا می شوند و در این حالت با ایجاد پیل از این نوع خوردگی شدت می گیرد.

گرادیان سرعت نیز میتواند بر روی سطح هنگام چرخش یک دیسک قرار گرفته در محلول ایجاد گردد. در یک دیسک دوار، سطوح قرار گرفته در محیط، بطور متناوبی از سطوح نزدیک به مرکز با سرعت بیشتری حرکت می کنند. نمونه ای از این نوع خوردگی در شکل زیر نشان داده شده است. لب خارجی دیسک ساخته شده از آلومینوم به دلیل حرکت سریع و تمرکز خوردگی در آن قسمت به شدت خورده شده است.

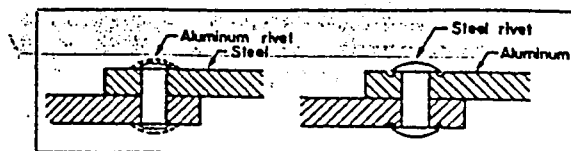


یونهای فلز می‌توانند در داخل درزها و شکافها و رسوباتی که کاملاً چسبیده نیستند، تجمع یافته بطوریکه سطوح داخل چنین درزهایی می‌توانند نسبت به سطوح خارج آنها کاتدیک گردیده و حملات خوردگی شدید ناشی از پیل غلظتی یونهای فلزی ایجاد نمایند.

### اثر گالوانیک

بطور کلی به تغییرات در رفتار خوردگی فلزات گفته می‌شود وقتی فلزی در تماس با سایر فلزات و در محلول خورنده‌ای قرار گیرد بطوریکه جریان بین آنها ایجاد گردد.

در این حالت خوردگی در یک فلز (آلومینیم) بشدت اتفاق می‌افتد و در فلز دیگر (فولاد) کاهش یافته یا متوقف می‌گردد. بنا بر این اولین چیزی که در این مورد سطوح می‌باشد اینست که از دو فلزی که به‌روی هم اثر می‌کنند کدام فلز در حالت اول و کدام فلز در حالت دوم قرار می‌گیرد. پاسخ این سؤال بوسیله جهت جریان الکتریکی ناشی از اثر گالوانیکی از یک فلز (آند) به فلز دیگر (کاتد) قرار گرفته در یک محلول خورنده داده خواهد شد. با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو فلز در محلول مورد نظر این جهت را در هر مورد می‌توان تعیین نمود. در مورد جفت گالوانیکی آلومینیوم و فولاد مشخص شده است که آلومینیوم بصورت یک آند عمل می‌کند.



### پتانسیل خوردگی و جهت اثرات گالوانیک

پتانسیل فلز در محلول و وقتی که خورده می‌شود به انرژی که آزاد می‌شود، بستگی دارد. این پتانسیل تنها در یک مقدار نسبی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. برای مثال با قرار دادن یک فلز خیلی فعال مانند روی و یک فلز با فعالیت کمتر مانند مس در یک محلول



کلرید سدیم میتوان جهت جریانی که توسط اثر گالوانیک آنها تولید میگردد، اندازه گیری نمود. چنین آزمایشی را میتوان با تمام فلزات ممکن در هر محلول خورنده تکرار نمود.

با توجه به نتایج آزمایشات بدست آمده، امکان مرتب کردن فلزات در یک گروه که سری گالوانیک نامیده میشود فراهم میشود. اگر آزمایشات در محلولهای مختلف با غلظت های مختلف کلرید سدیم، میزان هوادهی متفاوت، سرعت حرکت و یا دما های مختلف انجام گیرد مقادیر گزارش شده میتواند با یکدیگر اختلاف داشته باشند و در این حالت محل بعضی فلزات نسبت به هر یک از فلزات دیگر بصورت یک سری گالوانیک جدید تغییر نماید.

### سری گالوانیک

بطور کلی پتانسیل الکتریکی فلزات دارای هیچ مقداری بطور مطلق و مستقل از فاکتورهای مؤثر بر خواص خوردگی محلولی که در آن اندازه گیری انجام میشود، نمی باشد. مقدار پتانسیل میتواند از یک محلول به محلول دیگری هنگامیکه یک محلول بوسیله فاکتورهای از قبیل دما، هوادهی و سرعت حرکت تاثير می پذیرد، تغییر کنند. بنا بر این برای پیش بینی پتانسیل فلزات و در نتیجه جهت اثر گالوانیکی آنها در یک محیط، بجز با اندازه گیری پتانسیل و در نظر داشتن شرایط دقیق آن محیط هیچ راهی وجود ندارد. بعنوان مثال روی بطور طبیعی نسبت به آهن در دمای محیط منفی تر یا آنندیک تر میباشد. همانطور که در جدول گالوانیک نشان داده شده است. با وجود این اختلاف پتانسیل با افزایش دما تغییر کرده و افزایش می یابد تا زمانیکه اختلاف پتانسیل در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ممکن است صفر یا دقیقاً "برعکس شود".

در هر صورت وضعیت شرایط فلزات نسبت به هم آنطور که گفته شد در بسیاری مواقع خیلی هم تغییر نمیکند و تمایل نسبی فلزات به خوردگی در خیلی از محیط های که از آنها استفاده میشود تقریباً "یکسان باقی می ماند. در نتیجه موقعیت های نسبی آنها در سری گالوانیک ممکن است در خیلی محیط ها تقریباً "یکسان باشد. از آنجائیکه بیشتر اندازه گیری های پتانسیل و رفتار گالوانیکی فلزات در مقایسه با سایر محیط ها بیشتر و در آب دریا انجام شده است، در نتیجه بیشتر سریهای گالوانیک بر اساس این آزمایشات فلزات را تنظیم کرده اند و لذا از این جدول میتوان به منظور احتمالات اولیه در مورد اثرات گالوانیکی در سایر محیط ها زمانیکه مستقیماً نتایج قابل اجرا تری از آن محیط در دسترس نباشد، استفاده نمود.

در جدول صفحه بعد سری گالوانیک بعضی فلزات و آلیاژها در آب دریا نشان داده شده است.

TABLE 2.3 — Galvanic Series of Some Commercial Metals and Alloys in Seawater

Active or Anodic (-)	Magnesium
	Magnesium Alloys
	Zinc
	Galvanized Steel
	Aluminum 1100
	Aluminum 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
	Mild Steel
	Wrought Iron
	Cast Iron
	13% Chromium Stainless Steel Type 410 (Active)
	18-8 Stainless Steel Type 304 (Active)
	Lead-Tin Solders
	Lead
	Tin
	Muntz Metal
	Manganese Bronze
	Naval Brass
	Nickel (Active)
	76 Ni-16 Cr-7 Fe alloy (Active)
60 Ni-30 Mo-6 Fe-1 Mn	
Yellow Brass	
Admiralty Brass	
Red Brass	
Copper	
Silicon Bronze	
70:30 Cupro Nickel	
G-Bronze	
Silver Solder	
Nickel (Passive)	
76 Ni-16 Cr-7 Fe Alloy (Passive)	
13% Chromium Stainless Steel Type 410 (Passive)	
Titanium	
18-8 Stainless Steel Type 316 (Passive)	
Noble or Cathodic (+)	Silver
	Graphite
	Gold
	Platinum

در یک جفت گالوانیک شامل دو فلز قرار گرفته شده در این جدول، خوردگی طبیعی فلزی که موقعیت بالاتری در جدول دارد، احتمالاً شدیدتر میشود. در حالی که خوردگی فلز پائینتر جدول احتمالاً کاهش می یابد یا کاملاً متوقف میشود. فلزات با پتانسیل خوردگی مثبت تر بی اثر یا کاتدیک نامیده میشوند و فلزات با پتانسیل خوردگی منفی تر بعنوان فلزات یا آنیوژهای آندیک یا فعال شناخته میشوند.

توجه کنید که در این جدول چندین فلز در یک گروه قرار گرفته اند که احتمالاً اختلاف پتانسیل آنها نسبت به هم زیاد نمیباشد بنابراین میتوان آنها را بدون اثرات گالوانیکی قابل ملاحظه در بسیاری از محیط ها در کنار یکدیگر قرار داد.

## مقدار اثر گالوانیک

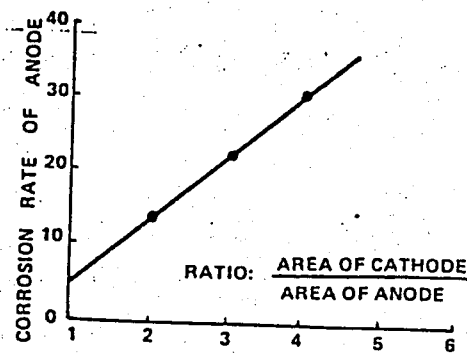
تا اینجا ما فقط جهت اثر گالوانیک را با تعیین پتانسیل نسبی فلزات در یک جفت گالوانیکی مورد بررسی قرار داده ایم. در حالیکه در عمل ما بیشتر با شدت اثرات گالوانیکی که رخ میدهد مواجه هستیم. این شدت با مقدار جریان یا اصطلاحاً " شدت جریان (جریان واحد سطح) تعیین میشود.

بر طبق قانون اهم، مقدار جریان تولید شده توسط جفت های گالوانیکی که اختلاف پتانسیل آنها زیاد است، در یک مقاومت معین مستقیماً " با ولتاژ متناسب میباشد. بعنوان مثال، اختلاف پتانسیل دو فلز روی و مس در آب دریا ۷۰۰ میلی ولت میباشد و این دو جفت گالوانیکی میتوانند جریان بیشتری (و در نتیجه خوردگی بیشتر) از سایر جفت های گالوانیکی که اختلاف پتانسیل کمتر دارند، مثل NAVAL BRASS و مس (با ۴۰ میلی ولت پتانسیل در آب دریا) تولید نمایند.

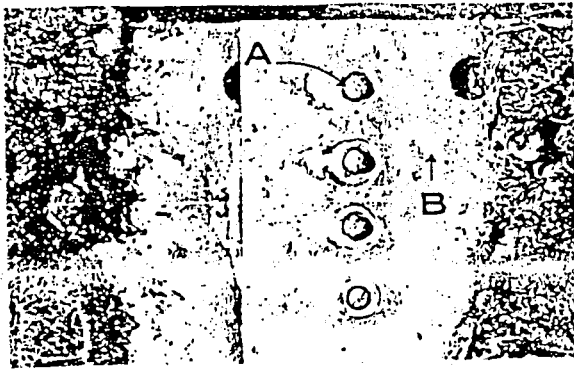
پتانسیل هایی که گفته میشود پتانسیل هایی هستند که قبل از برقراری هرگونه جریان بین دو فلز اندازه گیری شده اند و بعضی وقتها آنرا پتانسیل جریان بازمی گویند.

## اثرات مساحت

فاکتور مهم دیگر در خوردگی گالوانیک اثر مساحت یا نسبت سطوح آنندیک به کاتدیک میباشد که قبلاً بحث شده است. به همان مقدار که نسبت مساحت کاتدیک به مساحت آنندیک افزایش می یابد (اندازه کاتد در رابطه با آنند افزایش می یابد) میزان خوردگی فلزی که نقش آنندی بیشتری دارد سرعت شدت میگیرد. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است.



در این حالت و از نظر مقاومت خوردگی در عمل، بدترین شکل ممکن وقتی است که یک مساحت کاتدیک خیلی بزرگ به یک مساحت آنندی کوچک متصل باشد. این اثر در شکل های صفحه بعد نشان داده شده است.



هما نظیر که جدول گالوانیک نشان میدهد که آهن نسبت به مس نقش آنندی دارد، بنابراین وقتی در تماس با آن قرار گیرد سرعت خورده میشود. این اثر هنگامی که مساحت آهنی در مقایسه با مس کوچکتر گردد، شدیداً افزایش می یابد. در شرایط معکوس، یعنی در حالتی که مساحت آهن در مقایسه با مس خیلی بزرگتر میشود در آهن خوردگی خیلی کمی دیده میشود.

### تشخیص خوردگی گالوانیکی

قبل از بحث در مورد راههای جلوگیری از خوردگی گالوانیکی، لازم است اول اطمینان حاصل شود که خوردگی گالوانیکی اتفاق افتاده است. برای رخ دادن خوردگی از این نوع، وجود شرایط سه گانه زیر معمولاً ضروری است.

- ۱- دوفلز غیر هم جنس از نظر الکتروشیمی باید وجود داشته باشند.
- ۲- این فلزات باید بطور الکتریکی با یکدیگر تماس داشته باشند.
- ۳- این فلزات باید در معرض یک الکترولیت قرار گرفته باشند.

تمام این شرایط برای اینکه خوردگی از نوع گالوانیکی رخ بدهد، باید وجود داشته باشند.

بعنوان مثال، ملاحظه میشود که فولاد زنگ نزن 8-18 (نوع S30400: 304) در تماس الکتریکی با فولاد ضد زنگ 8-18 (نوع S31600: 316) سرعت خورده میشود. با مراجعه به جدول سری گالوانیکی میتوان متوجه شد که خوردگی پیش آمده از نوع خوردگی گالوانیکی نمی باشد. بنا بر این با جدا سازی این دوفلز مقاومت خوردگی 18-8SS بهبود نمی یابد.

همچنین در مثالی دیگر دیده می شود که یک قطعه آلومینیوم متصل به جدن که در روغن موتور قرار دارد به شدت مورد حمله قرار می گیرد. به دلیل آنکه روغن موتور و بستر مایعات آرگانیک الکترولیت نیستند بنا بر این مشخص می شود که این خوردگی از نوع خوردگی گالوانیکی نمی باشد. در این مورد هم با جدا کردن دوفلز، مقاومت خوردگی آلومینیوم بهبود پیدا نمی کند.

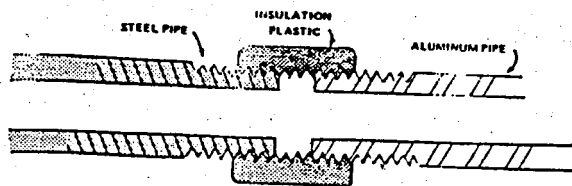
علاوه بر سه شرط گفته شده با لادر مورد شناخت خوردگی گالوانیک، جستجوی خوردگی

موضعی نزدیک اتصالات بین دو فلز غیر همجنس را به دیگری برای تشخیص بروز خوردگی از اینوع می باشد. خوردگی گالوانیکی معمولاً در نزدیک فلز کاتد شده شدت بیشتری دارد. در شکل مربوط به اتصال ورقه آهن با پرچ مسی دیده می شود که خوردگی ورقه آهن نزدیک پرچهای مسی شدیدتر می باشد.

### جلوگیری از خوردگی گالوانیک

روشهای زیادی وجود دارد که میتوان از خوردگی گالوانیکی جلوگیری بعمل آورد... از این روشها ممکن است به تنهایی یا در ترکیب با هم مورد استفاده قرار گیرد. در ارائه هر یک از این روشها مستقیماً "از اساس مکانیزم خوردگی گالوانیکی استفاده شده است."

- ۱- اجتناب از یکا رگیری فلزات غیر همجنس در هر جا که ممکن است. اگر انجام این از نظر عملی ممکن نیست سعی شود از فلزاتی که در سری گالوانیکی نزدیک هم هستند استفاده شود.
- ۲- اجتناب از اتصال فلزات با اندازه مساوی به نسبت نامناسب در هر جایی که ممکن است تحت هیچ شرایطی نباید یک سطح آندی کوچک به یک سطح کاتدی بزرگ اتصال یابد.
- ۳- جداسازی الکتریکی بین اتصالات در صورت استفاده کردن از دو فلز غیر همجنس، یک مثال از این روش در شکل زیر نشان داده شده است.



در این شکل دیده می شود که لوله آلومینیومی از لوله های فولادی انتقال آب جدا شده است. اطمینان از جداسازی الکتریکی کامل در این حالت بسیار مهم می باشد. در این مثال اگر دو لوله طوری بهم پیچ شوند که اتصال الکتریکی بین آنها ایجاد شود خوردگی گالوانیکی رخ خواهد داد.

- ۴- در صورتیکه استفاده از دو فلز غیر همجنس اجتناب ناپذیر باشد و امکان جداسازی

آنها از هم نیز وجود نداشته باشد. در این حالت امکان جایگزینی و تعویض آسان قسمت آندی تر یا ساخت فلزی با ضخامت بیشتر برای تحمل بیشتر اثرات خوردگی در طراحی باید در نظر گرفته شود.

۵- پوشش دادن کاتد (یا دو قسمت آندیک و کاتدیک) در نزدیکی اتصالات برای کاهش دادن اثر ناشی از ساخت قسمت کاتدی، در این حالت نباید هرگز قسمت آندی به تنهایی پوشش داده شود.

### پتانسیل استاندارد

اندازه گیری پتانسیل فلزات، بصورت نسبی و تنها با مقایسه اختلاف پتانسیل یک فلز نسبت به سایر فلزات و در دسته های مختلف کاری پرزحمت و نامناسب می باشد. در این زمینه بهمان صورتیکه ارتفاع نسبی کوهها تعریف میگردد و سطح دریا مبنائی برای اندازه گیری ارتفاعات و بلندیهای سایر نواحی سطح زمین میباشد، شیوه مشابهی برای اندازه گیری پتانسیل تحت عنوان BENCH MARKS بکار گرفته میشود.

بطور کلی از این شیوه چند نوع آن بطور متداول مورد استفاده قرار میگیرد که در تمام آنها یک پتانسیل استاندارد پایه، تولید شده توسط یک نیم پیل مبنای سنجش قرار میگیرد. این پتانسیل معین و تنظیم شده بوسیله یک الکتروود با روکش پلاتین که بر روی آن حبابهای گاز هیدروژن دائماً تشکیل میشود و در یک محلول با غلظت معینی یونهاى هیدروژن غوطه ور میباشد، تولید میشود. همچنین یک الکتروود از فلز خالص که در محلولی دارای غلظت یک مولار یونهاى خودش قرار دارد، بصورت یک یک نیم پیل کالوانیک استفاده میشود که بدین طریق اندازه گیری یک سری از ولتاژها امکان پذیر میباشد.

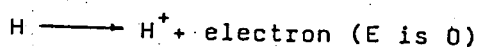
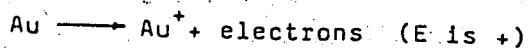
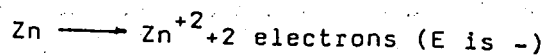
اگر بطور قراردادی توافق شود که پتانسیل الکتروود دارای روکش پلاتین پوشیده شده از گاز هیدروژن و در یک محلول استاندارد یون هیدروژن صفر میباشد. بنا بر این میتوان مبنائی برای اندازه گیری پتانسیل سایر فلزات قرار گرفته در محلول مناسب خودشان و توسط ولتاژ تولید شده از آنها در پیل های مختلف، قرار گیرد.

در بعضی ترکیبات نیم پیل فلز با نیم پیل هیدروژن ولتاژ اندازه گیری شده از یک قطب میباشد در حالیکه در سایر موارد از قطب مخالف میباشد.

طبق تعریف جهت برقرار شدن جریان پیل در محلول الکترولیت از آند به کاتد و در مسیر فلزی از سمت کاتد به آند تعیین شده است. بهمین دلیل، وقتی که مقادیر پتانسیل الکتروودها در جدول پتانسیل آورده میشود، در این مورد که به کدامیک از الکتروودها، پتانسیل مثبت گفته میشود و به کدامیک پتانسیل منفی، کم و بیش تصمیمات قراردادی گرفته شده است.

متأسفانه همراه با مشخصه پتانسیل که با حرف E نمایش داده میشود، از دو علامت مخالف استفاده میشود بدون آنکه در مورد علت تعیین این علائم بحث های توجیه کننده ای ارائه شده باشد. با این وجود از این قرارداد بطور وسیعی در مباحث

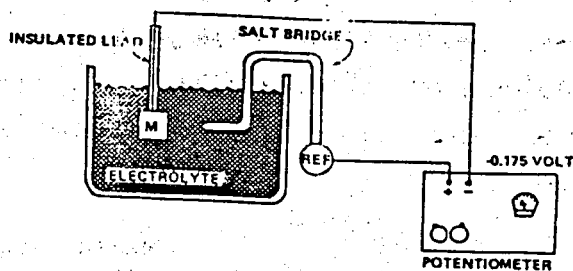
خوردگی بسیاری از کشور استفاده میشود و این موضوع نیز توسط موسسه استاندارد NACE قبول شده است. بهمین دلیل دیده میشود که در سری پتانسیل های استاندارد نسبت به نیم پیل هیدروژن که پتانسیل صفر دارد برای فلزی مانند روی پتانسیل منفی و فلزی مانند طلا پتانسیل مثبت تعیین شده است.



### پتانسیل خوردگی

پتانسیل فلزی که در حال خورده شدن میباشد در مطالعه خوردگی آن خیلی مفید میباشد و خوشبختانه میتوان آنرا در آزمایشگاهها تحت شرایط عملیاتی اندازه گیری نمود. پتانسیل خوردگی با تعیین اختلاف ولتاژ فلز قرار گرفته در محیط خورنده و الکتروود مرجع مناسب اندازه گیری میشود. الکتروود کالومل اشباع، الکتروود مس - سولفات مس و الکتروود پلاتین - هیدروژن مثالهایی از این نوع الکتروودهای مرجع هستند.

شکل زیر یک روش آزمایشگاهی برای اندازه گیری پتانسیل خوردگی یک نمونه فلز (M) قرار داده شده در یک الکتروولیت را نشان میدهد.



این روش با اندازه گیری اختلاف ولتاژ بین الکتروود مرجع و فلز با استفاده از یک پتانسیومتر انجام میشود. در این روش از پتانسیومتر بدلیل آنکه قابلیت اندازه گیری ولتاژهای کم را بطور دقیق و بدون عبور جریان های ناچیز دارا میباشد، استفاده شده است. در این روش از یک پمپ نمکی بین الکتروود مرجع و محلول خورنده نیز استفاده میشود که بمنظور جلوگیری از آلودگی الکتروود مرجع بوسیله مایع خورنده میباشد.

در اندازه گیری و گزارش پتانسیل خوردگی نشان دادن اندازه ولتاژ و جهت آن ضروری میباشد. در مثال شکل بالا، پتانسیل خوردگی فلز M، ۰/۱۷۵ - میباشد. جهت منفی نشان میدهد که فلز نسبت به الکتروود مرجع منفی میباشد. علامت منفی

همچنین مشخص می نماید که فلز به ترمینال منفی پتانسیومتر اتصال یافته است . در مورد احتمال جابجائی این اتصالات نیز جای نگرانی وجود ندارد بدلیل آنکه پتانسیومتر تا زمانیکه اتصال فلز و رفرنس الکتروود بدرستی انجام نشده باشد ، متعادل نمی شود . بنا براین در انجام اندازه گیری پتانسیل خوردگی اول لازم است اتصال فلز به هر دو ترمینال مثبت و منفی پتانسیومتر آزمایش شود تا معلوم شود که این اتصالات در پتانسیومتر حالت بالانس و متعادل را ایجاد نموده است .

علاوه بر گزارش ولتاژ و مثبت یا منفی بودن علامت آن ، لازم است نوع رفرنس الکتروودی که در این اندازه گیری بکار رفته است مشخص شود . برای مثال اگر یک الکتروود کامل اشباع استفاده میشود ، نتایج آزمایش مربوط به شکل بالا باید به این صورت باشد . ۰/۱۷۵ - ولت از طریق الکتروود اشباع کالوسل .

اندازه و علامت پتانسیل خوردگی تابعی از جنس فلز ، ترکیبات الکتروولیت ، دما و میزان آشفستگی و تلاطم الکتروولیت می باشد .

### پتانسیل های اکسیداسیون و احیاء

پتانسیل اکسیداسیون - احیاء به پتانسیل نسبی یک واکنش الکتروشیمی تحت شرایط تعادل پتانسیل ( جریان صفر ) اطلاق می گردد . این پتانسیل ها با روشهای الکتروشیمیایی ویژه ای تحت شرایط کنترل کامل دقیق ، اندازه گیری می شوند . در جدول زیر مقادیری برای واکنشهای گوناگون ارائه شده است . به دلیل آنکه این پتانسیلها به حالت تعادل مربوط می شود سرعت واکنشها بصورت مساوی در هر دو جهت نشان داده شده است . همچنین این پتانسیلها با واژه های دیگری مانند پتانسیل رد اکس ( REDOX ) ، پتانسیل نیم پیل و نیروی الکتروموتیویاسری ها EMF نیز نامگذاری شده اند .

		Standard Oxidation-Reduction (Redox) Potentials at 25 C <sup>(1)</sup>
$K \rightleftharpoons K^+ + e$	-2.92	Active
$Na \rightleftharpoons Na^+ + e$	-2.71	
$Mg \rightleftharpoons Mg^{+2} + 2e$	-2.38	
$Al \rightleftharpoons Al^{+3} + 3e$	-1.66	
$Zn \rightleftharpoons Zn^{+2} + 2e$	-0.763	
$Cr \rightleftharpoons Cr^{+3} + 3e$	-0.71	
$Fe \rightleftharpoons Fe^{+2} + 2e$	-0.44	
$Cd \rightleftharpoons Cd^{+2} + 2e$	-0.402	
$Co \rightleftharpoons Co^{+2} + 2e$	-0.27	
$Ni \rightleftharpoons Ni^{+2} + 2e$	-0.23	
$Sn \rightleftharpoons Sn^{+2} + 2e$	-0.140	
$Pb \rightleftharpoons Pb^{+2} + 2e$	-0.126	
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	0.000	Reference
$Sn^{+4} + 2e \rightleftharpoons Sn^{+2}$	0.154	
$Cu \rightleftharpoons Cu^{+2} + 2e$	0.34	
$O_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons 4OH^-$	0.401	
$Fe^{+3} + e \rightleftharpoons Fe^{+2}$	0.771	
$2Hg \rightleftharpoons Hg_2^{+2} + 2e$	0.798	
$Ag \rightleftharpoons Ag^+ + e$	0.799	
$Pd \rightleftharpoons Pd^{+2} + 2e$	0.83	
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	1.23	
$Pt \rightleftharpoons Pt^{+2} + 2e$	1.2	
$Au \rightleftharpoons Au^{+3} + 3e$	1.42	Noble



## سنجش خوردگی

پتانسیل های اکسیداسیون احیاء به دلیل آنکه برای پیش بینی خوردگی یک فلز در محیط معینی میتوانند استفاده شوند، خیلی مفید هستند. این موضوع بسادگی با قانون کلی زیر انجام می گیرد.

در هر واکنش الکتروشیمیایی، نیم پیل منفی تر تمایل به اکسید شدن و نیم پیل مثبت تر تمایل به احیاء شدن دارد. برای مثال فرض کنید که اصلاً "نمی دانیم" تمایل روی برای واکنش با یک اسید چگونه است. با مراجعه به جدول بالا، ملاحظه می گردد که پتانسیل نیم پیل روی به یون روی از نیم پیل پیل یون نئیدروژن گاز نئیدروژن منفی تر است. بنا بر این، با توجه به روش اجراء قانون گفته شده مشخص می شود که روی در محلول اسیدی میل به خوردگی دارد. در حقیقت میتوان ملاحظه نمود که تمام فلزاتی که پتانسیل رداکس آنها منفی تری از نیم پیل گاز نئیدروژن - یون نئیدروژن می باشد، در محیط های اسیدی میل به خوردگی دارند. این رفتار در مورد فلزاتی مانند سرب، قلع، نیکل، آهن، کرومینیوم و آلومینیوم و سایر فلزات با پتانسیل منفی نیز صادق می باشد.

پتانسیل اکسیداسیون - احیاء ارائه شده در این جدول تحت یک شرایط استاندارد بدست آمده و در صورت لزوم می بایست برای استفاده در سایر شرایط ( دما، غلظت و غیره ) تصحیح گردد. هر چند مقدار این تصحیح معمولاً کم و در محاسبات خوردگی میتواند قابل اغماض باشد.

در بررسی مشابهی، میتوان ملاحظه کرد که فلزاتی مانند مس، جیوه، نقره، پالادیوم و سایر فلزات با پتانسیل مثبت ترا از الکتروگاز نئیدروژن - یون نئیدروژن در محلول اسیدی خورده نخواهند شد. بنا بر این میتوان پیش بینی کرد که فلز مس، بعنوان ظرف مناسبی در محیط های اسیدی قابل استفاده می باشد که این موضوع دقیقاً "بوسیله" آزمایشات خوردگی به اثبات رسیده است. از طرف دیگر به دلیل آنکه پتانسیل رداکس منفی تر از ( دارای اندازه مثبت کمتر ) از واکنش احیاء دواکسیژن می باشد بنا بر این مس در محیط های اسیدی یا هر محیط دیگری محتوی اکسیژن میل به خوردگی نشان میدهد. دوفلیز پلاتین و طلا، به دلیل داشتن پتانسیل مثبت نسبتاً "زیاد"، حتی در محیط های اسیدی اکسیژن دار، انتظار خوردگی آنها نمی رود.

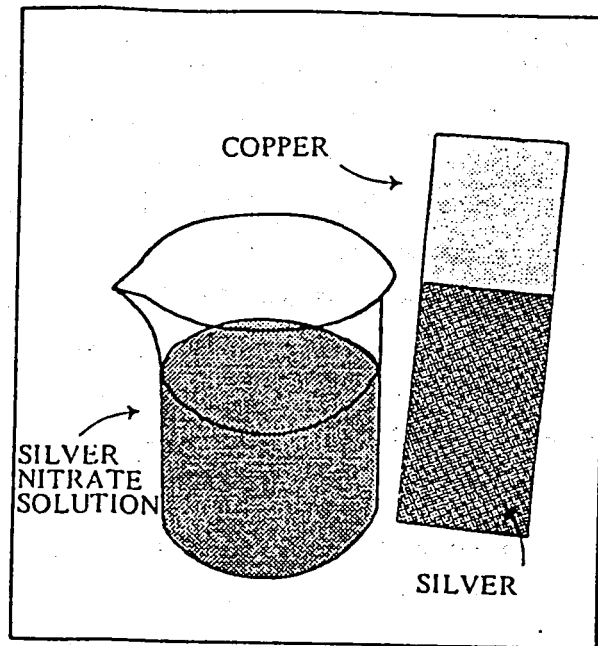
مثالهای گفته شده در بالا موارد استفاده پتانسیل اکسیداسیون - احیاء را در پیش بینی خوردگی نشان میدهد. از چنین پتانسیلهایی بطور گسترده در مکان انتخاب آلیاژهای مقاوم برای محیط های گوناگون استفاده میشود.

## خوردگی رسوب

از روی جدول پتانسیلهای اکسیداسیون - احیاء، میزان تمایل تقریبی یک فلز برای رسوب نمودن بر روی سایر فلزات وقتی که در محلول یونی آنها قرار می گیرد نیز مشخص

می گردد.

ایجا دیک روکش نقره ایی بر روی یک قطعه مس در محلول نیترات نقره، تشکیل حبابهای هیدروژن بر روی فلزروی نشان داده شده در شکل زیرا مثالهای متداول در این باره هستند.



خوردگی رسوب یا اثر ناشی از راست شدن فلزات بر روی یکدیگر، ممکن است فاکتور مهمی در خوردگی فلزات فعالتر نزدیک بالای جدول از قبیل منیزیم، روی و آلومینیوم وقتی در تماس با محلولی از یونهای فلزی، فلزات پائین جدول (خصوصاً "مس") قرار می گیرند، باشد. مشاهده شده است که یونهای مس در غلظت های کمتر از یک قسمت در میلیون (PPM) اثر قابل ملاحظه ای بر روی خوردگی آلومینیوم در آب دارند گاهی اوقات فلزات بی اثر قبیل مس که میتوانند خوردگی بر روی آلومینیوم را شدیدتر نمایند، فلزات سنگین در محلول می نمانند. ولی در حقیقت اهمیت این موضوع که این فلزات سنگین تیراز آلومینیوم هستند از اینکه آنها در محلی پائین تر از آلومینیوم در سری الکتروموتیو و گالوانیک قرار دارند، کمتر است.

شروع خوردگی ناشی از اثر رسوب فلزات بر روی یکدیگر غالباً "با اثر گالوانیکی بین فلز اسب شده (کاتد) و فلزی که بر روی آن رسوب تشکیل می شود (آنند) ادامه و شدت می یابد.



### مقایسه پتانسیل اکسیداسیون - احیا با سری گالوانیک

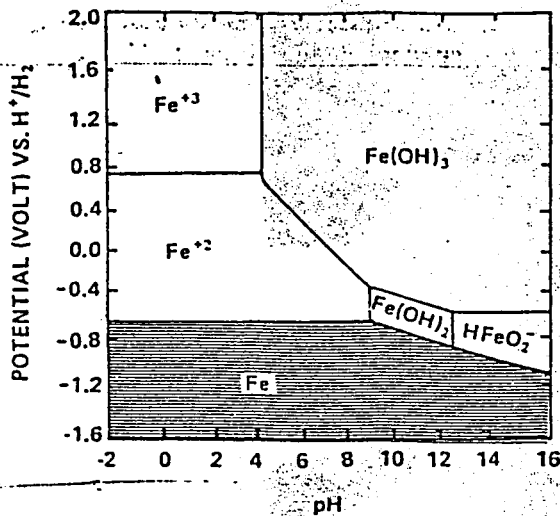
بعضی ابهامات در مورد پتانسیل‌های اکسیداسیون - احیا (EMF) و سری‌های گالوانیک در مقالات و نوشتجات وجود دارد ولی بررسی دوجداول ارائه شده در این بازه، نشان می‌دهد که دوجداول کاملاً مشابه هستند و اختلاف میان آنها را با نگاهی دوباره به بحث‌های قبلی میتوان روشن ساخت.

جدول اکسیداسیون - احیا، برای پیش‌بینی رخ دادن خوردگی در یک فلز بکار می‌رود. در مقابل، سری‌های گالوانیک برای پیش‌بینی احتمال رخ دادن خوردگی گالوانیکی و اینکه کدامیک از دو فلز متصل به هم خوردگی بیشتری را نمایش می‌دهند بکار می‌رود. بنا بر این دوجداول استفاده کاملاً متفاوتی داشته و نباید در مورد نوع استفاده از آنها اشتباه گردد.

### دیاگرام پتانسیل - پهاش

استفاده از پتانسیل‌های اکسیداسیون - احیا میتواند بار رسم این پتانسیل‌ها نسبت به پهاش محلول گسترده‌تر بشود. چنین دیاگرامی که غالباً "دیاگرام پورباکس (POURBAIX) نامیده میشود.

با استفاده از محاسبات الکتروشیمیایی ، مقدار رخلالیت و ثابت های تعادل ساخته میشوند به عنوان یادآوری می دانیم که PH در یک تعریف ساده لگاریتم منفی غلظت یون هیدروژن میباشد برای مثال پ - هاش ۷ نشان میدهد که  $10^{-7}$  اتم گرم یون هیدروژن در یک لیتر محلول وجود دارد . در این صورت پ - هاش ۷ یک محلول خنثی ، پ - هاش صفر یک محیط خیلی اسیدی و پ - هاش ۱۴ یا بیشتر به یک محلول بسیار قلیایی دلالت می کند .



شکل زیر نمودار پ - هاش - پتانسیل آهن را نشان می دهد .

نواحی مختلف به روی شکل ، ترکیباتی را که تحت آن شرایط ثابت هستند نشان می دهد . برای مثال در پتانسیل های مثبت ترا از ۰/۶ - و در پ - هاش تقریباً " کم ترا از ۹ آهن فروس یک ماده ثابت است و حاکی از آن است که تحت این شرایط آهن خورده میشود و ایجا  $Fe^{+2}$  می نماید . در سایر نواحی نمودار ، میتوان دید ، خوردگی آهن ، تولید یون آهن فروس ، هیدرواکسید فروس ، هیدرواکسید فروس و در شرایط بسیار قلیایی کمپلکس های یونهای آهن می نماید . کاربرد بیشتر این نمودارها که برای تمام فلزات نیز میتوان ساختن هستند . بصورت زیر می باشند .

- ۱- پیش بینی احتمال رخ دادن خوردگی
- ۲- تخمین ترکیبات محصولات خوردگی که تشکیل می شوند
- ۳- پیش بینی تغییرات محیطی که حملات خوردگی را کاهش یا از آنها جلوگیری مینمایند .

برای مثال ، ناحیه خوردگی در شکل فوق با Fe علامت گذاری شده است که نشان میدهد آهن در آن پتانسیلها و شرایط PH خورده نخواهد شد ، بنا بر این اگر پتانسیل خوردگی آهن به اندازه کافی منفی نگه داشته شود ( زیر تقریباً " ۱/۲ - ) آهن در هر سیستمی و از محدوده خیلی اسیدی تا خیلی قلیایی خورده نخواهد شد ، یک راه ایجا کردن این پتانسیل در آهن اعمال یک ولتاژ خارجی که حفاظت کاتدی نامیده میشود می باشد .

## روئین شدن و تشکیل فیلم های محافظ

هماً منظور که مختصراً " در مباحث قبلی اشاره کردید، محصولات خوردگی و سایر فیلم های سطحی میتواند اثرات عمیق روی رفتار خوردگی فلزات داشته باشند. فیلمهای اکسیدی بصورت طبیعی و به محض قرار گرفتن بیشتر فلزات در معرض هوا تشکیل میشود میتواند یک حفاظت قابل ملاحظه ای در مقابل بیشتر حملات خوردگی در محیط های مختلف ایجاد نمایند. اگر تشکیل چنین فیلمی برای خیلی از فلزات قرار گرفته در قسمت بالای سربهای الکتروموتیو به عنوان مثال منیزیم و آلومینیم وجود نداشته باشد. به سرعت در آب معمولی یا هوا خورده خواهند شد.

به همین صورت سایر فیلمهای محصولات خوردگی یا رسوبات مانده فیلم غیر مخلول سولفات عامل مقاومت خوردگی سرب در اسید سولفوریک می باشد. فیلمهایی که به روی آلیاژهای مس در آب دریا تشکیل می شود کمکی زیادی به دوام این آلیاژها در آب دریا می نماید. قابلیت چسبندگی مقاومت در مقابل اثرات جریانهای متلاطم و قابلیت ترمیم شدن سریع در صورت شکسته شدن این فیلم ها، شایستگی آلیاژهای مس را در مقابل بله با اثرات سرعت، بخوبی نشان می دهد.

اثر اکسیژن و سایر عوامل اکسیدکننده به روی خوردگی بسیار متفاوت و پیچیده می باشد. اکسیژن میتواند خوردگی را به دلیل شرکت در واکنشهای کاتدی شدت ببخشد که اوقات اکسیژن و سایر عاملهای اکسیدکننده میتواند در تشکیل فیلمهای محافظ باعث کند شدن خوردگی شوند، فلزاتی مانند آهن، فیلمهایی خیلی نازک و غیر قابل مشاهده از اکسیژن یا سایر اکسیدکننده ها ایجاد می نمایند. بطوریکه گفته میشود آنها بوسیله تشکیل چنین فیلمهایی، روئین (PASSIVE) می شوند حالت روئین در آهن یا فولاد ضد زنگ و سایر فلزات در صورتیکه اندازه پتانسیل آنها نسبت به فلز بدون فیلم مشابه فلزات بی اثر (مانند پلاتین یا طلا) شود، ایجاد می گردد.

که در این صورت نیز مقاومت خوردگی خیلی بیشتری را در مقایسه با فلز بدون فیلم یا غیر روئین (فعال) خواهیم داشت.

## تعاریف و ماهیت

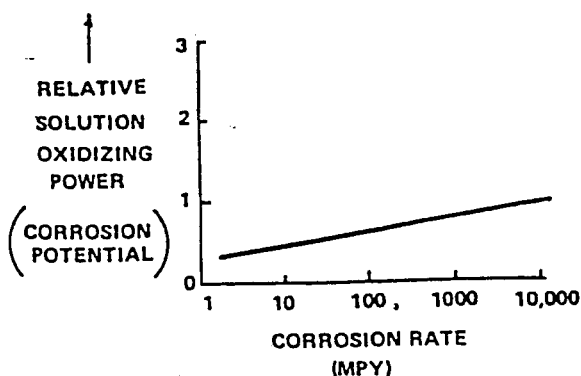
ایجاد حالت روئین به این صورت تعویض می شود. کاهش فعالیت شیمیایی فلزات و آلیاژها در شرایط محیطی ویژه، در این حالت فعالیت شیمیایی این قبیل فلزات شامل کربن، آهن، نیکل، تیتانیوم و آلیاژهایی از آنها بطور طبیعی کند می شود و مشابه فلزات بی اثر عمل می کنند. همانطور که پتانسیل های اکسیداسیون - احیا این فلزات نشان می دهد آنها در محلول اسیدی خورده میشوند ولی این حالت برای تمام موارد صادق نمی باشد. با وجود اینکه پدیده ایجاد حالت روئین در فلزات پیش از صدسال است که مورد بررسی

و مطالعه می‌باشد، هنوز بطور کامل ماهیت دقیق یا دلیل این اثرات شناخته نشده است. ولی بطور کلی عقیده به این است که این اثرات به دلیل تشکیل یک فیلم سطحی است که بصورت یک مانع در مقابل پیشرفت خوردگی مقاومت می‌کند.

چگونگی ماهیت و ترکیبات این فیلم سطحی هنوز ناشناخته می‌باشد. بعضی دانشمندان اعتقاد دارند که این فیلم یک لایه اکسید خیلی نازک است که تمایل دارد مانعی بین فلز و الکترولیت ایجاد نمایند (مانند فیلمی که در مورد فلز آلومینیم توضیح داده شد) در حالی که بعضی محققین به این اعتقاد هستند که این فیلم یک لایه دارای خاصیت جذب سطحی است و بطور ساده از یک فیلم تک مولکولی از موادی مانند اکسیژن یا بعضی از یونهای موجود در محلول تشکیل یافته است. اینکه چرا تا کنون نظریه قطعی در مورد ماهیت این لایه فیلم داده نشده است به دلیل آن است که این لایه بی نهایت نازک و شکننده می‌باشد. ضخامت این فیلم معمولاً "۳۰ آنگسترم ( $10^{-8}$  سانتیمتر) یا کمتر می‌باشد و محتسباً مقدار قابل ملاحظه‌ای آب می‌باشد بنا بر این این هنگام برداشت و جداسازی این لایه از سطح فلز به منظور مطالعه، غالباً "آب موجود در خود را از دست می‌دهد و صدقات فیزیکی و مکانیکی در آن بوجود می‌آورد.

#### اثر اکسیدکننده‌ها

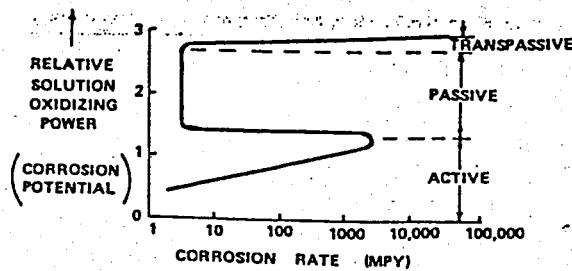
یکی از راه‌های ساده نشان دادن خواص غیرطبیعی یک فلز که حالت روئین در آن را اثبات کردند این است که خواص آن با حالت فعال و غیر روئین آن مقایسه گردد. شکل زیر رفتار خوردگی یک فلز را با تغییر در قدرت اکسیدکنندگی محلول نشان می‌دهد.



مقاوم‌تر در شکل با آنرا می‌توان با انجام یک سری آزمایشات خوردگی در محلول‌هایی که مقدار عوامل اکسیدکننده مانند یونهای مس یا غیره در هر کدام افزایش یافته، بدست آورد. اگر اسیدکاری از هوا در چنین آزمایشاتی استفاده شود، خطی شبیه شکل بالا بدست می‌آید.

میزان خوردگی به سرعت با افزایش قدرت اکسیدکنندگی یا غلظت اکسیدکننده‌ها در محلول افزایش می‌یابد.

همانطور که قبلاً توضیح داده شد. این موضوع نتیجه شرکت اکسیدکننده ها در واکنش کاتدیک و مصرف الکترونها تولید شده می باشد و بنا بر این میزان کل خوردگی در این حالت افزایش می یابد. شکل بالا به روشنی اثرات تعیین کننده ناشی از حضور اکسیدکننده ها به روی کاهش مقاومت در مقابل خوردگی فلزات غیر روئین رانشان میدهد. مثالهایی از این نوع رفتار مانند قرار دادن روی، سرب و مس در مخلوطی از اسیدهای اکسیدکننده می باشد. باید توجه نمود که پتانسیل خوردگی در اینجانشانه ای از قدرت اکسیدکنندگی می باشد. به همین ترتیب اگر در الکترولیتی که فلز قرار گرفته در آن اثرات و خواص حالت روئین را نشان می دهد، مقادیر عوامل اکسیدکننده را افزایش دهیم نتایجی که در شکل زیر نشان داده شده حاصل می گردد.



در ابتدا افزایش خیلی کم قدرت اکسیدکنندگی محلول موجب افزایش مقدار خوردگی می گردد و با افزایش بیشتر عوامل اکسیدکننده، مقدار خوردگی بطور ناگهانی کاهش می یابد و بعد از آن با افزایش بیشتر عوامل اکسیدکننده ها مقدار خوردگی ثابت باقی می ماند در ادامه با افزایش زیاد غلظت اکسیدکننده ها میزان خوردگی دوباره افزایش می یابد.

سه واکنش انجام شده در این حالت را میتوان به صورت زیر مشخص نمود.

۱- فعال

۲- حالت روئین

۳- عبور از حالت روئین

در ناحیه حالت روئین، میزان خوردگی غالباً ۱۰۰۰۰ مرتبه کمتر از ناحیه فعال می باشد در عمل ایجاد حالت روئین پدیده خیلی مفیدی می باشد. به دلیل آنکه میتوان برای رسیدن به درجه بازاری از مقاومت خوردگی از آن استفاده کرد. فولادهای ضد زنگ کروم و کروم - نیکل که استفاده گسترده ای در مهندسی خوردگی پیدا کرده است، به دلیل

مقاومت ناشی از شرایط داخل روئین در آنها می باشد .

بررسی شکل بالا نشان می دهد که رسیدن به حالت روئین به مقدار قدرت اکسیدکنندگی مناسبی نیاز دارد . اگر خیلی کم یا خیلی زیاد اکسیدکننده به محلول اضافه شود ، میزان خوردگی بسیار زیاد خواهد شد . بنا بر این فولادهای ضدزنگ وسایر فلزاتی که حالت روئین دارند معمولاً در محلولهای اسیدی عاری از هوا به سرعت خورده میشوند اما در اسیدهای هوادهی شده واسیدههای محتوی اکسیدکنندههایی از قبیل مس و یون های آهن مقاوم هستند . از طرف دیگر ، محلولهای اکسیدکننده بسیار قوی از قبیل اسید نیتریک جوشان (۱۰۰٪) می توانند باعث خوردگی فولادهای ضدزنگ شوند . بنا بر این انتخاب فولادهای ضدزنگ وسایر فلزات دارای حالت روئین می بایست با دقت و اطمینان از این که امکان استفاده آنها در شرایط مطلوب وجود دارد انجام گیرد .

در شرایطی که به دلیل عدم دسترسی اکسیژن به بعضی از قسمتها سطح فولاد ضدزنگ حالت روئین ممکن است در چنین قسمتهایی از بین برود در صورتیکه در قسمتهای دیگر همچنان باقی مانده باشد ، اختلاف پتانسیلی بین سطوح فولاد ضدزنگ دارای حالت روئین و باقی مانده به حالت فعال تا بیش از ۷۰۰ میلی ولت ممکن است بوجود آید که باعث ایجاد یک پیل گالوانیک قوی بین این سطوح و در نتیجه خوردگی شدید در ناحیه آندیوک ( بصورت حفره ای ) خواهد شد .

اختلاف در پتانسیل بین حالت روئین و فعال فولاد ضدزنگ وسایر فلزات و آلیاژها ، دلیلی است که بتوان معادل دو قسمت این فلزات را که حالت فعال و روئین دارند محلی را در سریهای گالوانیک ارائه داد .

در شرایطی که خوردگیهای شدید از نوع حفره ایی وشکافی در فولادهای ضدزنگ اتفاق می افتد ، پیل های تشکیل شده از حالت روئین و فعال دلیل اصلی بروز این نوع حملات خوردگی می باشند .

به دلیل ماهیت اسیدی محصولات خوردگی که در داخل حفره ها وشکافها تجمع می یابند در بیشتر مواقع از ایجاد مجدد حالت روئین داخل این حفره ها وشکافها جلوگیری میشود ، نتیجتاً " به دلیل شرایط ساکن واثرات جاذبه ای که برای تجمع محصولات خوردگی در داخل شکافها وحفره های تشکیل شده مناسب می باشد خوردگی موضعی بصورت شدیدتری ادامه خواهد یافت .

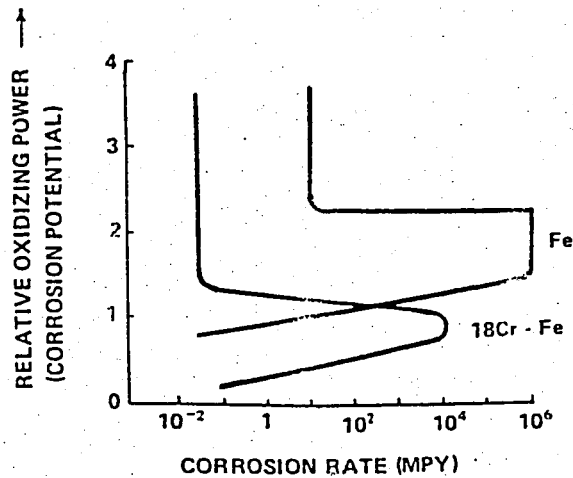
با توجه به فعالیت پیل های فعال و روئین ، لازم است در صورت استفاده از فولادهای ضدزنگ از ایجاد شکافهای احتمالی در موقع طراحی اجتناب شود . همچنین لازم است از امکان تجمع رسوبات چسبنده سست و هرنوع عاملی که ممکن است موجب تخریب حالت روئین به روی این نوع آلیاژ گردد ، جلوگیری بعمل آید .

### اثر آلیاژها

همانطور که قبلاً توضیح داده شد ایجاد حالت روئین میتواند با کنترل مقدار اکسیدکننده ها



در محیط های خورنده ایجاد گردد. همچنین با اضافه نمودن آلیاژهای مناسب ممکن است خواص فلزات بهبود پیدا کند. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.



در این شکل بطور شاماتیک رفتار خوردگی آهن و فولاد ضدزنگ کروم در محلول در اسید سولفوریک رقیق بصورت تابعی از قدرت اکسیدکنندگی مقایسه شده است. اضافه نمودن ۱۸٪ کروم به آهن بطور قابل ملاحظه ای مقدار اکسیدکننده را برای رسیدن به حالت روئین کاهش می دهد. همچنین اضافه نمودن کروم به آهن میزان خوردگی را در حالت روئین کاهش می دهد.

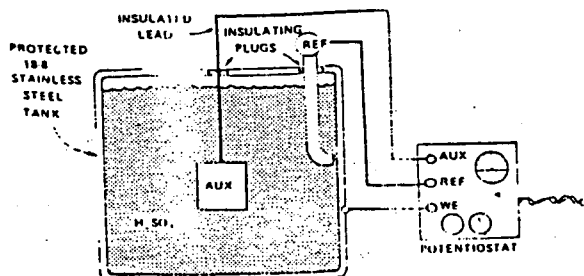
همانطور که در شکل دیده میشود فولاد ضدزنگ محتوی آهن و کروم نسبت به آهن در شرایط بدون حضور اکسیدکننده ها (به عنوان مثال اسیدهای غازی از هوا) خیلی سریعتر خورده میشود. و این واقعیت غیر معمولی، موجب شده است که فولاد ضدزنگ را بیش از ۳۰ سال به تاخیر بیندا زده دلیل آنکه کسی در مورد امکان آزمایش این آلیاژ در محیط های اکسیدکننده ها فکر نکرده بود. ساختن آلیاژیکی از مهمترین راههای بهبود مقاومت در مقابل خوردگی است که در مباحث خوردگی به آن پرداخته میشود.

### جلوگیری از خوردگی بوسیله روشهای الکتروشیمیایی

#### حفاظت آنودی

اصطلاح حفاظت آنودی برای رسیدن به حفاظت در مقابل خوردگی به کمک اعمال جریان آنودیک و برای نگهداری یک فلز یا آلیاژ را در حالت فعال و روئین در ناحیه روئین (PASSIVE) بکار می رود. اساس این نوع حفاظت در شکل های قبلی نشان داده شده است. قدرت اکسیدکنندگی محلولها و پتانسیل خوردگی معادل هم هستند بنابراین برای رسیدن به حالت روئین بوسیله شق دوم یعنی پتانسیل فلز و با اعمال یک منبع انرژی مناسب نیز امکان پذیر است.

از آنجا که این پتانسیل می با یست در ناحیه روئین نگه داشته شود از یک وسیله ویژه به نام پتانسیواستات ( POTENTIOSTAT ) که قادر است با کنترل جریان آنندیک پتانسیل الکترو دنا بتی ایجاد نماید استفاده میشود. این دستگاه سه ترمینال دارد که باید به سه الکترو دنا سب متصل باشد.



مهمترین مزایای حفاظت آنندیک بصورت زیر میباشند :-

- ۱- جریان مورد نیاز کم
- ۲- کاهش خیلی زیاد در مقدار خوردگی ( به عنوان نمونه تا ۱۰۰۰۰ مرتبه یا بیشتر )
- ۳- قابل اجرا در اسیدهای قوی و سایر محیط های خیلی خورنده

لازم است تا کید شود که حفاظت آنندیک فقط به روی فلزات و آلیاژهایی که خواص فعال و روئین شدن را دارا می باشند قابل اجرا می باشد. این قبیل آلیاژها مانند تیتانیم ، فولاد ضد زنگ ، فولاد ، و آلیاژهای پایه نیکلی می باشند. بعلاوه این سیستم حفاظتی تنها در محیط های معینی که ترکیبات الکترو لیت مؤثر برای ایجاد حالت روئین دارند قابل استفاده می باشد.

میزان خوردگی فلزات غیر روئین بطور مشخصی شدت می یابد اگر پتانسیل آن افزایش یابد. ( قبلاً در شکل نشان داده شده است ) بنا بر این حفاظت آنندیک با دقت می بایست مورد استفاده قرار گیرد.

حفاظت آنندیک بطور موفقیت آمیزی برای کاهش خوردگی فولاد - فولاد ضد زنگ ۱۸-۸ و سایر آلیاژها در محیط هایی مانند اسید سولفوریک ، اسید فسفریک ، هیدرواکسید سدیم و نمک های خورنده از قبیل سولفات آلومینیوم و نیتریت آمونیوم ، استفاده میشود.

### حفاظت کاتدی

دومین روش الکتروشیمیایی است که برای حفاظت فلزات بطور گسترده ای استفاده میشود. به دلیل آنکه ثابت شده است که خوردگی الکتروشیمیایی ، نتیجه ایی از برقراری جریان بین سطوح آنندیک و کاتدیک می باشد. جلوگیری از خوردگی یا کنترل جریان آن امکان پذیر میباشد. در نهایت هدف متوقف کردن تمام جریانهای برقرار شده از آنند در پیل خوردگی میباشد.

اغلب میتوان این کار را با اعمال یک جریان از منبع خارجی انجام داد بطوریکه جریانی که ایجاد میشود به جای اینکه از سطح آندیک اولیه دور شود به طرف آن جریان می یابد. این به دلیل انجام یک واکنش کاتدیک بجای واکنش آندیک به روی این سطح می باشد. برای انجام این سیستم، منبع جریان حفاظتی با پدپتانسیل بیشتری نسبت به سطح آندیک که باید حفاظت شود اعمال نماید. مقدار جریانی که نیاز می باشد بستگی به تشبیهت واکنش کاتدیک مورد نیاز ز به روی تمام سطح مورد حفاظت دارد.

حفاظت کاتدی را میتوان به سادگی با استفاده از یک میخ آهنی و یک قطعه روی نشان داد. اگر یک میخ آهنی در تماس با روی در آب قرار داده شود هیچگاه خورده نمی شود. اما میخ به تنهایی در آب خورده میشود. به همین دلیل مشخص میشود که چرا آهن گالوانیزه ( فولاد با پوشش روی) بصورت گسترده ای کاربرد دارد.

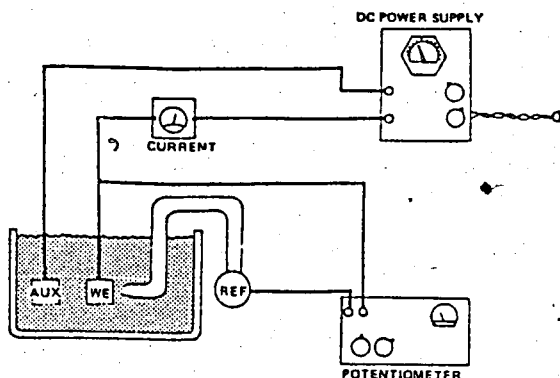
آزمایش مشابهی میتوان در مورد میخ های آهنی با شدکده نصف سطح آنها با مس روکش شده فقط یکی از آنها به یک قطعه روی متصل می باشد. همانطور که انتظار می رود در مورد میخ متصل نشده به روی میخ آهنی که روکش نشده است نسبت به روکش مسی خاصیت آندیک پیدا میکند و به سرعت خورده میشود. در مورد میخ متصل به روی، خوردگی گالوانیک به روی نیمه آهنی متوقف میشود و واکنش کاتدیک به هر دو قسمت هم آهن لخت و هم سطح پوشش داده شده با مس اثر می نماید.

در خوردگی طبیعی، مقدار جریان ( تعداد الکترونها) مورد نیاز برای حفاظت کاتدی به همان مقداری است که بوسیله الکترونها تولید شده در سطح آندیک و بوسیله خوردگی، ایجاد میشود. این مقدار را الکترون بوسیله وسایل تولید حفاظت کاتدی بطور مصنوعی و با یک منبع خارجی نیز قابل تامین می باشد.

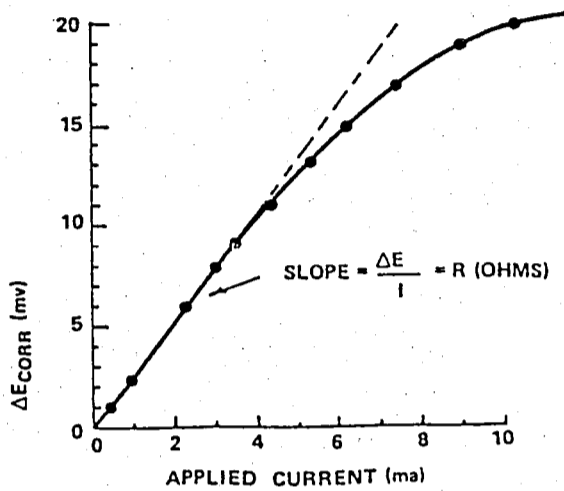
### اندازه گیری میزان خوردگی بوسیله روشهای الکتروشیمیایی

#### دستگاه

پتانسیل خوردگی فلزی تواند بصورت دیگری به کمک یک منبع انرژی خارجی ساده مورد استفاده قرار گیرد. به همین صورت که در شکل زیر نشان داده شده است:



در این شکل از یک منبع تغذیه DC با ولتاژ متغییر برای عبور جریان از نمونه یا الکتروود کار ( WE ) و یک الکتروود کمکی ( AUX ) قرار گرفته در یک محلول ، استفاده میشود . تغییرات پتانسیل الکتروود کار به دلیل اعمال جریان خارجی بوسیله فرانس الکتروود ولتمتر اندازه گیری میشود . ولتمتر که برای این منظور استفاده میشود معمولاً از نوع دستگاهی با مقاومت زیاد از قبیل ولتمتر لوله خلا و یا پتانسیومتر می باشد اگر تغییر ولتاژ فلز خورده شده در مقابل جریان اعمال شده رسم شود یک منحنی شبیه شکل زیر بدست می آید .



در این شکل تغییر پتانسیل فلز خورده شده با میلی ولت و جریان اعمالی با میلی آمپر نشان داده شده است . برای تغییرات پتانسیل ۱۰ میلی ولت یا کمتر یک خط مستقیم ، رابطه بین تغییر ولتاژ و جریان اعمال شده می باشد بیشتر از ۱۰ میلی ولت ، تغییرات بصورت انحناء می باشد . بخش ابتدایی ناحیه پلاریزاسیون خطی نامیده میشود .

نقش آب در فرآیندهای خوردگی :

حضور آب در فرآیندهای خوردگی که در دمای پائین رخ میدهد، بسیار ضروری و اساسی است. آب بصورت خالص و بدون هیچ ماده محلول، خوردگی بسیار کمی بر روی آهن ایجاد نماید. علت این امر آنست که آهن نسبت به تئیدروژن در آب خالص اندیک میباشند، در این حالت آهن خورده میشود و گاز تئیدروژن و هیدرواکسیدفروس تولید میشود که موجب افزایش پ-هاش آب میگردد. واکنش خوردگی تا هنگامیکه حلالیت تئیدرواکسیدفروس افزایش مییابد پیشرفت مینماید بعد از آن تئیدرواکسیدفروس بصورت رسوب روی سطح فلزیک فیلم تشکیل میدهد که از ادامه واکنش خوردگی جلوگیری مینماید.

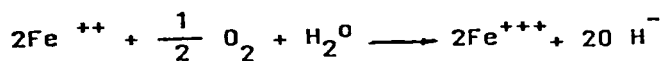
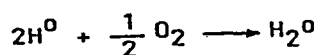
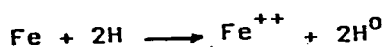
آب محتوی مواد ناخالصی یا محلول بسته به طبیعت مواد محلول میتواند خورنده یا غیر خورنده باشد. کرومات ها و فسفات های محلول در آب خوردگی آب را کاهش داده یا از آن جلوگیری بعمل میآورند، سایر مواد از قبیل نمک ها، اسیدها سولفیدهییدروژن، دی اکسیدکربن و اکسیژن میتواند خوردگی آب را افزایش دهند معمولاً "آبی که در مناطق نفتی با آن مواجه میشویم محتوی یک یا تعدادی از این مواد میباشد که خوردگی آب را افزایش میدهد.

علاوه بر ناخالصی ها ئی که معمولاً در آب پیدا میشوند دما و سرعت نیز به خوردگی آب موثر میباشد. در انواع خوردگیها ئی که با آن مواجه میشویم بندرت یکی از این فاکتورها به تنهایی حضور دارند، معمولاً "به دلیل وجود انواع گوناگون عوامل موثر و راهها ئی که ممکن است با یکدیگر تاشیده باشند، مشکلات خوردگی پیش آمده، بسیار پیچیده میباشد.

تاثیر اکسیژن محلول :

اکسیژن محلول احتمالاً "مشکل آفرین ترین ماده ایجا دکننده خوردگی در آب میباشد. حلالیت اکسیژن در آب در جدول زیر نشان داده شده است. محصول خوردگی آهن توسط اکسیژن آب مخلوطی از اکسیدهای آهن میباشد که معمولاً "هیدراته میباشد و بطور کلی به آنها زنگ آهن گفته میشود. واکنشهای زیر به ساده ترین شکل، حالتی که فقط اکسیژن محلول در آب وجود دارد را نشان میدهد.

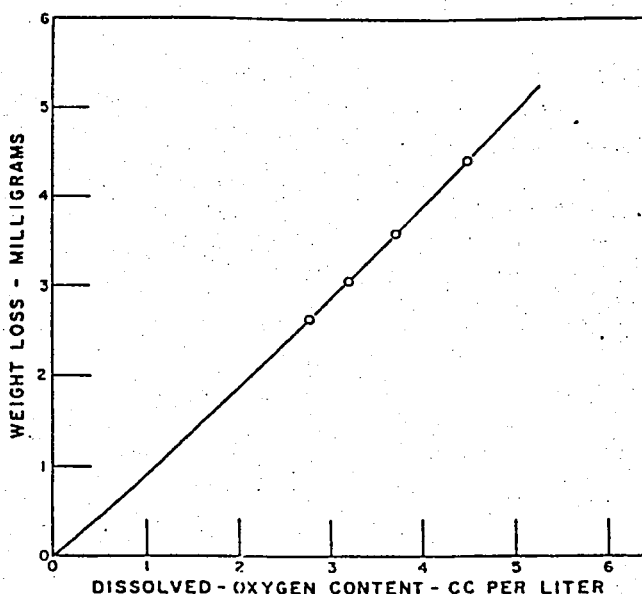
°C	Chlorides in Sea Water (parts per million)					Difference per 100 ppm Cl	Dissolved Oxygen in Chloride-free Water	
	0	5000	10000	15000	20000		ppm	°C
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32	0.0165	30	7.0
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03	0.0160	31	7.5
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76	0.0154	32	7.4
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50	0.0149	33	7.3
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25	0.0144	34	7.2
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01	0.0140	35	7.1
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78	0.0135	36	7.0
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57	0.0130	37	6.9
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36	0.0125	38	6.8
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17	0.0121	39	6.7
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98	0.0118	40	6.6
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80	0.0114	41	6.5
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62	0.0110	42	6.4
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46	0.0107	43	6.3
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30	0.0104	44	6.2
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14	0.0100	45	6.1
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99	0.0098	46	6.0
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84	0.0095	47	5.9
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70	0.0092	48	5.8
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56	0.0089	49	5.7
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42	0.0088	50	5.6
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28	0.0086		
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14	0.0084		
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00	0.0083		
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87	0.0083		
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74	0.0082		
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61	0.0080		
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49	0.0079		
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37	0.0078		
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25	0.0076		
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13	0.0075		



فعالیت اکسیژن دردی پلاریزه کردن کا تدویرا برمیبا شدویونها ی فرس را به ق ی یک اکسیده میکند که در این حالت هیدرواکسیدفریک (بیشتر از پ ها ش ۳) غیرمحلول را تشکیل میدهد. اگر تشکیل هیدرواکسیدفریک خارج از تماس با فلز رخ بدهد هیچ مانعی در مقابل واکنش خوردگی توسط این محصول ایجاد نمیشود. دریک سیستم بسته، این واکنش ادامه پیدا میکند تا اکسیژن محلول مصرف شده و هیدرواکسیدفرس واکنش را متوقف میسازد در سیستم های با زیبا سیستمهای در تماس با هوا، تهیه اکسیژن بطور مداوم انجام میشود.

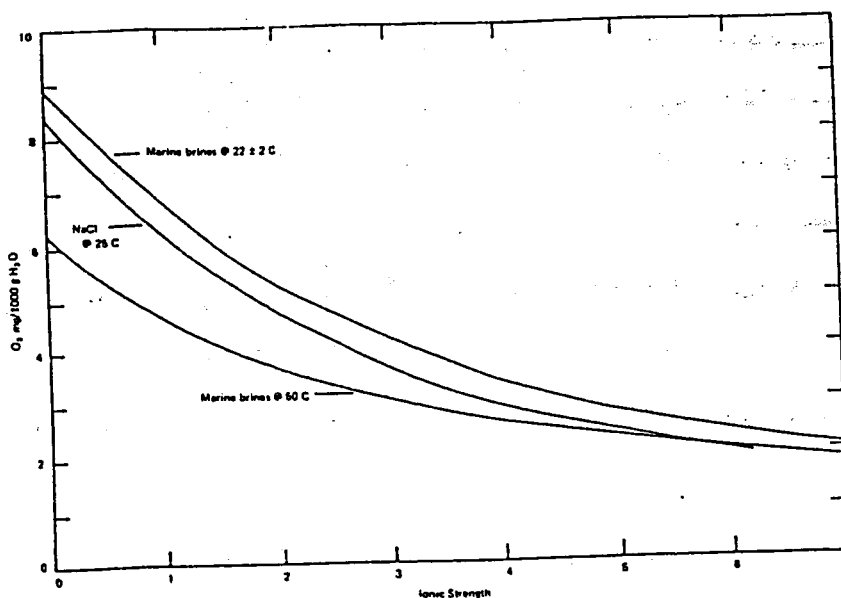
میزان خوردگی در این حالت بطور کلی به انتقال اکسیژن از هوا، سپس از طریق آب به فلز محدود میشود. با اینکه در این حالت مقدار خوردگی ممکن نیست بیشتر از حملات ناشی از خوردگی توسط اسیدها بشود، ولی تهیه دائم و پیاپی ناپذیر هوا، اطمینان میدهد که واکنش ممکن است برای مدت طولانی ادامه یابد.

مقدار خوردگی آهن در آب تقریباً " متناسب با مقدار اکسیژن تا بیش از ۵/۵ سانتیمتر مکعب در لیتر ( cc/Lit ) دیده شده است . این مقدار خوردگی در غلظت های زیادتر اکسیژن معمولاً " کمتر می باشد . این موضوع را به این صورت میتوان توجیه نمود که محصولات خوردگی تشکیل شده در غلظت های زیاد اکسیژن در مقابل عبور اکسیژن غیر قابل نفوذ نیستند ، هیدرواکسید فروس در ابتدا در هر دو حالت تشکیل میشود . ولی در غلظت های بالای اکسیژن ترکیبات فروس در یک سرعت نسبتاً زیاد اکسید میشوند و هیدرواکسید فروس را به یک هیدراته بر روی سطح فلز صورت یک فیلم محافظ رسوب میدهد . خوردگی در آب محتوی غلظت های زیاد نمک ، متناسب با مقدار اکسیژن محلول میباشد . بطوریکه اگر غلظت نمک در آب افزایش یابد ، حلالیت اکسیژن کاهش یافته و نتیجتاً مقدار خوردگی کاهش می یابد . این موضوع در شکل زیر نمایش داده شده است .



در این شکل درجه شیکه بیشترین میزان خوردگی دیده میشود . محلول کمترین غلظت کلرید سدیم و بنا بر این بیشترین مقدار اکسیژن اشباع را نشان میدهد در این شکل میزان خوردگی را ما کمیم در ۵/۲ سانتیمتر مکعب در لیتر از اکسیژن و ۰/۵ مول از کلرید سدیم نشان میدهد . در آبهای که غلظت نمک های محلول کم میباشد خوردگی بیشتر تابع هدایت الکتریکی آب میباشد .

حلالیت اکسیژن نیز در بعضی محلول های نمک، در شکل زیر نشان داده شده است .



در این شکل آب شور دریا، آب دریا ساخته شده بصورت مصنوعی، که از یونها ی گوناگون تهیه شده، ضمن نشان دادن تغییر غلظت نمک های محلول در مراحل مختلف بخار شدن آب دریا، کاهش غلظت اکسیژن با افزایش شوری آب را نشان میدهد .

خوردگی اکسیژن همچنین میتواند ناشی از پیل اختلاف دمشی باشد که این نوع پیل از نوع پیل های غلظتی با اختلاف غلظت اکسیژن بین دو قسمت از سیستم میباشد . در این حالت اختلاف پتانسیل بین بخش غلظت اکسیژن زیاد و بخش غلظت اکسیژن کم بوجود میآید .

ناحیه خورده شده را میتوان با قرار دادن دو الکترود اکسیژن در یک محلول آبی اثبات نمود الکترود سمت چپ فشار جزئی اکسیژن محلول آن  $0.2$  اتمسفر میباشد و دارای پتانسیل  $E_1$  میباشد و الکترود سمت راست فشار جزئی اکسیژن آن  $0.02$  اتمسفر و دارای

پتانسیل  $E_2$  میباشد .

$$E_1 = -0.4 - \frac{0.059}{4} \text{Log} \frac{0.2}{\text{OH}^{-4}}$$

$$E_2 = -0.4 - \frac{0.059}{4} \text{Log} \frac{0.02}{\text{OH}^{-4}}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{0.059}{4} \text{Log} \frac{0.2}{0.02} = +0.015$$



بدلیل آنکه  $\Delta E$  پتانسیل پیل بالا، مثبت می باشد، انرژی آزاد برای واکنش منفی خواهد شد و نشان دهنده آن است که واکنش خود به خود انجام میگیرد. در این حالت، الکترو دسمت راستی که فشار جزئی اکسیژن در آن  $0.02$  اتمسفر است، آند خواهد شد و در نتیجه خوردگی در پیل اختلاف دمشی در سطح تماس با غلظت اکسیژن کمتر رخ میدهد. پیل اختلاف دمشی، معمولاً وقتی که تشکیل رسوبات و تجمع ناشی از رشد باکتریها در سیستم وجود داشته باشد. ممکن است در ناحیه زیر رسوبات که پنهان بوده و عاری از اکسیژن میباشد موجب بروز خوردگی شود. معمولاً امکان دسترسی ماده کند کننده خوردگی و یا باکتریها به این نواحی تا قبل از برداشت کامل این رسوبات با تمیزکاری، بسیار مشکل میباشد.

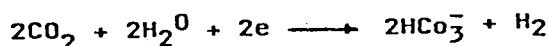
خوردگی آهن را که در حفاصل بین هوا و آب اتفاق می افتد نیز میتوان به پیل اختلاف دمشی نسبت داد. اکسیژن از هوا در دسترس ناحیه هلالی تشکیل شده در سطح آب قرار میگیرد و در حالیکه در قسمت زیر آن خالی از اکسیژن میباشد. در نتیجه ناحیه هلالی نسبت به قسمت قرار گرفته در زیر آب حالت کاتدی پیدا میکند. در آبهای سخت محصولات آکالین واکنش کاتدی، ترکیبات کلسیم و منیزیم را روی سطح آهن رسوب میدهند. در نتیجه قسمتی از این سطح در مقابل محلول حاوی اکسیژن پوشیده میشود بدلیل آنکه این سطح پوشیده شده عاری از اکسیژن میباشد. خوردگی در سطح آب در این قسمت اتفاق می افتد.

#### تاثیر دی اکسید کربن :

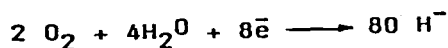
دی اکسید کربن محلول در آب میتواند در خوردگی آهن شرکت کند. خوردگی بوجود آمده از آن دارای خصوصیات ویژه بصورت سطوح تمیز و یک شکل، یکنواخت و نازک میباشد، سرعت و مقدار خوردگی بستگی به نمک های محلول در آب، مقدار دی اکسید کربن، مقدار اکسیژن و ترکیبات فولاد دارد. دی اکسید کربن در آب معمولاً بصورت زیر وجود دارد.

- ۱- دی اکسید کربن در یونهای کربنات
- ۲- دی اکسید کربن لازم برای تبدیل کربنات ها به بی کربنات ها
- ۳- مقداری دی اکسید کربن لازم برای نگهداشتن بی کربنات ها در محلول
- ۴- دی اکسید کربن های اضافی

این دی اکسیدکربن اضافی، دی اکسیدکربن مهاجمنا میوه میشود و خورنده ترین شکل آن است. در غلظت های مساوی دی اکسیدکربن در آب به اندازه اکسیژن خورنده نمیباشد. در ۶۰ درجه سانتیگراد، محلول محتوی ۴ میلی لیتر اکسیژن محلول ۷ برابر خورنده تر از محلول محتوی همین مقدار دی اکسیدکربن میباشد. در آب مقطر فقط محتوی اکسیژن، مقسدار خوردگی بر روی فولاد بزم (۵/۰ درصد کربن) بین ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد دو برابر افزایش مییابد در حالی که در همان محدوده درجه حرارت در آب تقطیر شده محتوی دی اکسیدکربن مقدار خوردگی ۲/۶ برابر افزایش مییابد. افزایش مقدار خوردگی در این حالت میتواند به افزایش میزان نفوذ گازهای محلول به دلیل افزایش دما بستگی داشته باشد. افزایش بیشتر در میزان خوردگی، در محلول دی اکسیدکربن با افزایش دما به دلیل کاهش اسیدیته یا کم شدن دی اکسیدکربن مورد نیاز در سطح فلز برای واکنش احیاء ثیو-در روژن (HYDROGEN EVOLUTION) میباشد. لذا خوردگی دی اکسیدکربن در این حالت بیشتر میشود. در خوردگی ایجاد شده از دی اکسیدکربن محلول، واکنش زیر در باره دی اکسیدکربن وقتی با آب وارد واکنش میشود و تشکیل بی کربنات میدهد را مشاهده است.

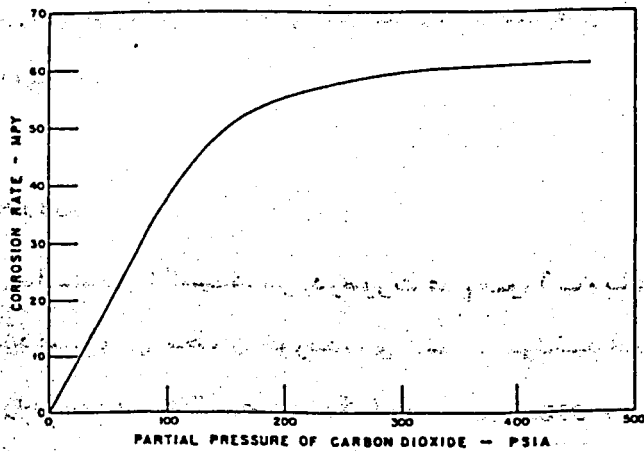


واکنش دی پلاریزاسیون اکسیژن در کا تدبصورت زیر مییابد:



مقایسه این واکنشها نشان میدهد که بر اساس تعداد الکترونها، اکسیژن محلول در آب باید تقریباً "چهار برابر خورنده تر از همان مقدار مولی دی اکسیدکربن باشد. دی اکسیدکربن، در زمان انحلال در آب بصورت یک اسید اثر میکند. بصورتیکه، اسیدیته محلول و میزان خوردگی با افزایش فشار جزئی دی اکسیدکربن افزایش مییابد. عمل خوردگی در احیاء گاز ثیو در روژن ممکن است در پهاش ۶ بادی اکسیدکربن رخ بدهد در حالی که برای اسیدکلریدریک با قدرت یونیزاسیون بالا پهاش ۴ مورد نیاز میباشد. این موضوع را بدین صورت میتوان توضیح داد که اسیدکربنیک اسیدی با قدرت یونیزاسیون کم میباشد و بنا بر این به مقدار بیشتری اسیدکربنیک یا اسیدیته کل بیشتری برای بدست آوردن پهاش ۶، نسبت به مقدار اسیدکلریدریک لازم برای بدست آوردن پهاش ۴ نیاز میباشد.

مقدار خوردگی دی اکسیدکربن، بستگی به فشار جزئی آن دارد. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.



مقدار خوردگی شدت با افزایش فشار دی اکسیدکربن تا ۲۰۰ پوندبراینچ مربع افزایش میابد این افزایش با سرعت کمتری تا فشار ۳۰۰ پوندبراینچ مربع نیز ادامه میابد و پس بعد از آن با افزایش فشار بیشتر هیچ تغییر قابل توجه بیشتری نتیجه نمیشود.

خوردگی آب محتوی دوگاز، اکسیژن محلول و دی اکسیدکربن بیشتر از آبی است تنها محتوی یک گاز ولی با غلظت کلی معادل این دوگاز در حالت اول باشد. برای مثال در محلولی محتوی ۱۰ سانتیمتر مکعب دی اکسیدکربن در لیتر میزان خوردگی ۸ هزارم اینچ در سال (MPY) و در محلولی محتوی ۰/۶۷ سانتیمتر مکعب از اکسیژن محلول در لیتر مقدار خوردگی چهار هزارم اینچ در سال میباشد. ولی محلولی محتوی مجموع این دوگاز و مقدار دیگر گرفته شده در بالا زهریک از این گازها مقدار خوردگی معادل ۱۷ هزارم اینچ در سال دارد که از جمع میزان خوردگی هر یک از گازها به تنهایی بیشتر است. این اثر در غلظت های اکسیژن کم رخ میدهد و ممکن است به نوع محصولات خوردگی بستگی داشته باشد. در غلظت های زیاد اکسیژن محلول یک فیلم چسبنده بوسیله خوردگی روی سطح فلز تشکیل میشود که اساساً "در مقابل دی اکسیدکربن بی اثر میباشد. در حالتیکه در غلظت های کم اکسیژن، دی اکسیدکربن در تشکیل فیلم خوردگی دخالت میکند که نتیجه آن افزایش مقدار خوردگی میباشد.

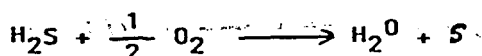
قبلاً توضیح داده شد که دی اکسیدکربن در حلالیت کربنات منیزیم و کلسیم موثر میباشد. این نمک ها بعضی وقتها روی سطح فلز خطوط لوله رسوب میکنند و یک پوشش محافظ را تشکیل میدهند. آب محتوی دی اکسیدکربن مهاجم این فیلم محافظ را رسوب نمیدهد. نمک های محلول در آب ممکن است بصورت با فرعمل کنند. در نتیجه از رسیدن پهاش به یک مقدار کم و ایجاد خوردگی شدید جلوگیری میشود.

در آب های محتوی نسبت های زیادی اکسیژن و دی اکسیدکربن، خوردگی همراه با احیاء هیدروژن میباشد. در این حالت میزان خوردگی به اسیدیته و نوع ترکیبات و ساختمان فیزیکی فولاد بستگی خواهد داشت. در نسبت های کمی پلاریزاسیون اکسیژن واکنش را کنترل میکند و تمام ترکیبات فولادها کمی آلایا ژ شبیه بهم خورده میشوند. همچنین بررسیهای مختلف نتایج

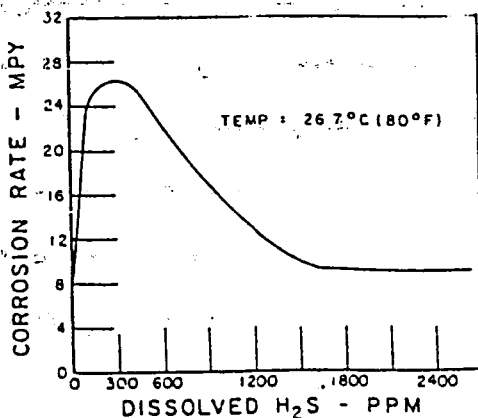
کوناگونی از میزان خوردگی فولادهای کم آلیاژ در محیط های آبی محتوی تنهادهای اکسید کربن را نشان داده است .

تاثير سولفید هیدروژن :

سولفید هیدروژن ماننددی اکسید کربن در صورت عدم حضور آب و یا رطوبت خورنده نمیشود آب محتوی سولفید هیدروژن محلول خورندهای است . سولفید هیدروژن قدرت انحلال زیادی در آب دارد و هنگام انحلال بصورت یک اسید DIBASIC بسیار ضعیف رفتار میکند و حاصل یک محلول اسیدی در آب تقطیر شده میباشد . بطور کلی هنگامیکه سولفید هیدروژن از تیک چاه گازی یا نفتی بوجود میآید در آب شور حل شده میباشد و اکسیژن یا سایر عوامل اکسید کننده همراه آن وجود ندارد . تحت این شرایط ، سولفید هیدروژن حل شده به آهن و آلیاژهای غیر مقاوم در مقابل اسید حمله مینماید . وقتی که آب شور به سطح چاه بمقتسب میشود ، اکسیژن هوا در آن حل میشود که در این حالت حتی ممکن است برای آلیاژهای مقاوم در مقابل اسید نیز خورنده باشد . اکسیژن حل شده با هستگی سولفید هیدروژن را اکسید کرده میکند و سولفور آزاد مطابق واکنش زیر ایجاد مینماید .



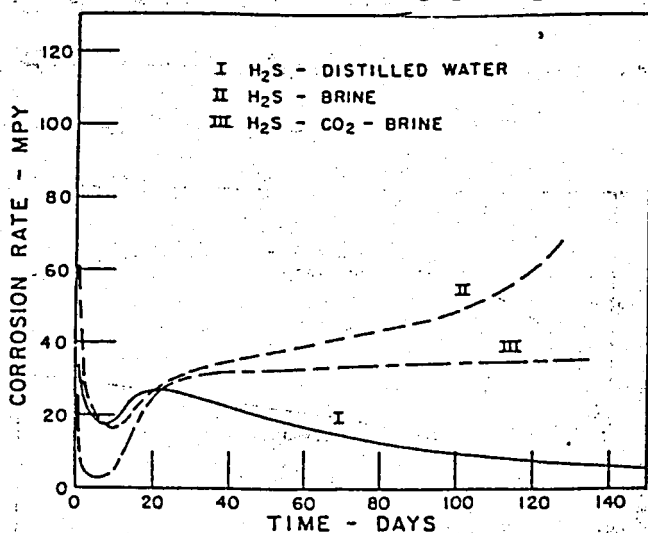
میزان خوردگی فولاد نرم در آب تقطیر شده محتوی سولفید هیدروژن محلول با توجه به غلظت این گاز متفاوت میباشد . شکل زیر این تفاوت را با غلظت سولفید هیدروژن در محدود ۲ تا ۲۶۴۰ قسمت در میلیون نشان داده است .



همانطور که در شکل دیده میشود ، میزان خوردگی تا مقدار ۱۵۰۰ قسمت در میلیون سولفید هیدروژن سریعاً " افزایش مییابد بعد از آن تقریباً " از ۱۵۰۰ تا ۴۰۰ قسمت در میلیون ثابت میماند و از این مقدار تا غلظت ۱۶۰۰ قسمت در میلیون مقدار خوردگی سریعاً " کاهش مییابد و از ۱۶۰۰ تا ۲۶۴۰ قسمت در میلیون ، مقدار خوردگی کاملاً " ثابت میماند و نشان

دهنده آن است که در غلظت های زیاد، سولفید هیدروژن ممکن است بصورت واکنش کندکننده خوردگی عمل نماید. پلی سولفید در سیستم های آبی برای جلوگیری کردن از تاول ها و ترکها با زنده بکار میرود. پلی سولفیدها برای استفاده در محلول های اسیدی پیشنهاد میشوند. مقدار خوردگی آب محتوی سولفید هیدروژن محلول همچنین بستگی به مقدار نمک های محلول و دی اکسید کربن موجود در آب دارد.

یک بررسی شامل سه سری منحنی، میزان خوردگی فولاد از نوع ۱۰۲۰ را در آب مقطر محتوی سولفید هیدروژن، در آب شور محتوی سولفید هیدروژن و در آب شور محتوی هیدروژن و سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن، در شکل زیر نشان داده است.



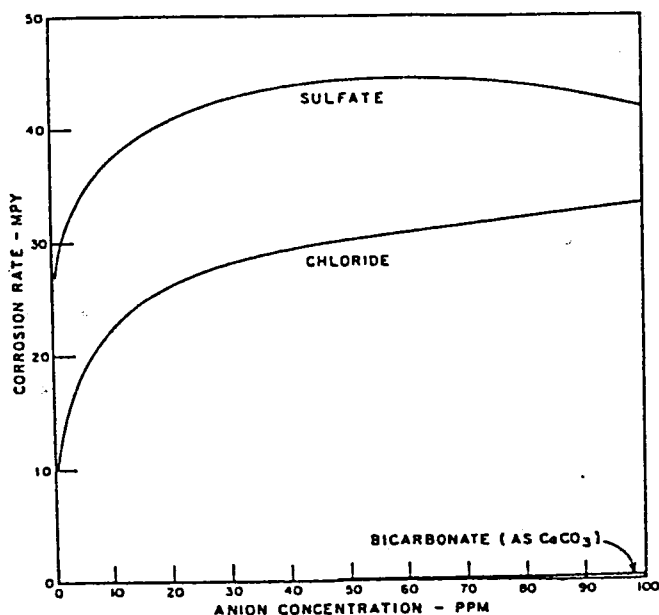
هما نطور که در شکل دیده میشود مقدار خوردگی در محلول آب شور بیشتر از آب مقطر میباشد و آب شور محتوی سولفید هیدروژن، بیشترین میزان خوردگی را نشان داده است. اختلاف میزان خوردگی به محصولات خوردگی تشکیل شده در محلول های مختلف نسبت داده میشود. در سیستم آب مقطر، رسوب کنسایت ( $Fe_9S_8$ ) تشکیل شده تنها یک محافظ تیره رنگ نسبتاً "ضعیف" میباشد و قتی که لایه های بعدی محافظ تریپروتیت ( $Fe_{0.875}S$ ) و بعد رسوب بیروتیت ( $FeS_2$ ) تشکیل شود. از آنجا که تنها رسوب تشکیل شده در سیستم های شور کنسایت میباشد، میباید میزان خوردگی دائماً "افزایش" میباید.

مقدار خوردگی در آب های محتوی سولفید هیدروژن به نوع ترکیبات فولاد قرار گرفته در این محیط های نیز بستگی دارد. این اختلاف در مورد آلیاژهای گوناگون گفته شده است اما ممکن است بین ترکیبات کاملاً "مختلف در یک آلیاژ یکسان" هم رخ دهد. اختلاف خوردگی به مقدار ۱۰ هزار اینچ در سال بین دو نمونه COPPER BEARING MILD STEEL قرار گرفته در آبی با مخلوط های اشباع شده یکسانی از اکسیژن، دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن

اندازه‌گیری شده است. این موضوع نشانه‌ای از امکان پیش‌آمدن خطا در مقایسه میزان خوردگی دو محیط بر اساس خوردگی لوله فولادی داخل چاه با خطوط لوله جریانی بدون در نظر داشتن ترکیبات فولادی آن می‌باشد.

تا شیرنمکهای محلول:

نمکهای محلول در آب بر روی خوردگی آب موثر می‌باشند. در محلول‌های محتوی نمکهای با غلظت بسیار کم می‌باشند. اختلاف آنیونها و کاتیونها درجه متفاوتی از میزان تاثیر بر روی خوردگی آب را نشان می‌دهد. عمده‌ترین آنیونها کربنات می‌باشند که در آب پیدا میشوند کلراید سولفات و بی‌کربنات هستند. اثر خوردگی آب مقطر بر روی فولاد ناشی از افزودن این یونها در شکل زیر نمایش داده شده است.



در محدوده غلظت‌های نشان داده شده در این شکل، یون سولفات یک اثر بزرگتری روی خوردگی آب نسبت به یون کلراید دارد و یون بی‌کربنات یک تمایل محافظت‌کنندگی را نشان می‌دهد. در محلول‌های محتوی یونها بی‌کربنات همراه با یون کلراید یا سولفات در غلظت‌های بیشتر از ۱۰ قسمت در میلیون، یون بی‌کربنات یک افزایش‌کننده خوردگی با افزایش غلظت را نشان می‌دهد ولی کاملاً از خوردگی جلوگیری نمی‌کند.

میزان اثر آنیونها روی خوردگی بستگی به فلز مورد نظر هم دارد. آبهای محتوی یون سولفات سرب را بشدت نمی‌خورند چونکه سولفات سرب بر روی سطح آن تشکیل می‌دهد. مقدار خوردگی فولاد ضد زنگ در کلرید پتاسیم ۰/۱ مول بیشتر از سولفات پتاسیم ۰/۱ مول می‌باشد.

این موضوع به دلیل نفوذ بیشتر یون کلراید از پوشش حاصل از اکسیژن یا اکسیدکننده های محافظ روی فولاد زدنگ می باشد. میزان کاهش قدرت نفوذ آیونها بصورت زیر داده شده است. کلراید < برمید > دید < فلوراید > سولفات < نیتريت > فسفات منوهیدروژن محلولهای آبی محتوی غلظت های مساوی از نمک های با آیونهای یکسان و کاتیونهای مختلف درجه خوردگی متفاوتی را بر روی فولاد نشان میدهد. در مورد کلرایدهای با فلز آلکالین، بیشترین میزان خوردگی در محلول کلرید پتاسیم و میزان خوردگی کمتر در محلول کلرید پتاسیم و میزان خوردگی کمتر در محلول کلرید سدیم و کمترین میزان خوردگی در محلول کلرید لیتیم می باشد. میزان کاهش خوردگی کاتیونها بصورت زیر داده شده است.

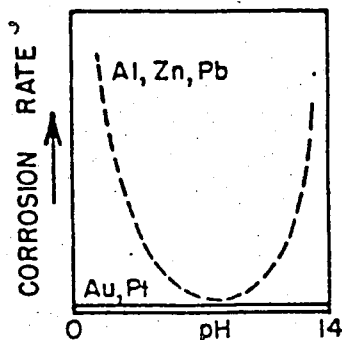
فربک < کلرومیک > آمونیوم < آلومینیوم > پتاسیم < سدیم > لیتیم < باریم > استراتیوم < کلسیم > منگنیم < کادمیوم > مگنزیوم

بطور کلی خوردگی آب محتوی نمک های محلول با از دیاد غلظت نمک تا رسیدن به یک حد ماکزیمم افزایش میابد و سپس خوردگی کاهش میابد. این موضوع ممکن است به افزایش هدایت الکتریکی محلول به دلیل افزایش مقدار نمک نسبت داده شود. این حالت تا وقتی است که غلظت نمک به اندازه ای زیاد شده که موجب کاهش محسوس در حلالیت اکسیژن در نتیجه کاهش میزان دیپلاریزاسیون میگردد. نمک های محلول ممکن است موجب کاهش میزان حفاظت محصولات خوردگی تشکیل شده و نتیجتاً " افزایش خوردگی شوند. این موضوع در شکل قبلی برای محلول سولفید هیدروژن در آب شور ثابت شده است.

تأثیر PH :

ماهیت شیمیائی الکترولیت یک فاکتور خارجی مهم در میزان خوردگی می باشد. هاش یک خاصیت مهم الکترولیت می باشد تا شرب. هاش به روی میزان خوردگی آبهای محلول محتوی اکسیژن هوا، به فلزی خورده میشود بستگی دارد. منحنی های زیر شرب. هاش بر روی میزان خوردگی بعضی فلزات نشان میدهد.

« الف »

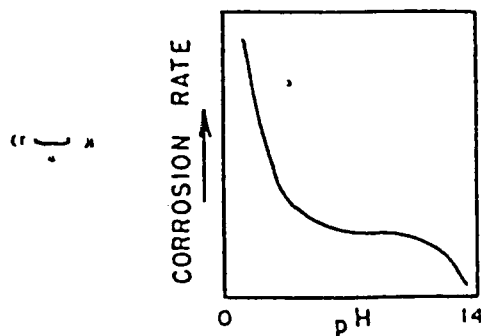


میزان خوردگی فلزات بی اثر از قبیل طلا و پلاتین در شکل الف ، عدم تاثیر تغییرات مقدار پ - هاش را بر روی این فلزات نشان میدهد . در همین شکل ، منحنی دیگری نمایش داده شده که اثر پ - هاش را روی خوردگی آلومینیوم ، روی و سرب نشان میدهد . شکل بدست آمده در این منحنی را بدین صورت توضیح داده میشود که آلومینیوم ، سرب و روی فلزات آمفوتریک یا بطور کلی آمفولیت هستند . این فلزات دارای این خاصیت هستند که رسوب هیدرواکسید را در پ - هاش طبیعی تشکیل میدهند که در آب غیر قابل حل میباشد ولی این رسوبات در محلولهای اسیدی یا قلیایی حل میشوند .

در محدوده پ - هاش طبیعی وقتی که این فلزات هیدرواکسید غیر محلول را تشکیل میدهند هیدرواکسید بصورت پوششی که خوردگی را آهسته تا مینماید به روی سطوح فلزات رسوب میکند . در محلولهای بسیار اسیدی یونهای فلزی این فلزات نمکهای محلول تشکیل میدهد در نتیجه فیلم محافظ برداشته میشود و خوردگی پیشرفت مینماید .

در محلولهای آبی بسیار قلیایی ترکیبات محلول پیچیده‌ای از قبیل زینکات سدیم ( $\text{Na}_2 \text{Zn O}_2$ ) و آلومینات سدیم ( $\text{Na}_2 \text{AlO}_2$ ) تشکیل میشود . در این حالت دوباره فیلم محافظ تخریب شده و موجب پیشرفت خوردگی میگردد .

نوع سوم منحنی پ - هاش و میزان خوردگی ، اثر پ - هاش را بر روی میزان خوردگی آهن ، نیکل ، کادمیوم و مگنزیوم در شکل زیر نشان میدهد .



این منحنی تشکیل ترکیبات محلول درنا حیه با اسیدیته زیاد و تشکیل بعضی فیلمهای نسبتاً " محافظ و کم محلول زادرنا حیه طبیعی و خنثی نشان میدهد . برخلاف فلزات آمفوتریک ، این فلزات هیدرواکسیدی تشکیل میدهند که در محیط هاشی با قلیاییت زیاد غیر محلول هستند و بنا بر این در مقادیر بالای پ - هاش فیلم محافظی تشکیل میدهند . منحنی حلالیت هیدرواکسید فروس بر حسب تغییرات پ - هاش مشابه منحنی ارائه شده در شکل بالا میباشد .



در محدوده پ - هاش ۴ تا ۹/۵، سطح آهن در تماس با یک محلول آلکالین اشباع شده از اکسیدفروس هیدراته می باشد. خوردگی به دلیل نفوذ اکسیژن بداخل این حفاظ پیشرفت مینماید. میزان تشکیل این لایه اکسیدفروس هیدراته بستگی به مقدار اکسیژن محلول دارد. اگر اسیدیتها یجا دشته از یک اسید با قدرت تجزیه پذیری زیاد (مانند اسید کلریدریک) باشد واکنش احیاء هیدروژن در خوردگی آهن در پ - هاش ۴ یا کمتر رخ میدهد. اکسیدفروس هیدراته در این مقدار کم پ - هاش حل میشود و در نتیجه آهن و اسید در تماس مستقیم با هم قرار میگیرند. محلول های اسید کربنیک با آهن در پ - هاش ۶ یا کمتر واکنش میکنند که نتیجه آن واکنش احیاء هیدروژن می باشد. بدلیل آنکه واکنش احیاء هیدروژن محصول حمله مستقیم بر روی آهن بوسیله اسیدیتها محلول می باشد و از طرفی اسید کربنیک یک اسید با قدرت تجزیه پذیری ضعیف می باشد. معلوم میشود که اسیدیتها کل به همان اندازه پ - هاش فاکتور مهمی در این مورد می باشد.

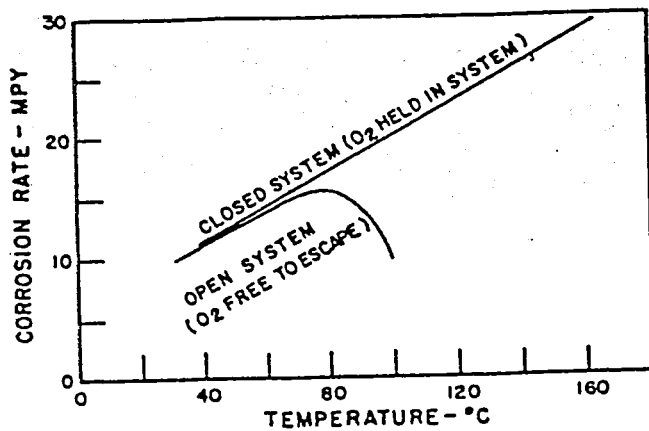
یک محلول آلکالین نسبتاً " رقیق موجب حفاظت خوردگی آهن میشود. اما در مورد محلول آلکالین خیلی غلیظ این موضوع صادق نمی باشد. در یک آب با چهار درصد هیدرواکسید سدیم محلول، میزان خوردگی آهن خیلی کم است و پتانسیل آهن بر اساس مقیاس نیدروژن تقریباً " ۰/۱ ولت می باشد. در غلظت های خیلی زیاد هیدرواکسید سدیم، پتانسیل به یک مقدار فعال کاهش میابد و آهن خورده شده تشکیل محلول سدیم فریت ( $Na_2 Fe O_2$ ) میدهد.

#### تاثیر دما:

اثر تغییرات دما روی میزان خوردگی بسیار پیچیده تر از این اصل شیمیائی ساده است که تنها گفته شود افزایش دما سرعت واکنش را افزایش میدهد. افزایش دما در یک محیط خورنده چهار اثر عمده و اساسی دارد.

- ۱- سرعت واکنشهای شیمیائی را افزایش میدهد.
- ۲- حلالیت گازها را در آب کاهش میدهد.
- ۳- حلالیت بعضی محصولات خوردگی ممکن است تغییر یابد. نتیجه آن محصولات مختلف واکنشهای خوردگی است.
- ۴- ویسکوزیته کاهش میابد و در اختلاف حرارتی موجب افزایش سیرکولاسیون خواهد شد.

نظور کلی میزان خوردگی با افزایش دما افزایش مییابد این موضوع به ویژه زمانی که خوردگی بدلیل حضور اسیدهای معدنی در آب و در نتیجه احیا تیدروژن مییابد واقعیت مییابد. این موضوع در مورد آبهای که بدلیل وجود اکسیژن محلول خورنده مییابد میزان خوردگی با افزایش دما فقط تا زمانی که کاهش محسوسی در انحلال اکسیژن ایجاد نشود افزایش مییابد. از آن پس، افزایش دمای بیشتر، موجب کاهش مقدار خوردگی برای سیستم باز، که اکسیژن بصورت آزاد میتواند خارج شود، میگردد. در سیستمهای بسته، کاهش اکسیژن نمیتواند خارج شود. میزان خوردگی با افزایش دما افزایش مییابد. این اثرات در شکل زیر نشان داده شده است.



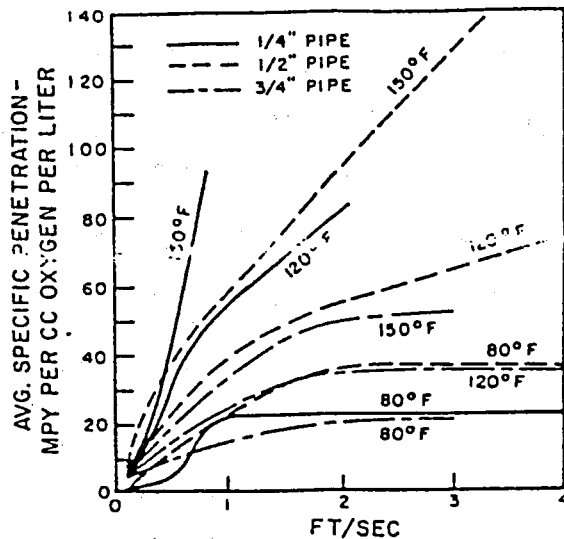
در آبهای محتوی بی کربنات های کلسیم یا منیزیم، افزایش دما موجب ایجاد دی اکسید کربن و افزایش خوردگی میشود. در همین زمان، کربنات های کلسیم و منیزیم ممکن است بر روی سطح فلز رسوب کنند که در این حالت یک پوشش محافظ تشکیل میشود. بعضی از یونهای کربنات ممکن است با یون فروس نیز ترکیب شده و تشکیل کربنات فروس بصورت محصول خوردگی بدهند اگر افزایش دما بر روی سطح فلز کسان نباشد. ناحیه گرمتر تا این حد نسبت به ناحیه سردتر اندیک بشود. این حالت ممکن است موجب خوردگی از نوع حفزه ای بشود. روی بطور طبیعی نسبت به فولاد اندیک مییابد و بعضی وقتها بصورت یک آند فلز شونده در حفاظت کاتدی فولاد مورد استفاده قرار میگیرد. این خاصیت ممکن است با افزایش دما تغییر بیابد. در محدوده دمای ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد، روی کاتد میشود و در نتیجه موجب خوردگی فولاد خواهد شد.

تاثير سرعت :

به دليل اثرات مهم و اساسي حرکت آب بر روی سايزفاكتورهاي مرتبط با خوردگی، وضعیت جریان آب بر میزان خوردگی سطح فلزات اثر بسزائی دارد. و در آبهای ساکن یا آبهای با سرعت صفر، میزان خوردگی عمومی، معمولاً " کم است"، اما خوردگی موضعی و حفره‌ای ممکن است رخ بدهد. بطور کلی بعضی حرکتها در یک سیستم خوردنده یکنواختی بیشتری ایجاد مینمایند در نتیجه نوعی خوردگی نسبتاً " ملایمتر در مقایسه، با خوردگی حفره‌ای بوجود می‌آید وضعیت بعضی جریانها و حرکتها نیز وقتی مواد کندکننده خوردگی استفاده میشوند مطلوب و مناسب می‌باشد بدلیل آنکه موجب پراکنندگی موثر مواد کندکننده خوردگی خواهند شد. سرعتهای زیاد ممکن است موجب تلاطم و آشفتگی جریان (TURBULENCE) در نتیجه بوجود آمدن شرایط یکنواختی که امکان ایجاد خوردگی از نوع حفره‌ای را افزایش میدهد گردد. در سرعتهای زیاد فیلم تشکیل شده از محصولات خوردگی ممکن است هم‌انطور که تشکیل میشوند، کنده شوند و نتیجه آن ادامه خوردگی بر روی سطح فلز لخت شده می‌باشد. در سیستم‌هایی شامل نواحی با سرعت زیاد و سرعت کم ممکن است ته‌نشین شدن ذرات جامد معلق یا لجن‌ها در نواحی دارای سرعت کم دیده شود. ته‌نشین شدن لجن‌ها میتواند نفوذ اکسیژن را محدود نماید که در این حالت موجب خوردگی زیرمواد ته‌نشین شده میشود در سیستمهای غازی از اکسیژن، ناحیه‌ایی که جریان دارای بیشترین سرعت می‌باشد نسبت به ناحیه‌ای که جریان کمترین سرعت را دارند، نقش آن‌دیک پیدا کرده و خورده میشود در سیستمی که دارای اکسیژن محلول می‌باشد یک پیل غلظت اکسیژن شکل می‌گیرد و با حیه کم سرعت تر (که اکسیژن کمتری دریافت مینماید) ناحیه آن‌دیک میشود. در سیستم‌های محتوی اکسیژن، که جایگزینی دوباره اکسیژن بر روی سطح فلز ممکن است آهسته‌انجام شود و محصولات خوردگی نسبتاً " متخلخلی تشکیل میشود، میزان خوردگی با افزایش سرعت تا زمانی که میزان تا مین اکسیژن برای تشکیل یک فیلم محافظ از هیدرواکسید فیریک به اندازه کافی باشد افزایش می‌یابد بعد از آن میزان خوردگی کاهش می‌یابد اگر سرعت افزایش بیشتری یابد میزان خوردگی ممکن است بدلیل برداشتن مکانیکی محصولات خوردگی افزایش یا بدسرعت‌های بسیار زیاد ممکن است با تشکیل حباب‌های بخار و تلاشی شدن آنها موجب ایجاد اغتشاش در نواحی کم‌فشار نماید و همچنین میتواند موجب کاتیون‌سایندگی در نواحی با فشار بیشتر گردد. تحت شرایط جریانها تلاطم حملات تادمی (IMPINGEMENT ATTACK) ممکن است رخ دهد. اگر آب ذرات خرد و حبابهای هوا را با خود حمل کند قسمت‌های جلو و انتهای خوردگی از نوع حفره‌ای ممکن

است بدلیل تمام حبابهای هوا از هم فروبریزد ساکنی مکانیکی میتواند بدلیل انتقال آبهای محتوی ذرات معلق شدن یا سایر ذرات در سرعتهای زیاد باشد .  
 تاثیر سرعت در میزان اولیه خوردگی جریان آب بر روی لوله های فولاد توسط

KENDALL و SPELLER مطالعه شده است . بعضی از نتایج این مطالعات در شکل زیر نشان داده شده است .



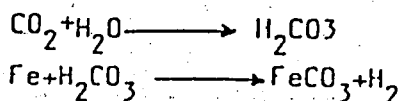
هما نظور که در شکل دیده میشود در ۸۰ درجه فارنهایت میزان خوردگی با افزایش سرعت تا نزدیک مقدار ثابتی افزایش مییابد و بعد از آن تغییر محسوسی با افزایش بیشتر سرعت تا مل نمیشود در دماهای بالاتر با بالا رفتن سرعت میزان خوردگی در لوله های ۱/۴ و ۱/۲ اینچ نیز افزایش مییابد . که نشان دهنده آنست سطح فولاد همیشه نمیتواند با افزایش اکسیژنی که در اختیار آن قرار میگیرد روئین و غیر فعال گردد که ممکن است به شرایط اولیه سطح بستگی داشته باشد . در این شکل همچنین دیده میشود که میزان خوردگی اولیه با لارفتن سرعت در لوله های با قطر کوچک بسیار سریع افزایش مییابد . که احتمالاً ناشی از اثر تلاطم جریان مییابد . این بررسی اثبات میکند که میزان اولیه خوردگی را میتوان در بعضی موارد بسادگی با استفاده از لوله های با اندازه های بزرگتر و برای کاهش اثرات سرعت و تلاطم ، کاهش داد .

## ویژگی های محیط های خورنده در مناطق نفتخیز

### خوردگی در تاسیسات نفت و گاز

#### ۱- خوردگی توسط گاز خورنده دی اکسید کربن $CO_2$

خوردگی شیرین در حضور  $CO_2$  و آب و در جایی که  $H_2S$  وجود نداشته باشد اتفاق می افتد این نوع خوردگی میتواند در خطوط لوله نفت یا گاز رخ بدهد و معمولاً "حفره های عمیقی ایجاد می نماید. بدون آب  $CO_2$  خورنده نمی باشد. این گاز در آب حل شده و اسید کربنیک ایجاد می نماید که موجب کاهش pH - هاش آب که کاملاً "برفسولاد اثر خوردگی دارد، می گردد. مقدار pH - هاش بدست آمده از محلول  $CO_2$  در آب در مقایسه با مقدار pH - هاش حاصل از محلولهای اسیدی بسیار خورنده ترمی باشد. این امر به آن علت است که در مورد اسیدهای قوی مقدار pH - هاش فقط غلظت یون هیدروژن واقعی که با مقدار کل اسید مطابقت می کنند نشان میدهد، اما در اسید کربنیک ضعیف، فقط بخشی از یک مقدار دیه مراتب بزرگتر تجزیه میشود. واکنش اساسی محتمل در این رابطه بصورت زیر می باشد.



هماً منظور که گفته شده اسید کربنیک تشکیل شده به مقدار ناچیز در آب تجزیه پذیر است و وقتی بر آهن اثر می گذارد و نوع محصول خوردگی تشکیل میدهد. بی کربنات (در آب محلول) و کربنات (در آب بسیار کم محلول)، در مواردی به همان اندازه کد فشار دی اکسید کربن در جریان گاز بالا می رود مقدار خوردگی افزایش می یابد. این موضوع به دلیل کاهش pH - هاش محیط، تسهیل فرآیند کاتدی از الکتروشیمی خوردگی اسید کربنیک، پیشرفت دی پلازما یون شیدروژن و نهایتاً "افزایش حلالیت فیلم محافظ و به همان نسبت کاهش رسوب فیلم کربنات از آب می باشد.

خوردگی معمولی سطح بوسیله  $CO_2$  معمولاً به صورت حملات موضعی شدید (PITTING) و یا حملات بر قسمتی از سطح (PARTIAL SURFACE ATTACK) رخ میدهد. حملات خوردگی اغلب به شکلی است که به آن MESA TYPE گفته میشود. در این حالت قسمتی از سطح توسط لایه ایی از کربنات آهن یا MILI SCALE حفاظت میشود و در سایر نواحی که ممکن است این لایه به دلیل اثرات ناشی از خوردگی ماسه و یا توربولانس جریان تشکیل شده باشد، آهن داغمان. در معرض محیط خورنده قرار می گیرد، نواحی خورده شده در بعضی موارد ظاهر متالیک (METALIC APPEARANCE) دارد در حالی که سطح باقیمانده میتواند توسط یک لایه محافظ از کربنات آهن پوشیده شده باشد در حقیقت این حالت، اغلب در جایی که توربولانس ریادی وجود داشته باشد اتفاق می افتد.

در سیستم های گازی شدت خوردگی ناشی از  $CO_2$  به چند فاکتور بستگی دارد، مهمترین آنها، درصد  $CO_2$ ، فشار، دما، سرعت گاز و ترکیبات آب می باشد، با افزایش دما تا 55 درجه کلوین فعالیت خوردگی در سیستم شیرین افزایش می یابد. در دمای بیشتر از آن به دلیل کاهش حلالیت  $CO_2$  در فاز آب خوردگی نیز کاهش می یابد. با افزایش فشار، بیشترین مقدار خوردگی در دمای بالاتر بدست می آید.

سیستم های نفتی به نظری رسد، نسبت آب به نفت یک عامل موثر اولیه و از جمله شرایط مساعد برای بروز این نوع خوردگی می باشد. نسبت نفت - آب را کسبه خوردگی ممکن است در آن شروع شود دقیقاً "نمی توان تعریف نمود ولی تجربیات عملیاتی نشان داده است که وقتی آب بیش از ۵ درصد یا بیشتر باشد ممکن است خوردگی یک مشکل اساسی بشود بطوریکه در این حالت نفت تولیدی نمی تواند دیسک فیلم محافظ روی سطح فلز ایجاد نماید. از طرف دیگر مواردی وجود داشته که به رغم مشاهده آب آزاد نا چیز در جدا کننده ها و وجود مولسیون فشرده با تقریباً "یک درصد آب، مقدار خوردگی اندازه گیری شده در آسبهای بیش آمده بیش از ۴۰۰ هزارم اینچ در سال بوده است.

## ۲- خوردگی توسط مایعات خورنده مخازن نفتی

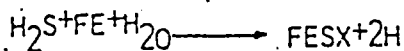
خوردگی میتواند همچنین بدون فشار جزئی قابل توجه  $CO_2$  بوسیله تولید مایعات خورنده مخزن رخ بدهد. آب مخزن میتواند با انحلال مقادیر زیادی  $MgCl_2$  و  $CaCl_2$  در مای مخزن به پ - هاش ۲ یا کمتر برسد همچنین اسیدهای ارگانیک از مواد خارجی مخزن و  $H_2S$  تولید شده توسط میکروارگانیسمها موجود در آب مخزن میتوانند موجب حمله به سطح فولاد گردند.

## ۳- خوردگی توسط گاز خورنده سولفید هیدروژن $H_2S$

این نوع خوردگی فقط در حضور آب و سولفید هیدروژن رخ میدهد و بدون حضور آب شروع نخواهد شد. بیشتر تجهیزات چاهها، خطوط لوله جمع آوری و تجهیزات فرآیندی کارخانجات با آن مواجه می شویم و در خطوط اصلی انتقال گاز و تجهیزات مربوط به آن که حضور پختار آب و سولفید هیدروژن شدیداً کنترل میشود این نوع خوردگی دیده نمیشود. ضایعات ناشی از این نوع خوردگی غالباً "به صورت خوردگی عمومی، خوردگی حفره ای، SCC، HSC دیده میشود که در زیر دو نوع از این نوع ضایعات که میتواند با ضایعات اخیر خوردگی خطوط لوله جریانی چاهها مورد مقایسه قرار گیرد تشریح شده است.

### ۳-۱ خوردگی عمومی

بصورت خلاصه مکانیزم این نوع خوردگی را در واکنش زیر میتوان نشان داد، اگر چه بطور کامل توسط این واکنش توضیح داده نمی شود.



این نوع خوردگی بطوریکه در سراسر سطح فلز در معرض محیط خورنده رخ میدهد. در مواقعی که تولید آب کم باشد خوردگی عمومی کاملاً "ملايم بوده و بدآسانی توسط مواد کندکننده خوردگی کنترل میشود. گفته میشود که سولفید آهن که بصورت یک پودر سیاه یا رسوب تشکیل میشود از حملات بیشتر فلز را محافظت می نماید. به شرط اینکه فیلم سولفید تشکیل شده تداوم داشته باشد.

## ۳-۲ خوردگی از نوع حفره‌ایی

در صورتیکه فیلم سولفید آهن تشکیل شده بر روی سطح فلز ناشی از واکنش بالا، ترک بخورد یا قسمتی از آن برداشته شود، قسمت بدون حفاظت فلز بصورت ناحیه آندیک نسبت به سایر قسمت‌های دارای پوشش خواهد شد. این شرایط آندیک سطح فلز لخت را برای خوردگی شدیدی از نوع حفره‌ای مناسب نماید. به این نوع خوردگی موضعی ناشی از  $H_2S$  (BARNACLE-TYPE) گفته می‌شود که برخلاف نوع خوردگی حفره‌ایی ناشی از  $CO_2$  (MESA-TYPE) و سایر اشکال خوردگیهای موضعی می باشد.

شناخت مباحث تئوری و تجربی خوردگی و روشهای کنترل آن  
در سیستم های تزریق آب

مقدمه :-

در بسیاری از سیستمها خصوصا "سیستمهای آب شورکشف و پدیدار ساختن خوردگی یک مشکل همیشگی است ، غالباً "دیدمیشود که قسمتی از سیستم بخوبی حفاظت میگردد در حالیکه قسمت دیگر مورد حملات خیلی سریع قرار میگیرد . امروزه بمنظور آشکار نمودن و تعیین میزان خوردگی از روشهای گوناگونی استفاده میگردد که به دلیل اشکالات و عیوب اینگونه سیستمها معمولاً "داده های کامل" رضایت بخشی حاصل نمیکردد . در مواردی نیز گفته میشود که اندازه گیری ، مشاهده و کنترل خوردگی (MONITORING) علم دقیقی نبوده و حقایق در لوای استفاده از روشهای موجود کتمان میگردد در این رابطه در مورد چگونگی و زمان اندازه گیری و مشاهده خوردگی نوشته های زیادی وجود دارد معمولاً این تکنیکها میزان خوردگی را خیلی مختصر ، دیر و نقطه با مقادیر نسبی اندازه گیری می کنند . بسیاری از این روشها بر اساس میزان انحلال مساحت فلز بصورت وزنی و سطحی بوده که در بیشتر مواقع به خوردگی عمومی و یکنواخت در فلزات طلاق میگردد ، در حالیکه آن چیزی که در عملیات بهره برداری عملاً "با آن مواجه می شویم این است که فایده های ناشی از خوردگی و پدیده های مربوطه عمدتاً "به دلیل ایجاد شکافها ، حفره ها ، ترکها ، سوراخها و سایر موارد غیر از خوردگی یکنواخت و عمومی میباشدند . از طرفی دیگر بسیاری از این تکنیک ها به سطحی نیاز دارند که قبلاً "بوسیله سنبلاست یا تمیزکاری شیمیائی آماده شده باشند که در این حالت این سطوح نمی توانند نماینده ای واقعی از سطوح در معرض خوردگی سیستمهای در حال بهره برداری باشند .

با این حال ، علیرغم نقایص گفته شده در حال حاضر استفاده از روشها و تکنیکهای اندازه گیری خوردگی بطور وسیع انجام گرفته و در مجموع به کمک سایر اطلاعات جمع آوری شده (آنالیزهای شیمیائی ، بازرسیهای غیر مخرب ، شرایط و روشهای عملیاتی مورد اجرا و ..... ) سعی در تشخیص و آشکار ساختن اثرات خوردگی و کنترل آنها قبل از آنکه فایده های زیان آور به همراه داشته باشند میگردد .

بمنظور اجراء یک برنامه اندازه گیری ، آشکار سازی و کنترل خوردگی درست قبل از انتخاب محل های نصب و اندازه گیری و تکنیکهای مورد استفاده می باید طبقه بندی صحیح از شرایط مختلف با توجه به تغییر خصوصیات و رفتار خوردگی در قسمت های مختلف یک سیستم بعمل آید .

در سیستم جمع آوری ، انتقال و تزریق آب های زائد شرایط خوردگی را با توجه به ترکیبات آب ابتداء به دو صورت کلی زیر می توان طبقه بندی نمود .

الف - سیستم انتقال و تزریق آب رقیق کننده ( آب های شیرین )

ب - سیستم انتقال و تزریق آب زائد ( آب های شور )

ویژگی و رفتار خوردگی مربوط به هر کدام از شرایط فوق در زیر مورد بررسی قرار گرفته است .



در طراحی هر سیستم انتقال آب شیرین، انجام بررسیهای مقدماتی عمده و اساسی و در نظر گرفتن قسمتهائی که متحمل صدمات بیشتر میشوند، به مراتب از اشکالات خوردگی که ممکن است بعداً "پیش آید" مهمتر میباشد. امروزه این موضوع مشخص شده است که تعداد متغیرهای موثر در میزان خوردگی در این سیستم ها زیاد بوده و جریان آب، لوله نیز موجب آمیختگی بیشتر این متغیرها در خطوط لوله میگردد. بعلاوه این مشکل با افزایش شماره متغیرهایی که به دلیل استفاده از وسایل مدرن در کارهای تحقیقاتی و برای بررسی فرآیندهای بنیادی و اساسی آشکار میگردد، پیچیدگشی بیشتری پیدا کرده است.

در ده سال گذشته گزارشات بسیار خوبی از انجام پروژههای تحقیقاتی و مطالعات دقیق تجربی داده شده است و نتایج روشنی نیز از این اقدامات ارائه گردیده است. در این رابطه معمولاً "اطلاعات مفید" یک کار تحقیقاتی در سایر کارهای مشابه مورد استفاده قرار داده میشود، اما از میان محققین افراد خیلی کمی هستند که یافته هایشان را آن طور که بتوان در مهندسی عملی مورد استفاده قرار داد ارائه نموده اند.

نتایج تجربیات خوردگی معمولاً به دو صورت کاهش وزن فلز در واحد مساحت آن در واحد زمان یا یک متوسط نفوذ در کاهش ضخامت در واحد زمان گزارش شده است. در این رابطه معمولاً "رتباط واقعی بین کاهش وزن فلز و عمر مفید لوله مورد سوال بوده و طبقه بندی های تجربی نیز در این مورد ارائه گردیده است.

عمر مفید خطوط لوله

تا کنون طبقه بندی هائی در مورد گنجایش خوردگی آب با توجه به نتایج آزمایشگاهی ارائه گردیده است، در جدول زیر میزان اثر خوردگی آب به عمر مفید خطوط لوله نشان داده شده است. نتایج تجربیات موجود در این جدول میتواند در مورد سایر سیستمهای مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

Table 11 - Corrosion Rate—Useful Life of Pipes

Corrosion classification	Useful life of pipe		Corrosion rate	
	Years	Weight loss mg/sq. dm day	Average penetration in./year	
Very bad	Less than 5	Greater than 100	Greater than .02	
Bad	5 - 10	100 - 50	.02 - .01	
Mild	10 - 20	50 - 25	.01 - .005	
Slight	20 - 40	25 - 10	.005 - .002	
Negligible	Greater than 40	Less than 10	Less than .002	

نتایج دیگری نیز در این رابطه انتشار یافته که میزان خوردگی را بر روی چسبن (CAST-IRON) در آب های مختلف نشان میدهد. بیشترین میزان خوردگی بدست آمده 29.2 میلی گرم در دسیمتر مربع در روز ( $Mg/sq.dm.day$ ) یا 6 هزارم اینچ در سال (MPY) میباشد و متوسط آن در مورد هفده نوع مختلف آب آزمایش شده 3MPY یا 13.5 Mdd بوده است. این محاسبات نشان میدهد که با بیشترین مقدار خوردگی، مدت 25 سال برای خوردگی نصف ضخامت قطر دیوار یک لوله 6" است. بنابراین نیاز میباشد. از آنجا که فشار ترکیدن لوله چدنی به فشار در حال کار آن معمولاً  $\frac{1}{3}$  میباشد چنین گاهی نباید منجر به بروز حادثه در لوله گردد.

در مورد میزان متوسط خوردگی 75 سال نیاز شد تا نصف ضخامت دیوار لوله خورده شود بنا بر این با توجه به زمان بدست آمده در دو حالت، نباید میزان خوردگی ماگزیم را بصورت بیشتر از خوردگی متوسط طبقه بندی نمود.

در سایر موارد، منحنی های رسم شده از نتایج آزمایشات انجام شده بر روی لوله آهنی با قطر  $\frac{3}{4}$ " در محیط شدیداً "خورنده" کاهشی وزن 8/5 گرم بر دسیمتر مربع در مدت 150 روز یا متوسط خوردگی 170 Mdd (30 MPY) را نشان میدهد همچنین نتایج فوق مشخص می نماید که در مدت طولانی تر مقدار خوردگی ثابتی با مقدار کمتر در این سیستم بوجود می آید که اندازه آن 150 Mdd (28 MPY) میباشد محاسبات مشابه نشان میدهد که

در این مقدار خوردگی، کمتر از دو سال زمان نیاز شد تا نصف ضخامت دیوار لوله در سرویس برداشته و کاهشی یابد. این مقدار برای لوله 6" چدنی تنها هفت سال میباشد که در واقع نشان دهنده مقدار خوردگی شدید میباشد.

آزمایشات دیگری در مورد آب مقطر شده محتوی 8.8 ppm اکسیژن محلول و 100 ppm دی اکسید کربن یک میزان نفوذ متوسط در حدود 10.025 اینچ در سال بر روی فولاد نرم (MILD STEEL) را نشان میدهد. معمولاً این نوع فولاد بوسیله خوردگی از نوع حفره ای (PITTING) آسیب می بیند. اما چون فرض میشود که شدت میزان خوردگی معمول در حفره ها به مقدار گفته شده در بالا رخ نمی دهد، بنا بر این مقدار خوردگی در دیوار فولاد لوله  $\frac{3}{16}$ " در مدت تقریباً 7.5 سال میتواند نفوذ کند. که مقدار خوردگی بسیار شدیدی میباشد.

در تمام طراحی های مهندسی یک فاکتور ایمنی در مقاومت فلزات ضمن ساخت در نظر گرفته میشود ولی با توجه به موارد گفته شده به مهندسی خوردگی حقوق داده میشود که قبلاً "ملاحظات و پیش بینی هائی در ارزیابی خودشان از شرایط خوردگی آب مورد نظر داشته باشند. بنا بر این نتایج جدول طبقه بندی خوردگی به عنوان طبقه بندی مناسب میتواند استفاده قرار گیرد.

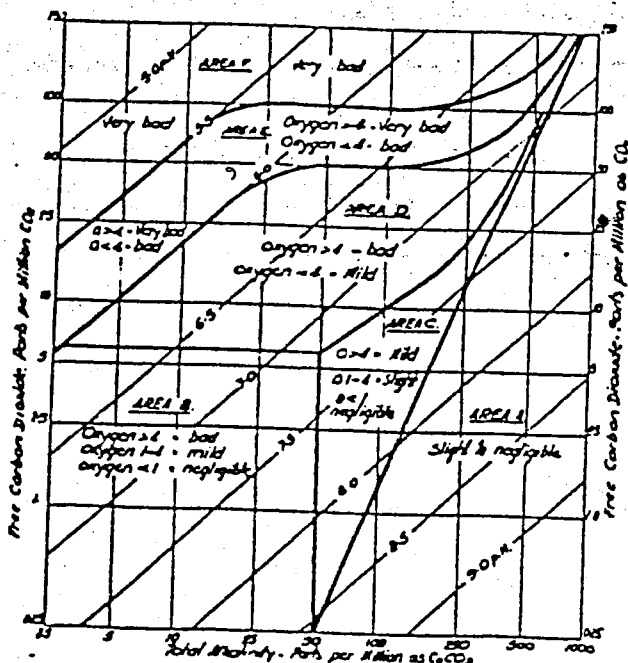
اندازه‌گیری محصولات خوردگی در آب بر روی نمونه‌های خورده شده از روشهایی است که گاهی اوقات در گزارش نتایج تجریمی خوردگی از آنها استفاده می‌گردد. در مورد لوله‌های از جنس آهن، یون آهنی که به داخل محلول بصورت قسمتی از واکنش خوردگی وارد می‌شود معمولاً می‌توانند دوباره رسوب نمایند. بطوریکه این متد نمی‌تواند جهت تعیین میزان خوردگی آهن مورد استفاده قرار گیرد. اما در برآورد کاهش مس در لوله‌های مسی یا روی در لوله‌های گالوانیزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی بطور کلی در مورد رابطه ترکیبات شیمیایی آب با خوردگی با توجه به مقالات و تحقیقات معتبر بصورت زیر اظہار نظر گردیده است.

بنا توجه به تجربیات موجود کاملاً مشخص است که نمی‌توان ترکیبات شیمیایی معین و معتبر آب را با خوردگی خصوصاً خوردگی آهن مرتبط ساخت و برای این کار به تحقیقات تجربی و تئوری زیادی در مورد واکنشهای اصولی و بنیادی مربوطه نیاز می‌باشد. لذا در عملیات مربوط به سیستم‌های آبی می‌بایست بیشتر بر پارامترهای تجربی بدست آمده از خواص و خصوصیات ویژه خوردگی آب تاکید گردد. و برنا مه کنترل خوردگی آب باید بیشتر از روابط تئوری کلی و ساده شده بر اساس ارزیابیهای تجربی معتبر و قابل اطمینان طرح ریزی گردد. در بررسی و ارزیابیهای خوردگی سیستم‌های آبی و مراحل ابتدایی در طراحی اینگونه سیستم یک ارزیابی از طبیعت خوردگی آب بسیار مهم می‌باشد. چنین ارزیابی‌هایی بر اساس قوانین خوردگی و ملاحظات تجربی و عملی رفتار خوردنده آب بر قلز را از آن گردیده است.

### نمودار سنجش خوردگی

۱-۴

سه فاکتور با بیشترین تاثیر بر خوردگی آب به ترتیب اهمیت، اکسیژن، تشکیل فیلم رسوب و PH شناخته شده است. این سه فاکتور در تعیین محدوده چندین نواحی خوردگی آب استفاده شده است که در نمودار سنجش خوردگی آهن و فولاد نشان داده شده است. محدوده‌ها مقادیر انتخاب شده در این نمودار بر اساس تئوریهای عمومی موجود و اطلاعات عملی می‌باشد. دلایل انتخاب هر ناحیه نشان داده شده در این نمودار بصورت زیر مورد نظر می‌باشد.



ناحیه A - در این ناحیه درست راست خط اشباع، آب اشباع شده و قابلیت تشکیل فیلم را خواهد داشت و بنا بر این غیرخورنده میباشد. بنا بر این خط اشباع محدوده آب غیرخورنده را تعیین می نماید.

ناحیه B - تمام آب های که در داخل این ناحیه قرار می گیرد. دارای مقدار TDS پائینی خواهند بود و غلظت کلسیم آنها کم میباشد. آب های این ناحیه در رابطه با کربنات کلسیم فقط در مقدار PH بالا در حضور کربنات آلکالینیتی اشباع میشوند بنا بر این تشکیل فیلم رسوب برای این آبها بطور ذاتی غیر ممکن است در این حالت تمام دی اکسید کربن آزاد میتواند در واکنشهای خوردگی شرکت نماید ولی تراکم وندت خیلی کم و یا ناچیزی دارند. تنها فاکتوری که باقی می ماند غلظت اکسیژن محلول است چنانکه خوردگی توسط آبها در این ناحیه با کنترل غلظت اکسیژن آن کنترل خواهد شد. بررسیهای انجام شده در این مورد نشان میدهد که خوردگی توسط اکسیژن بطور تقریبی متناسب با غلظت اکسیژن میباشد. آبها در این ناحیه به ۳ گروه مطابق غلظت اکسیژن محلولشان تقسیم میکنند. غلظت اکسیژن کمتر از یک قسمت در میلیون (ppm) خوردگی ناچیز غلظت اکسیژن بین یک تا ۴ قسمت در میلیون (ppm) خوردگی متوسط. غلظت اکسیژن بیش از ۴ قسمت در میلیون (ppm) خوردگی شدید.

این ناحیه به ما کزیم دی اکسید کربن تقریباً ۶ قسمت در میلیون محدود میگردد. بررسیها نشان میدهد که برای آبهای سبک (SOFT WATER) خوردگی در پ - هاش ثابت است باقی می ماند، این دو پارامتر (PH و CO<sub>2</sub>) مطابق با یک مقدار آلکالینیتی معادل ۲/۵ قسمت در میلیون میباشد. آبهای با مقدار آلکالینیتی کمتر از ۲/۵ قسمت در میلیون مقدار پ - هاش کمتری خواهند داشت. اگرچه این حالت میزان خوردگی را افزایش میدهد ولی مقدار خوردگی کلی هنوز با مقدار حضور اکسیژن کنترل میشود. حداقلی مقدار آلکالینیتی در این ناحیه در ۵۰ قسمت در میلیون نشان داده شده است که کمترین مقدار آلکالینیتی برای ناحیه C میباشد.

ناحیه C - ملاحظه میشود که آب با مقدار آلکالینیتی بیشتر از ۵ قسمت در میلیون دارای بعضی ظرفیت های تشکیل فیلم ناشی از غلظت های بیشتر کلسیم و پ. هاش پائین تر از ۸ میباشد. غلظت دی اکسید کربن به مقدار ۱۰ قسمت در میلیون محدود میگردد. بطوریکه خوردگی اغلب بطور کامل بوسیله غلظت اکسیژن کنترل میشود. هر چند به دلیل ظرفیت تشکیل فیلم رسوب و مقادیر پ. هاش بالاتر، خوردگی آب در این ناحیه می بایست کمتر از ناحیه B باشد ولی آب را مجدداً در این ناحیه میتوان به سه گروه بر اساس غلظت اکسیژن تقسیم نمود.

ب - غلظت اکسیژن کمتر از ۴ قسمت در میلیون خوردگی ناچیز

- غلظت اکسیژن بین ۴ تا ۸ قسمت در میلیون خوردگی کم.

- غلظت اکسیژن بیشتر از ۸ قسمت در میلیون خوردگی متوسط.

ناحیه D - آبهای سبک در این ناحیه در محدوده پ. هاش بیشتر از ۶ قرار می گیرند. برای آبهای با مقدار آلکالینیتی بیشتر این ناحیه به دی اکسید کربن کمتر از ۵ محدود میگردد. بدلیل غلظت های بیشتری اکسید کربن در این ناحیه خوردگی توسط دی اکسید کربن بخش قابل ملاحظه ایی از کل خوردگی ناشی از ترکیب غلظت اکسیژن و دی اکسید کربن را در بر می گیرد.

برای آبهای با مقدار آلکالینیتی کم در این ناحیه مشابه ناحیه B، خوردگی توسط غلظت اکسیژن کنترل میگردد، اما به دلیل غلظت بیشتری اکسید کربن خوردگی هرگز در این ناحیه ناچیز نمی گردد، در مورد آبهای با مقدار آلکالینیتی بیشتر خوردگی توسط ترکیب اکسیژن و دی اکسید کربن میباشد بیشتر از اکسیژن به تنهایی باشد. هر چند ملاحظه شده است که اگر دی اکسید کربن با شرکت در واکنش خوردگی تا نقطه تشکیل فیلم برداشت شود قبل از اینکه تمام اکسیژن های موجود مصرف شود خوردگی متوقف میشود و اکسیژن باقیمانده واکنشی نخواهد داشت. آبهای ناحیه D به دو گروه زیر طبقه بندی میشوند.

- غلظت اکسیژن کمتر از ۴ قسمت در میلیون خوردگی متوسط.

- غلظت اکسیژن بیشتر از ۴ قسمت در میلیون خوردگی بسد.

ناحیه E - این ناحیه مشابه ناحیه D بوده و توسط مقدار پ-هاش 5/5 برای آبهای کم نمک و مقدار دی اکسید کربن 100 قسمت در میلیون برای آبهای با نمک محلول بیشتر محدود میشود. به دلیل پ-هاش پایین و افزایش غلظت دی اکسید کربن خوردگی توسط آب در این ناحیه شدت خیلی بیشتری دارد. در این ناحیه دو طبقه بندی وجود دارد.

- غلظت اکسیژن کمتر از 4 قسمت در میلیون خوردگی بد

- غلظت اکسیژن بیشتر از 4 قسمت در میلیون خوردگی بسیار بد.

ناحیه F - اندازه پ-هاش خیلی پایین و دی اکسید کربن زیاد میباشد، تمام آبها در این ناحیه بسیار خورنده میباشد.

## ۲- خوردگی آبهای شور

مهمترین مشکلات خوردگی در سیستم های نفتی نه به دلیل مواد ارگانیک تشکیل دهنده نفت بلکه ناشی از مواد غیر ارگانیک شامل آب، دی اکسید کربن، سولفید تیدروژن، اکسیژن و سدیم کلراید میباشد. بطور کلی عوامل خورنده ممکن است به دو گروه کلی زیر در این سیستم ها تقسیم شوند.

- گروهی که در خوراک ورودی یا نفت خام وجود دارند.

- گروهی که در راه بطنه با فرآیند بوده و از خارج به سیستم وارد میگردد.

آب معمولاً در نفت خام وجود دارد و خارج نمودن کامل آن مشکل است. آب بصورت یک الکترولیت عمل می نماید و موجبات خوردگی میگردد. همچنین تمایل دارد سایر مواد خصوصاً کلراید ها را هیدرولیز نماید و بنا بر این یک محیط اسیدی را شکل میدهد. دی اکسید کربن در سالهای اخیر بصورت یکی از مهمترین عوامل خورنده تشخیص داده شده است، خصوصاً در عملیاتی که گاز زیک خوراک ورودی یا ماده خالص است، خیلی از جاهای تولیدی گاز، مقادیر زیادی دی اکسید کربن به همراه دارند.

خطر عمده در سیستمهای نفتی و آب شور همراه در این است که ممکن است مواد خارجی به سیستم بهره برداری داخل شوند و لذا زلحاظ خوردگی، مهمترین این مواد اکسیژن میباشد. اکسیژن حتی در غلظت های کم یک عامل خورنده است، اکسیژن در مراحل اولیه تولید (جاهای تولیدی) و زیر صدها متری سطح زمین به ندرت وجود دارد، اکسیژن با هوای در طی مدت خارج از سرویس بودن مخازن یا سایر وسایل، (SHUTDOWN) یا در موقع خالی شدن آنها و همچنین توسط پمپ ها به داخل سیستم کشیده میشوند. اکسیژن میتواند همچنین بصورت نتیجه واکنش با پیر ترکیبات، از قبیل آب بادی اکسید کربن حضور داشته باشد، خوردگی اکسیژن را توسط مواد کندکننده خوردگی که معمولاً در این قسمتها استفاده میشوند می توان کنترل نمود.

محیط های آبی محلول کلراید شدیداً خورنده هستند ولی در حالتی که پ-هاش آب طبیعی یا قلیایی باشد، انتخاب کربن استیل ممکن است مناسب باشد. آب نمکی

که از نفت تولید میشود حاوی کلسیم کلرید، منیزیم کلراید و سدیم کلراید میباشد. در مورد کلرایدهای با فلز قلیایی، اثرات خوردگی با افزایش  $K, Na, Li$  افزایش می یابد. این افزایش برای کلرایدهای قلیایی خاکی از قبیل  $CaCl_2$  و  $SrCl_2$  نسبتاً کمتر میباشد. کلرایدهای اسیدی و اکسیدکننده از قبیل کلراید فریک و من، بطور ویژه ای زورنده هستند و به فولاد در مقادیر بالاتر از  $50 \text{ mils/yr}$  در دمای معمولی حمله میکنند. از هپوکلرایدهای اکسیدکننده قلیایی نیز محیط های بسیار خورنده ای ایجاد میگردد، در این مورد به کلرورسدیم ( $NaCl$ ) نیز توجه مخصوصی میشود. میزان خوردگی با افزایش مقدار نمک تا ۳٪ کلرورسدیم افزایش یافته و بعد بطور خطی تا رسیدن به حالت اشباع (۲۶٪ کلرورسدیم در دمای اطاق) کاهش می یابد. آب شور اشباع شده از آب تقطیر شده خوردگی کمتری دارد، خوردگی کمتر در این حالت به دلیل کاهش حلالیت اکسیژن محلول میباشد. خوردگی آب دریا محتوی  $3/4\%$  کلرورسدیم در پ - هاش ۸ به فولاد تقریباً  $16 \text{ mils/yr}$  (یک هزارم اینچ در سال) میباشد و بالای ۵۰ درجه سانتیگراد این مقدار به بیش از  $50 \text{ mils/yr}$  (یک هزارم اینچ در سال) افزایش میابد همچنین بر خورد و توربولانس در جریان این مقدار را افزایش میدهد. در هر محلول آبی، میزان خوردگی به فولاد با افزایش اسیدیته، دما، اکسیژن محلول و سرعت محلول افزایش می یابد.

#### مشکل خوردگی در سیستمهای آب تزریقی

۲-۱

فرآیند سیستم آب تزریقی شامل مراحل زیر میباشد:-

۱- منابع تولید آب

۲- واحد تصفیه آب، لزوماً "بمنظور جلوگیری از خوردگی یا بهبود کیفیت آب"

۳- بالابردن فشار برای تزریق در سا زند، استفاده از پمپهای سانتریفیوژ یا رقت و برگشت مثبت.

۴- حرکت آب فشار بالا به طرف چاه های تزریقی و وسایل سرچاه

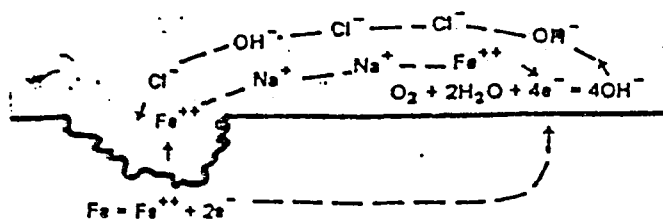
۵- لوله مغزی چاه به طرف سا زند

هزینه ناشی از آسیبهای خوردگی در تعمیرات و کاهش تولید میتواند قابل ملاحظه باشد. خوردگی که در اینگونه سیستمها با آن مواجه می شویم ابتدا ناشی از آلودگی به اکسیژن یا اسیدیته آب میباشد. اکسیژن موجب خوردگی از نوع حفراهی می گردد در حالی که نتیجه خوردگی ناشی از اسیدیته، حملات عمومی و خوردگی یکنواخت میباشد. اکسیژن ممکن است همراه آبهای در تماس با اتمسفر مانند رودخانهها، دریاچه ها یا آب دریا حتی چاههای با عمق کم باشد یا ممکن است از طریق هواکشهای تانکهای ذخیره، شفتها یا ورودی پمپها یا حتی از طریق فیلترهای هوایی دارای جدا رسیلیسی

به داخل سیستم نفوذ نماید. وقتی آب سازند آب همراه نفت برای تزریق استفاده میشود اسیدی شدن آب بسیار محتمل میباشد و عموماً "بوسيله باقیمانده گازهای استیدی (دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن) ایجاد میگردد. این حالت همچنین ممکن است در بعضی مواقع بوسيله اسیدهای ارگانیک بسا وزن مولکولی کم ایجاد گردد. اگر آب های محتوی مقادیر قابل ملاحظه از مواد محلول از طریق لوله های بدون پوشش، عبور داده میشود در این حالت می بایست اکسیژن محلول خارج گردد. مواد کندکننده غیر ارگانیک که در آب های هوا زدائی شده برج های خنک کننده و رادیاتورها استفاده میشوند معمولاً برای آبهای تزریقی بسیار رگران تمام میشوند. همچنین غلظتهای کافی مواد کندکننده نوع آمینی برای جلوگیری از میزان خوردگی بسیار رگران تمام میشود. استفاده از مواد کندکننده خوردگی توسعه یافته مخصوص کنترل خوردگی اکسیژن، حفاظت سطوح داخلی لوله های فولادی با پوششهای ارگانیک یا سیمانی و یا جایگزینی آلیاژهای مقاوم تر از فولاد یا استفاده از لوله های غیر فلزی از راههای دیگری است که بعنوان راههای بعدی در مقابل روش حذف اکسیژن وجود دارد. خوردگی اسید، معمولاً توسط مواد کندکننده خوردگی از نوع فیلم آمینی یا آمیدازولین کنترل میشود و انواع محلول در آب یا پراکنده در آب از این مواد مورد استفاده قرار میگیرد.

#### مبنای خوردگی و کنترل آن در سیستم های آب زائد

اساساً تمام مشکلات خوردگی که در اینگونه سیستمها با آن مواجه میشویم، طبیعت الکتروشیمی دارند، یک جریان الکتریکی هم می بایست قبل از خوردگی الکتروشیمیایی برقرار گردد. این حالت موجب ایجاد یک پیل خوردگی با دو محل برای واکنشهای الکتروشیمیایی میگردد، سطح فلز و جایی که خوردگی ممکن است کاهش یابد، این دو محل می بایست بطور الکتریکی هم توسط هدایت یونی وهم هدایت الکتریکی با یکدیگر تماس داشته باشند.





در یک قسمت ها دی الکتریکی الکترونهاى آزاد شده در واکنش انحلال آنديک را به طرف سطح انتقال ميدهد و در جای ديگر اين الکترونها در کاهش خوردگی مورد مصرف قرار می گیرند. در اينجا، اکسيژن در یک محلول نمک، محلول شده است. هدايت يونی در اين الکترووليت مدار الکتريکی را کاملاً می نمايد. طبيعت اين مدار الکتروشيميايی شامل زنجيری از حوادث و وقایع ميباشد و برای اينکه یکی از آنها به وقوع بپيوندد وقایع تمام زنجير می بایست انجام پذيرد. اين وضعیت معمولاً "موجب ايجاد انعطاف در استفاده از مواد کندکننده خوردگی ميگردد. وقتی هر مرحله از واکنش زنجيری متوقف ميشود يا بطور موثری کاهش می يابد. تمام واکنش خوردگی آهسته يا متوقف ميگردد. بنا بر اين وقتی مشکل خوردگی بوجود می آيد مراحل مقدمايی را بايد مجدداً "به خاطر آورد، دو واکنش الکتروشيميايی ( آنديک و کاتديک ) و دو فرآيند هدايت ( يونی و الکترونيک )، هر یک از چهار مرحله ميتواند کنترل شود. معمولاً "دانستن اينکه تحت شرايط خاص محيط هاى خوردنده کدام یک از اين مراحل برای کنترل مناسب هستند و بعد از آن کنترل قسمت هاى آسیب پذير به کمک کندکننده ها و اندازه گيری میزان اين کنترل در هر مرحله از آسیب هاى پيش آمده از مسائل و مشکلات موجود در اين رابطه هستند.

اولين و مهمترين مرحله در جستجوی راههاى مناسب کنترل خوردگی اين است که مشخص گردد چه چیزی عامل خوردنده ميباشد. با توجه به اين حقيقت که نقطه دو عامل خوردنده موجب تقريباً "تمام آسیب هاى ناشی از خوردگی در سيستمهاى آب زائده ميباشند اين کار را اغلب ميتوانند موجب خنثی سازی اثرات تخريبيی ناشی از اين عوامل کرده. در اين سيستم ها دانستن اينکه آیا موجب خوردگی اکسيژن است يا عامل اسيديتيه بسيار اساسی و مهم ميباشد. بدليل مشخصه هاى ویژه خوردگی هر یک از اين دو عامل، تکنیک هاى متفاوتی برای کنترل خوردگی هر کدام مناسب ميباشد. گاهی اوقات هر دو عامل خوردنده حضور دارند که در اين حالت اندازه گيری از ترکيبات مربوط به هر دو عامل موردنيازميباشد. بطور خلاصه، در رابطه با اينگونه سيستم ها، راههاى عمومي آشکار نمودن عوامل خوردنده می بایست مورد بررسي قرار گيرد. در ابتداء لازم است پ- هاش فازهاى آبی اندازه گيری شود، اگر پ- هاش ۶ يا بالاتر ميباشد احتمال کمی وجود دارد که نوع خوردگی اسيدی وجود داشته باشد. هر چند در اين قسمت بايد در مقابل امکان انحراف و خطای ناشی از نمونه هاى غير واقعی از سيستم ها، مراقبت کافی بعمل آيد. از بين رفتن و خارج شدن گازهاى اسيدی از محلول ميتواند به آسانی مقدار پ- هاش

اندازه گیری شده را تا میزان چندین واحد افزایش دهد. این حالت در مورد نمونه ای که بعد از قرار دادن در شرایط محیطی مورد آزمایش قرار میگیرد میتواند موجب آن شود که پ-هاشیک محیط فشار بالای اسیدی را نزدیک خنثی نشان بدهد. همچنین در جایی که با قیما نده قابل ملاحظه ای از بی کربنات یا سولفید یافت میشود، حضوری اکسید کربن یا سولفید هیدروژن میتواند شک برانگیز باشد. اگر احتمال خوردگی اسیدی بر طرف گردید، عا مــــل اکسیژن مطنون اولیه خواهد شد. این موضوع بوسیله آنالیزها، اندازه گیری مقدار اکسیژن محلول در آب با استفاده از پروبهای مخصوص و آزمایش قسمتهای مختلف برای بررسی احتمال نفوذ اکسیژن از طریق آنها، تأیید میگردد.

#### ۲-۲-۱ واکنشهای کاتدیک

در بیشتر تخریب های ناشی از خوردگی در سیستمهای تزریق آب، کنترل کاهش فلز یا از دست رفتن آن (که ناشی از واکنشهای آندیک میباشد) لااقل تا درجاتی توسط کنترل واکنشهای کاتدیک انجام میشود. وقتی که کربن استیل بوسیله اسید ضعیفی مورد حمله قرار میگیرد مواد کندانکننده خوردگی از نوع تشکیل دهنده فیلم نسوع آمین، بر روی هر دو واکنشهای کاتدیک و آندیک اثر خواهند نمود. تنها مورد دیگر که در این مواقع به جای آمینها مورد استفاده قرار میگیرد پوششها (که ممکن است غیر قابل اطمینان باشند) یا آلیاژهای گران قیمت به جای فولاد هستند. وقتی اکسیژن از نسوا مل حمله کننده باشد کنترل کاتدی توسط خارج نمودن اکسیژن از تکنیک هایی است که به میزان وسیعی از آن استفاده میشود. در این شرایط استفاده از پوششها و آلیاژها نیز بعنوان راههای دیگر میباشد.

#### ۲-۲-۲ خوردگی اسید

وقتی اسیدهای رقیق یا ضعیف (که به ندرت پ-هاش بین ۳ یا ۴ بوجود می آورند) موجب خوردگی میشوند. خنثی سازی بدیهی ترین و بعضی وقتها ساده ترین راه میباشد. در این حالت مقادیر استوکیومتریک کاتدیک و آمونیاک یا دیگر مواد مشابه مورد نیاز میباشد. در آبهای که با فرهای خوبی هستند ممکن است نسبت به انجام عملیات خنثی سازی و تنظیم پ-هاش از نظر ملاحظات اقتصادی جلوگیری شود. بعلاوه بمنظور جلوگیری از ته نشینی املاح محلول و تشکیل رسوب یا سایر اثرات تنظیم پ-هاش ممکن

است پسندیده نباشد در این مواقع استفاده از مواد کندکننده خوردگی یکی از محتمل ترین راه حل ها است .

جلوگیری از انجام دو مرحله واکنش جذب یون هیدروژن و واکنشهای دریا فت الکترود ، مهمترین قسمت جهت کند کردن واکنشهای خوردگی هستند . از آنجا که یون هیدروژن با جذب سطح فلز شروع شده قبل از آنکه واکنش کاتدی بتواند رخ دهد ، موادی که بطور موثری قابلیت جذب روی سطح را دارند میتوانند یونهای هیدروژن را محاصره نموده و بنا بر این مانع انجام واکنش آنها شوند .

زنجیرهای بزرگ آمینها و ترکیبات مشابه ، میتوانند اثر قابل ملاحظه توجیهی روی میزان خوردگی به دلیل قابلیت های آنها در اشغال موضعی روی سطح داشته باشند . موادی شامل ترکیبات آرسنیک مانند آرسنیت سدیم در واکنش دریا فت الکترود بکار برده میشوند . تحت شرایط اسیدی خیلی شدید ، عنصر آرسنیک که یک شکل فرعی غیر موثرکننده واکنش دریا فت الکترود میباشد میتواند بصورت روکشی روی سطح فلز قرار گرفته و واکنش را به میزان چندین برابر آهسته نماید . این روش به ندرت در سیستم تزریق آب استفاده میشود . خطوط لوله با پوشش داخلی پلاستیکی شق دیگری از کنترل کاتدی در این سیستمهاست . این روش اگر در سرتا سر طول پوشش بصورت کامل اعمال گردیده و متدهای انجام این کار در محصل اتصالات بطور کامل و رضایت بخش صورت پذیرفته باشد می تواند موثر باشد . در عمل این کار یعنی پوشش دادن کامل به وسیله در لوله های تزریقی چاهها بسیار مشکل است و زمانی که وسایل بررسی چاهها به داخل لوله فرستاده میشود پوشش اعمال شده ممکن است آسیب دیده و فلز سخت در معرض محیط قرار گرفته که میتواند به سرعت مورد حمله واقع گردد .

### خوردگی اکسیژن

۲-۲-۳

با این نوع خوردگی در انتقال آبهای محتوی اکسیژن در سیستمهای تزریق آب مواجه می شویم . مهمترین روشهای کنترل آن شامل بعضی اشکال کنترل کاتدیک میباشد ، بکارگیری تکنیکهای کنترل آندیک در این رابطه نیز مهم هستند که بعداً جزئیات بیشتر آن بیان خواهد شد .

معمولاً وقتی کربن استیل و یا فولادهای کم آلیاژ در معرض آبهای طبیعی اکسیژن دار قرار میگیرند ، میزان خوردگی به میزان واکنش کاتدیک و احیا اکسیژن منحصر میگردد . بعلاوه در بیشتر

شرایط عملی، سرعت احیاء اکسیژن به سرعت وارد شدن مولکول اکسیژن در مرز بین کا تده الکتروولیت (سطح فلز) بستگی دارد. این بدین معنی است که سرعت خوردگی به انتقال جرم محدود میگردد و هر عامل موثری در انتقال اکسیژن به سیستم در سرعت خوردگی موثر میگردد. از این رو تغییر در سرعت جریان و غلظت اکسیژن به دلیل آنکه هر دو موثر در سرعت انتقال جرم اکسیژن میباشد در سرعت خوردگی اثر می گذارند. از سوی دیگر، آمینهای تشکیل دهنده فیلم که در غلظت های معمولی استفاده میشوند بر روی کنترل خوردگی اکسیژن اثر کمی دارند، این به دلیل آن است که جذب و مراحل تغییر الکترون در خوردگی اکسیژن سریع بوده و ایجاد مولکولی فیلم تشکیل شده اش قابل توجهی در انتقال جرم مولکول اکسیژن ندارند. روش استفاده از فیلم های ضخیم با آمینها میکروسکوپی که در این رابطه تولید میشوند با افزایش بیش از حد محدوده حلالیت ماده کند کننده میتواند کاهش قابل ملاحظه ای در خوردگی اکسیژن ایجاد نماید ولی معمولاً غلظت مورد نیاز در عمل در مورد این روش غیر ممکن است.

اکسیژن زدا اصطلاحی است که در مورد برداشت اکسیژن توسط واکنش شیمیائی مورد استفاده قرار می گیرد. زدایش موجب کاهش غلظت اکسیژن تا محدوده قسمت در نیلیون میگردد، مقداری که (به جز موارد استثنائی) در محدوده عملی عوامل مشکل زای خوردگی ناچیز میباشد. تنها از سه نوع واکنش کننده مختلف با گستردگی کافی برای زدایش اکسیژن استفاده میشود.

۱- یون سولفیت

۲- هیدرازین

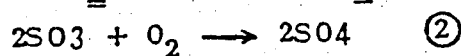
۳- هیدروسولفید سدیم (دای تیونیت)

در واکنشهای تمام این زدایش کننده های اکسیژن یک مکانیسم زنجیری را دیگال آزاد بطور اجتناب ناپذیر وارد میگردد و گامی مرحله اول را شکل میدهد. در این مواقع معمولاً لازم است توسط اضافه نمودن یک کاتالیزت یون فلزی انتقالی با غلظت هایی در مقادیر قسمت در نیلیون تماس لازم جهت انجام کامل واکنش زدایش اکسیژن ایجاد گردد.

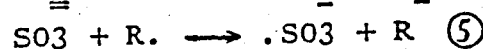
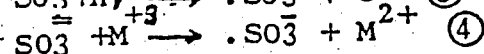
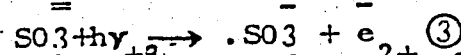
محدوده گسترده اثرات متغیرها در سرعت اکسیژن زداها را پارامترهای مهم در طراحی سیستم های تزریق آب میباشد.

خوشبختانه وقتی سولفیت ، مهمترین عامل زدایش مورد استفاده معمول ، همراه با یک دهم قسمت در میلیون کبالت استفاده میشود ، معمولاً یک محاسبه استوکیومتریکی اضافی تری دردمای محیط در برداشت کامل اکسیژن در دقیقه موثر میباشد در هر حال وقتی تعیین جنین مقادیر نتیجه رضایت بخش و موفقیت آمیزی به همراه نداشته باشد ، بررسی مکانیزم اکسیژن زدهاها و اثرات متغیرها در این باره علت مشکل را مشخص می نماید . دانستن پیچیدگیهای ممکن که میتواند موجب ناکافی بودن مقدار اکسیژن زده گردد ، در ارزیابی نیاز به واکنش شروع کننده بسیار اهمیت دارد . این موضوع ابتدا در مورد واکنش اکسیژن - سولفیت به دلیل آنکه بطور گسترده ای کاربرد دارد ، بحث خواهد شد .

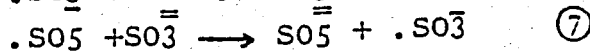
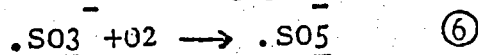
بصورت نمایی ، واکنش کلی برای زدایش اکسیژن توسط سولفیت بصورت زیر نوشته میشود .



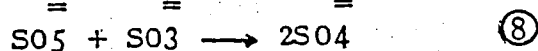
هنگام انجام واکنش از دید قابل ملاحظه ای دردمای محیط ایجاد نمی شود . این واکنش ، ترجیحاً "می بایست توسط یکی از مراحل زیر آغاز شود .



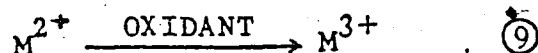
در اینجا M یک اتم فلز و R یک رادیکال ارگانیک میباشد . ادامه واکنشها در مراحل بعد بصورت زیر میباشد .



در این حالت سولفات توسط واکنش زیر شکل میگیرد .

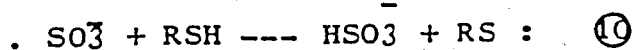


بعضی مراحل از قبیل واکنش زیر برای احیا کاتالیست مورد نیاز میباشد . این در صورتی است که مرحله چهارم را شروع استفاده شود .



در عمل بیشترین مشکلات در مورد مقدار زدایش کم اکسیژن در مراحل شروع وجود دارد به همین دلیل معمولاً یک کاتالیست یون فلز در واکنش چهارم کاربرد میشود ، بنا بر این حال ، در اینجا نیز عدم انتقال تمام یونهای فلز بطور کامل موثر و همچنین امکان اثرات گوناگون ناشی از پاشی یونهای مختلف همیشه وجود دارد . معمولاً در این رابطه دو عامل متداولتر از سایر عوامل موجب عدم فعالیت کاتالیستها می گردند ، یکی وجود رسوبات

غیر محلول جامد ناشی از حضور سولفید در آب و دیگری به دلیل تشکیل کمپلکس با عواملی از قبیل EDTA (این مشکل دوم، در جایی که به بخار یا آب گرم نیاز باشد) EDTA بمنظور برداشتن باقیمانده سختی اضافه شده باشد میتواند پیش آید) احتمال بعدی مشکلی است که میتواند از حضور ناخالصی‌های قابل اکسید شدن موجود در آب ایجاد شود چنین موادی مانند الکل‌ها، فنل‌ها و آمین‌ها می‌توانند تمامی واکنشها را با انهدام رادیکال‌های آزاد واکنش‌کننده موثر موردنظر در رشد زنجیره درگیر در زایش اکسیژن آهسته نمایند. واکنشهای جانبی ناشی از حضور مرکاپتانها نیز بصورت زیر ایجاد میگردد. هیدروژن جدا شده از عامل مرکاپتان موجب تخریب یون فعال رادیکال مطابق واکنش زیر میگردد.



در این حالت، دورادیکال مرکاپتان میتواند توسط مولکول دی سولفید به دو جزء تبدیل شده و زنجیره واکنش با انجام واکنش زیر ادامه یافته و پیشرفت می‌نماید.



ماده‌کننده خورده‌گی نیز میتواند با سرعت زایش اکسیژن هم بصورت واکنش ۱۰ یا توسط کمپلکس با کاتالیست تداخل ایجاد نماید.

#### ۴-۲-۲-۲ ممانعت از خوردگی اکسیژن

ممانعت از خوردگی اکسیژن با ممانعت از خوردگی اسید متفوت است این تفاوت به ممانعتی اساسی ناشی از عمل هر کدام از آنها ناشی میشود. با توجه به اختلاف در عوامل واکنش‌کننده این دو روش، (یکی مولکول خنثی و دیگری یون میباید) پتانسیل رد اکس آنها (اکسیژن یک عامل اکسیدکننده قوی است) سرعت مراحل انتقال جرم در مقابل جذب یا تغییرات الکترون و اختلاف در حلالیت محصولات خوردگی، این موضوع جای تعجب نداشته و کاملاً روشن میباید. بکارگیری ترم ممانعت‌کننده خوردگی که معمولاً "به هر دو نوع خوردگی اطلاق میگردد" نباید این تصور غلط را پیش آورد که روشی که برای استفاده در مورد یکی خوب است برای دیگری مناسب و قابل استفاده میباید. ممانعت‌کننده‌های موثر خوردگی اکسیژن معمولاً "ممانعت‌کننده‌های پایوکسیدکننده مانند کرومات‌ها یا نیتريت‌ها (بیشتر ممانعت‌کننده‌های آندیک) یا مواد غیر ارگانیک تشکیل‌دهنده مانع، مانند کلسیم بعلوه بی‌کربنات‌ها، ترکیب نمک روی، فسفات و یا سیلیکات‌ها میباشند هر چند که استفاده از این مواد همیشه موفق‌آمیز نمیباشد. غلظت‌های مورد نیاز برای

ممانعت کننده های پاسیو، خصوصا "در حضور مقدار قابل توجهی یون کلراید، در یکبار مصرف این مواد در کل سیستم با زدا رندگی را ایجاد می نماید. روش کنترل رسوب در جایی که رسوب کربنات کلسیم در نواحی آلکالینیتی ترکا تودیک تشکیل میشود فقط در آبهای آشا میدنی قابل استفاده میباشد و این نوع آبها معمولا "در سیستم های تزریق استفاده نمیشوند. ترکیبات فسفات نمک روی اگرچه در آبهای شور موثر هستند ولی به لحاظ هزینه های اقتصادی در سیستم هایی که بصورت یکبار مکان مصرف آنها وجود دارد قابل استفاده میباشد.

#### واکنشهای آندیک

۲-۲-۵

در کنترل خوردگی آندیک، پاسیو کردن پدیده ای متداول و با اهمیت در این مورد میباشد. به کمک این پدیده مقاومت خوردگی در فولاد زنگ نزن و تعداد بیشماری از آلیاژهای دیگر توجیه پذیر است. در حالیکه فلزاتی از قبیل آهن و فولاد پسیو میشوند شرایط مورد نیاز برای ایجاد و تداوم آن بسیار بحرانی تر از مواد مقاوم خوردگی چسبنده و تشکیل دهنده فیلم میباشد. اگرچه مواد کندکننده ایی از قبیل کرومات و نیتريت ميتوانند محدوده وسیعی در پاسیو شدن فراهم آورند ولی در آبهای تزریقی مواد کندکننده پاسیوکننده هم اکنون استفاده کمی پیدا کرده است. کنترل کاتدیک با کنترل توسط زدایش اکسیژن معمولا "روش برتر در این رابطه میباشد همچنین جلوگیری از واکنشهای آندیک، بوسیله محصولات خوردگی یا افزایش محصولات روی سطح فلز و تداخل با فرآیند انحلال، میتواند کنترل خوردگی قابل توجهی ایجاد نماید. زمانی که آمین های تشکیل دهنده فیلم در جلوگیری از خوردگی فولاد در اسیدهای ضعیف استفاده میشوند، اثرات آندیک بطور قابل توجه تر از سایر اثرات ظاهر میشود. هر چند واکنشهای کاتدی همچنان موثر هستند، در این شرایط تاثیر نسبی دوا شربا درجه جذب این مواد تنبیری باید.

#### جلوگیری از خوردگی ناشی از اسیدها

۲-۲-۶

معمولا "نوع اسیدهایی که در این سیستمها با آن مواجه هستیم ضعیف بوده و گازهای اسیدی که ممکن است به داخل سیستم آورده شده.

باشند سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن میباشند. سولفید هیدروژن همچنین ممکن است در داخل سیستم توسط رشد باکتریهای ———— احیاء کننده سولفات شکل گرفته باشد. معمولاً روشهای مورد استفاده بمنظور جلوگیری از خوردگی در این نوع سیستمها همان روش اجرا شده در جاهای تولیدی و مراحل اولیه تولید میباشند، یعنی ایجاد نمودن یک فیلم از ترکیبات ارگانیک جاذب بمروروی سطوح فلز که حمله خوردگی را کند می نماید. بعلاوه به دلیل سولفیدهای یکسانی که در هر دو محیط یافت میشوند منطقی است که فرض شود نوع ترکیبات یکسان در هر دو عملیات می بایست موثرتر باشند هر چند عدم وجود یک فاز نفت در این نوع سیستمها، موجب بوجود آمدن دو اختلاف قابل توجه و مهم در این قسمت میگردد.

اول آنکه در این نوع سیستمها، پایدارترین مواد دکنده کننده خوردگی (وزن مولکولی بالا، محلول در نفت، تشکیل دهنده فیلم ارگانیکهای قطبی) نمی توانند استفاده شوند به دلیل آنکه در آب غیر قابل حل میباشند و آنکه میزان تاثیر فیلم ماده دکنده را با تشکیل زیاده از لایه نفتی، نمی توان افزایش داد (این درحالی است که یک فاز نفتی وجود داشته باشد) هر دو این فاکتورها میزان تاثیر این نوع مواد را در زمانی که فقط یک فاز آبی وجود داشته باشد کاهش میدهد. هر چند این اثرات توسط دمای کمتر و بویطور کلی غلظت های کمتر اسیدهای متداول در این نوع سیستمها ممکن است از بین برود.

در مورد مواد دکنده اشباعی که در سیستم های آبی برای کنترل حمله خوردگی بوسیله اسیدهای ضعیف استفاده میشود، موازنه میان پارامترهای موثری که در تقابل با هم میباشند میبایست قائل شویم؛ این شامل حالیت یا نهایت پراکندگی میباشند به صورتی که ماده دکنده خوردگی بتواند بطور موثری از نقاط تزریق به سطح مورد نیاز جهت حفاظت انتقال یابد، در موارد دیگر، روشهای زیادی برای رسیدن به خواص انتقال خوب مورد استفاده قرار میگیرد درحالی که این روشها موجب کمتر شدن میزان تاثیر و مقاومت مواد دکنده خوردگی میگردد.

#### اثرات ساختمان مواد شیمیایی کندکننده

۲-۲-۷

حالیت پایه آمینی تشکیل دهنده فیلم مولکول ماده دکنده خوردگی تشکیل یافته از زنجیره کربن و گروه قطبی از راههای



مختلف میتوانند افزایش یا بد. کوتاه سازی طول زنجیره هیدروکربن مقاومت به حلالیت بخش آب گریز (هیدروفوبیک) از مولکول را کاهش میدهد. افزایش شاخه ها یا ناشباعی در زنجیره هیدروکربنی معمولاً "نقطه ذوب ترکیبات را پائین می آورد ولی موجب افزایش حلالیت ایده آلی برای آن میگردد. بخش قطبی مولکول قابلیت های بیشتری را ارائه میدهد. گروه های چند قطبی (دی آمین یا ایمیدوزولین در مقابل مونو آمین ها) میزان آب دوستی (HYDROPHILICITY) را افزایش میدهند. به همین صورت ایجاد یک گروه حامل شارژ ناشی از یک چهارم شدن یک آمین همان اثر مشابه را دارا خواهد بود. شدت یک ماده کندکننده در چسبندگی موثر از گروه قطبی یا گروه های قطبی تشکیل دهنده آن میباشد. اما بیش از آنچه که می باید مورد انتظار باشد، نیست. بدینگونه که در اسید سولفوریک یک نرمال جذب C6 آمین ها  $C6 <$  کربوکسیلیک اسیدها  $C6 <$  الکل ها در درجه پوشش کم میباشد در حالیکه در پوشش های بیشتر و با مولکولهای سنگین تر همگسوس، سازگاری با نمونه های قبلی وجود ندارد. ثبات فیلم ماده کندکننده توسط بعضی فاکتورها، از قبیل هردو زنجیره آب گریز هیدروکربنی و بخش قطبی یا بخش هایی از مولکول ماده کندکننده تعیین میشود. بطور کلی، تغییرات در بخش آب گریز مولکول به صورتیکه بتواند حلالیت آب را با لایبرد موجب میشود که تمایل به ثبات فیلم کاهش یابد، از این رو، ایجاد شاخه ها و کاهش طول زنجیره، میزان تاثیر ماده کندکننده را کاهش میدهد. این سازگاری و اختلاف بین حلالیت و ثبات فیلم یکی از مانع های اساسی در ارائه فورمول مناسبی برای ماده کندکننده خوردگی محلول در آب میباشد. در مواردی، استفاده از گروه قطبی با قدرت جذب زیاد، یا بیش از یک گروه قطبی در یک مولکول تمایل به ثبات فیلم را افزایش داده و در این حالت پلاریزاسیون مولکول یک ماده کندکننده انجام میشود. همچنین پیوندهای درونی یا سایر اثرات متقابل میان مولکول های جاذب نزدیک به هم میتواند برای با لایبردن ثبات فیلم بکار برده شود.

مشکلات سازگاری با آب، وقتی یونهای موجود در آب با ماده کندکننده ترکیب شده و یک رسوب غیرفعال تشکیل میدهند، بوجود می آید، بعنوان مثال، این مشکل ممکن است در آبی با سولفات زیاد و کلراید نسبتاً کم وقتی ماده کندکننده خوردگی از نوع دی آمین استفاده میشود بوجود آید. در موارد دیگر، وقتی است که اسیدها با وزن مولکولی زیاد بصورت نمک های آمین مورد استفاده قرار می گیرند، ما یونهای الکالینیتی ممکن است در آبهایی با سختی زیاد رسوب نمایند، که معمولاً این مشکل با استفاده از اسید استیک یا سایر زنجیره های اسیدی خنثی میگردد.

### تمیزکاری سطح فلز

۸-۲-۲

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، میزان موثر واقع شدن مواد کندکننده خوردگی از نوع تشکیل دهنده فیلم، بستگی به مقدار قدرت جذب مولکول های این مواد روی سطح فلزی که حفاظت میشود دارد، در نتیجه پاک نمودن و تمیزکاری سطح فلز در کنترل خوردگی بسیار مهم میباشد. برای این منظور لازم است رسوبات، پوشش های نفتی و محصولات خوردگی قبلاً از سطوح فلز برداشته شود. در این رابطه بعضی شرکت های تولیدکننده مواد کندکننده خوردگی از این نوع، ادعا دارند که محصولات آنها خاصیت تمیزکاری و نفوذپذیری لازم برای جذب مواد در روی سطح فلز را دارا می باشند. در بعضی سیستمها خصوصاً خطوط لوله انتقال گاز پیشنها دمیکرود ابتدا بوسیله عملیات پیگ رانی مایعات گازی تجمع یافته از خط لوله خارج و به دنبال آن با استفاده از پیگ های برس دار ذرات جامد و محصولات خوردگی برداشته شود. در سیستمهای دیگری از اسید کلریدریک بمنظور عملیات تمیزکاری سطح فلز استفاده میشود این درحالی است که کربنات کلسیم یا محصولات خوردگی حاصل در اسید، مانع حرکت جریان سیال یا تداخل با ته نشینی ماده کندکننده خوردگی می شوند. در جایی که هجوم باکتریها موجب خوردگی و مشکلات گرفتگی در سیستم میگردد، می بایست یک برنامه تمیزکاری منظم مورد استفاده قرار می گیرد. این نوع تمیزکاری در مورد سیستم هایی که با این مشکل مواجه هستند باید از اصول اولیه طراحی آنها قرار گیرد. مخازن می بایست بطور مکانیکی

تمیز شوند و یا اگر این کار امکان پذیر نمی باشد لازم است چرخش و غلتاندن مایعات و ذرات جامد داخل آنها انجام گیرد. از آنجا که باکتریها نواحی ساکن را می پسندند، تکثیر و رشد آنها در زیر مواد جامد متعین نشین شده در مخازن به شدت انجام می گیرد.

## ۲-۳ خوردگی میکروبی و کنترل آن

### ۲-۳-۱ تشخیص مشکل خوردگی میکروبی

میکروبیولوژیست ها به طور کلی برای این عقیده هستند که بسیاری از موارد خوردگی ناشی از فعالیت موجودات ذره بینی در صنایع ناشناخته می باشند. همچنین گفته میشود سوطن به این نوع خوردگی در حضور فراوان مواد واجرام گلی ولجن های میکروبی و مقادیر زیادی از اجتمعات آنها محتمل و مستدل بوده، هر چند اغلب پارامترها در این رابطه ناشناخته هستند.

خوردگی میکروبی به ندرت بدون لاقط بعضی از انواع خوردگیهای متداول حادث میگردد، بطوریکه جدا سازی و تشخیص آنها از یکدیگر بسیار مشکل میباشد. در این مورد مبادرت به کنترل رشدی ناشابودی و خنثی سازی فعالیت موجودات ذره بینی بعنوان یک اقدام لازم و ضروری عنوان شده است.

در کل، تشخیص مواد لجنی ناشی از فعالیت موجودات ذره بینی مشکل نمی باشد، از طرفی این تشخیص میتواند موجب رفع بعضی نگرانی ها ناشی از سایر فعالیت های احتمالی این موجودات شود. باکتریها و قارچها اغلب چسبنده بوده و بصورت یک اتصال دهنده مواد غیر ارگانیک عمل می نمایند. بنا بر این انجام آزمایشات میکروسکوپی از نمونه های لجنی ممکن است فقط بخش کوچکی از فعالیت میکروبی را آشکار نماید، در عین حال، عدم فعالیت آنها نیز با از بین رفتن این موجودات ذره بینی و متلاشی شدن مواد لجنی بخوبی آشکار نمایان می گردد.

### ۲-۳-۲ ارزش انجام آزمایشات کوپن گذاری

در آزمایشگاههای معتبر در ۲۵ سال گذشته هزاران کوپن در معرض محیط های خورنده ناشی از فعالیت موجودات ذره بینی قرار گرفته است و در حال حاضر یک تکنیک استاندارد در این رابطه شناخته شده است، بطوریکه این روش یک شاخص صحیح و یکسان برای ارزیابی و بررسی سایر متدهای رایج مورد استفاده در این مورد میباشد.

انجام بررسیهای بی طرفانه در رابطه با تکنیک های تست کوپن براین موضوع تا کیدمی نماید که وقتی این روش تست برای مطالعه خوردگی میکروبی مورد استفاده قرار می گیرد باید با دقت زیادی انجام شود تعداد تکرار نمونه گیریها تا حدود ۱۲ تا ۲۰ برابر بعضی قسمتها و همچنین بکارگیری بعضی روشهای آماری میباشد در ارزیابیها مورد استفاده قرار گیرد. انجام ساده آزمایشات فقط در ۲ بار تکرار بیشتر از یک اتلاف وقت نسبت نمی باشد. نباید فراموش شود خوردگی ناشی از فعالیت موجودات ذره بینی اغلب بصورت خوردگی از نوع حفره ای رخ میدهد که بر آورد کمی آن برای هر منبعی مشکل است. تعیین خوردگی توسط پروب های مقاومتی بطور گسترده ای در آزمایشگاهها و جاهای دیگر استفاده میشود تا کنون بعنوان یک روش خوب شناخته شده است ولی بدلیل استفاده از روشهای آماری برای بررسی و ارزیابی نتیجه تشکیل حفره انجام تست های بی شمار در هر دوره بر روی آزمایشات با این روش گران تمام میشود. استفاده از منحنی های پلاریزاسیون نیز خیلی مفید میباشد خصوصاً در انجام کارهای تحقیقاتی، اما همان موضوع محدودهای گفته در مورد پروبهای مقاومتی در اینجا نیز صادق میباشد.

### آزمایشات عملیاتی یا شبیه سازی عملیاتی

۲-۳-۳

انجام این نوع مشاهدات در بعضی سیستمها تا اندازه ای از مشاهدات آزمایشگاهی آسانتر میباشد. برای این موضوع چندین دلیل میتواند ذکر کرد، اول تشکیل زیادلچنهای میکروبی، بطور عملیاتی در سیستمهای بسیاری از صنایع ناخوشایند میباشد. بنا بر این توجیه کنترل موجودات ذره بینی که بطور غیر مستقیم موجب کنترل خوردگی میکروبی میگردد ساده میباشد. دوم آنکه بر روی سطوح فلز در معرض محیطهای صنعتی، مشاهده خوردگی از نوع حفره ای ساده میباشد. ایجاد اثر مشابه و بررسی آن به کمک روشهای آماری بر روی سطح فلز در معرض محیط خورنده صنعتی، در آزمایشگاه بسیار مشکل میباشد. یک دلیل اصلی سومی هم وجود دارد و آن هم جنبه های واقعی و بدیهی این نوع مشاهدات میباشد. بیشتر مهندسان عملیاتی، سیستمهای صنایع خودشان را بخوبی می شناسند و نسبت به تغییر در شرایط عملیاتی که عملاً تا سیات آنها را افزایش می دهد، اغماض و چشم پوشی نمی نمایند.

مشخصه های خوردگی میکروبی

همانطور که قبلاً گفته شد، اثبات تجربی خوردگی میکروبی توسط کاهش وزن و تشکیل حفره مشکل نمی باشد و بطور کلی، مقیاس خوردگی با میزان تجمع لجن مرتبط میگردد ولی به هیچ وجه با شمارش باکتری توسط تکنیک های متداول ارتباط ندارد. بطور خلاصه وجود خوردگی میکروبی، ممکن است بوسیله بعضی یا ترکیبی از مشاهدات زیر تشخیص داده شود.

- خوردگی از نوع حفره ای
- حضور مواد لجنی میکروبی
- وجود سولفید هیدروژن در سیستمهای غیر هوایی
- وجود هیدرواکسید فربیک و فروس در سیستمهای هوایی
- اجتماعات بزرگی از باکتریها یا قارچها
- تجمع و ساکن بودن آب در بعضی نواحی سیستمها
- درجه حرارت زیر تقریباً  $65^{\circ}\text{C}$  در بعضی فاصله های زمانی و زیر  $125^{\circ}\text{C}$  در تمام وقتها.
- پاش سیستم یک مشخصه غیر معتبر میباشد اما بیشتر موجودات ذره بینی در محیط به شدت اسیدی یا محیط های زیر پاش ۴ یا بیشتر از پاش ۹ نمی توانند رشد نمایند. البته استثناهایی در این مورد وجود دارد.
- نور و روشنائی برای رشد بیشتر باکتریها و قارچها ضروری میباشد.

جلوگیری از خوردگی میکروبی

خوردگی میکروبی ممکن است بوسیله چندین روش جلوگیری شود یا کاهش یابد، این روشها را ممکن است بصورت زیر تقسیم بندی نمود.

- تمیزکاری و پاکیزه نمودن خوب سیستم
  - حفاظت سطح فلز (پوشش یا جذب مواد دشمنی)
  - انهدام یا کنترل باکتریها یا سایر اجتمعات میکروبی
  - برعکس نمودن جریان خوردگی
- ذکر این حقیقت لازم است که بدون هیچگونه تردید پاکیزه نگاه داشتن خوب سیستم مهمترین عامل از موارد گفته شده میباشد که برای

جلوگیری از خوردگی میکروبی استفاده میشود مشاهدات تجربی این موضوع را تا شیدنموده است که مشکل تشکیل لجن ممکن است در یک سیستم تمیز و پاکیزه رخ دهد ولی در یک سیستم آلوده و کثیف بطور قطع و حتم رخ خواهد داد.

پاکیزه نمودن و تمیزکاری از مواد خارجی تجمع یافته و مواد لجنی قدیمی که نه تنها خودشان موجب مشکلاتی هستند بلکه یک محل عالی برای تکثیر و تولید موجودات ذره بینی فراهم می نمایند. با اینکه انجام یک عملیات تمیزکاری ممکن است با مصرف مواد پاک کننده (دترژنت ها)، آب گرم و برس های سایشی همراه گردد ولی بندرت سیستمی پیدا میشود که قابلیت دسترسی به این نوع عملیات را داشته باشد. غالباً "محلول داغ محتوی دترژنت ها همراه با پاک بدون مواد کشنده با کتری یا ساپزافزودنی ها، درون یک سیستم در گردش (سیرکوله) قرار داده میشود. در اینجا قابل ذکر است، با کتریسایدهای موثر و خوب بعضی شرکت های سازنده معتبر در حله اول به دلیل خواص ویژه نفوذ پذیری و سطح فعال آنها بوده و بعد ناشی از فعالیت ضد میکروبی و کشندگی آنها میگردد.

در بعضی حالتها در جایی که امکان تمیزکاری خوب و یا هرگونه عملیات تزریق مواد شیمیایی وجود ندارد. در این صورت استفاده از پوششها مهمترین روش حفاظت میباشد همچنین استفاده از مواد شیمیایی خاص و مانع، تشکیل شده از انواع آمینها تشکیل دهنده فیلم از روشهای عملی متداول در اینگونه سیستمهاست، طول زنجیره کربن مواد استفاده شده در این روش مهم میباشد زنجیره مستقیم با ۱۰ تا ۱۸ اتم کربن بسیار موثر میباشد.

اکتیل دسیل آمین (با ۱۸ کربن) غالباً استفاده میشود. چنین فیلمهای آمینی موثر هستند ولی گاهی اوقات موجب مشکلاتی به سبب تشکیل لجن میشوند.

ترکیبات دیگری نیز برای حفاظت سطح فلز در مقابل خوردگی شیمیایی مورد استفاده قرار میگیرند سیلیکات سدیم، پلی فسفاتها، صمغ های آرگانیک، کرومات و ترکیبات سولفورمانند مرکا بتونینزوتیا زول از نظر میکروبیولوژیکی، این ترکیبات گوناگون ممکن است فعالیتهای غیر منتظره ای نشان بدهند، سیلیکات سدیم احتمالاً بدون اثر میباشد. اما اضافه نمودن فسفات ها به آب سیستم ممکن است رشد باکتریها را افزایش دهد.

کرومات ها ممکن است کاملاً نامطلوب باشند و برخلاف عقاید گفته شده در این مورد، کرومات معمولاً بصورت یک باکتریاید غیر موثر میباشند و دلیل آن این است که دارای دانسیته شارژیونی زیاد میباشند. این باعث میشود که باکتریهای یکسان و از یک نوع را بصورت مواد لجنی لخته نماید. ۲ مرکا پتوبینزوتیوزول یک نمک فلزی آلیکالی است و یک باکتریاید ضعیف میباشند و به نظر میرسد بطور ویژه ای فقط بر روی مس موثر است. کنترل موجودات ذره بینی در یک سیستم به ندرت تنها برای کنترل خوردگی ناشی از آنها انجام میگیرد. در نتیجه مخلوطی از ترکیبات مختلف معمولاً برای کنترل رشد باکتریها و به همان میزان کنترل خوردگی ناشی از سایر عوامل مورد استفاده قرار میگیرد. بعنوان مثال آمین های تشکیل دهنده فیلم بصورت ماده کند کننده خوردگی در طول زنجیری کمی بزرگتر، موثرتر از فلزاتترین باکتری کشها عمل می نمایند بنابراین اغلب در یک ترکیب مخلوطی از دو ماده برای به انجام رسانیدن هر دو منظور استفاده میگردد. ترکیبات ارگانیک سولفور نیز علاوه بر فلزات کشته کننده باکتریها بطور آشکار بعضی قابلیت های تمیز کننده فیزیکی را ایجاد می نماید. از آنجا که باکتری کشها خیلی به ندرت منحصراً برای کنترل خوردگی میکروبی بکار برده میشوند، اغلب ارزیابی آنها مشکل میباشد.

#### ۲-۴ کیفیت آب و فیلتراسیون

۲-۴

در حال حاضر، تعیین کیفیت آب بصورت روتین و منظم با استفاده از متدهای نسبتاً ساده آنالیزی از قبیل عبور از صافی (فیلتراسیون غشایی) یا توزیع اندازه ذرات قابل بررسی و اندازه گیری است. مقدار متوسط نتایج بدست آمده از نمونه ها قبل و بعد از عبور از صافی به داشتن تصویری از کیفیت مورد نیاز آب کمک می نماید.

#### ۲-۴-۱ ذرات جامد معلق (SUSPENDED SOLIDS)

ذرات جامد معلق آب توسط فیلتراسیون غشایی اندازه گیری میشوند. در عهده ۵ تا ۱۰ لیتر آب از یک فیلتر غشایی 0.45 میکرونی وزن شده عبور داده میشود و بعد از خشک شدن اختلاف وزن اندازه گیری میشود. بعنوان مثال متوسط مقدار ذرات جامد معلق در آب دریا 0.4 میلی گرم در لیتر میباشد که این مقدار بعد از یک فیلتراسیون خوب به 0.01 میلی گرم در لیتر کاهش پیدا می کند. در شرایط طبیعی حضور ذرات جامد مواد ارگانیک

ناشی از لاشه‌های بسیاری از نمونه‌های فیتوپلانکتون (PHYTOPLANKTON) و زوپلانکتون (ZOOPLANKTON) مرتبط می‌باشند.

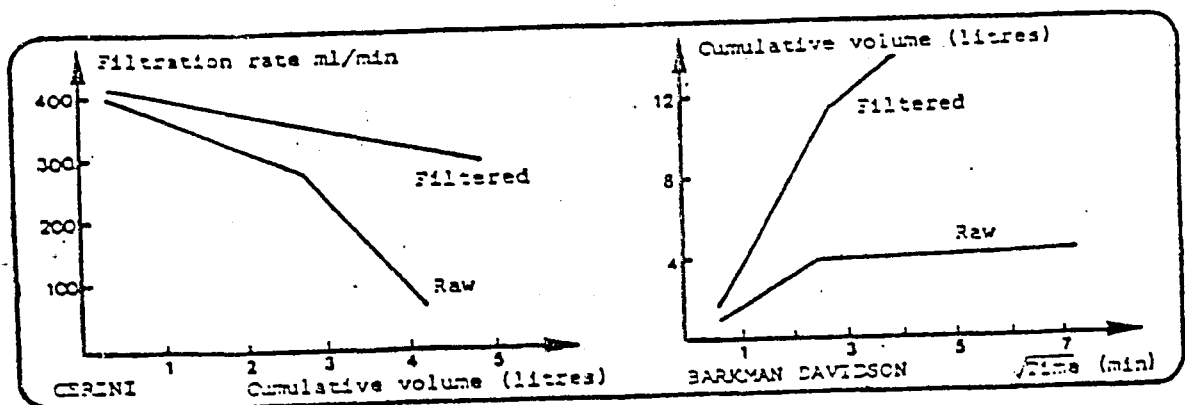
در توزیع ذرات توسط جریان معکوس (COULTER COUNTER) از تکنیک‌های الکتریکی برای اندازه‌گیری تعداد ذرات با اندازه قطره‌های بین 0.8 و 25 میکرون استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع آنالیز بصورت زیر نشان داده شده است.

Particle diameter ( $\mu\text{m}$ )	Number of particles per ml	
	Raw seawater	Filtered seawater
0.3	130000	3000
1	55000	1900
2	9500	130
4	1800	4
8	150	Nil
16	10	Nil

فیلتراسیون بوسیله فیلترغشایی، بصورت زیر تعریف می‌شوند. حجم آب عبوری از فیلترغشایی 0.45 میکرون و در رابطه با زمان و در فشار ثابت، این داده‌ها بر اساس حجم در مقابل زمان برای کیفیت آب بصورت زیر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد.

الف - رسم منحنی سرعت جریان بر حسب میلی لیتر به دقیقه (ml/min) در مقابل حجم جمع شده (CERINI PLOT)

ب - رسم منحنی بر اساس حجم تجمع یافته در مقابل جذر دو زمان مقایسه این منحنی‌ها برای آب دریا در حالت قبل و بعد از فیلتراسیون بصورت زیر نشان داده شده است.





ج - تعیین حجم ذرات موجود در آب به کمک تعریف شاخص ذرات  
 جمع یافته  

$$FOULING\ INDEX(15) = \frac{1 - \frac{t_1}{t_2}}{t} \times 100 = \frac{1 - \frac{21}{210}}{15} \times 100 = 5.7^*$$

$t_1$  = زمان اولیه فیلتره ۳ میلی لیتر آب از فیلتر 0.45 میکرون

$t_2$  = زمان فیلتر کردن ۳۰۰ میلی لیتر آب از همان فیلتر

۱۵ دقیقه بعد از اندازه گیری  $t_1$

$t = 15$

\* توضیح: عدد 5.7 شاخص ذرات جامد جمع شده برای آب دریا قبل

از فیلتراسیون میباشد در مقدار کمتر آب خالص

میشود.

## ۲-۴-۲ عملکرد فیلتر

درصد ذرات برداشت شده، راه حل متداول برای اندازه گیری عملکرد فیلتر میباشد. هرچند مقدار آن نسبی است برای بوجود آوردن یک مشخصه مطلق تر، بطور کلی توافق شده است که بعد از یک عملیات فیلتراسیون خوب ۹۷ درصد ذرات برداشت شده بیشتر از ۲ میکرون و ذرات باقی مانده با همین اندازه (بیشتر از ۲ میکرون) حداکثر به تعداد ۱۰۰ میلی لیتر رسیده باشند.

یعنی مثال عملکرد فیلترهای از انواع مختلف در زیر داده شده است.

### فیلترهای گلوله ای (CARTRIDGE FILTERS)

این فیلترها ممکن است با سیستم آب برگشتی یا قابل تعویض مورد استفاده قرار گیرد. مواد متداول مورد استفاده برای المان فیلترتورها فولاد زنگ نزن، پلی پروپیلن، پارچه های بافته شده میباشد. بازدهی متوسط برداشت این نوع فیلتره ۶۰ درصد ذرات بیشتر از ۲۰ میکرون میباشد.

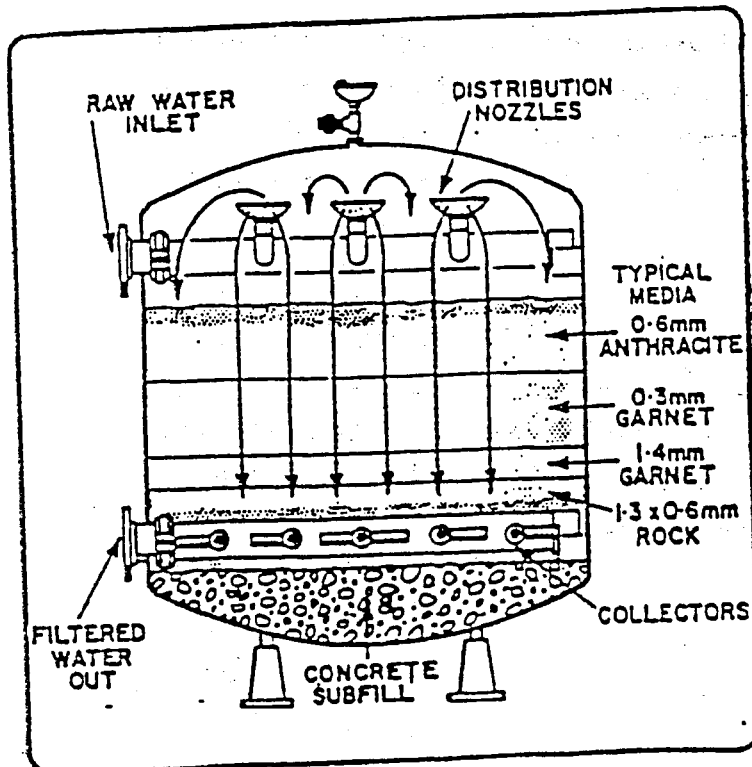
### فیلترهای PRE-COAT

در این نوع فیلترها به کمک دیا تومهای خاکی یا محصولات پرلیت، کیک فیلتری با اندازه خلل و فرج خیلی کوچک بمنظور فیلتر نمودن آب استفاده میشود. این نوع فیلتر میتواند ۹۹ درصد ذرات بیشتر از ۲ میکرون را برداشت نماید و نیازی به عملیات شیمیایی یا آب برگشتی در این نوع فیلتر نمیشود.

## فیلترهای با بسترهای مابانی (MEDIA FILTERS)

در این نوع فیلترها، جداسازی جامدات از طریق بستر انباشته شده در داخل فیلتر و ترجیحاً در سطح آن انجام میشود. اندازه دانه های بکار رفته در این نوع فیلترها برای اطمینان از نفوذ ذرات جامد معلق به بستر مواد انباشته شده انتخابی میباشد. انواع مختلف از این نوع فیلترها بصورت جریان بالا، جریان پایین و یا ترکیبی از هر دو سیستم بکار برده میشود. نوع مواد بکار رفته در بستر این نوع فیلتر ترکیبی از انواع سنگ ها، سنگهای آتش فشانی (GARNET)، زغال سنگ یا آنتراسیت (ANTHRACITE) و سنگ های سیلیکاتی میباشد.

این نوع فیلترها با قابلیت آب برگشتی قابل استفاده هستند. به کمک این فیلترها تا ۹۷ درصد ذرات بزرگتر از ۲ میکرون قابل برداشت میباشد. عملکرد این نوع فیلتر ممکن است با ترکیب پلی الکترولیت (0.5-1 ppm) و کلرید فریک (0.5-1 ppm) بهبود یابد. در این حالت برداشت ذرات کوچکتر از ۲ میکرون امکان پذیر میباشد. (لازم به توضیح است کلرید فریک بسیار خورنده میباشد)، فیلترهای از این نوع در مقایسه با فیلترهای از انواع دیگر بزرگ و سنگین هستند و نصب آنها پرهزینه میباشد. بمنظور انجام عملیات تزریق آب بطور صحیح، داشتن اطلاعات کافی از عملکرد فیلترها ضروری میباشد و رسیدن به کیفیت خوب آب فقط از طریق فیلتراسیون صحیح تحقق می یابد.



تبدیل پارامترهای متغیر خوردگی و کیفیت آب به مقادیر عددی، امکان ارزیابی و پیش‌بینی سیستم‌های آب‌رادر این رابطه از طریق انجام آزمایشات عملیاتی فراهم می‌آورد. مجموعه استانداردها بصورت راهنما و همچنین نمودارهای سنجش تجربی از منابع معتبری است که وجود شرایط خطرناک را نمایش می‌دهند.

۲-۵-۲ سنجش خوردگی اکسیژن

خارج نمودن اکسیژن به کمک روش‌های مکانیکی در بهترین شرایط عملیاتی مقدار اکسیژن موجود در آب را به حدود ۴۰ تا ۱۵۰ قسمت در بیلیون (ppb) می‌رساند. در صورتی که در نمودار زیر مشاهده شده است مقدار اکسیژن بین ۲۰ تا ۴۰ قسمت در بیلیون مقدار خوردگی ۳ تا ۶ میلز در سال (MPY) و مقدار اکسیژن بالاتر از یک قسمت در میلیون (ppm) مقدار خوردگی بیش از ۱۰ تا ۱۵ میلز در سال ایجاد می‌نماید. همچنین در این رابطه میزان خوردگی متاثر از سرعت جریان نیز می‌باشد که برای هر سیستم بطور جداگانه می‌بایست مطالعه شود.

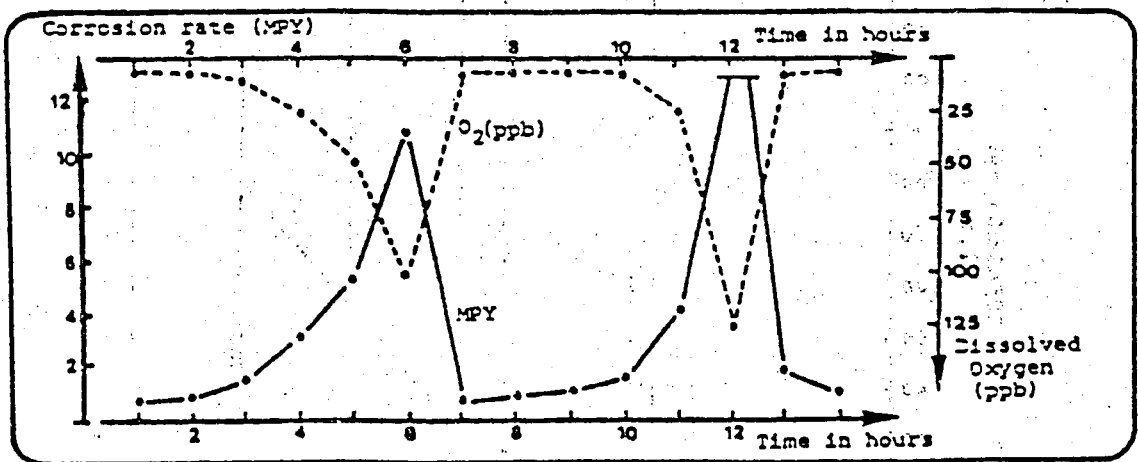


Figure 5: Corrosion Rates in the Presence of Oxygen<sup>3</sup>

اثر دی اکسیدکربن بر روی میزان خوردگی با توجه به نتایج تجربی بدست آمده در سیستمی با حضور اکسیژن میتواند بعنوان شاخصی از میزان تاثیر این عامل خورنده مورد استفاده قرار گیرد. در زیر دامنحنی بمنظور نمایش اثرات فوق ارا شده است.

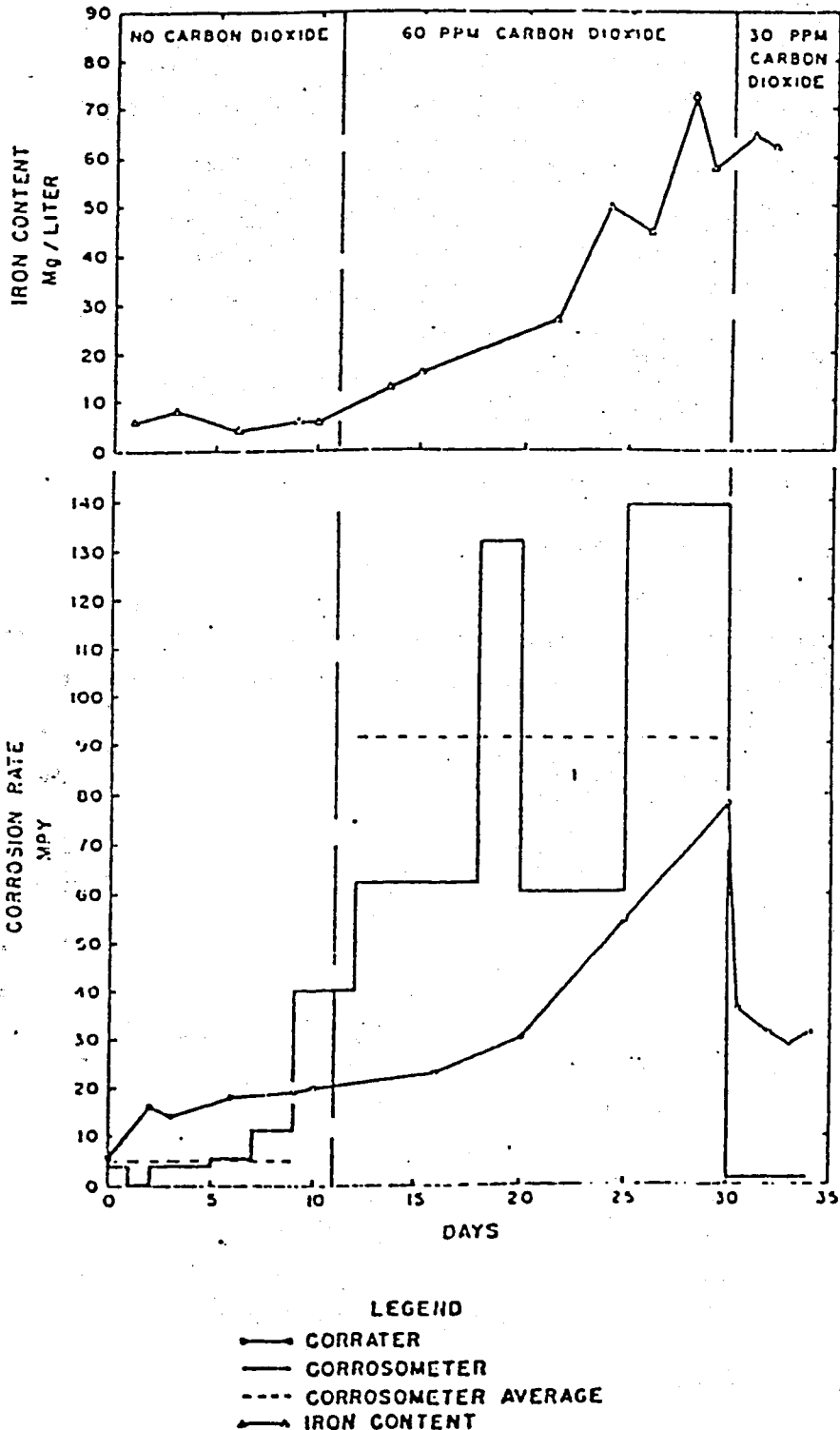


Figure 2—Effect of carbon dioxide on corrosion rate in a system containing dissolved oxygen at 0.04 to 0.06 mg/liter.

در جدول زیر محدوده سنجش مهمترین متغیرهای عملیاتی آزمایشات خوردگی و کیفیت آب بمنظور راهنمایی در این رابطه ارائه شده است. لازم به توضیح است تقسیم بندی محدوده مقادیر داده شده در مورد هر آزمایش به شش حالت، عالی، خیلی خوب، خوب، قابل قبول، متوسط و زیاد مشخص شده است که لازم است در صورت منطبق بودن نتایج آزمایشات با سه حالت آخر (قابل قبول، متوسط، زیاد) نسبت به انجام عملیات پیشگیری و کنترل اقدام گردد.

Rating--	1	2	3	5	10	20
Membrane filter test (0.45 µ filter) slope	0-0.09 Excellent	0.10-0.29 Very good	0.30-0.49 Good	0.50-0.99 Acceptable	1.00-1.79 Fair	1.80+ Excessive
Filtered solids mg/l	0-0.4 Negligible	0.5-0.9 Very low	1.0-2.4 Low	2.5-4.9 Moderate	5.0-9.9 Large	10.0+ Excessive
Total sulfide increases lb./day/1,000 sq ft	0 None	0.001 Very low	0.002-4 Low	0.005-9 Moderate	0.01-0.019 Large	0.02+ Excessive
Iron count increases lb./day/1,000 sq ft	0 None	0.001-0.011 Very low	0.012-0.11 Low	0.12-0.59 Moderate	0.60-1.1 Large	1.2+ Excessive
Sulfate-reducing bacteria colonies/ml	0 None	1-5 Very low	6-9 Low	10-20 Moderate	30-90 Large	100+ Excessive
Total bacteria count colonies/ml	0 None	1-99 Very low	100-999 Low	1,000-9,999 Moderate	10,000-99,999 Large	100,000+ Excessive
Corrosion rate (30 days) (insulated coupon) mils/year	0 None	0.01-0.09 Very low	0.10-0.99 Low	1.00-4.9 Moderate	5.0-9.9 High	10.0+ Excessive
Pit depth (30 days) (insulated coupon) mils	0 None	1 Shallow	2-3 Minor	4-5 Moderate	6-10 Deep	10+ Excessive
Pit frequency (30 days) (insulated coupon) pits/sq in.	0 None	1 Very low	2 Low	3 Moderate	4 High	5+ Excessive

Table 1—Factors used in preparing rating chart

Rating value	Rating	Philosophy
1	Excellent, negligible, or none	System in best possible condition with regard to this variable—the ideal.
2	Very good, very low, or shallow	System in very good condition with regard to this variable—less than ideal, but substantially better than a system in normal trouble-free operation.
3	Good, low, or minor	System in good condition—normal condition for trouble-free operation.
5	Acceptable or moderate	System in acceptable condition. However, condition is not as good as normal condition for trouble-free operation. System could be drifting towards trouble, hence the extra increase in the rating number.
10	Fair, large, high or deep	System in fair condition. System will be in serious trouble if these conditions continue to prevail. Hence, the heavy weighting of the rating number.
20	Excessive	System in trouble. These conditions will cause serious loss of injectivity or serious corrosion or both if continued. Hence, the extra heavy weighting of the rating number.

آزمایش فیلترغشایی

آزمایش فیلترغشایی، شیب منحنی و مقسندا رذرات جا مدفیلترشده حاصل از این آزمایش، وقتی کسه کیفیت آب بدون تغییرمی باشد سودمند میباشند. انجام آزمایش بر روی بستر فیلترها یکی از منابع بررسی مشکلات ایجاد شده در تغییر کیفیت آب میباشد. رشد باکتریها روی فیلترها ممکن است تحت شرایط میکروسکوپی مشاهده گردد. مقادیر شیب بدست آمده اعلام خطری است برای مشکلات احتمالی در آینده، این مقادیر مستقیماً "با شرایط آب مرتبط نمیشوند. ولی بسته به نوع مواد شیمیائی مورد استفاده، مقادیر طبیعت ذرات جا مدبا دیدکسان شوند. مقادیر ذرات جا مدفیلترشده بر اساس یک مقدار رکلی بسته به کیفیت آب قابل مقایسه و تنظیم میباشد. طبیعت ذرات جا مدتا شیر قابل ملاحظه ای در سیستم دارد، ذرات جا مدی که عموماً "در آب پیدا میشود، گل ولای، مواد ناشی از رشد باکتریها، نفت، محصولات خوردگی، مواد شیمیائی نامحلول و رسوبات میباشد.

افزایش کل سولفید آب

تغییر در کل سولفید آب بین منبع ورودی آب و آب خروجی میتواند تعیین گردد. تحت شرایط نرمال هر افزایش در سولفید ناشی از تولید آن توسط فعالیت باکتری میباشد. بنابراین در یک سیستم ساده تغییر خالص در سولفید مناسب برای تعیین فعالیت باکتریها میباشد هر چند طول سیستم نیز باید در تعیین حد خطر احتمالی ملاحظه گردد. جایی که دو یا چند نقطه نمونه گیری مقایسه میشوند، مقادیر باید بر اساس پوند سولفید تولید شده در روز بر هر ۱۰۰۰ فوت مربع سطح لوله در معرض آب اندازه گیری میشود. اعداد ارائه شده در جدول در مورد مقدار افزایش کل سولفید آب بر اساس آزمایشات انجام شده بر روی آب دریا میباشد. در این رابطه همانطور که ملاحظه میشود نسبت حدا افزایش مقادیر سولفید در هر محدوده بسیار کمتر از افزایش مقدار آهن میباشد، به صورتی که تولید سولفید در سیستم حتی در مقادیر خیلی کم، به منزله خطری است که احتمال رخ دادن خوردگی از نوع حفراهی را نشان میدهد.

افزایش مقدار آهن بین آب ورودی به سیستم و خروجی آن موید خوردگی است، که ممکن است ناشی از رشد باکتری یا سایر عوامل باشد. کاهش مقدار آهن، ناشی از رسوب و ته نشینی آن می باشد. تشکیل این رسوب در بیشتر سیستمها ممکن است بصورت سولفید یا هیدرواکسید آهن انجام شود. ترکیبات آهن معمولاً توسط مواد شیمیائی تشکیل دهنده فیلم یا مواد دنفتی به هم متصل میگردند و همچنین ممکن است توسط باکتری ها و لجن ها به هم چسبیده و انباشته شوند. مقدار تغییرات آهن با دید بصورت بوند در روز در هزار فوت مربع از سطح خط لوله گزارش شود. که معمولاً با میزان خوردگی اندازه گیری شده بنرروی کوپن در مدت ۳۰ روز قابل مقایسه می باشد.

حضور باکتری احیاء کننده سولفات لزوماً "به معنی وجود مشکل در سیستم نمی باشد. هر چند زمان بازرسیهای مداوم دیده میشود که آنها در سیستم افزایش می یابند و تزریق باکتریسیاید موثر نمی باشد. رشد باکتریها ممکن است در زیر رسوبات و مواد ته نشین شده یا زیر یک فیلم از باکتریهای هوازی پنهان و دور از حرکت و جریان آب صورت پذیرد. بنا بر این شمارش باکتری های موجود در آب باید با شمارش باکتری های موجود در رسوبات تراشیده شده از روی دیواره داخلی لوله در سیستم درجایی که امکان پذیر باشد، انجام پذیرد. وقتی تغییری از یک نوع باکتریسیاید غیر موثر به نوع دیگری انجام می گیرد، بعضی مواقع شمارش باکتریها بصورت موقتی افزایش می یابد، این به دلیل آن است که زمان استفاده از ماده شیمیائی نوع دوم، در بعضی نقاط به جای واکنش کشتن باکتری واکنش کاهش و توقف رشد آنها انجام میگیرد. این افزایش

در شمارش باکتریها به دلیل جدا شدن باکتریهای ناشی از رونق رشد آنها در شرایط قبلی حاصل گردیده است .  
 در جدول زیر میزان باکتریهای احیاء کننده سولفات نشان داده شده است که متد شمارش آنها بر اساس API-RP-38 میباید شد . در محدودیت مقادیر گفته شده در این جدول طول سیستم در نظر گرفته نشده است .  
 در مورد سیستمهای با طول کمتر برای جلوگیری از مشکلات احتمالی مقادیر کمتر در هر قسمت میتواند در نظر گرفته شود .

Table 2—Rating of sulfate-reducing bacteria based on API RP-38 method

Rating	Sulfate-reducing bacteria	Tube in which growth occurs
Excellent	0	None
Very good	1-5	First dilution tube
Good	6-9	First dilution tube
Acceptable	10-20	Second dilution tube
Poor	30-90	Second dilution tube
Excellent	100 or more	Third dilution tube

### شمارش کل باکتریها ۲-۵-۳-۵

شمارش کل باکتریها تحت شرایط هوای صورت میگیرد و بمنظور مشخص نمودن رشد باکتریها در سراسر سیستم نمونه گیری میباید از ابتدا و انتهای سیستم انجام شود . توجه به این تست بیشتر به دلیل آن است که قابلیت رشد بیشتر باکتریها تحت هر دو شرایط هوای و غیرهوازی امکان پذیر است . از طرف دیگر شمارش باکتری در یک محیط هوای از محیط غیرهوازی بسیار ساده تر است . حضور مقادیر قابل ملاحظه ایی



از باکتریهای هوازی معمولاً محیط مساعدتری برای رشد باکتریهای احیاء کننده سولفات ایجاد می نماید. حضور تعداد زیادی از باکتریهای هوازی در یک سیستم معمولاً خوشایند نبوده حتی اگر هیچ رشدی در سیستم نداشته باشند. به همین صورت حضور باکتریهای احیاء کننده سولفات، مقادیر زیادی از جمعیت های این نوع باکتری در رسوبات داخل سیستم خارج از جریان و حرکت آب ممکن است پنهان شده باشند. میزان شمارش کل باکتریها با ارائه دلیل در جدول زیر ارائه شده است.

Table 3—Rating of total bacterial count

Total Bacterin count	None	Perfect
1-99		A negligible number
100-999		Even a tenfold increase does not cause trouble.
1,000-9,999		A tenfold increase is bordering on sufficient numbers to plug tight sands
10,000-99,999		A tenfold increase is sufficient to cause plugging of tight sands.
100,000 +		Plugging of tight sands is occurring.

### ۲-۵-۳-۶ میزان خوردگی

نصب کوپن های خوردگی در قسمت های مختلف سیستم برای نمایش خوردگی عمومی و خوردگی ناشی از فعالیت باکتریهای مفید می باشد. افزایش میزان خوردگی همراه با حفره های پر شده از سولفید آهن یا اکسید آهن معمولاً ولین اخطار در مورد خوردگی توسط باکتریها می باشد. مشاهده این حفره ها در کوپن های نصب شده در مدت ۶۰ یا ۹۰ روز بهیچتر از

کوپن های نصب شده در مدت ۳۰ روز می باشد. تناوب حفره ها و ماکزیمم عمق آنها از مشخصه های کنترل خوبی به همراه میزان خوردگی اندازه گیری شده می باشد. نصب ۳۰ روزه کوپن ها در جدول برای اندازه گیری مقدار خوردگی انتخاب شده در این حالت به دلیل آشکار سازی سریع خوردگی، قبل از انجام آسیبهای جدی به سیستم اقدامات ضروری میتواند صورت پذیرد. مقدار خوردگی بر اساس میلز در سال (هزارم اینچ در سال) و به فرض اندازه گیری خوردگی عمومی می باشد. در جایی که خوردگی از نوع حفره ای رخ میدهد، میزان تناوب حفره ها می بایست در این حالت بعنوان تنها مشخصه ای که بطور موثر بتا نیسیل جدی وضعیت خوردگی را نشان میدهد در نظر گرفته شود.

۱- اندازه گیری کاهش وزن کوپن

اندازه گیری آسیب دیدگی ناشی از خوردگی یا کاهش وزن کوپن سالهاست که بکار برده میشود و متدی است که تمام مهندسين خوردگی با آن آشنایی دارند.

این روش شامل یک کوپن وزن شده ایی میباشد که در داخل سیستم مورد نظر نصب میشود و بعد از یک پریود زمانی مشخص از سیستم خارج و کاهش وزن آن اندازه گیری میشود. متوسط میزان خوردگی بصورت زیر قابل محاسبه میباشد.

$$M. P. Y = 143700 \frac{W}{D. A. T}$$

W= (گرم) کاهش وزن

D= (گرم بر سانتی متر مکعب) دانسیته فلز

A= (سانتی متر مربع) سطح کوپن

T= (روز) مدت زمانی که در معرض خوردگی بوده

ابزارها و وسایل بکار گرفته شده در این نوع سیستم دارای اجزای ساده ایی میباشد و کار با آنها مستلزم پیچیدگی خاصی نمیشود. همین خاطر در بسیاری موارد به عنوان یک استاندارد ابتدایی برای کالیبره کردن دیگر متدهای اندازه گیری میزان خوردگی بکار برده میشود.

علیرغم سادگی این وسیله، کاهش وزن کوپن، دارای بعضی محدودیت های جدی در اندازه گیری میزان خوردگی سیستم میباشد و بعضی ملاحظات باید در تفسیر نتایج بدست آمده اعمال شود. نتایج حاصل از این روش، اطلاع از وضعیت خوردگی در یک متوسط زمانی از نقاط نسبتاً کمی در سیستم مورد نظر میباشد. همچنین این متدها از دوره های کوتاهی که دگرگونی در روند عادی خوردگی سیستم رخ میدهد، اطلاعات کمی داده یا بطور کلی آن را مشخص نمیسازد و در بیشتر مواقع بمنظور تشخیص و حل مشکلات خوردگی سیستم و یا ارزیابی عملکرد مواد شیمیائی تزریقی، متدهای مانیتورینگ مکمل آن مورد نیاز میباشد.

محل کوپن یکی دیگر از فاکتورها هست که باید به دقت در نظر گرفته شود، در یک سیال هموزن، کوپن هایی که در مرکز خط لوله جا داده شده اند، بطور کلی نسبت به کوپن هایی که در دیوارهای لوله قرار دارند نرخ خوردگی بالاتری را نشان میدهد، اگر آسیب ناشی از خوردگی در خط لوله رخ داده است در این خط نصب کوپن هم سطح با دیواره لوله (Flush Coupon) نتایج مفید و مناسبتری را خواهد

داد در همان حال کوپنی که در تماس با مرکز لوله می باشد ( Mounted Coupon ) در مقابل تغییرات خوردگی سیال دارای حساسیت بیشتری می باشد. در این حالت بدست آوردن اطلاعات جامعتر از ( Multi-Coupon Holder ) امکان پذیر می باشد.

مشکل انتخاب محل نصب بیشتر در یک سیال غیر هموژن ( Wet gas ) بوجود می آید و همانطور که قبلاً توضیح داده شد نتایج پتیم و قابل قبول فقط در محل هایی که کوپن نصب شده میتواند بیشترین تماس با آب را داشته باشد، بدست خواهد آمد.

محدودیت دیگری که در بکارگیری این متد با آن مواجه هستیم، این است که اندازه گیری مقدار خوردگی سیستم فقط به دنبال خارج نمودن کوپن از محل، بررسی و تجزیه و تحلیل کوپن نصب شده امکان پذیر می باشد و این باعث بالابودن هزینه استفاده از این متد به دلیل نیاز به نیروی متخصص می شود.

در مجموع به دلیل طبیعت مستقل در اندازه مقدار خوردگی در این روش، کوپن ها همیشه تنها برای کالیبره کردن دیگر متدهای بکار رفته، در مانیتورینگ سیستم گنجانده می شود. و در تفسیر نتایج حاصل از کوپن ها، باید به محل نصب آنها و عدم حساسیت زیاد آنها در مواقعی که دگرگونی در روند عادی خوردگی سیستم رخ میدهد، توجه شود. همچنین تعداد محل های نصب کوپن در سیستم باید محدود شود تا نیروی متخصص کمتری مورد نیاز نباشد.

## ۲- پروب مقاومتی

بیش از سایر متدها بطور وسیعی در بسیاری موارد بکار برده میشود، در این نوع پروب، از یک حلقه سیم که داخل سیستم نصب شده و در معرض خوردگی می باشد استفاده شده است، مقاومت الکتریکی سیم یک نسبت عکس با سطح مقطع آن دارد

$$R = P \frac{L}{A}$$

R = مقاومت سیم

P = مقاومت ویژه سیم

L = طول سیم

A = سطح مقطع سیم

بنابراین چنانچه سیم خورده شود، سطح مقطع آن کاهش یافته و مقاومتش افزایش می یابد.

دستگاه‌هایی که به پروب متصل میشوند نسبت مقاومت سیمی را که در معرض خوردگی قرار دارد به مقاومت یک سیم فرانس داخلی که در مقابل خوردگی حفاظت میشود اندازه گیری می کنند. مقاومت سیم اولی با دما و تغییر قطر سیم تغییر می کند. در ضمن اندازه گیری، نسبت تغییرات دما که به مقاومت دو سیم بطور مساوی اثر می کند، حذف میشود و اندازه گیری انجام شده مستقیماً "متناسب با قطر سیم اول میباشد". مقادیر اندازه گیری شده در مقابل زمان رسم میشود و شیب خطوط راست حاصل از منحنی فوق بمقدار خوردگی معینی قابل تبدیل میباشد. این مقدار را نندروش اندازه گیری پلاریزاسیون خطی، نتایج لحظه ای از میزان خوردگی سیستم را فراهم نمیسازد.

همچنین المان های این نوع پروب به جزییمهای آن قابل دسترس میباشد. نوع، باریک و کوچک این المانها میتواند هم سطح دیواره لوله متصل شود و نوع لوله ایی مسدود شده باریک آن زمانی استفاده میشود که حساسیت زیادی برای اندازه گیری خوردگی های با مقدار کم نیاز باشد. مزیت اصلی پروب های مقاومتی در این است که به یک محیط الکترولیتی هادی محدود نمیشود و به همین دلیل استفاده وسیعی در گازهای خشک و سیستمهای نفتی پیدا می کند.

از آنجایی که این تکنیک اندازه گیری مقدار خوردگی را با روش انتگرالی انجام میدهد. نهایتاً حاصل کل خوردگی در یک زمان متوسط نشان میدهد.

مشکل دیگری که همراه با این نوع روش وجود دارد، غیر حساس بودن آن و کند بودن در دادن پاسخ میباشد برای مثال یک تغییر در میزان خوردگی از 50 MPY به 60 MPY تنها یک تغییر کوچک

در شیب نتایج حاصل که به صورت منحنی رسم شده ایجاد میشود و این تغییرگاه بعد از گذشت (۱۵ تا ۱۰) روز (بستگی به حساسیت المان دارد) مشاهده میگردد. طبیعت غیرحساس در اینگونه پروب و مقایسه با پروب های پلاریزاسیون خطی در شکل نشان داده شده است.

از مسائل اساسی دیگری که در مورد این نوع پروب وجود دارد اشکال در کارآیی نتیجه بخش در محیط ترش میباشد. لایه های سولفید آهن ها دی الکتریسته بر روی پروب تشکیل شده و نتیجتاً "میزان خوردگی کمتر از مقدار واقعی برآورد میگردد میزان این کاهش با زمان و مقدار سولفید تغییر می کند و در نهایت در محلول با ( 5-10 ppm ) یون سولفید این مشکل جدی میشود. این خطا بصورت نامشخصی ایجاد گردیده و به جز از روی نتایج نادرستی که در نهایت تا شیرآن بوجود می آید (میزان خوردگی منفی میباشد) آشکار نمیشود.

در مجموع، پروب های مقاومتی نسبت به روش اندازه گیری کاهش وزن (کوپن) اطلاعات خیلی بیشتری همراه با پاسخ گویی سریعتر از وضعیت خوردگی سیستم در اختیار ما قرار میدهد. در نتیجه بطور قابل ملاحظه ای در مقایسه با کوپن صرفه جویی در کارخواهیم داشت ولی در بسیاری موارد چنان کند و غیرحساس عمل میکند که نمیتواند یک وسیله موثر در ارزیابی عملکرد مواد شیمیایی یا تشخیص دیگر گونی ها ناشی از خوردگی در سیستم باشد.

در جایی که از پروب های پلاریزاسیون به دلیل نبودن الکترولیت ها نمیتوان استفاده نمود (گازهای خشک - خطوط انتقال نفت - Overhead پالایشگاه ها - و در دیگر سیستم هایی که عوامل خوردنده یک گاز، بخار یا غیر الکترولیت میباشد) این نوع پروب بهترین نوع انتخاب (به شرط اینکه مشکل سولفید وجود نداشته باشد) میباشد در غیر این صورت پروب پلاریزاسیون باید انتخاب گردد.

### ۳- پروب های فشار هیدروژنی

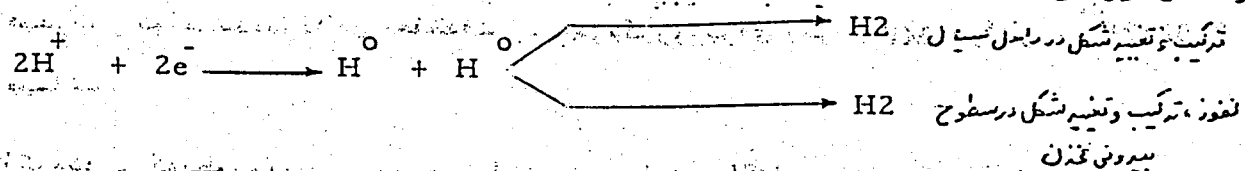
دو نمونه از این نوع پروب که معمولا "بیشتر مورد استفاده قرار میگیرند در شکل مشخص شده است.

در این متدهیدروژن در حال نفوذ از دیوار مخزن ( Patch-type ) یا از داخل دیواره پروب ( Insert type ) در محفظه پروب جمع شده و فشار آن اندازه گرفته میشود. در نتیجه ساختار

متالورژیکی الیاژ بکار رفته نقش مهمی در نفوذ هیدروژن بازی می کند.

از آنجایی پروب های از نوع ( Insert ) نمیتوانند کاملاً شبیه به متالوژی دیوار مخزن عمل کنند نوع Patch از این پروب معمولا "ترجیح داده میشود.

در یک سیستم بادمای پائین ، جایی که عامل اولئیه خوردگی یک سیال آبی ( Aqueous Fluid ) میباشد هیدروژنی که از دیوار مخزن نفوذ می کند یک قسمت از هیدروژنی است که در بخش کا تودیک واکنش خوردگی تولید میشود.



در حال تعادل ، فشار هیدروژن داخل پروب یک تابع مستقیم از مقدار کل خوردگی میباشد .

عملا " کا لیسره کردن این قبیل پروب ها به صورتی که مقدار خوردگی مستقیما " به MPY نمایش داده شود غیر ممکن میباشد . این حقیقت کا ملا " مشخص شده که بخشی زپا را مترهای اساسی کنترل کننده نفوذ هیدروژن به متالورژی مخزن مربوط میشود (به عنوان مثال مقاومت کششی مقدار - کربن - مگنیزیم - و ساختمان مولکولی) در نتیجه این متدمیتواند تنها به منظورا اندازه گیری نسبی فعالیت خوردگی داخل یک سیستم بکار برده شود. (افزایش هرچه بیشتر مقدار فشار ، از دیاد در میزان خوردگی)

همچنین برای نشان دادن دگرگونی دز روند عادی خوردگی و مقایسه عملکرد میزان تزریق مواد شیمیایی کندکننده استفاده میشود (بخصوص در مواقعی که مواد شیمیایی برای کاهش تردی هیدروژنی یا ترک و تاؤل هیدروژنی طراحی شده باشد) این وسیله تمام اشکالات متدهای اندازه گیری خوردگی با روش انتگرالی که تاکنون گفته شده ، دارا میباشد . بنا براین پاسخ آن تدریجی و

با مخلوط شدن فاضلها در سیستم، فقط با نصب در نقاطی که بیشترین تماس با سیال خوردنده را دارا باشند نتایج واقعی خواهد داد. در تکمیل این مطالب میتوان گفت این سیستم از حساسیت خیلی کمی برخوردار میباشد، این موضوع در مثال زیر روشن شده است.

در مقدار خوردگی معادل ( 1 MPY ) مقدار فلزی که از هر  $\text{cm}^2$  سطح پروب کاهش مییابد معادل  $0.0025 \frac{\text{cm}}{\text{yr}}$  میباشد. بنابراین برای سطحی معادل  $10\text{cm}^2$  از پروب مقدار مولکول گرمی که در یک روز از فلز کم میشود معادل :

$$\frac{(0.0025 \times 10 \times 7.8)}{56 \times 365} = 0.0000095 \text{ g.mole/day}$$

از آنجا که :  $1 \text{ گرم مول آهن} \equiv \text{H}_2$

حجم هیدروژن تولید شده در یک روز در مقدار خوردگی معادل 1 MPY بصورت

$$0.0000095 \times 22.4 = 0.2128 \text{ cc}$$

فرض کنیم ۱۰ درصد هیدروژن تولید شده از داخل فولاد به داخل پروب نفوذ کند. بنا بر این حجم هیدروژن تولید شده در داخل محفظه فشار سنچ در یک روز برای یک MPY برابر  $0.02128 \text{ cc}$  میباشد.

اگر فشاری که بطور معمول پروب میتواند قرائت کند 1 PSI باشد تغییر فشاری برابر  $0.02128 \text{ PSI}$  (در حجم ثابت) در روز خواهیم داشت. از آنجا که 0.25 PSI مینیمم فشاری است که به کمک یک فشار سنچ میتوان اندازه گرفت. پس 1 MPY خوردگی بعد از گذشت ۱۲ روز خوانده میشود.

از دیگر مشکلات موجود در این سیستم نیاز به نگهداری و تعمیرات زیاد آن میباشد، از آنجا که در فشار سنجهای این قبیل پروبها، احتمال نشت وجود دارد، این مسئله میتواند یک نقص خیلی جدی علاوه بر غیر حساس بودن آنها باشد. در مجموع این پروبها به دلیل حساسیت کم، عکس العمل کنند در مقابل تغییرات خوردگی سیستم، نیاز به تعمیرات فراوان، و اندازه گیری نسبی از میزان خوردگی سیستم، بکار بردن آنها در موارد کمی پیشنهاد میشود. و شاید فقط در مواقعی نسبت به دیگر روشها ترجیح داده میشود که تردی ناشی از نفوذ هیدروژن یا ترک یا تاؤل هیدروژنی بیشتر جلب توجه کند و حتی در این مواقع مانیتور از طریق نفوذ هیدروژنی از روشهایی است که بیشتر از آن میتواند مفید واقع شود.



۴- پروب های پلاریزاسیون خطی

۴-۱ تئوری و قوانین اندازه گیری

مطالعه و تحقیق بر روی خواص فلزات در روند خوردگی نشان میدهد که هرگاه یک فلز داخل یک الکترولیت قرار داد بشود یک جریان الکتریکی که جریان خوردگی نامیده میشود در فلز تولید میشود.

به دنبال انجام سری واکنشهای پیچیده الکتروشیمی دیده میشود که یونهای مثبت از قبیل یون  $(Fe^{++})$  به طرف محلول آزاد میشوند و یونهای مثبتی مانند  $(H^+)$  اغلب با انجام واکنش و تولید مولکول  $H_2$  کاهش می یابد، لزوم مبادله الکترون و ثبات این واکنشها باعث مبادله جریان الکتریسته در سطح فلز میشود.

از آنجائی که جادان یک دستگاه اندازه گیری در داخل ترکیبات فلز بکار رفته در سیستم غیر عملی است و به دلیل اینکه هیچ جریان خالصی که بطور طبیعی در حال وقوع باشد وجود ندارد، اندازه گیری جریان خوردگی بطور مستقیم ممکن نمیشود. با این وجود، فراهم نمودن غیر مستقیم قرائت جریان خوردگی یا اندازه گیری میزان خوردگی مکان پذیر می باشد با بهره گرفتن از این واقعیت که یک ارتباط قابل اندازه گیری بین جهت جریان خوردگی و شریک جریان اعمال شده خارجی بر روی سطح فلز وجود دارد، این قابلیت اندازه گیری غیر مستقیم اساس تکنیک پروبهای پلاریزاسیون را تشکیل میدهد.

برای اندازه گیری میزان خوردگی با استفاده از این روش نیاز است که ۳ الکتروود بر روی یک پروب که در یک سیال خورنده جاداده شده، نصب شود. ترکیبات متالورژیکی، بافت سطحی و بقیه خصوصیات الکتروودها تا آنجا که ممکن است نزدیک به فلز بکار رفته در سیستم باشد. با یکسان بودن این خواص خوردگی ترکیبات الکتروودها به خوردگی ترکیبات فلزی سیستم نزدیک میشود.

هر کدام از الکتروودها یک وظیفه معین در عملیات اندازه گیری میزان خوردگی انجام میدهد. به همین دلیل، الکتروودها با رفرنس الکتروود، تست الکتروود و الکتروود کمکی مشخص شده اند.

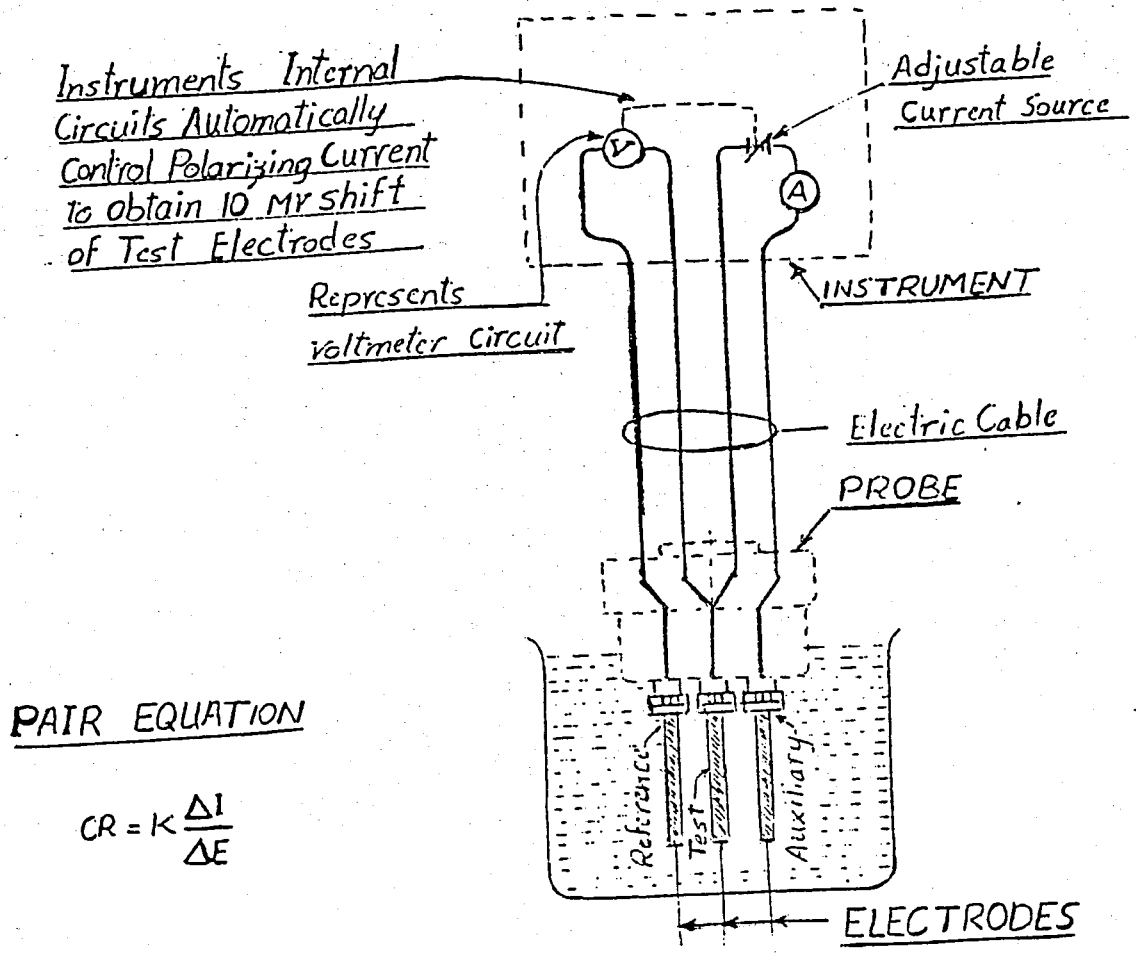
رفرنس الکتروود: از آنجائی که این الکتروود به هیچ وجه توسط اندازه گیری میزان خوردگی تغییر نمی کند میتوان گفت این نامگذاری کاملاً مناسب انتخاب شده است. این الکتروود مستقل از اجزایی

است که در ضمن اندازه گیری میزان خوردگی خورده میشوند و در نتیجه یک مقدار واقعی خوردگی (چون یک جریان خوردگی و افزایش پتانسیل طبیعی الکترودها ضمن خوردگی فرض شده) را انعکاس میدهد.

تست الکترودی: الکترودی است که مقدار خوردگی آن اندازه گرفته میشود و از الکترودی کمکی به منظور آشفتن و نمونه قرار دادن تست الکترودی در مدت اندازه گیری خوردگی استفاده میشود. این الکترودهمچنین در حال خورده شدن هستند و در نتیجه برای هر کدام یک جریان الکتریسته و یک افزایش پتانسیل فرض میشود.

معهدا این جریانها غیر قابل اندازه گیری هستند، ولی با بکارگیری مهارتهای الکتریکی، دانسیته جریان و پتانسیلهای الکترودی تست و کمکی، این الکترودها قابل مقایسه الکترودی رفرنس توسط مدار و دستگاه طراحی شده هستند و در نتیجه این الکترودی میتواند اندازه گیری مستقیم میزان خوردگی را تحقق ببخشد.

یک سیستم ساده شده اندازه گیری خوردگی با استفاده از این روش در شکل نشان داده شده است.



۳ الکترودی که در شکل نشان داده شده اند به ۲ متر (ولت متروآ میتر) و یک منبع جریان قابل تنظیم متصل هستند. از آن جهت که در این تکنیک اندکی آشفتگی در خواص خوردگی تست الکتروود وارد میشود یک رفرنس الکتروود با شرایط یکسان خوردگی الزامی میباشد. در شروع عملیات اندازه گیری ولتاژ پتانسیل تست الکتروود در مقابل رفرنس الکتروود اندازه گیری شده و هر اختلاف ولتاژی که ممکن است بین آنها بطور طبیعی وجود داشته باشد، برطرف میگردد (مفر میشود).

تا این مرحله از اندازه گیری، پتانسیل الکتروودها تغییر داده شده است. یک منبع جریان اکنون شروع به برقرار نمودن جریان بین تست الکتروود کمی نماید تا زمانی که تست الکتروود به یک اختلاف پتانسیل ۱۰ میلی ولت از پتانسیل طبیعی که در شروع عملیات مفر شده بود برسد. این جریان، جریان پلاریزاسیون و تغییر ولتاژ القا شده توسط این جریان به ولتاژ پلاریزاسیون نامیده میشود. وقتی مقدار کافی از جریان بین تست الکتروود و الکتروود کمی جاری میشود، اختلاف پتانسیل تست الکتروود ۱۰ میلی ولت بالاتر از رفرنس الکتروود یا پتانسیل طبیعی ذخیره شده، تغییر داده و نگهداشته میشود. در این حالت تست الکتروود بصورت پلاریزه شده در نظر گرفته میشود.

جریان برقرار شده بین الکتروود کمی و تست الکترووداکنیون میزان خوردگی تست الکتروود را نشان میدهد. (به دلیل آنکه مقدار جریان مورد لزوم پلاریزاسیون برای پلاریزه کردن لکتروودها توسط ۱۰ میلی ولت مستقیماً "به دانسیته جریان خوردگی متناسب میباشد"). با اندازه گیری این جریان توسط مدار ویژه ای و ثبت بر روی دستگاه ثبت کننده (Recorder) یک اندازه گیری دقیق از میزان خوردگی در سیستم انجام میشود.

با بکارگیری این قانون، این حقیقت روشن میشود که یک سیال بسیار خورنده جریان خوردگی زیادی تولید می کند و در نتیجه جریان الکتریسته زیادی باید بین تست الکتروود و الکتروود کمی جریان یابد تا پتانسیل تست الکتروود به ۱۰ میلی ولت بالاتر، که پتانسیل دریک محیط بسیار خورنده میباشد تغییر کند. به عکس جریان الکتریسته کم بین این ۲ الکتروود دریک سیال با خوردگی متوسط برای تغییر دادن پتانسیل تست الکتروود به ۱۰ میلی ولت بالاتر از پتانسیل غیر پلاریزه لازم میباشد.

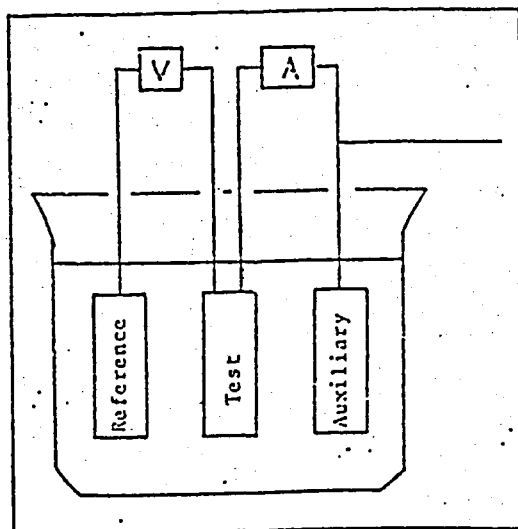
مشاهدات تجربی ، اختلاف پتانسیل های جزئی ( Small overpotentials ) اندازه گیری شده یک الکترودمستقل در یک محیط خورنده ، نسبت به حالت تعادل آن ، نشان میدهد جریان پلاریزه بکار برده شده بطور خطی با جریان خوردگی رابطه داشته ، که اثبات تئوری آن توسط Stem و Geary ، انتشار یافته است . آنها با زیر کنترل قرار دادن - فعالیتهای یک الکتروود در یک محیط خورنده معادله زیر را بدست آورده اند .

$$I_c = I_A / 2.3 E \left( \frac{B_c B_a}{B_c + B_a} \right)$$

- $I_c =$  جریان خوردگی
- $I_a =$  جریان پلاریزاسیون
- $E =$  اختلاف پتانسیل پلاریزاسیون
- $B_c =$  ثابت کاتدیک تافل
- $B_a =$  ثابت آنودیک تافل

این واکنش اساس دستگاههای تجارتي را تشکیل میدهد که مقدار خوردگی را با اندازه گیری جریان پلاریزه ایجاد شده روی یک الکتروود نمونه از فلز مورد نظر مستقیماً " به MPY قرائت مینماید .

تبدیل و کالیبره کردن نتایج حاصل از قرائت جریان پلاریزه مستقیماً " به MPY ، بصورت تجربی به کمک مقایسه با نتایج حاصل از کاهش وزن کوپن برای سیستمهایی با صدها فلز در محیط های گوناگون بدست آمده است .



میتوان انتظار داشت اختلاف در تابتناسی که بدین طریق حاصل میشود، نظریه اختلاف مقادیر ثابتهای تافل، از سیستمی به سیستم دیگر، برای اکثریت زیادی از دادهها، در حدود  $\pm 15\%$  درصد باشد. یک فاکتوری که نمیتوان در کالیبره نمودن دستگاه جنس داده ایکی والان وزن فلزات ویژه می باشد. این مقدار بصورت ارتباط غیر مستقیم مساحت سطحی الکتروود نمونه نسبت به ایکی والان وزنها منظور شده است.

تعیین یک ایکی والان وزن مناسب به عنوان مبنایی برای سنجش خیلی از آلیاژها، مشکل میباشد بویژه آلیاژهایی که از بیش از ۲ جزء (فلز) تشکیل شده اند. اخیراً "با بکارگیری یک متوسط وزن شده از ایکی والان وزن های ترکیببات ویژه برای این مشکل غلبه شده است. یک دستگاه در عمل با دقت قابل قبولی این مقدار را پیدا می کند. با وجود تقریبی که در کالیبره کردن دستگاه وارد شده است معلوم شده که در بسیاری موارد به جزء در بعضی سیستمها موارد اشتباه بحدت بیشتر از  $\pm 25\%$  در صد میباشد.

تفاوت دستگاه های موجود که بصورت تجاری در آمده به شماره الکتروودهای استفاده شده در اندازه گیری منحصر میباشد که ممکن است بصورت ۲ یا ۳ الکتروودی باشد.

اندازه گیری در یک سیستم ۳ الکتروودی بعد از مراحل زیر انجام میشود:

(a) کمترین افت پتانسیل با قیما نده بین فرانس الکتروود تست الکتروود صفر شده باشد

(b) افزایش جریان عبور داده شده بین الکتروود کمکی و تست الکتروود، تا زمانی که تست الکتروود  $10\text{mv}$  در مقایسه با فرانس الکتروود پلاریزه شود.

مقدار جریان بدست آمده بر روی دستگاه مستقیماً "به MPY قرائت میشود (این سنجش به واسطه انتخاب ثابت تناسب و فاکتور مساحت سطحی مناسبی از الکتروودها انجام میشود) مزیت اصلی سیستم ۳ الکتروودی اینست که مقدار جریان در مدار اندازه گیری پتانسیل واقعا "صفر میباشد. در نتیجه هیچ خطایی ناشی از افت IR در  $10\text{mv}$  پتانسیل پلاریزاسیون برقرار شده وجود ندارد.

سیستم های ۲ الکتروودی

سیستم های ۲ الکتروودی صرفاً "با  $20\text{mv}$  افت پتانسیل بین ۲ الکتروود بکار برده میشود و جریان ایجاد شده با تعیین یک ثابت مناسب مستقیماً "به M. P. Y. داده میشود. صحت اندازه گیری در سیستم

۱۲ لکترودی با توجه به فرض های زیر می باشد .

( i ) هر ۱۲ لکتروقبل از اندازه گیری در یک پتانسیل باشند .

( ii ) افت  $20\text{mV}$  پتانسیل اعمال شده بر روی هر دو لکترو در سطح مشترک آنها با محلول یکسان باشد .

( iii ) افت IR در محلول نسبت به  $20\text{mV}$  ناچیز باشد .

فرض اول و آخر در بیشتر موارد بطور فاحشی در خطا می باشد . دو لکترو در هر قدر هم یک جور و یک نوع خواست پرداخت شده باشند نمیتوانند پتانسیل غیر پلاریزه یکسانی ارائه بدهند . مشاهده پتانسیل  $40-50\text{mV}$  بین دو لکترو در مسئله غیر عادی نمی باشد ، این پتانسیل با قیمتهای اضافه شده بر  $20\text{mV}$  باعث میشود که اندازه گیری مقاومت پلاریزاسیون هر دو لکترو تقریباً " خیلی بیشتر از  $0.045/IA$  شود در صورتیکه مقدار واقعی آن  $0.02/IA$  می باشد . در این حالت مقدار خطا بیشتر از  $100\%$  در صد خواهد شد .

عدم جبران افت IR در محلول شاید از موارد مهم ایجاد خطا در سیستمهای دو لکترودی می باشد . ( اگر با قیمتهای پتانسیل حالت غیر یک نوع لکتروها مفر شده باشد . )

در شکل یک خطای بزرگ حاصل از افت IR ، بصورت یک تابعی از مقاومت محلول و میزان خوردگی نشان داده شده است . همانطور که دیده میشود برای آب حفاظت شده مناطق نفتی یا آب دریا انتظار خطای کم یا نبودن خطا می رود . اما در سیستمهای حفاظت نشده مقدار افت IR میتواند معادل مقدار بزرگی نسبت ولتاژ پلاریزاسیون بکار رفته باشد . در آبهای با هدایت الکتریکی کم (  $\text{POR table, desalinated}$  ) افت IR در بسیاری موارد بیشتر از پتانسیل بکار رفته می باشد ، حتی در مواردیکه میزان خوردگی نسبتاً کم است .

در نتیجه به جزء در محلولهایی با هدایت الکتریکی خیلی زیاد ، اندازه گیری با سیستمهای ۱۲ لکتریکی حتی با استفاده از یک کالیبراسیون دقیق ، که میتواند اندازه گیری قابل اطمینانی انجام دهد خیلی بعید بنظر میرسد .

سیستمهای ۱۳ لکترو

قبلاً توضیح داده شده که در سیستمهای ۱۳ لکترودی مشکل افت IR وجود ندارد . با این حال ، یک خدایایی از مقاومت الکترولیت که این تکنیک میتواند در آن قابل اجراء باشد وجود دارد . ۲ دلیل برای این محدودیت وجود دارد .

اولین مورد به گسترش میدان الکتریکی با افزایش مقاومت محلول مربوط میشود در بعضی موارد گسترش میدان الکتریکی جریان بین تست الکترود، و الکترود کمکی به ناحیه رفرنس الکترود برخورد پیدا می کند و در نتیجه رفرنس الکترود، پلاریزاسیون می شود.

در این حالت بدست آوردن یک اندازه گیری یکنواخت غیر ممکن میشود. بطور طبیعی وضعیت و موقعیت الکترود برای این پدیده تاثیر خواهد داشت، برای مثال، حد بالایی از مقاومت که در پروب های از نوع Pin type ممکن است عمل شود دقیقاً  $10^6 \text{ ohm cm}^{-1}$

میباشد. در صورتیکه الکترودها بی که در یک حلقه هم مرکز قرار گرفتند بطور کامل موثری در برابر این مقدار عمل خواهند نمود.

دومین مورد در محدودیت بکارگیری از سیستم ۳ الکترودی که در مورد سیستم های ۲ الکترودی هم وجود دارد، این است که آنها فقط در خوردگیهای از نوع الکتروشیمیایی عمل می کنند و در محیط های بی بدون الکترولیت پاسخ نمی دهند.

در مجموع تکنیک پلاریزاسیون خطی به دلیل سرعت و فوریت آن در دادن پاسخ و حساسیت بالایی که دارد (جریان دستگاهها از ۰.۰۲ تا ۰.۰۰۲ میلی آمپر) همچنین تکنیک با عمل نکردن در محیط های

با مقاومت زیاد محدود میشود، بطوریکه سیستمهای ۲ الکترودی فقط در محلولهایی با هدایت الکتریکی زیاد واقعاً دقیق عمل می نماید (آب دریا - آب formation) در موازیدیکه مقدار خوردگی پایین باشد پروب ۳ الکترودی یک حد مقاومت ماکزیمم معادل  $2 \times 10^6 \text{ ohm cm}^{-1}$

دارد به این طریق حتی، پروب های ۳ الکترودی در شرایط مولسیون و آب غیر یونیزه، نقض خواهند داشت. اما با این همه، این روش اطلاعاتی مشخص، قطعی و روشن از محلولهای الکترولیتی نسبت به سایر روشها در اختیار ما قرار خواهد داد.

۱-۵ توزیع آب در سیستم و توجه به مشکلات آن

مانیتورینگ سیستم های گاز در بیشتر مواقع بسیار مشکل است. این امر به دلیل حرکت و توزیع نامنظم محیط خورنده (آب) در سراسر سیستم می باشد. آب ممکن است گاه گاهی بصورت لخته ای (slug) با جاری شدن در طول کف لوله یا در سرعت های زیاد گاه گاه بصورت یک لایه حلقه مانند در اطراف محیط لوله جا به جا شود. زمان اقامت آب در نقاط ویژه ای ز خط لوله بسیار متغیر خواهد بود برای مثال در نقاط پائین (low spots) و محل های تغییر خط، در بیشتر از ۹۵ درصد مواقع ممکن است لوله در تماس با آب باشد. در حالیکه در قسمت های سرازیری و بلند، این حالت ممکن است در ۵ درصد کل زمان وجود داشته باشد. بدیهی است که توزیع و نوع رژیم جریان هر کدام دستخوش تغییرات مداوم دینامیکی می باشد.

بررسی تاسیساتی که بیشتر خطوط لوله آن مدفون یا بصورت دیگری غیر قابل دسترس می باشد نشان داده که این حالت از توزیع نامنظم جریان آب، مواقعی که یک مانیتورینگ خوردگی از نوع انتگرالی (به عنوان مثال: پروب های مقاومتی، کوپن کاهش وزن، پروب هیدروژنی) در سیستم بکار رفته باشد باعث نقطه ضعف حتمی در آنها خواهد شد.

بدین صورت که، در مانیتورینگ محل های انتخاب شده در اینگونه سیستمها، مانند قسمت بلند آن، پروب های نصب شده ممکن است فقط در ۱۰ درصد مواقع در تماس با آب باشد. اگر خوردگی آب برای مثال 10 mpy باشد، اندازه گیری با پروب های انتگرالی مقدار 1 mpy نشان خواهد داد. در حالیکه در محل های پائین سیستم، ممکن است خوردگی با مقدار 8-9 mpy اتفاق بیفتد. همچنین هر تغییر در میزان قرائت پروب بیشتر نشان دهنده تغییر در زمان مرطوب بودن آن می باشد تا تغییر در میزان خوردگی سیال.

(یعنی تغییرات بیشتر متناسب با زمان مرطوب بودن می باشد تا خوردگی سیال)

نتیجتاً اگر، از پروب های با روش اندازه گیری انتگرالی استفاده میشود، ضروری است که در ناحیه ای از سیستم که ماکزیمم زمان تماس با آب وجود دارد نصب شود، در غیر این صورت بخاطر وضعیت ویژه ای که شرح داده شد، نتایج حاصله نادرست و خوش بینانه تر از واقعیت های سیستم خواهد بود.

در این سیستم ها از یک پروب پلاریزاسیون خطی میتوان برای آزمایش برداشتن این مشکل استفاده



نمود. بطوریکه اندازه گیری میزان خوردگی با کنل خوردگی سیستم برابری خواهد کرد. به عنوان مثال: یک قرائت 10 mpy صرف نظر از محل پروب، بدین معنی است که بیشتر محلها یی که در سیستم در معرض خوردگی هستند خوردگی کمتر از 10 mpy دارند. اشکال اینگونه پروبها در این است که فقط زمانی که از یک سیال با هدایت الکتریکی پوشیده شده باشد جواب خواهد داد. بنا بر این در خط لوله ای که تمام آب به حالت امولسیون محدود میشود یا جایی که عبور آب آزاد بقدری کم میباشد که نتایج بدست آمده برای نتیجه گیری های عملی کافی نمیشود، بکار برده نمیشود. در عمل بسیار مشخص است که برای گار آبی مفید از این نوع پروب، لا اقل 3-4 درصد آب آزاد مورد نیاز میباشد.

در بعضی موارد ممکن است با جادادن تله های آ بگیر در زیر خط لوله و انجام مانیتورینگ در اینگونه تله ها به مشکل جا بجا شدن و توزیع نامنظم آب غلبه کرد. ولی به دنبال نصب هر سیستم مانیتورینگ بیشترین مقدار خوردگی نشان داده میشود. البته همیشه احتمال زیاد شدن مشکلات ناشی از رسوب سولفید آهن وجود دارد، همچنین ممکن است شرایط داخل تله انکاس درستی از وضعیت خط لوله اصلی نباشد. این حالت با تراکم مواد شیمیائی کند کننده خوردگی در تله آ بگیر و این که حجم آب در تله ممکن است  $CO_2$  کمتری نسبت به فیلم نازک آب تشکیل یافته در سیستم در خود حل کند، ایجاد شده که در هر دو حالت اندازه گیری خوردگی مقداری کمتر از آنچه در خط لوله اصلی سیستم اتفاق می افتد نشان میدهد.

شرایط را که آب همچنین ممکن است سبب تجمع محصولات خوردگی یا تجزیه پیش از اندازه آنها بوسیله آب شود. (همراه با تولید اسید) حالتها یی که سبب خواهد شد میزان خوردگی آب در تریا کمتر بشود.

در مجموع، تله های آ بگیر ممکن است در ابتدا یک پیشنهاد جالب توجه به نظر آید، اما باید توجه داشت که اگر آنها در سیستمی بکار برده شود، ثابت شده است که شرایط این تله ها، حاکی از وضعیت کلی داخل خط لوله نمیشود.

## ۵-۲ رسوب سولفید آهن

یکی از محدودیت های مانیتورینگ که در سیستم های گاز ترش ممکن است واقع شود، رسوب سولفید آهن میباشد، بطوریکه با تشکیل این رسوب هر دو روش معمول مانیتورینگ (پروب مقاومتی، پروب پلاریزاسیون) در معرض خطا قرار می گیرند.

اثر افزایش سولفید آهن روی پروب مقاومتی ، نشست یک فیلم الکتریکی هادی میباشد که بتدریج باعث افزایش مقاومت در مقابل خوردگی شده و در نتیجه پروب مقدار خوردگی را کمتر از اندازه واقعی نشان میدهد. یک اثر پنهانی که ویژه این نوع خطا میباشد آن است که بطور آشکار در همان موقع قابل تشخیص نمیشود. نتایجنا درست ناشی از این <sup>خطا فقط</sup> زمانیکه اثر آن به اندازه کافی به نهایت برسد دست می آید که سبب میشود پروب میزان خوردگی منفی را نشان بدهد.

در مورد مشکل تشخیص چنین انحرافی به نظر میرسد هیچ وسیله کاهش دهنده برای مقابله با اثر آن وجود نداشته باشد ولی در سوپر پروب های جدید بواسطه برخورداری از یک سطح بزرگ ، ادعای مبنی بر مینیمم کردن این خطا وجود دارد اما هنوز هیچ مدرک واقعی برای اثبات این ادعا وجود ندارد.

عدم صحت نتایج حاصل از پروب های پلاریزاسیون خطی ، در محیط های سولفیدی، زمانیکه میدهد که یک پل با مقاومت کم بین الکتروود تست و دیگر قسمت های فلزی و مرطوب پروب برقرار شود. به محض برقرار شدن این اتصال وجود این نقص خیلی آشکار میباشد. بدلیل آنکه اندازه گیری با پروب مقدار خوردگی چند صد MPY را نشان میدهد، در مورد این نوع پروب حتی قبل از اینکه مشکلات ناشی از تشکیل رسوب به نهایت خود برسد امکان تشخیص آن از همان لحظه شروع وجود دارد و به جز شرایط خاص، در بقیه موارد پروب به همان حالت اولیه احیا میشود.

در این مواقع شروع یک مشکل جدی در پروب های پلاریزاسیون در محیط های ترش تا بعضی زمان و مقدار سولفید موجود میباشد. در طول مدت عمر طبیعی الکتروود در محیطی با مقدار 10ppm یا کمتریون سولفید اتصال پل الکتریکی احتمالاً "رخ نخواهد داد در مقادیر 200ppm ممکن است بعد از 20-30 روز انجام شود و در 1500-1200ppm مشکل بعد از یک یا دو روز رخ میدهد.

در بسیاری از سیستم های ترش ، پدیده اتصال پل الکتریکی در این نوع پروب بندرت اتفاق می افتد و به آسانی قابل تشخیص است و میتوان پروب را به سرعت به حالت اولیه اصلاح کرد، در عین حال باید توجه نمود اگر حتی یک رسوب کوچک ناشی از یون سولفید در ابتدا پل الکتریکی در پروب ایجاد کند به هیچ طریقی نمیتوان سعی در بکارگیری آن داشت (به دلیل نتایج لحظه ای متصل و پیوسته ای که از اندازه گیری مستقیم مقدار خوردگی (که به کمک بقیه متدها نمیتوان بدست آورد) از این نوع پروب بدست آورده میشود.)

مانیتور کردن نفوذ هیدروژنی یک محلول واسطه

هما منظور که در مطالب قبلی گفته شد با بکارگیری پروب های مقاومتی و پروب های پلاریزاسیون در محدوده وسیعی از سیستم های گاز ترش قادر خواهیم بود نتایج قابل اطمینان از میزان خوردگی سیستم فراهم آوریم، بشرط اینکه محدودیت های بکارگیری در روش درگرفتن جواب فهمیده شود. با اینحال سیستم های نسبتاً "زیادی یا قی می مانند که در محدوده کاربرد هیچکدام از دو تکنیک فوق نامیاشد.

در این سیستمها پروب های مقاومتی به دلیل وجود سوپرات سولفید ( $10 \text{ ppm } \bar{S}$ ) و پروب های پلاریزاسیون به دلیل با لایودن مقدار این یون تا ( $200 \text{ ppm } \bar{S}$ ) غیر قابل استفاده میباشد.

اندازه گیری نفوذ هیدروژن یکی از روش هایی میباشد که در این حالتها کاربرد دارد، این متد شامل یک سل الکتروشیمی است که به بیرون لوله یا مخازن بسته میشود و به کمک یک دستگاه تشبیه کننده پتانسیل (Potentiostatic control unit) اتمهای هیدروژن به یونهای هیدروژن بطور کمی اکسید میشوند. قسمتی از اتمهای هیدروژن که در واکنش خوردگی تولید شده از داخل دیوار مخزن مهاجرت کرده و در تماس با سل متصل شده به دیواره مخزن اکسید میشود، جریان مورد نیازی که واکنش اکسیداسیون را انجام میدهد پیوسته گزارش داده میشود.

با اینکه اندازه گیری انجام شده از این طریق مستقیماً "با میزان خوردگی سیال ارتباط دارد ولی نمیتوان نتایج حاصل را به یک عدد مطلق MPY تبدیل نمود. ثابت تناسب تابعی از خصوصیات متالورژیکی (مقاومت کششی، مقدار کربن و مقدار مگنیزیم و ساختمان میکروسکوپی) مخزن یا لوله در واکنش میباشد لذا کالیبره کردن دستگاه برای تاسیسات ویژه با متغیرهای بالا غیر عملی میشود.

نتیجتاً "در بکارگیری این دستگاه نیاز به استفاده از یک مبنای مقایسه ای در نتایج حاصل از اندازه گیریها میباشد. برای مثال: به منظور مقایسه رفتار مواد دشیمیایی کندکننده در سیستم یا برای نشان دادن آغاز یک حالت دگرگونی در عملیات عادی یک سیستم، بنا بر این در یک چشم انداز کلی میتوان گفت که یک درصد معین افزایش در نفوذ جریان هیدروژنی مطابق با همان درصد افزایش در میزان خوردگی سیستم میباشد.

واضح است که برای تفسیر نتایج حاصل از اندازه گیریهای انجام گرفته به بعضی آزمایشات و توجهات اضافی نیاز میباشد. هر چند روند تکاملی آن نشان دهنده پیشرفت در جهت کاربرد آسان آنهاست.

در مجموع میتوان گفت: مانیتور کردن نفوذ هیدروژن نوع دیگری از روشهای مانیتورینگ مرسوم و مفید را در سیستمهایی که پروب های معمولی بخاطر تشکیل رسوب سولفید با اشکال مواجه میشوند، فراهم آورده و دارای حساسیت کافی میباشد و بی درنگ هیدروژن فعال ناشی از میزان خوردگی را تا کمتر از  $0.1 \text{ MPY}$  آشکار میسازد. نصب و جادادن پروب سریع و آسان است و همچنین نیازی به دخول در مخزن نمیباشد. این نوع پروب را میتوان از محلی به محل دیگر به آسانی انتقال داد. از آنجا که این متد، میزان خوردگی را بصورت دیفرانسیلی نشان میدهد بیشتر از متدهای اندازه گیری خوردگی به روش انتگرالی، موقعیت ها و شرایط حا در سیستم نشان میدهد.

در شرایط فعلی صنعت، مانیتورینگ در سیستم‌های گازترش ذرکل به معنی بکارگیری متدهایی است که کمترین اشکالات ممکن در سیستم را داشته باشند.

رهنمودهای کلی‌زیر برای انتخاب این متدها پیشنهاد شده است.

الف) اگر مقدار آب آزاد در خط لوله بیشتر از ۴% و مقدار یون سولفید کمتر از تقریباً " 500 ppm باشد. در این حالت پروب‌های پلاریزاسیون از نوع Flush Mounted با پدیا مانیتورینگ پیوسته بخوبی کار بدهد. این نوع پروب باید، بین ساعت 4-8 بر روی خط لوله متصل شود. در این وضعیت پروب بیشتر اوقات مقدار صفر (Zero) را نشان خواهد داد، و فقط ضمن عبور آب جواب خواهد داد. این باعث می‌شود میزان خوردگی با یک عدد مثبت مستقل بر حسب MPY بیان گردد. اندازه‌گیری که میزان خوردگی حادث شده را در آن قسمت‌هایی از خط لوله که بیشتر از همه آسیب می‌بیند، نشان می‌دهد.

با این متد کنترل خوبی زبکار بردن مواد شیمیایی در سیستم ممکن می‌باشد. اگر مقدار سولفید نزدیک به حد بالاتر از 200ppm باشد شاید نیازمند به اجزای دستورالعملی برای تمیز کردن پروب‌ها باشیم.

ب) اگر مقدار آب کمتر از 4% و مقدار سولفید کمتر از 200ppm باشد، پروب‌هایی از انواع مقاومتی کارآیی صحیح خواهد داشت، این پروب‌ها یک مقدار از آسیب دیدگی یا صدمات خوردگی سیستم را نشان می‌دهد که می‌تواند برای محاسبه یک عدد متوسط بر حسب MPY بکار برود. در نتیجه بسیار مهم است پروب در محلی که بیشترین تماس با آب را دارد نصب گردد تا بدترین شرایط خوردگی بصورت صحیح بدست آید.

ج) در شرایطی که پروب از نوع مقاومتی و پلاریزاسیون را نمی‌توان بکار برد.

کمتر از 4% آب و بیشتر از 200 ppm سولفید

در این حالت از مانیتور کردن نفوذ هیدروژنی نتیجه بهتری نسبت به سایر روش‌ها بدست آورده می‌شود. این روش یک اندازه نسبی از فعالیت خوردگی برای مقایسه رفتار انواع رژیم‌های جریان و دگرگونی‌های ناشی از خوردگی در یک حالت نرمال سیستم را نشان می‌دهد.

d) برای هر محیطی ، صرف نظر از دیگر روشهای مانیتورینگ ، نتایج حاصل از نصب کوپن همیشه بدست آورده میشود نهایت کوشش باید انجام گیرد تا کوپن ها در نواحی که بیشترین زمان تماس را با محیط مرطوب را دارا رند نصب شود در این حالت میتوان انتظار داشت یک تشخیص صحیح زودترین حالت سیستم بدست آید .

## موادشیمیایی کندکننده خوردگی

( CORROSION INHIBITORS )

### ۱- تعاریف:

انجمن ملی مهندسی خوردگی (NACE) مواد کندکننده خوردگی را چنین تعریف کرده است. کندکننده‌ها مواد شیمیایی میباشند که با افزودن آنها در مقادیر جزئی به محیط‌های خوردنده، میزان خوردگی را بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش میدهند. در عمل از روشهای مختلف مواد شیمیایی گوناگون برای این منظور استفاده میگردد. جهت دسته‌بندی این مواد طرق مختلفی ارائه شده که یکی از آنها، دسته‌بندی مطابق عملکرد مواد بشرح زیر میباشد.

۱-۱ کندکننده‌های خوردگی فیلم‌ساز ( FILM FORMING )

۱-۲ کندکننده‌های خوردگی خنثی کننده ( NEUTRALIZING )

۱-۳ کندکننده‌های خوردگی غیرفعال کننده ( PASSIVATING )

۱-۴ کندکننده‌های خوردگی راسب شونده ( PRECIPITATING )

۱-۵ کندکننده‌های خوردگی زداینده ( SCAVENGING )

### ۲- مواد کندکننده خوردگی در تولید نفت و گاز

این مواد در مرحله‌های مختلف تا سیات نفت و گاز بکار می‌روند که عمدتاً شامل موارد زیر می‌باشند:

چاه‌های نفت و گاز، خطوط انتقال، مخازن ذخیره، تاسیسات فرآورش، سیستم‌های آب شور و غیره.

مواد کندکننده مورد مصرف در این قسمت‌ها به دو گروه کلی زیر قابل تقسیم می‌باشند:

۲-۱ کندکننده‌های خوردگی در آب‌زی

آب‌های تولیدی یا مصرفی در مناطق نفتی حاوی مواد و ترکیبات محلول هستند که در خوردگی آنها مؤثر بوده و مستلزم استفاده از مواد کندکننده مختلف می‌باشند. همچنین فعالیت باکتریهای مضر در بسیاری موارد نیز منجر به استفاده از مواد کنترل‌کننده آنها میشود.

۲-۱-۱ اکسیژن محلول: وجود اکسیژن در آب‌های مناطق نفتی سبب افزایش

خوردگی میشود ولی اگر با اعمال روشهایی از قبیل کاربرد مواد اکسیژن زدا

( OXYGEN SCAVENGERS ) (از قبیل بی سولفیت آمونیوم، سولفیت

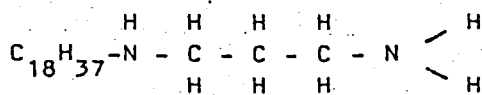
سدیم، تیدرازین و غیره) و دیگر روشها مقدار آن به کمتر از 0.01 PPM

کاهش یا بدمیتوان حملات خوردگی را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

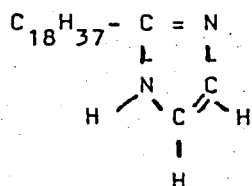
۲-۱-۲ فعالیت باکتریها : بعضی از موجودات ذره بینی خصوصا "باکتریها" میتوانند از راههای گوناگون درواکنشهای خوردگی شرکت نمایند که موجب خوردگی و ایجاد اختلال در سیستم میشود. مواد شیمیایی که برای کنترل رشد آنها بکار می رود از تنوع زیادی برخوردار میباشند، که مهمترین آنها باکتری کشها ( BACTERIGIDES ) هستند که سبب نابودی کامل باکتریها میشوند.

این نوع مواد به دو گروه آرگانیک و غیر آرگانیک تقسیم میگردد که از گروه اول میتوان ترکیبات آمینه و آلدهیدها و از گروه دوم گاز کلریا مشتقات آنرا نام برد.

۲-۲ کندکننده های خوردگی در فاضل و کربوری  
بیشتر مواد شیمیایی با زدا رنده خوردگی که در واحدهای بهره برداری نفت و گاز استفاده میشوند موادی هستند که لایه های بر روی سطوح فلزات تشکیل میدهند و از خوردگی جلوگیری می کنند. نمونه ای از مواد شیمیایی کندکننده خوردگی و فرمول شیمیایی آنها را بطور مثال بصورت زیر میتوان نام برد.



N - OCTADECYL PROPYLENE DIAMINE



N - OCTADECYL IMIDAZOLE

اتمهای نیتروژن بکار رفته در این ترکیبات ( بخش آمین ) دارای یک جفت الکترون اضافی میباشد و عقیده بر این است که این جفت الکترون با فلزیسک باندها و آلانت ( ترکیب فلز و شبه فلز ) تشکیل داده و به سطح فلزی چسبند. در قسمت ابتدایی این دو فرمول (  $\text{C}_{18}\text{H}_{37}$  ) لایه زنجیری و یا عایقی را تشکیل میدهند که فلز را از خوردگی محفوظ میکند.



۳-۱ خاصیت انحلالی ( SOLUBILITY )

مواد شیمیایی کندکننده خوردگی معمولاً بر اساس انحلال ( SOLUBILITY ) و پراکندگی ( DISPERSIBILITY ) در محیط سیال مورد نظر انتخاب میشود. ماده شیمیایی انتخاب شده میتواند محلول در نفت ( OIL SOLUBLE ) و پراکنده در آب ( WATER DISPERSIBLE )، محلول در آب ( WATER SOLUBLE ) و پراکنده در نفت، غیر محلول در نفت و آب و یا پراکنده در نفت و آب باشد.

۳-۲ شکل و نوع مواد کندکننده ( FORM )

بیشتر کندکننده‌هایی که در صنایع نفتی استفاده میشوند، بصورت مایع هستند و وزن مخصوص آنها معمولاً بین ۰/۹ تا ۱/۱ کیلو بر لیتر متغیر است. نوع حلال آنها در نواحی گرم جلوگیری می نماید. کندکننده‌هایی مایع معمولاً بصورت بشکه‌های ۵۵ گالنی و یا در ظرفهای ۵ گالنی وجود دارند.

۳-۳ تجزیه بوسیله حرارت ( THERMAL DEGRADATION )

مواد شیمیایی کندکننده خوردگی تا میزان درجه حرارت محدودی موثر میمانند و در حرارت بالاتر از آنها کاسته میشود زیرا غالباً "ترکیبات شیمیایی آنها تغییر مینماید. این درجه حرارت در مواد شیمیایی مختلف نسبت به فشار و آب موجود و شرایط دیگر متغیر است. برای مثال یک نوع نمک اسید آمین ( ACID-AMINE-SALT ) در شرایط جوی بین ۱۶۰ تا ۱۹۰ درجه فارنهایت ( ۷۰ تا ۸۷ سانتیگراد ) متلاشی شده ولی این ماده شیمیایی میتواند در همین درجه حرارت در جاهای نفتی که آب وجود دارد استفاده شود بدون اینکه تغییری در آن پیدا شود.

۳-۴ انتخاب مواد شیمیایی کندکننده خوردگی

برای انتخاب یک ماده شیمیایی کندکننده خوردگی علاوه بر تجربیات موجود، آزمایشاتی را میتوان انجام داد، که در زیر شرح برخی از این آزمایشات می پردازیم.

۳-۴-۱ آزمایشات در حالت سکون ( STATIC TEST )

در این روش مقدار رگ‌هاش وزن یک کوپن فولاد کم کربن در محلول محتوی مواد کندکننده را با کاهش وزن کوپنی که در محلول فاقد مواد کندکننده قرار داده شده، مقایسه مینمایند.

## ۲-۴-۲ آزمایش در حالت حرکت ( DYNAMIC TEST )

این روش نیز مانند روش قبیل می یابند یا این تفاوت که در طول مدت آزمایش، محلول درون ظرف آزمایش مرتباً "در دستگاه مخصوصی بهم زده میشود تا حالت مشابه حرکت سیال درون سیستم را داشته باشد. یک نوع این آزمایش بنام WHEEL TEST بعرنی است.

## ۴- اثرات جانبی مواد دکنده خورده

### ۴-۱ کف کردن ( FOAMING )

اکثر مواد با زدا رنده خوردهگی معمولاً "تغییل با اسحا د کف در سیستمهای گاز/مایع دارند، لذا در انتخاب نوع مناسب باید دقت لازم بعمل آید.

### ۴-۲ ایجاد مولشن ( EMULSIONS )

بعضی از مواد با زدا رنده خوردهگی باعث مولسیون فاز آب در نفت یا بالعکس میگردد لذا برای هر سیستم نوعی با بدانتخاب شود که کمترین تا شیر را روی سیستم فرآوری داشته باشد. معمولاً "مواد با زدا رنده خوردهگی دارای موادی بنام شکننده مولسیون هستند.

### ۴-۳ ایجاد انسداد ( PLUGGING )

بویسته هایا مواد جامدی که در اثر استفاده از مواد دکنده از سیستم جدا میشوند و در سیال بصورت معلق حرکت مینمایند، ممکن است باعث مسدود شدن قسمتهائی از سیستم گردند.

### ۴-۴ اثر سمیوت ( TOXIC EFFECTS )

اثرات ناشی از سمی بودن این مواد در زمان و مکان کار برد یا بعد در نظر گرفته شود، زیرا مواد با زدا رنده خوردهگی دارای موادمسمی هستند که از نظر محیط زیست مضر می باشند. لذا انتخاب و استفاده از آنها باید طبق اصول ایمنی انجام گیرد.

## ۵- طرق مختلف استفاده از مواد دشمنان دکنده خوردهگی

### ۵-۱ روش متناوب ( SEQUENTIAL TREATMENT )

در این روش ماده با زدا رنده خوردهگی در زمانهای معین به سیستم تزریق

می نمایند تا ایجاد فیلم محافظ بنمایند و این عمل در دوره های معین تکرار می گردد.

۵-۲ روش دائم ( CONTINUOUS TREATMENT )

در این روش ماده با زدا رنده خوردگی بطور مستمر به سیستم تزریق می گردد تا فیلم محافظ اولیه را حفظ نماید.، این روش از روش متناوب موثرتر میباشد.