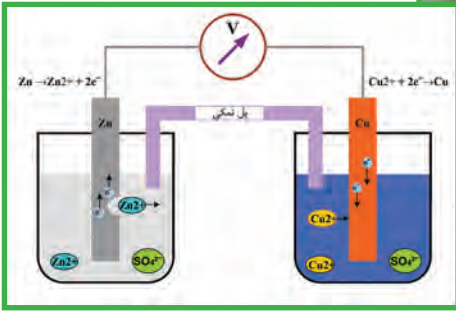


# فصل هفتم

## خوردگی و حفاظت از مواد



- هدف‌های رفتاری:** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند:
- ۱- مفهوم خوردگی مواد صنعتی به خصوص فلزات را توضیح دهد.
  - ۲- ضرورت مطالعه در مورد خوردگی مواد صنعتی را بیان کند.
  - ۳- انواع متداول خوردگی فلزات را بیان نماید.
  - ۴- مکانیزم انواع متداول خوردگی فلزات را توضیح دهد.
  - ۵- راهکارهای اصلی مبارزه با خوردگی فلزات را بیان کند.
  - ۶- نقش پوشش‌های محافظ را در حفاظت از مواد صنعتی توضیح دهد.

## ۷-۱- مقدمه

تعریف خوردگی: خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.

مواد صنعتی از طرف عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل: گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود.

### توجه



آیا می‌دانید بر اساس برآوردها در سطح بین‌المللی هزینه‌های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها می‌باشد. آیا می‌توانید حدس بزنید از نظر ریالی این مقدار برای کشور ما چقدر می‌شود؟

به مثال‌های زیر توجه کنید.

همان‌طور که در شکل‌های (۷-۱ و ۷-۲) مشاهده می‌شود، نردبان فلزی و منبع آب به دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران و نیز مواد دیگر موجود در هوا به شدت دچار زنگ زدگی شده‌اند.



شکل ۷-۲- نردبان فلزی در شرایط حیاط خانه دچار خوردگی شده است.



شکل ۷-۱- منبع آب در شرایط محیط دچار خوردگی شده است.

مثال دیگر لاشه کشتی رها شده در ساحل دریا می‌باشد که مطابق شکل (۷-۳) به شدت دچار پوسیدگی شده و تخریب گردیده است.



شکل ۷-۳- لاشه کشتی در ساحل دریا به شدت دچار خوردگی شده است.

غیرفلزات هم دچار خوردگی می‌شوند؛ مثل : خرد شدن مجسمه‌های سنگی در اثر برف و باران (شکل ۷-۴)، تخریب سازه بتنی (شکل ۷-۵) و یا پوسیدن چوب و کاغذ به دلیل قرار گرفتن در محیط مرطوب نمونه‌هایی از خورده شدن مواد غیرفلزی هستند.



شکل ۷-۵- سازه بتنی در اثر عوامل محیطی دچار تخریب گردیده است.



شکل ۷-۴- مجسمه سنگی تخت جمشید در اثر برف و باران و عوامل محیطی دیگر دچار آسیب دیدگی شده است.

مواد پلاستیکی نیز دچار خوردگی می‌شوند. به طور مثال چنانچه ماده پلاستیکی برای مدت زیادی در معرض نور خورشید قرار گیرد، در اثر اشعه خورشید ساختمان اتمی آن تخریب شده و خواص خود را از دست می‌دهد و یا اگر برای مدتی در معرض مواد شیمیایی قرار گیرند در اثر واکنش با مواد شیمیایی دچار صدمه می‌شوند (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷- قطعه پلاستیکی در معرض محلول شیمیایی دچار تورم و تخریب شده است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می‌شوند، ولی با توجه به این که فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریعتر دچار پدیده خوردگی می‌شوند، لذا اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به کار می‌برند و در ادامه این فصل نیز خوردگی فلزات مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

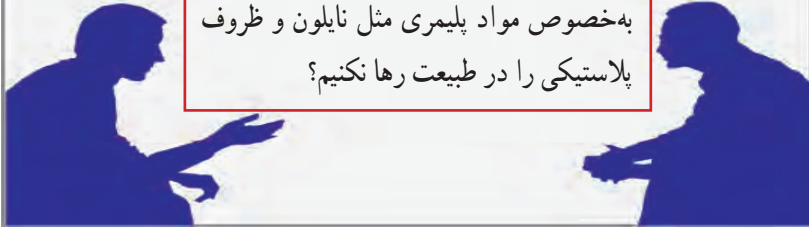
در جدول (۱-۷) حدود زمان لازم برای خورده شدن و تجزیه سه دسته مهم مواد صنعتی به صورت تقریبی و نسبی جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۱-۷- زمان تقریبی لازم برای خورده شدن و تجزیه مواد در طبیعت

ردیف	نوع ماده	زمان تقریبی جهت تجزیه شدن (سال)
۱	چوب و کاغذ	۱ تا ۲
۲	فلزات	۵ تا ۱۰
۳	پلیمرها	۳۰۰ تا ۴۰۰

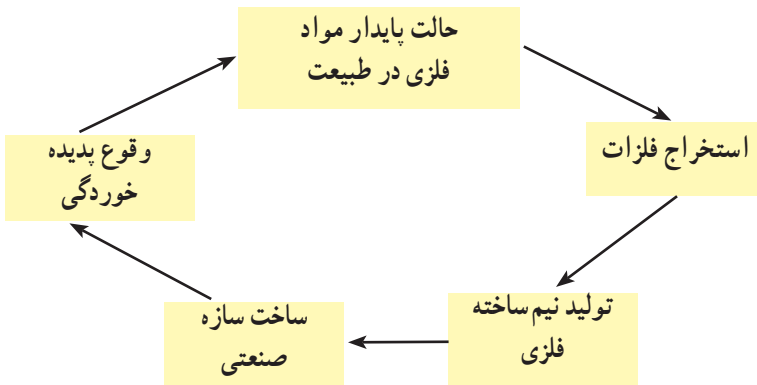
## بحث کنید

به نظر شما چرا تأکید می‌شود که مواد صنعتی به خصوص مواد پلیمری مثل نایلون و ظروف پلاستیکی را در طبیعت رها نکنیم؟



## ۷-۲- خوردگی فلزات

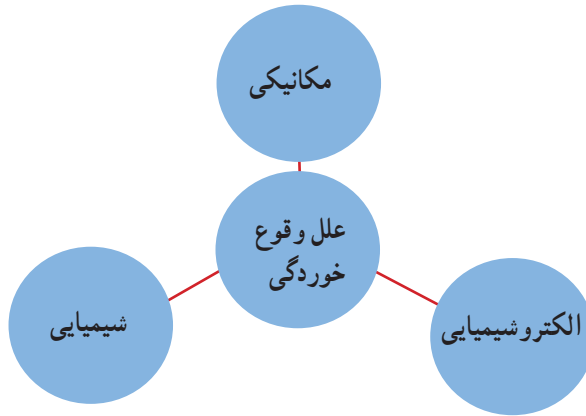
فرآیند خوردگی فلزات را می‌توان به‌عنوان بخشی از چرخه این مواد در طبیعت در نظر بگیریم که در نمودار (۷-۱) نشان داده شده است.



نمودار ۷-۱- چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

## ۷-۳- مکانیزم ایجاد خوردگی

عوامل اصلی ایجاد پدیده خوردگی را می‌توان مطابق نمودار (۷-۲) به سه دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورنده موجود در محیط دارد.

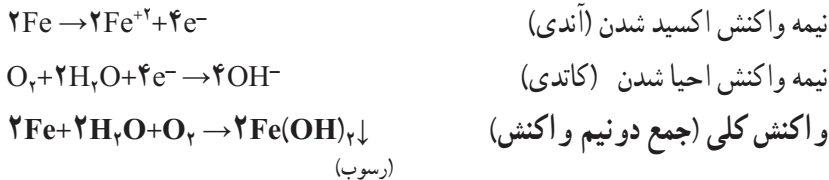


نمودار ۷-۲. مکانیزم ایجاد خوردگی در فلزات

۷-۳-۱ خوردگی شیمیایی: در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در تتراکلریدکربن ( $CCl_4$ ) و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی می‌باشد که به دلیل این‌که این مکانیزم سهم بسیار کمی از خوردگی فلزات را به خود اختصاص می‌دهد بیش از این به بررسی آن نمی‌پردازیم.

۷-۳-۲ خوردگی الکتروشیمیایی: فلزات به دلیل ماهیت ساختمان اتمی که دارند عمدتاً دچار خوردگی الکتروشیمیایی می‌شوند؛ یعنی مکانیزم خوردگی، واکنش الکتروشیمیایی است که ضمن آن نقل و انتقال الکترون بین عوامل واکنش دهنده صورت می‌گیرد و در مورد فلزات آهنی به اصطلاح زنگ‌زدن نامیده می‌شود.

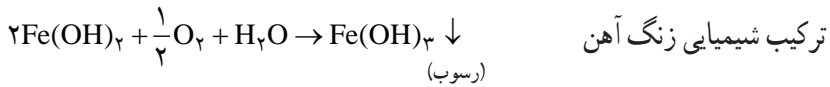
چنانچه یک قطعه آهنی در شرایط اتمسفر مرطوب قرار گیرد، واکنش‌های زیر روی سطح آن اتفاق می‌افتد.



$Fe(OH)_2$  رسوب تیره رنگی است که ابتدا روی سطح قطعه آهنی تشکیل می‌شود و در اثر مرور زمان به دلیل واکنش بیشتر با اکسیژن مطابق واکنش صفحه بعد به صورت رسوب  $Fe(OH)_3$  در می‌آید

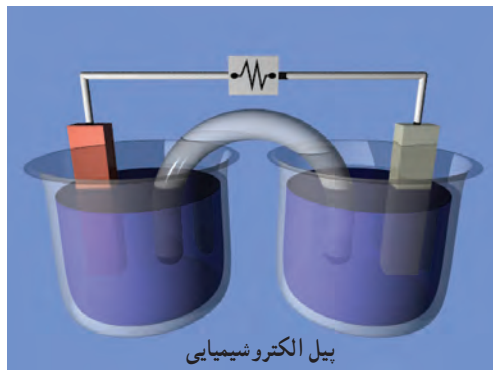
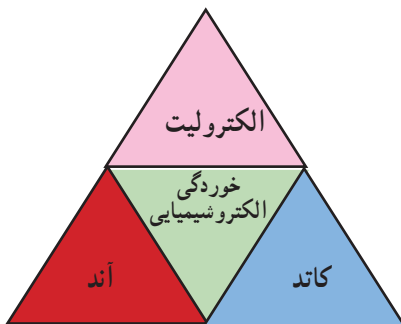


که رنگ آن قرمز قهوه‌ای یا آجری رنگ است و ما آن را به‌عنوان زنگ آهن روی سطح قطعه زنگ زده می‌بینیم (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷. سطح زنگ‌زده ورق‌های آهنی در اثر قرار گرفتن در شرایط اتمسفر مرطوب

بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود.  
شکل (۷-۸) اجزای اصلی تشکیل‌دهنده پیل الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



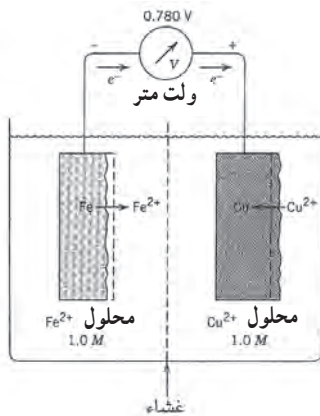
شکل ۷-۸. اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

## تعریف

آند: سطحی است که روی آن واکنش آندی یا اکسیداسیون رخ می دهد. در نتیجه به طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می گردد.

کاتد: سطحی است که روی آن واکنش کاتدی رخ می دهد و دچار خوردگی یا انحلال نمی شود.

الکترولیت: محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون های مثبت و منفی در داخل آن می باشد.



در شکل (۷-۹) نمایش تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه های مس و آهن به صورت شماتیک نشان می دهد.

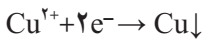
شکل ۷-۹- تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین

تیغه های مسی و آهنی در محلول اسیدی

واکنش های پیل الکتروشیمیایی نشان داده شده در شکل (۷-۹) عبارت است از:

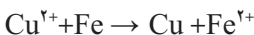


نیم واکنش آندی



نیم واکنش کاتدی

(رسوب)



واکنش کلی: در اینجا تیغه آهنی ضمن از دست دادن الکترون حل می شود و در مقابل یون های

مثبت مس با جذب الکترون های آزاد به صورت خنثی در آمده و روی سطح تیغه مسی رسوب می کنند.

همان طور که مشاهده می شود جهت جریان الکترون ها از طرف تیغه آهنی به طرف تیغه مسی می باشد.

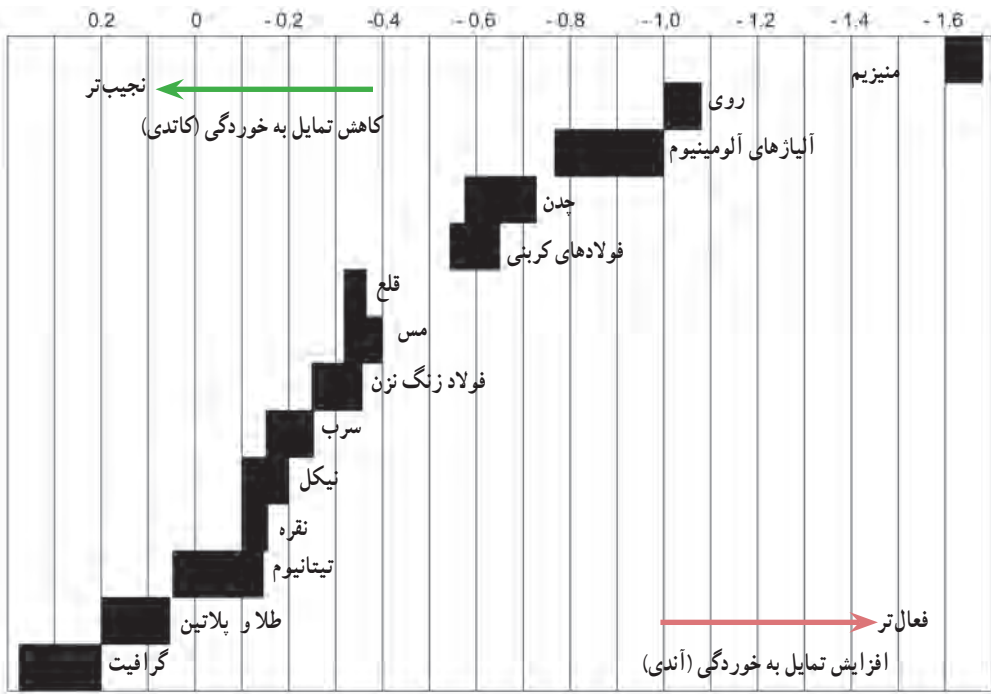
لازم به یادآوری است در شرایط مشابه شکل (۷-۷) که تنها یک نوع ورقه فلزی در معرض



محیط خورنده قرار می‌گیرد، ابتدا پیل‌های الکتروشیمیایی کوچکی روی سطح تشکیل می‌شوند و با گذشت زمان سطوح آن‌دی و کاتدی جا به جا می‌شوند. در نتیجه پس از مدتی تمام سطح دچار زنگ‌زدگی می‌شود.

تمایل فلزات مختلف نسبت به از دست دادن الکترون و اکسید شدن متفاوت است. شاخص این تمایل متفاوت، پتانسیل الکتروشیمیایی است که در خصوص تعدادی از عناصر فلزی و آلیاژهای آنها در نمودار (۷-۳) نشان داده شده است.

پتانسیل (ولت) نسبت به الکترو د مرجع نقره — نقره کلرید



نمودار ۷-۳ پتانسیل الکتروشیمیایی چند فلز متداول جهت مقایسه میزان تمایل به اکسیداسیون

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت‌تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب‌ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی که در بالا و سمت راست شکل قرار دارند، دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال‌ترند).

بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر می باشد با سرعت بیشتری دچار خوردگی می گردد. به این نوع از خوردگی در اصطلاح خوردگی گالوانیک می گویند که در ادامه برای درک بهتر موضوع چند مثال آورده شده است.

در شکل (۷-۱۰) پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی نسب شده اند. همان طور که در شکل (۷-۱۰) نشان داده شد، چون فلز مس نسبت به فولاد کربنی در موقعیت مثبت تری قرار دارد، لذا تمایل کمتری به اکسید شدن یا خوردگی دارد (به عنوان سطح کاتدی عمل می کند). در عوض سطح ستون فولادی با شدت بیشتری دچار خوردگی می شود (به عنوان سطح آندی عمل می کند).



شکل ۷-۱۰- تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی

اتفاق مذکور مطابق شکل (۷-۱۱) در مورد اتصال شیر برنجی با لوله فولادی افتاده و منجر به خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی گردیده است.



شکل ۷-۱۱- خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی

مثال دیگری از خوردگی گالوانیک در شکل (۷-۱۲) نشان داده شده است؛ در اینجا دو قطعه لوله مسی توسط زانوی فولادی دارای پوشش روی (گالوانیزه) به هم متصل شده اند و براساس آنچه که در مثال قبلی توضیح داده شد، زانوی فولادی به شدت دچار خوردگی شده و رسوبات سفید رنگ ناشی از خوردگی فلز روی (zn) روی سطح آن تجمع یافته است.



شکل ۷-۱۲- خوردگی زانوی فولادی گالوانیزه در اتصال با لوله مسی

حال به شکل (۷-۱۳) نگاه کنید.



شکل ۷-۱۳- منبع آب از جنس فولاد کربنی در محل خط جوشها دچار زنگ زدگی شده است.

## بحث کنید

به نظر شما چرا محل خط جوش‌های روی مخزن آب دچار زنگ‌زدگی شده است؟

یکی از دلایل وقوع چنین اتفاقی می‌تواند ناشی از جوشکاری مخزن با الکترودی از جنس متفاوت با جنس صفحات فلزی مخزن آب باشد، به طوری که باعث شده است فلز جوش با جنس متفاوت (فعال‌تر)، تمایل بیشتری نسبت به خوردگی و زنگ‌زدن پیدا نماید؛ این مثال به ما می‌آموزد در موقع جوشکاری سازه‌های فلزی تا جای ممکن از الکترودی استفاده کنیم که جنس فلز جوش حاصل مشابه و یا نزدیک به جنس فلز اصلی باشد.

گاهی اوقات به دلایل مختلف خوردگی روی سطح قطعات و سازه‌های فلزی به صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد. بلکه مطابق شکل (۱۴-۷) در بعضی نقاط متمرکز می‌شود، نتیجه آن ایجاد یکسری حفره روی سطح می‌باشد که به آن در اصطلاح خوردگی حفره‌دار شدن می‌گویند.



شکل ۱۴-۷- سطح فولاد دچار خوردگی موضعی (حفره‌دار شدن) شده است.

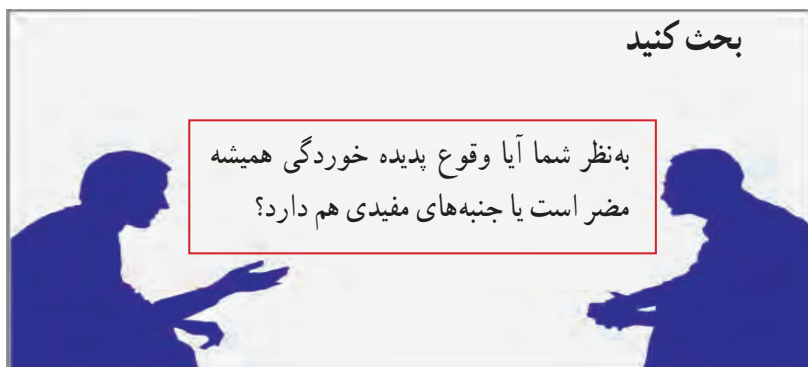
خوردگی موضعی به طور معمول در مناطقی از سازه که سیال حالت ساکن پیدا کند، یا در زیر موادی که به عنوان عایق به کار می‌روند (شکل ۱۵-۷) و یا روی سطح فولادهای زنگ‌زن در محیط‌های دارای یون کلرید ( $Cl^-$ ) شایع است.

لازم به یادآوری است در این نوع خوردگی مقدار کل انحلال فلز نسبت به خوردگی یکنواخت کمتر است ولی به دلیل تمرکز خوردگی در سطح کوچک به سرعت سبب تخریب سازه صنعتی می‌گردد و چون از قبل نمی‌توان سرعت خوردگی را پیش‌بینی کرد خطرناک است.



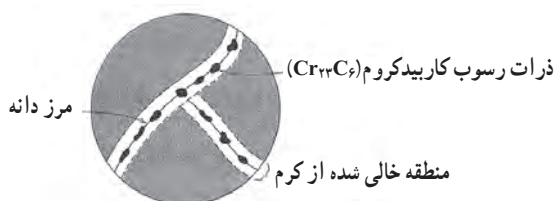
شکل ۱۵-۷- خوردگی موضعی لوله فولادی در زیر عایق حرارتی (پشم شیشه)

همان‌طور که ملاحظه شد بیشتر تخریب‌هایی که ما به صورت روزمره در خصوص اضمحلال سازه‌های فلزی پیرامون خود شاهد هستیم ماهیت الکترو شیمیایی دارند و سرعت خوردگی متناسب با مقدار و نوع عوامل واکنش‌کننده مثل: رطوبت، دما، اکسیژن،  $CO_2$ ،  $SO_2$  و... افزایش می‌یابد.



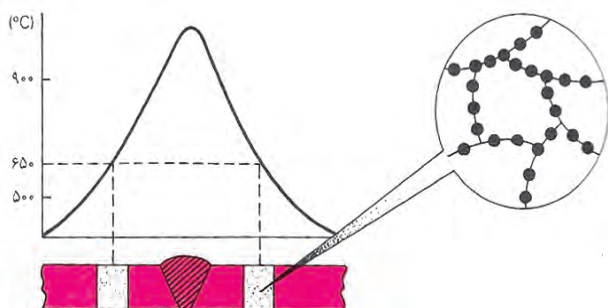


فولادهای زنگ نزن ممکن است به دلیل آنچه در زیر توضیح داده می‌شود، دچار نوعی دیگری از خوردگی موضعی با مکانیزم الکتروشیمیایی شوند. همان‌طور که می‌دانید دلیل زنگ نزدن این نوع از فولادها وجود درصد بالای کروم در ترکیب آلیاژی است که با ایجاد اکسید کروم روی سطح فولاد آنرا حفاظت می‌نماید ولی چنانچه ناحیه‌ای از فولاد زنگ نزن برای مدتی در محدوده دمایی حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد، اتم‌های کروم و کربن موجود در فولاد زنگ نزن با هم ترکیب شده و به‌صورت ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد رسوب می‌نمایند (شکل ۷-۱۶). این موضوع سبب کاهش مقدار اتم‌های کروم در ناحیه اطراف رسوبات کاربیدی می‌شود. لذا این نواحی به دلیل کاهش مقدار درصد کروم دچار خوردگی و زنگ زدگی می‌شوند.



شکل ۷-۱۶- رسوب ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد زنگ‌نزن

این اتفاق همان‌طور که در شکل (۷-۱۷) مشاهده می‌شود می‌تواند در حین جوشکاری فولادهای زنگ نزن رخ دهد و سازه‌های جوشکاری شده از جنس فولاد زنگ نزن پس از مدتی در نواحی مجاور خط جوش‌ها دچار خوردگی شوند (شکل ۷-۱۸). بنابراین در موقع جوشکاری فولادهای زنگ نزن باید به این موضوع توجه کنیم و با اتخاذ تدابیر مختلف، تا حد ممکن از وقوع چنین پدیده‌ای جلوگیری نماییم.



شکل ۷-۱۷- رسوب ذرات کاربید کروم در منطقه کنار خط جوش که زمان بیشتری در محدوده دمایی ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه قرار می‌گیرد.





شکل ۱۸-۷- فولاد زنگ نزن در نواحی مجاور خط جوش دچار خوردگی موضعی شده است.

**بحث کنید**

به نظر شما برای جلوگیری از وقوع چنین پدیده‌ای (خوردگی موضعی فولاد زنگ نزن) چه اقدامی می‌توان انجام داد؟

### بیشتر بدانیم

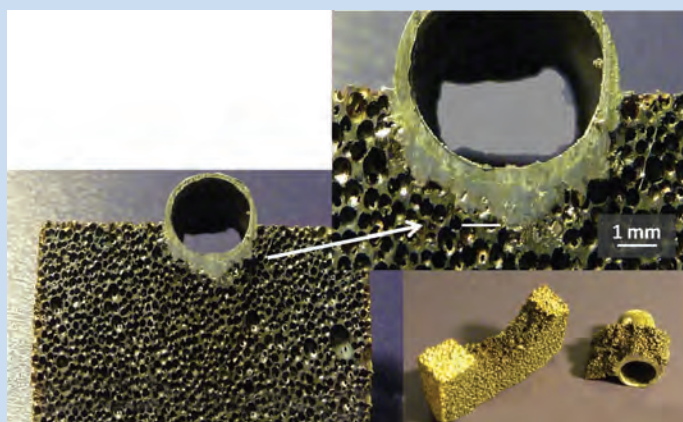
#### خوردگی یا جدایش انتخابی

حالت دیگری از خوردگی با مکانیزم الکتروشیمیایی می‌تواند همان‌طور که در شکل‌های (۱۹-۷) و (۲۰-۷) نشان داده شده است در بعضی از آلیاژهای فلزی مثل چدن‌ها و آلیاژ برنج (مس و روی) رخ دهد که به آن در اصطلاح خوردگی انتخابی یا جدایش انتخابی می‌گویند.



شکل ۱۹-۷- گرافیتی شدن بره پمپ از جنس چدن که دچار خوردگی انتخابی شده است.

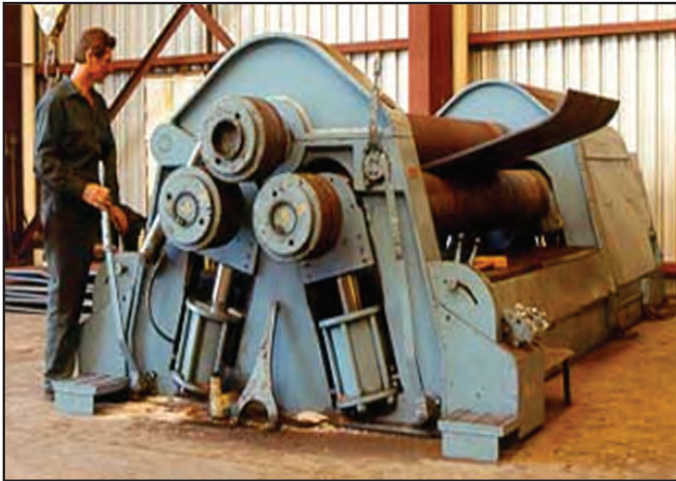
در این نوع خوردگی همان‌طور که از نام آن مشخص است یکی از عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ به‌صورت انتخابی در محیط خورنده حل می‌شود. مثلاً چنانچه یک قطعه چدنی یا برنجی برای مدت نسبتاً طولانی در محیط خورنده مثل محلول اسیدی قرار گیرد؛ در مورد آلیاژ برنج عنصر روی و در خصوص آلیاژ چدن عنصر آهن به‌دلیل این‌که بر اساس نمودار (۳-۷) تمایل بیشتری به اکسید شدن دارند حل می‌شوند و پس از مدتی سطح قطعات مذکور به‌صورت متخلخل در می‌آیند که رنگ ظاهری سطح نیز به‌رنگ عنصر باقی‌مانده بر روی سطح متمایل می‌شود.



شکل ۲۰-۷- قطعات چدنی و برنجی دچار خوردگی انتخابی شده‌اند و سطح آنها متخلخل گردیده است.

۳-۳-۷- خوردگی مکانیکی: در اینجا پدیده خوردگی تحت تأثیر نیروهای مکانیکی اتفاق می‌افتد. البته ممکن است عامل مکانیکی به تنهایی سبب تخریب و شکست ماده صنعتی گردد. مثل: سایش و یا عوامل دیگر نظیر واکنش الکتروشیمیایی نیز به صورت توأم دخیل باشند. مثل: خوردگی فرسایشی.

سایش یکی از عوامل رایج تخریب کننده قطعات صنعتی است و زمانی اتفاق می‌افتد که دو سطح در تماس با یکدیگر تحت تأثیر نیروی مکانیکی نسبت به هم حرکت لغزشی داشته باشند. یک مورد متداول پدیده سایش روی سطح غلتک‌های نورد اتفاق می‌افتد. آن‌طور که در شکل (۲۱-۷) ملاحظه می‌کنید سطح غلتک‌های دستگاه نورد به دلیل نیروی مکانیکی زیادی که به آنها وارد می‌شود به مرور زمان دچار سایش می‌شوند و باید تعمیر گردند. به طور معمول هر چه نیروی اعمالی افزایش یابد و یا اختلاف سختی دو سطح در حال تماس با یکدیگر بیشتر باشد مقدار سایش افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دمای کاری و افزایش حرکت نسبی دو سطح نسبت به یکدیگر میزان سایش را به طور معمول زیاد می‌کند.



شکل ۲۱-۷- سطح غلتک‌های دستگاه نورد به دلیل نیروی مکانیکی دچار سایش می‌شود.

نوع دیگری از خوردگی که تحت تأثیر هم‌زمان نیروی مکانیکی (برخورد ذرات ساینده) و خوردگی الکتروشیمیایی رخ می‌دهد، خوردگی فرسایشی نام دارد. شکل‌های (۲۲-۷ و ۲۳-۷)

تصاویر دو قطعه صنعتی را نشان می‌دهند که دچار خوردگی فرسایشی شده‌اند. این نوع خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که در داخل محلول خورنده ذرات ساینده (مثل شن و ماسه) وجود داشته باشد.



شکل ۲۲-۷- پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است.

به شکل (۲۳-۷) نگاه کنید.

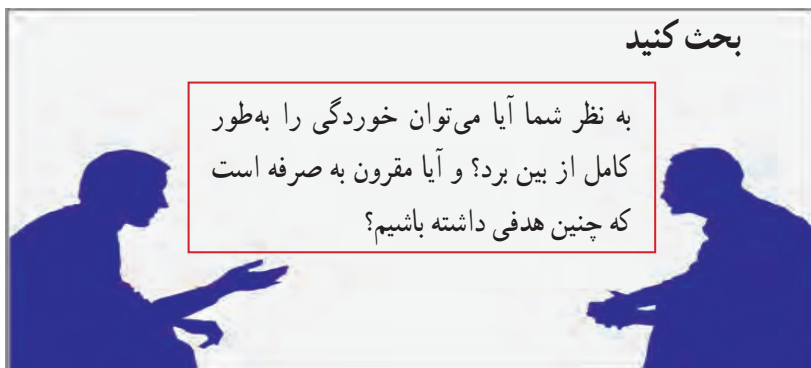
پره پمپ آب به دلیل وجود ذرات شن در محلول خورنده تخریب شده است. در این مثال ضمن اینکه پره فولادی در محلول خورنده قرار داشته، حضور ذرات ماسه در محلول و برخورد آنها به سطح پره پمپ باعث تشدید پدیده خوردگی گردیده است.



شکل ۲۳-۷- پره پمپ به دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است.

## ۷-۴- روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد

به منظور کاهش اثرات ناشی از خوردگی و حفاظت از مواد اقدامات مختلفی را می‌توان انجام داد، که راهکارهای اصلی در نمودار (۷-۴) آمده است. لازم به یادآوری است که انتخاب نوع روش اجرایی علاوه بر مسائل فنی، مشروط به اقتصادی بودن راهکار مورد نظر است.



در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد. به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به صورت مختصر به معرفی این روش‌ها می‌پردازیم.

استفاده از پوشش‌های  
محافظ

طراحی مناسب

روش‌های کنترل خوردگی  
و حفاظت مواد

تغییر محیط خورنده

انتخاب مواد مناسب

نمودار ۷-۴- روش‌های اصلی کنترل خوردگی و حفاظت مواد

## بحث کنید

به نظر شما جهت کنترل یا کاهش میزان خوردگی مواد تا چه میزان هزینه کردن مناسب است؟



شکل ۷-۲۴- مخزن تحت فشار که ممکن است برای انجام فعل و انفعال شیمیایی در دمای بالا به کار گرفته شود.

### ۷-۴-۱- طراحی و انتخاب مواد

مناسب: در موقع طراحی سازه‌های صنعتی طراحان باید پیش بینی مسائل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند.

به‌عنوان مثال: مطابق شکل (۷-۲۴) یک راکتور شیمیایی و یا مخزن تحت فشار را در نظر بگیرید.

موارد مهمی که طراح باید در موقع طراحی سازه فلزی در نظر بگیرد عبارت است از:

- ۱- نوع، میزان و چگونگی اعمال نیروهای مکانیکی را در نظر بگیرد (محاسبه نماید) و متناسب با آن مواد قابل استفاده را مشخص نماید.
- ۲- با در نظر گرفتن مواد شیمیایی داخل آن و شرایط کاری نظیر: دما و فشار از میان مواد مشخص شده گزینه‌های مناسب را از نظر خوردگی معین کند.
- ۳- با توجه به الزامات دیگر طراحی نظیر: شرایط ورودی و خروجی مواد شیمیایی، فرآیند ساخت و تولید سازه، و هزینه‌ها، ماده بهینه را انتخاب نماید.
- ۴- پس از انتخاب ماده مناسب موارد دیگری نیز وجود دارد که طراح باید در طراحی سازه



اصلی و متعلقات جانبی آن از نظر شکل و محل اتصالات در نظر بگیرد :

- تا حد ممکن میزان تنش‌ها و نقاط تمرکز تنش کاهش یابد.
- از تشکیل محل‌های ساکن برای محلول جلوگیری شود.
- از شرایط ایجاد تغییر ناگهانی در سرعت سیال و تشکیل تلاطم شدید پرهیز نماید.



شکل ۲۵-۷- اتصالات خط لوله محتوی سیال خورنده به دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت دچار خوردگی شدید شده است.



شکل ۲۶-۷- گازهای خروجی از دودکش در خوردگی تجهیزات اطراف واحد صنعتی مؤثر است.

۵- از به کار بردن دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم در محیط خورنده پرهیز کند و در صورتی که لازم است دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم، داخل الکترولیت مشترک قرار گیرند سعی کنند :

- دو فلز، با توجه به نمودار پتانسیل الکتروشیمیایی نزدیک به هم انتخاب شوند.
- فلز فعال‌تر دارای سطح بزرگتر باشد؛ تا از تمرکز خوردگی جلوگیری شود.

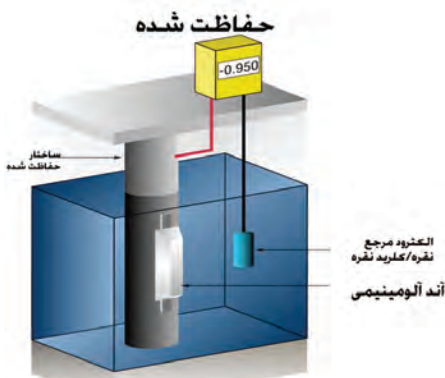
● در صورت امکان با استفاده از واشر یا صفحات پلاستیکی بین مواد متفاوت عایق الکتریکی ایجاد کند. شکل (۲۵-۷) نمونه از خوردگی به دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

۲-۴-۷- تغییر شرایط محیط خورنده : یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خورنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد :

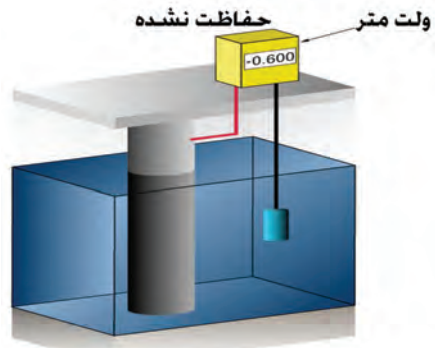
- ۱- حذف یا کاهش عوامل خورنده از طریق فیلترکردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل : فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی (شکل ۲۶-۷).

۲- راهکار دیگر اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خورنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل: نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد که به منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خورنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.

۳-۴-۷- تغییر پتانسیل سازه فلزی: این کار به دو صورت امکان‌پذیر است؛ یکی از طریق اتصال سازه اصلی به فلز فعال‌تر که در شکل (۲۷-۷) به صورت شماتیک نشان داده شده است. روش دیگر اعمال جریان برق مستقیم به منظور کاهش تمایل به از دست دادن الکترون توسط سازه مورد نظر می‌باشد که در شکل (۲۷-۷ قسمت C) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC) برای حفاظت سازه مدفون در خاک و در قسمت (b) نمایش شماتیک فرآیند این روش حفاظتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است این تکنیک‌ها به عنوان روش‌های حفاظت کاتدی معروف می‌باشند.



(b) سازه حفاظت شده با آند آلومینیومی



(a) سازه حفاظت نشده



(c) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC)

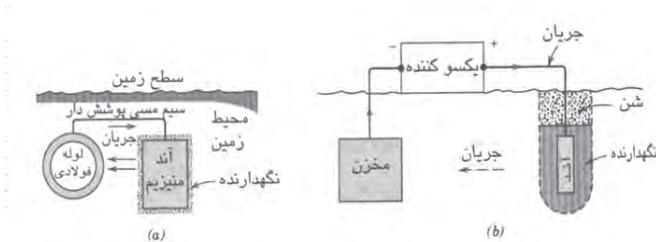
شکل ۲۷-۷- حفاظت کاتدی سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده آلومینیومی

همان‌طور که در شکل (۷-۲۷) ملاحظه می‌شود با اتصال قطعه آلومینیومی دارای پتانسیل منفی‌تر نسبت به فولاد، سبب کاهش پتانسیل الکتروشیمیایی سازه فولادی و در نتیجه کاهش تمایل آن به اکسید شدن (خوردگی) می‌شود. در این روش قطعه آلومینیومی با فدا کردن خود باعث کاهش میزان خوردگی سازه فولادی می‌گردد. در شکل (۷-۲۸) بخشی از یک سکوی دریایی که بر اساس این روش تحت حفاظت قرار گرفته نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۸- سکوی دریایی که آندهای آلومینیومی جهت حفاظت کاتدی به آن متصل شده است.

لازم به یادآوری است استفاده از سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های فلزی مدفون در خاک مثل: مخازن و خطوط لوله به‌عنوان سیستم مکمل پوشش کاربرد گسترده‌ای دارد که در شکل (۷-۲۹) هر دو روش حفاظت کاتدی به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۹- سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های مدفون در خاک (b- حفاظت مخزن از طریق اعمال جریان مستقیم DC) a- حفاظت خطوط لوله از طریق کار گذاشتن آنده جداشونده منیزیمی در مجاورت آن

#### ۴-۷- استفاده از پوشش‌های محافظ : یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در

سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. به‌طور کلی صرف نظر از این که پوشش‌ها ماهیت پلیمری، سرامیکی، فلزی و یا کامپوزیتی داشته باشند، به‌عنوان سدی در برابر حمله عوامل خوردنده به سطح سازه صنعتی عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند. در جدول (۷-۲) ضمن معرفی انواع متداول و پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال آنها بر روی سطح و نمونه‌هایی از کاربرد آنها در صنعت آورده شده است.

لازم به یادآوری است عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح سازه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس می‌باشد، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هر گونه آلودگی مثل : پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز گردند. همچنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح سازه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.

### توجه



تجربه نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد موفقیت یا اثربخش بودن پوشش بستگی به تمیز بودن و شرایط سطح سازه قبل از اعمال پوشش دارد.

جدول ۲-۷ انواع پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال و نمونه کاربرد آنها در صنعت

تصویر سازه‌های صنعتی	روش‌های متداول اعمال پوشش	ماهیت پوشش	نوع پوشش	ردیف
  	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- ابزار دستی</p>	<p>این پوشش‌ها از مواد پلیمری می‌باشند و عمدتاً به منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند؛ نظیر اپوکسی، پلی‌اورتان، پلی‌استر و غیره</p>	پلیمری	۱
  	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- آبکاری</p>	<p>این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و دو دسته‌اند ۱- پوشش تک عنصری که از یک عنصر فلزی تشکیل شده‌اند مثل پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره، کرم و غیره. ۲- پوشش‌های آلیاژی که پوشش از ترکیب دو یا چند عنصر فلزی تشکیل شده است</p>	فلزی	۲
  	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری</p>	<p>این پوشش‌ها ماهیت معدنی (غیرفلزی) و غیر پلیمری دارند مثل انواع لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.</p>	سرامیکی	۳

- ۱- کدام یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی است؟  
 الف) زنگ زدن بدنه کولر آبی  
 ب) تخریب یک مجسمه سنگی به دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران  
 ج) سوراخ شدن لوله‌های آب شهری  
 د) همه موارد
- ۲- کدام یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی است؟  
 الف) ترک خوردن لوله پلاستیکی به دلیل قرار گرفتن در معرض نور خورشید  
 ب) متورم شدن ظرف پلاستیکی محتوی محلول اسید  
 ج) سوراخ شدن بدنه یک تانک فلزی محتوی اسید سولفوریک  
 د) پاره شدن سیم بکسل به دلیل وارد کردن نیروی زیاد
- ۳- زمان لازم برای تجزیه کدام یک از مواد زیر در طبیعت بیشتر است؟  
 الف) فولاد کربنی ب) لاستیک ج) چوب د) مس
- ۴- مکانیزم‌های اصلی ایجاد خوردگی را نام ببرید؟ (سه عامل)
- ۵- فلزات بیشتر دچار چه نوع خوردگی می‌شوند؟  
 الف) الکتروشیمیایی ب) شیمیایی  
 ج) مکانیکی د) شیمیایی و مکانیکی به صورت همزمان
- ۶- اجزاء اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی را نام ببرید؟
- ۷- برای اتصال دو صفحه فولاد کربنی استفاده از میخ پرچ‌های از جنس کدام فلز مناسب‌تر است؟ چرا؟  
 الف) مس ب) روی ج) قلع د) آلومینیومی
- ۸- راه‌های کنترل خوردگی و حفاظت از مواد را نام ببرید؟ (چهار مورد)
- ۹- سه دسته اصلی پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟
- ۱۰- سه روش اصلی اعمال پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟
- ۱۱- پتانسیل الکتروشیمیایی یک سازه فلزی تحت حفاظت کاتدی نسبت به شرایط بدون حفاظت چگونه است؟  
 الف) مثبت‌تر است ب) منفی‌تر است



(ج) فرق نمی‌کند (د) بستگی به جنس سازه دارد  
۱۲- برای حفاظت یک سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده، کدامیک از مواد زیر مناسب نمی‌باشد؟

(الف) روی (ب) آلومینیوم (ج) منیزیم (د) فولاد زنگ نزن  
۱۳- به نظر شما با افزایش آلودگی هوا سرعت خوردگی .....  
.....

(الف) افزایش می‌یابد (ب) کاهش می‌یابد  
(ج) تغییر نمی‌کند (د) بستگی به دمای محیط دارد  
۱۴- به نظر شما سرعت خورده شدن یک سازه فولادی در کدامیک از شرایط آب و هوایی زیر بیشتر است؟

(الف) گرم و مرطوب (ب) سرد و خشک  
(ج) سرد و مرطوب (د) معتدل و نیمه خشک

۱۵- طراح یک سازه فلزی از نظر خوردگی به چه نکاتی بایستی توجه کند؟ (چهار مورد)

۱۶- برای جوشکاری یک سازه فلزی از نظر خوردگی جنس الکتروود بهتر است چگونه باشد؟

(الف) هم جنس با جنس فلز اصلی باشد.

(ب) از جنس فعال تر نسبت به فلز اصلی باشد.

(ج) از جنس نجیب تر نسبت به فلز اصلی باشد.

(د) فرق نمی‌کند.

۱۷- دلیل زنگ نزدن فولاد زنگ نزن ناشی از وجود عنصر ..... در فولاد است.

(الف) کروم (ب) کربن (ج) مس (د) آلومینیوم

۱۸- پوشش‌های محافظ چگونه باعث حفاظت از مواد می‌شوند؟

۱۹- مکانیزم خوردگی را در حالت‌های زیر بنویسید؟

(الف) لوله پلاستیکی که دچار ترک خوردگی شده است.

(ب) سطح ستون فولادی که در شرایط اتمسفری زنگ زده است.

(ج) پروانه پمپ آب که در معرض محلول حاوی ذرات ساینده (ماسه) تخریب شده

است.