

جدول ۲: مقایسه پیل‌های مولد جریان الکتریسیته و برقکافت

نوع پیل	نوع واکنش	E_{cell}	فرایند انجام شده	نام الکترود	علامت الکترود	جهت جریان
مولد جریان الکتریسیته	خودبه‌خودی	$E_{\text{cell}} > 0$	اکسایش	آند	-	آند به کاتد
			کاهش	کاتد	+	
برقکافت (الکترولیز)	غیرخودبه‌خودی	$E_{\text{cell}} < 0$	اکسایش	آند	+	آند به کاتد
			کاهش	کاتد	--+	

فعالیت عملی ۴



مقایسه پیل‌های گالوانی و برقکافت

وسایل موردنیاز: یک سوکندهٔ جریان (رکتیفایر)، بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری، ۴ عدد، میلی‌ولت‌سنج (گسترهٔ ۱۰۰۰- میلی‌ولت) یک دستگاه، سیم‌های رابط و گیره‌های سوسماری، هر کدام ۴ عدد، لولهٔ U شکل، دو عدد مواد موردنیاز: مس (II) سولفات، قلع (II) سولفات، نیتریک اسید غلیظ، پل نمکی دو عدد، ورقه‌های مسی و از جنس قلع یک عدد، (الکترودها می‌توانند خنثی هم باشند)، آگار، محلول سیرشدهٔ پتاسیم کلرید

روش کار:

- ۱ محلول‌های یک مولار از نمک‌های قلع (II) سولفات و مس (II) سولفات تهیه کنید.
- ۲ با استفاده از محلول سیرشدهٔ پتاسیم نیترات دو پل نمکی تهیه کنید.
- ۳ محلول نیتریک اسید ۱:۱ (۷:۷) تهیه کنید و الکترودهای قلع و مس را ۳ دقیقه در محلول گرم آن قرار دهید تا سطح الکترودها براق و تمیز شوند. سپس با آب مقطر بشویید، در آون 110°C خشک کرده و خشکانه قرار دهید.
- ۴ پیش از آزمایش، الکترودها را با گیره بردارید و با استفاده از ترازو، جرم آنها را اندازه‌گیری کنید و یادداشت کنید.
- ۵ با قرار دادن الکترودها (مطابق شکل ۱۷) در محلول‌های الکترولیت، یک پیل گالوانی و یک پیل برقکافت تهیه کنید.
- ۶ پس از ۱۰ دقیقه الکترودها را خارج کنید با آب مقطر بشویید، سپس در آون خشک کنید و پس از سرد شدن، جرم آنها را اندازه‌گیری کنید.

نکته

به جای فلز قلع و محلول قلع سولفات، می‌توانید از فلز روی و محلول روی سولفات استفاده کنید.





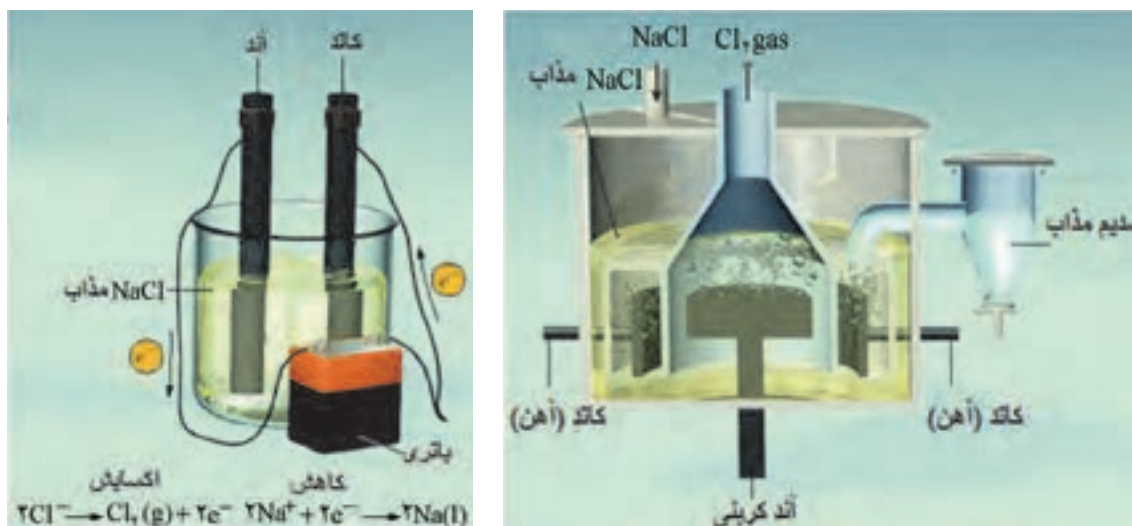
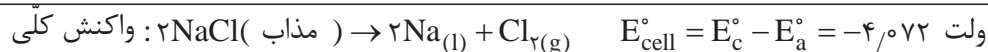
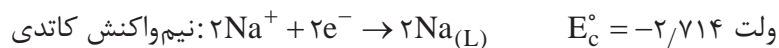
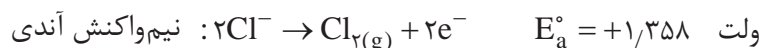
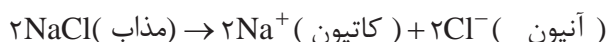
الف) تمامی واکنش‌های انجام شده در سطح الکترودهای کاتد و آند را در پیل گالوانی و پیل برقکافت، بنویسید.
ب) تغییرات جرم الکترودها پیش و پس از آزمایش را بررسی کنید.

مثال:

نیم‌واکنش‌های آندی، کاتدی و پتانسیل پیل برقکافت سدیم کلرید مذاب را به دست آورید.

پاسخ:

باتوجه به شکل ۱۵ در این پیل برقکافت آنیون Cl^- به سمت آند و کاتیون Na^+ به سمت کاتد حرکت می‌کنند و در دو الکترود آند و کاتد به ترتیب اکسایش و کاهش انجام می‌دهند:



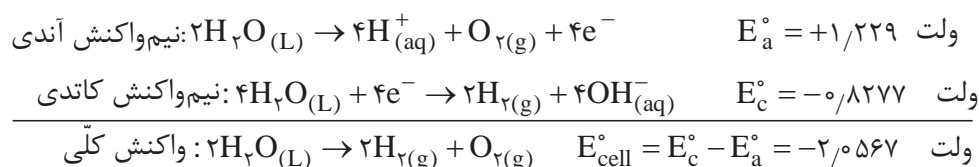
شکل ۱۵- برقکافت سدیم کلرید مذاب: الف) روش آزمایشگاهی، ب) فرایند صنعتی

مثال ۸:

الف) برقکافت آب را در پیل برقکافت شکل ۱۶ بررسی کنید. ب) اگر چند قطره سولفوریک اسید غلیظ به آب اضافه شود، نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی و واکنش کلی چگونه خواهد بود؟

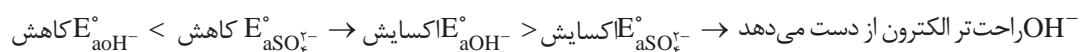
پاسخ:

الف) نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی آب و واکنش کلی پیل به صورت زیر است:

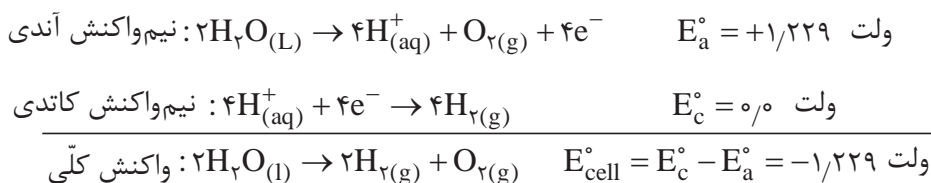


باتوجه به مثال می‌توان گفت، در برقکافت ممکن است محصول نیم‌واکنش‌های کاتدی و آندی به صورت گاز آزاد شود.

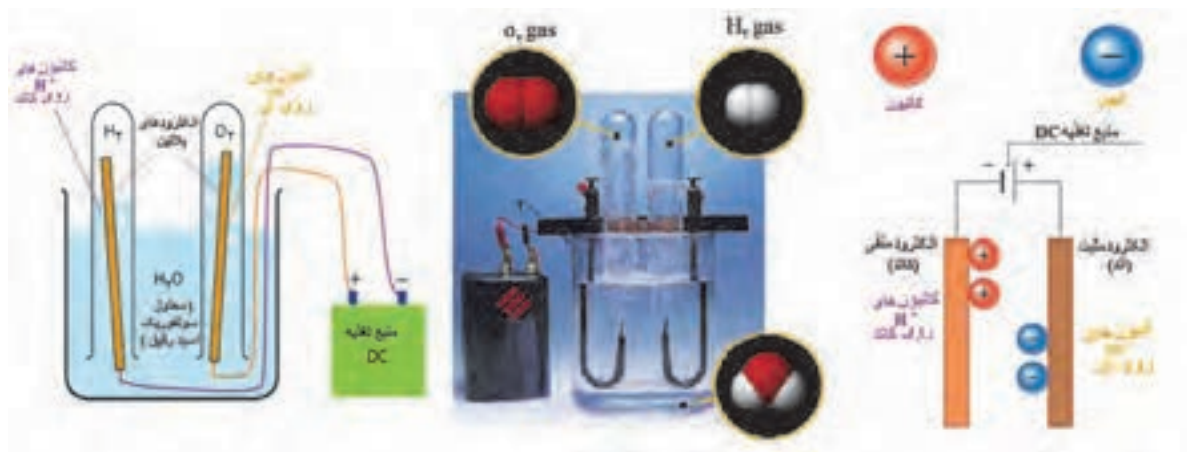
ب) کاتیون H^+ و آنیون‌های OH^- و SO_4^{2-} در محلول الکترولیت حضور دارند. باتوجه به پتانسیل کاهش، در رقابت آنیون‌های OH^- (ولت $+1/229$) و SO_4^{2-} (ولت $+2/05$)، آنیون OH^- پتانسیل کاهش کمتری دارد و در نتیجه تمایل آن به از دست دادن الکترون بیشتر است.



باتوجه به حضور اسید در محیط نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی و واکنش کلی پیل به صورت زیر است:



مقایسه قسمت الف و ب نشان می‌دهد که با حضور اسید پتانسیل کمتری برای انجام برقکافت آب لازم است.



شکل ۱۶- برقکافت محلول آبی رقیق H_2SO_4



برقکافت آب

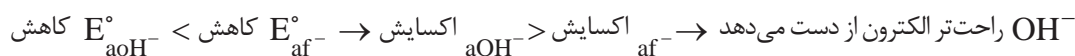
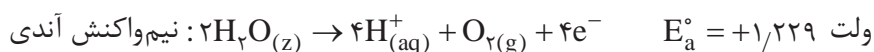
مطابق شکل ۱۷ با افزایش چند قطره سولفوریک اسید غلیظ به آب مقطر و با اعمال پتانسیل بیشتر از ۱/۲۲۹ ولت برقکافت آب را انجام دهید.

مثال ۹:

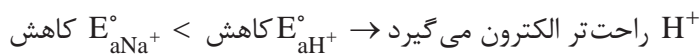
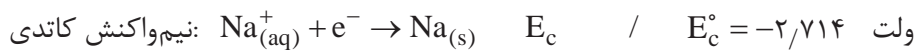
در برقکافت محلول آبی سدیم فلوئورید نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی، واکنش کلی و پتانسیل کلی پیل را مشخص کنید.

پاسخ:

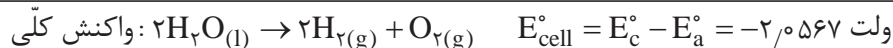
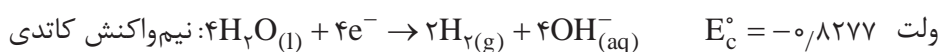
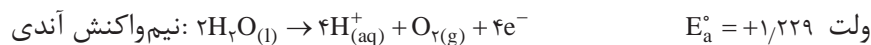
نیم‌واکنش‌های آندی محتمل:



نیم‌واکنش‌های کاتدی محتمل:



لذا واکنش کلی پیل:

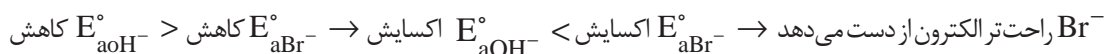
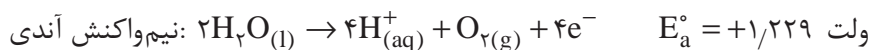
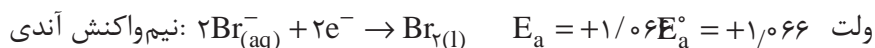


پس می‌توان نتیجه گرفت، سدیم فلوئورید دستخوش تغییر شیمیایی نمی‌شود.

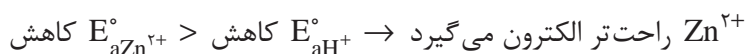
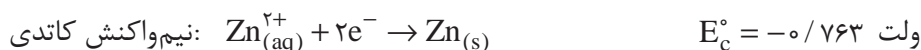
مثال ۱۰:

محصولات برقکافت محلول آبی یک مولار روی برمید با الکترودهای خنثی را مشخص کنید.

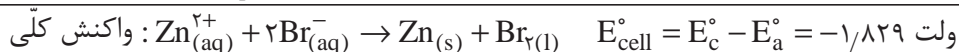
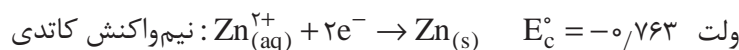
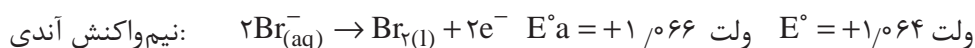
نیم واکنش های آندی محتمل:



نیم واکنش های کاتدی محتمل:



لذا واکنش کلی پیل:



پس در این برقکافت روی کاهش یافته و برم اکسید می شود؛ لذا محصولات واکنش، فلز روی و برم مایع است.

نکته

لازم به ذکر است در مثال ۹ و ۱۰، پتانسیل الکترودی نیم واکنش ها، براساس پتانسیل کاهش استاندارد نوشته شده است.



فعالیت عملی ۶



تعیین مقدار مس در محلول مس (II) سولفات

وسایل مورد نیاز: یک سوکننده جریان (رکتیفایر)، بشر ۴۰۰ میلی لیتری ۱ عدد، گرم کن برقی، سیم های رابط و گیره های سوسماری هر کدام ۲ عدد
مواد مورد نیاز: محلول با غلظت مجهول مس (II) سولفات، نیتریک اسید غلیظ، سولفوریک اسید غلیظ، ورقه مسی یک عدد، الکتروگرافیت یا پلاتین

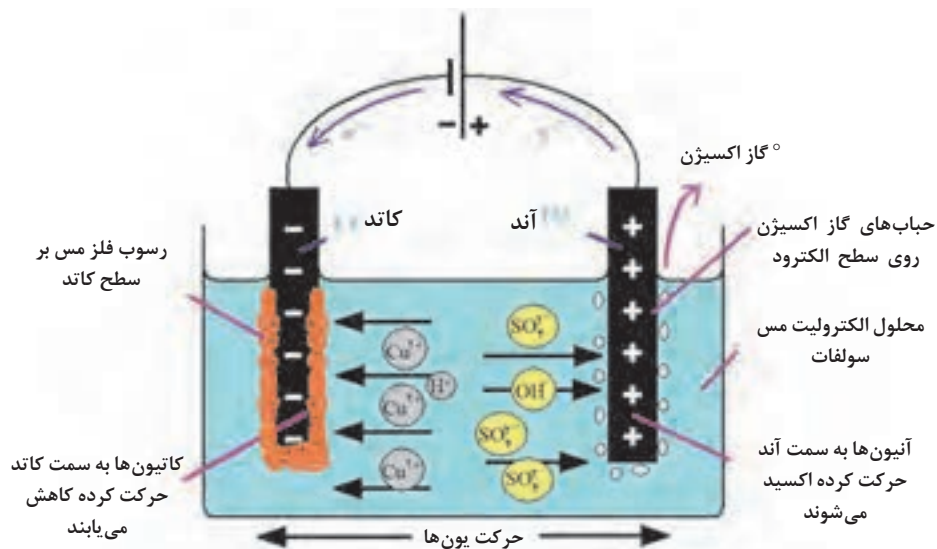
نکته ایمنی

- تماس با چشم، تماس با پوست و استنشاق بخارات نیتریک اسید سبب آسیب های جدی می شود.
- سولفوریک اسید باعث سوختگی شدید پوست و چشم های می گردد. بلعیدن آن باعث آسیب دیدگی شدید مخاط دهان، گلو و معده می شود. مخلوط آن با آب به شدت گرمازا است و بخارات بسیار آزاردهنده تولید می کند.



روش کار:

- ۱ محلول نیتریک اسید ۱:۱ (۷:۷) تهیه کنید و الکترودها را ۳ دقیقه در محلول گرم آن قرار داده تا سطح الکترودها براق و تمیز شوند. سپس با آب مقطر شسته، در اون 110°C خشک کرده و در خشکانه قرار دهید.
- ۲ پیش از آزمایش، الکترودها را با گیره بردارید و با استفاده از ترازو، جرم آنها را اندازه گیری کنید و یادداشت کنید.
- ۳ حجم معینی از نمونه مجهول را در ظرف برقکافت بریزید و ۲ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ و ۱/۵ میلی لیتر نیتریک اسید ۱:۱ (۷:۷) به آن اضافه کنید.
- ۴ الکترودها را در ظرف برقکافت مطابق شکل ۱۷ در جای مخصوص خود قرار دهید (کاتد از جنس مس و آند گرافیت انتخاب شوند) و تا پوشیده شدن حدود ۲ سانتی متر از الکترودها از آب مقطر استفاده کنید.
- ۵ دمای رسوب کردن مس $50 - 60^{\circ}\text{C}$ است. پس از رسیدن به دمای موردنظر، با شدت جریان ۲ آمپر برقکافت را به مدت ۳۰ دقیقه انجام دهید.
- ۶ برای حصول اطمینان از کامل شدن برقکافت مقداری آب مقطر به محلول اضافه کنید تا سطح جدیدی از کاتد در محلول قرار گیرد.
- ۷ شدت جریان را از ۲ آمپر به ۱/۵ آمپر کاهش دهید و آزمایش را تا ۱۰ دقیقه دیگر ادامه دهید.
- ۸ چنانچه پس از این مدت مس بر روی سطح جدید کاتد رسوب نکرد، برقکافت کامل بوده و می توانید کاتد را از مدار خارج کنید.
- ۹ الکترودها را که مس بر روی آن رسوب کرده است با آب مقطر بشویید و در آن خشک کنید و پس از سرد شدن به دقت وزن کنید.



شکل ۱۷- برقکافت محلول مس (II) سولفات با الکترودهای کربنی

الف) کلیه واکنش‌های انجام شده روی سطح کاتد و آند را بنویسید.
 ب) باتوجه به اختلاف جرم کاتد پیش و پس از عمل برقکافت، مقدار مس موجود در نمونه را برحسب مس سولفات ۵ آبه تعیین کنید.

پیل‌های خوردگی

خوردگی در محیط‌های آبی، دارای ماهیت الکتروشیمیایی است که بر مبنای یک پیل گالوانیک عمل می‌کند. بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی فلزات با تشکیل پیل الکتروشیمیایی انجام می‌شود که به آن پیل خوردگی گفته می‌شود. با توجه به انواع پیل‌های الکتروشیمیایی، واکنش‌های خوردگی می‌تواند منطبق با یکی از انواع پیل‌های خوردگی زیر انجام شود:

الف) پیل دو فلزی (گالوانی)^۲: پیلی که از دو فلز با جنس‌های مختلف تشکیل می‌شود، پیل گالوانی یا دو فلزی گفته می‌شود.

تمرین ۶

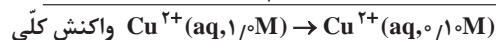
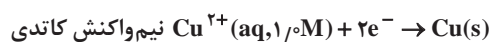
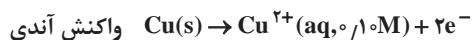
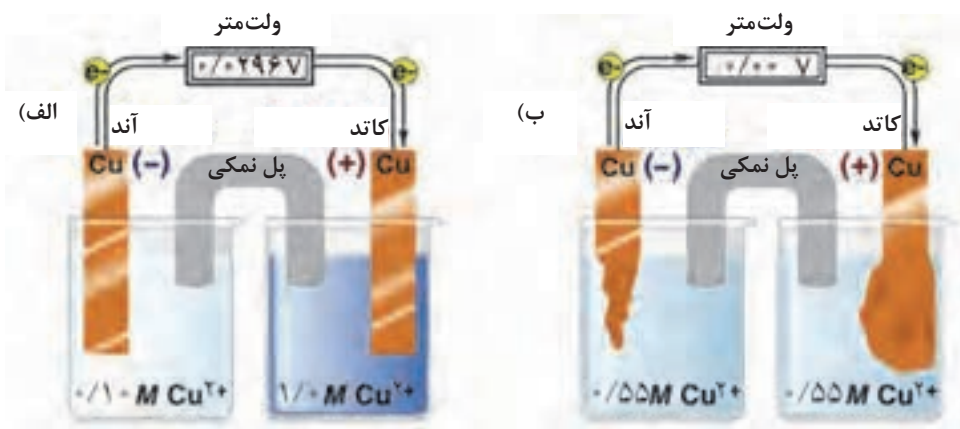


برای پیل‌های گالوانی $Al/Ni, Cu/Fe, Cu/Ni, Al/Cu, Cu/Zn$ زیر
الف) آند و کاتد را مشخص نمایید.

ب) پتانسیل زوج‌های گالوانی را در شرایط استاندارد محاسبه کنید.

ج) در هر مورد از زوج‌های گالوانی کدام فلز خورده شده و کدام یک حفاظت می‌شود؟

ب) پیل غلظتی^۳: این پیل از قرار گرفتن دو الکتروود مشابه در محلول‌های الکتروولیت با غلظت‌های متفاوت تشکیل می‌شود. مانند پیلی که از قرار گرفتن فلز مس در محلول مس سولفات غلیظ و الکتروود مس دیگر در محلول مس سولفات رقیق‌تر تشکیل می‌شود (شکل ۱۸). خوردگی تا زمانی ادامه می‌یابد که در هر دو محلول، غلظت‌ها برابر شود.



شکل ۱۸- نمونه‌ای از پیل غلظتی

۱- Corrosion Cell

۲- Galvanic cell

۳- Concentration Cell

پتانسیل پیل غلظتی حاصل را می‌توان با استفاده از پتانسیل الکترودها و براساس معادلهٔ نرنست بیان کرد. هرگاه دو الکترودها یکسان در محلول‌های الکترولیت با غلظت‌های متفاوت قرار گیرند، بین دو الکترودها یک اختلاف پتانسیل برقرار و یک پیل غلظتی تشکیل می‌شود. پتانسیل پیل غلظتی حاصل را می‌توان با استفاده از پتانسیل الکترودها و بر اساس معادلهٔ نرنست بیان کرد. اگر غلظت یون فلزی در محلول الکترولیت رقیق‌تر C_1 و غلظت یون در الکترولیت غلیظ‌تر C_2 باشد، پتانسیل الکترودهای در تماس با این محلول‌ها در دمای 25°C ، از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E = E_{M^{n+}/M}^\circ + \frac{0.0592}{n} \log C_1, \quad E = E_{M^{n+}/M}^\circ + \frac{0.0592}{n} \log C_2$$

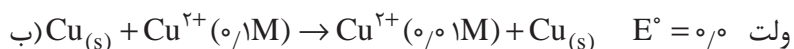
باتوجه به اینکه $C_1 < C_2$ است، پس $E_1 < E_2$ خواهد شد؛ یعنی الکترودها قرار گرفته در الکترولیت غلیظ‌تر دارای پتانسیل کاهش بزرگتری است؛ بنابراین نقش کاتد را دارد و یون‌های فلزی در سطح آن کاهش می‌یابند. در حالی که الکترودها قرار گرفته در محلول رقیق‌تر (E_1) دارای پتانسیل کاهش کمتر است و نقش آند را ایفا می‌کند و خورده می‌شود. این پدیده اساس خوردگی اجزای فلزی تجهیزاتی را که در محلول‌های الکترولیت با غلظت‌های متفاوت هستند، تشکیل می‌دهد. در این تجهیزات، قسمتی از فلز که در تماس با الکترولیت رقیق‌تر است، نقش آند دارد و خورده می‌شود.

مثال ۱۱:

در یک پیل غلظتی با الکترودهای یکسان مس در دمای 25°C ، غلظت یون‌های مس در یکی از الکترودها 0.1 مولار و در دیگری 0.01 مولار است. الف) کدام الکترودها آند و کدام کاتد است؟ ب) واکنش کلی پیل چگونه است؟ ج) نیروی محرکهٔ پیل را محاسبه کنید.

پاسخ:

الف) چون واکنش نهایی پیل‌های غلظتی فقط رقیق شدن الکترولیت یا کاهش غلظت یون‌های مربوط است، پس الکترودهای که غلظت یون‌های مس در آن بیشتر (0.1 مولار) است، کاتد و دیگری (0.01 مولار) آند است.

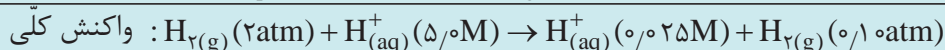
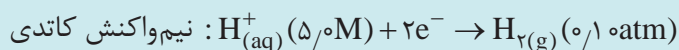
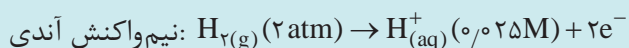


ج) باتوجه به اینکه پیل‌های غلظتی الکترودهای یکسان دارند، نیروی محرکهٔ استاندارد پیل صفر است؛ در نتیجه خواهیم داشت:

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cell}}^\circ - \frac{0.0592}{n} \log Q = 0 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{[\text{Cu}^{2+}]_{\text{محصول}}}{[\text{Cu}^{2+}]_{\text{مواد اولیه}}} = -0.0296 \log \frac{0.01}{0.1} = 0.0296 \quad \text{ولت}$$



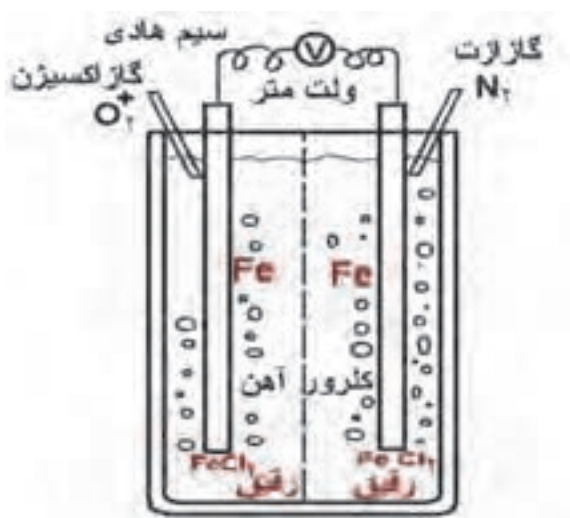
نیروی محرکه پیل غلظتی زیر در دمای 25°C چنین خواهد بود:



$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cell}}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log Q = 0.0 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{(0.25)^2 (0.1)}{(5)^2 (2)} = 0.174 \text{ ولت}$$



یک پیل غلظتی با الکترودهای یکسان گالیم (Ga) کار می‌کند. غلظت یون‌های گالیم (III) (Ga^{3+}) در یکی از الکترودها $2/0$ مولار و در دیگری 0.3 است. الف) کدام الکترود آند و کدام کاتد است؟ ب) واکنش کلی پیل چگونه است؟ ج) نیروی محرکه پیل را محاسبه کنید.



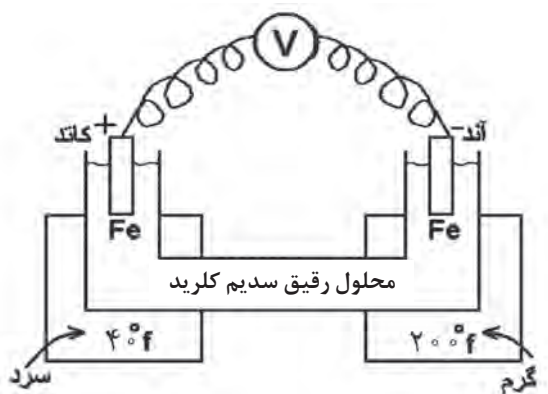
پ) پیل اختلاف دمشی! این پیل در اثر اختلاف غلظت اکسیژن محلول در الکترولیت‌های اطراف دو الکترود حاصل می‌شود. برای مثال، اگر دو الکترود آهنی در دو محلول مس سولفات قرار داده شوند و یکی از محلول‌ها هوا دمیده و از دیگری هواگیری شود، غلظت ناپرابری از اکسیژن در دو محلول حاصل می‌شود که سبب اختلاف پتانسیل بین دو الکترود و تشکیل پیل می‌گردد (شکل ۱۹).

شکل ۱۹- نمای ساده‌ای از پیل اختلاف دمشی

ت) پیل گرمایی^۲ (اختلاف دما): این پیل ناشی از اختلاف دمای الکترولیت در اطراف الکترودهای کاتد و آند است و از قرار گرفتن دو الکترود یکسان در الکترولیت‌های با ترکیب مشابه ولی دماهای مختلف به وجود می‌آید (شکل ۲۰). در این پیل‌ها اغلب فلز در دمای بالاتر نقش آند و فلز در دمای پایین‌تر به عنوان کاتد عمل می‌کند.

۱- Different Aeration Cell

۲- Temperature cell



شکل ۲۰- نمای ساده‌ای از پیل گرمایی

پیل حرارتی را با استفاده از معادله نرنست توضیح دهید.

پرسش ۹



در واقع پیل‌های اختلاف دما یک نوع پیل خوردگی هستند که تأثیر مستقیم دما بر خوردگی فلزات و آلیاژها را در محلول‌های الکترولیت نشان می‌دهند. تشکیل پیل‌های گرمایی در مبدل‌های گرمایی و دیگ‌های بخار مطرح است. این پیل‌ها از مهمترین اجزای باتری‌های گرمایی به شمار می‌آیند.

تحقیق کنید
۵



در مورد کاربرد باتری‌های گرمایی تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

نکته



اندازه پیل خوردگی خیلی کوچک است (کمتر از ۰/۱ میلی‌متر). در حقیقت یک پیل گالوانی با اندازه میکرومتری است که به آن پیل موضعی^۱ هم می‌گویند. پیل‌های موضعی زمانی تشکیل می‌شوند که آلیاژ حضور داشته باشد و یا در سطح فلز، لایه‌های رسانای الکتریسیته مثل اکسیدها، سولفیدها و کربن وجود داشته باشد. عملکرد پیل‌های موضعی منجر به تخریب‌های موضعی بر روی سطح فلز نظیر حفره‌ای شدن و ترک برداشتن سطح فلز می‌شود.

فعالیت عملی ۷



پیل غلظتی (اثر اختلاف غلظت یون فلزی بر خوردگی در اتصال دو فلز یکسان)

وسایل مورد نیاز: بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری ۲ عدد، میلی‌ولت‌سنج (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌ولت) یک دستگاه، میلی‌آمپرسنج (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌آمپر) یک دستگاه، سیم‌های رابط و گیره‌های سوسماری هر کدام ۴ عدد، لوله U شکل یک عدد

مواد مورد نیاز: سولفوریک اسید غلیظ، مس سولفات ۳۰ گرم، پل نمکی یک عدد، ورقه‌های مسی (با اندازه ۱۰ cm × ۲ cm) ۲ عدد، آگار، محلول سیرشده پتاسیم کلرید
طرز آماده کردن پل نمکی: ۵ گرم آگار را وارد ۱۰۰ میلی لیتر محلول KCl غلیظ کنید تا دمای جوش گرما می‌دهند. سپس لوله شیشه‌ای U شکل را به وسیله محلول داغ پر می‌کنند و اجازه می‌دهند تا سرد شود و به حالت ژلاتینی درآید. دو سر لوله را بین دو الکترولیت مربوط به هر یک از الکترودها قرار می‌دهند تا ارتباط الکتریکی بین دو الکترولیت از طریق جریان یونی برقرار شود.

روش دیگر آماده‌سازی پل نمکی، پر کردن لوله شیشه‌ای U شکل با محلول سیرشده پتاسیم کلرید و قراردادن پشم شیشه در دو انتهای لوله است. همچنین می‌توان کاغذ صافی خیس شده در محلول سیرشده پتاسیم کلرید را برای ارتباط بین دو ظرف واکنش استفاده کرد.

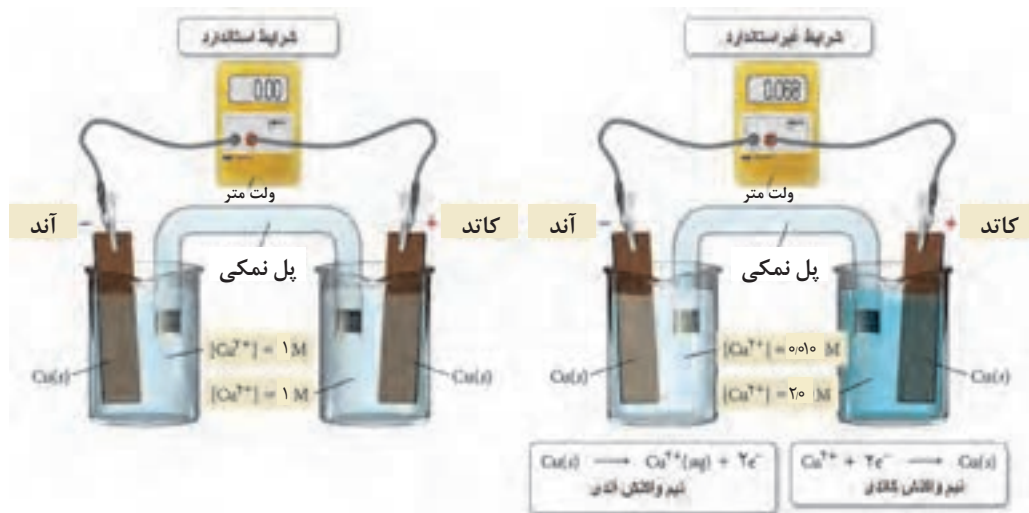
روش کار:

ابتدا محلول‌های مس سولفات با غلظت‌های ۰.۰۱٪، ۰.۱٪، ۱٪ و ۱۰٪ (w/w) در محلول ۱۰٪ (w/w) سولفوریک اسید تهیه کنید.

۱ در یکی از بشرها، ۲۵۰ میلی لیتر محلول اسیدی مس سولفات ۱۰٪، و در بشر دیگر ۲۵۰ میلی لیتر محلول اسیدی مس سولفات ۰.۱٪ بریزید. سپس هر یک از ورقه‌های مسی آماده‌سازی شده را در یکی از بشرها قرار دهید و به وسیله سیم رابط مطابق شکل ۲۱ به میلی آمپرسنج وصل کنید و جریان را اندازه بگیرید. جهت جریان بین دو الکترود را مشاهده و یادداشت کنید. سپس میلی ولت سنج را در مدار قرار دهید اختلاف پتانسیل بین دو الکترود را اندازه بگیرید.

۲ آزمایش را با استفاده از محلول‌های ۱۰٪ و ۰.۱٪ مس سولفات اسیدی انجام دهید. جریان و اختلاف پتانسیل بین دو ورقه مسی را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۳ آزمایش را با استفاده از محلول‌های ۱۰٪ و ۰.۰۱٪ مس سولفات اسیدی انجام دهید. جریان و اختلاف پتانسیل بین دو ورقه مسی را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.



شکل ۲۱- نمایی از یک پیل غلظتی مس



الف) علت برقراری جریان و پتانسیل ایجاد شده بین دو الکترود را توضیح دهید.
ب) آند و کاتد پیل‌های تشکیل شده را مشخص کنید و در هر مورد واکنش کاتدی و آندی را برای دو نیم‌واکنش بنویسید.
پ) برای هر آزمایش اختلاف پتانسیل را بر اساس معادله نرنست محاسبه کنید و با مقدار تجربی (اندازه‌گیری شده) مقایسه کنید.

فعالیت عملی ۸



پیل گرمایی

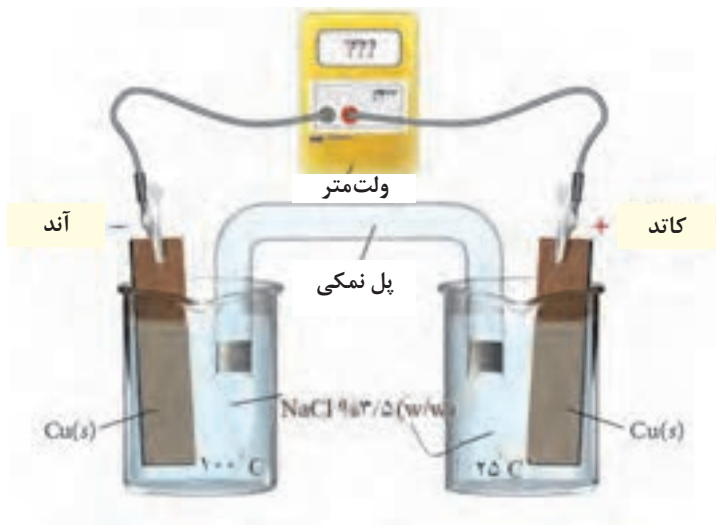
وسایل مورد نیاز: بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری ۲ عدد، گرمکن صفحه‌ای، میلی‌ولت‌متر (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌ولت) یک دستگاه، میلی‌آمپر متر (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌آمپر) یک دستگاه، دماسنج °C ۰-۱۰۰، سیم‌های رابط و گیره سوسماری ۴ عدد.
مواد مورد نیاز: ورقه‌های مسی (با اندازه ۲cm × ۲cm) ۲ عدد، ورقه‌های روی (با اندازه ۲cm × ۲cm) ۲ عدد، پل نمکی، محلول سدیم کلرید ۳/۵٪ (w/w)

روش کار:

- هر کدام از بشرها را با محلول سدیم کلرید ۳/۵٪ تا حد کافی پر کنید، آنها را توسط پل نمکی به یکدیگر وصل کنید و در هر کدام یک الکترود مسی آماده‌سازی شده (سنباده‌زنی و چربی‌زدایی) غوطه‌ور کنید. محلول محتوی یکی از بشرها را با استفاده از گرمکن تا نقطه جوش گرم کنید. گرمکن را خاموش کنید و دو الکترود را مطابق شکل ۲۲، از طریق ولت‌سنج به یکدیگر وصل کنید و اختلاف پتانسیل بین دو الکترود را اندازه‌گیری کنید. سپس آمپرسنج را به‌طور سری در مدار قرار دهید جریان را اندازه گرفته و جهت برقراری جریان را مشخص کنید.
- گرمکن را روشن کنید تا محلول داخل یکی از بشرها به جوش آید. گرمکن را خاموش کنید و اختلاف پتانسیل بین دو الکترود را با گذشت زمان (هر ۱۰ دقیقه) اندازه بگیرید. همچنین با استفاده از یک دماسنج تغییرات دمای محلول (سرد شدن) را با گذشت زمان اندازه‌گیری کنید.
- آزمایش را با دو الکترود روی یکسان انجام دهید.



الف) مشاهدات خود را چگونه می‌توانید توجیه کنید؟
ب) جهت جریان و جهت الکترون‌ها را تعیین کنید.
پ) واکنش‌های کاتدی و آندی را برای هر یک از آزمایش‌ها بنویسید.
ت) در مورد هر یک از پیل‌های گرمایی، کاتد و آند را با توجه به دما مشخص کنید.
ث) به نظر شما چگونه می‌توان از این نوع خوردگی پیشگیری کرد؟
ج) مواردی از احتمال تشکیل پیل‌های گرمایی در صنایع را جمع‌آوری کنید و توضیح دهید.



شکل ۲۲- نمایی از پیل حرارتی مس

کاتد و آند را در پیل اختلاف دمشی (پیل مس) مشخص کنید. در طبیعت این پیل‌ها چگونه ایجاد می‌شوند؟ نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه کنید.

تحقیق کنید
۶



فعالیت عملی ۹



بررسی اثر غلظت اکسیژن بر خوردگی فلز در تماس با محلول (پیل اختلاف دمشی)

وسایل مورد نیاز: کپسول‌های اکسیژن (می‌توان به جای کپسول اکسیژن در محیط واکنش دمید)، لوله‌های لاستیکی برای دمش گاز اکسیژن به داخل محلول، میکروآمپرسنج (۰-۲۰۰ میکروآمپر)، سیم‌های رابط و اتصالات از هر کدام دو عدد، بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری ۲ عدد.

مواد مورد نیاز: ورقه‌های مسی ۲ عدد (با اندازه $10 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$)، پل نمکی، کاغذ سنباده، حلال چربی‌زدا (استون یا الکل)، محلول مس سولفات ۰.۵٪ w/w.

روش کار:

۱ ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول مس سولفات ۰.۵٪ وزنی را که از انحلال مس سولفات جامد در آب مقطر جوشیده تهیه شده است، وارد هر یک از بشرها کنید.

۲ بشرها را از طریق پل نمکی با یکدیگر ارتباط دهید.

۳ ورقه‌های مسی تمیزشده با الکل را در داخل بشرها غوطه‌ور کنید. ورقه‌ها را به وسیله سیم‌های رابط به میلی‌آمپر متر وصل کنید و جریان را اندازه بگیرید. در صورت مشاهده جریان، محلول داخل بشرها را هم بزینید تا مقدار اکسیژن در هر دو بشر یکسان شود و آمپرسنج جریان صفر را نشان دهد.

۴ با استفاده از لوله‌های پلاستیکی گاز اکسیژن به یکی از بشرها دمیده شود. پس از گذشت چند دقیقه جریان را به وسیله میکروآمپرسنج اندازه بگیرید و جهت جریان را مشاهده کنید.



الف) واکنش شیمیایی انجام شده در هر یک از نیم‌پل‌ها را بنویسید.
ب) در کدام بشر نیم‌واکنش اکسایش و در کدام یک نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد؟ آند و کاتد را مشخص کنید.
پ) جهت جریان و جهت الکترون‌ها را تعیین کند.
ت) با مراجعه به منابع موجود، چند مورد از خوردگی‌های ناشی از تشکیل پیل دمشی را جمع‌آوری کنید و بنویسید.
ث) از چه روش‌هایی برای کاهش خسارت مربوط به خوردگی ناشی از اختلاف غلظت اکسیژن استفاده می‌شود؟

فعالیت عملی ۱۰



خوردگی دو فلزی

وسایل مورد نیاز: میکروآمپرسنج، ولت‌سنج، سیم‌های رابط و اتصالات از هر کدام دو عدد، بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری ۵ عدد.

مواد مورد نیاز: ورقه‌های فلزی روی، مس، آهن، آلومینیم و نیکل از هر کدام یک عدد (با اندازه $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$)، پل نمکی، کاغذ سنباده، حلال چربی‌زدا (استون یا الکل)، محلول سدیم کلرید $3/5\%$ w/w.

روش کار:

- ۱ هر کدام از الکترودهای فلزی را بعد از سنباده زدن، گریس‌زدایی با الکل و شست‌وشو با آب، خشک کنید.
- ۲ هر یک از الکترودهای فلزی آماده‌سازی شده را مطابق با زوج‌های گالوانی زیر در محلول $3/5\%$ سدیم کلرید غوطه‌ور کنید و با استفاده از پل نمکی، ۵ پیل گالوانی زیر را تشکیل دهید.
 $\text{Cu/Ni, Al/Ni, Cu/Fe, Al/Cu, Cu/Zn}$
- ۳ اختلاف پتانسیل بین دو الکترودها را برای هر یک از زوج‌های گالوانی تشکیل شده، به وسیله ولت‌سنج اندازه بگیرید.
- ۴ آزمایش انجام شده را به جای محلول سدیم کلرید، در آب شهر نیز تکرار کنید.



الف) با استفاده از جدول پتانسیل کاهش استاندارد، آند و کاتد را در هر زوج گالوانی مشخص کنید.
ب) نیروی محرکه استاندارد هر یک از زوج‌های گالوانی را محاسبه کنید.
پ) در هر مورد از زوج‌های گالوانیکی کدام فلز خورده شده و کدام یک حفاظت می‌شود؟
ت) نتایج حاصل از آب شهر را با نتایج به دست آمده در محلول سدیم کلرید مقایسه کنید. چنانچه تفاوتی در نتایج به دست آمده وجود دارد، توضیح دهید.

باتوجه به کاربرد فلزات و آلیاژهای فلزی در صنایع مختلف، بحث خوردگی در بیشتر صنایع مطرح است و فرایند خوردگی به صورت مستقیم بر عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد و سالیانه هزینه بسیار بالایی صرف تعویض و نگهداری تأسیسات می‌شود. علاوه بر هزینه‌های خوردگی، زندگی بشر نیز به عملکرد درست بسیاری از تأسیسات و سازه‌های فلزی بستگی دارد که در معرض ضررهای خوردگی قرار دارند.

تحقیق کنید
۷



در ارتباط با زیان‌های ناشی از خوردگی بر مصرف انرژی، محیط‌زیست و سلامتی بشر گزارشی تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.

تعدادی از صنایع و تجهیزات شیمیایی که در معرض خوردگی قرار دارند، عبارت‌اند از:

الف) خوردگی در چاه‌های نفت و گاز: صنعت نفت و گاز دارای تعداد زیادی محیط خورنده است. چاه‌های نفت شامل هیدروکربن‌های مایع، آب و مقداری گاز (متان و اتان) هستند. نمک‌ها، CO_2 و H_2S گونه‌هایی هستند که در این چاه‌ها حضور دارند و می‌توانند در آب چاه‌ها حل شوند و خوردگی را تشدید کنند. در چاه‌های نفت، خوردگی قسمت‌های زیر اتفاق می‌افتد:

۱ لوله‌های حفاری چاه نفت

۲ تجهیزات تزریق آب به چاه

۳ تجهیزات سر چاه

۴ تجهیزات و سکوه‌های دریایی

ب) خوردگی در پالایشگاه نفت خام: نفت خام که از چاه‌های نفت خارج می‌شود، حاوی مقادیر زیادی آب، نمک‌های مختلف و ذراتی است که باید پیش از رسیدن به پالایشگاه تا حد امکان از آن جدا شود. این مواد بر اساس نفت خامی که از چاه‌های مختلف استخراج می‌شود، دارای تنوع است. خوردگی در پالایشگاه سبب افزایش هزینه‌های تعمیر و تعویض قطعات، افزایش هزینه به دلیل تعطیلی پالایشگاه و هزینه‌های کارکنان است. خوردگی پالایشگاهی در برخی از موارد به دو دسته تقسیم می‌شود: الف) خوردگی در دمای پایین (کمتر از 260°C) ب) خوردگی در درجه حرارت بالا (بالای 260°C)

پ) خوردگی در دیگ‌های بخار: دیگ‌ها و مولدهای بخار از اجزای اصلی کارخانجات یا مجتمع‌های پالایشگاهی - پتروشیمی و نیروگاهی هستند که برای تولید بخار مورد نیاز توربین‌های مولد برق، بخار مورد نیاز فرایند و گرمایش استفاده می‌شوند. دیگ‌های بخار بر اساس نوع استفاده، فشار بخار تولیدی، مواد مورد استفاده در ساخت دیگ، گنجایش، شیوه احتراق و گرمایش طبقه‌بندی می‌شوند. برای پیشگیری و کم کردن سرعت خوردگی، آب پیش از ورود به سامانه تولید بخار، تصفیه می‌شود و عوامل تشدیدکننده خوردگی نظیر ذرات معلق، نمک‌ها و اکسیژن محلول از آب حذف می‌شوند؛ به علاوه مواد افزودنی برای افزایش pH آب، حذف اکسیژن، معلق نگه داشتن رسوبات و... به آب افزوده می‌شود. از مهم‌ترین افزودنی‌ها برای کنترل خوردگی این سازه‌ها استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است.

اما در هر صورت خوردگی رخ می‌دهد. اکسایش در دمای بالا در سطوح لوله‌های در معرض شعله و گازهای داغ حاصل از احتراق، تورم هیدروژنی، تشکیل رسوبات و... رخ می‌دهد؛ که به همین دلیل بازرسی‌های دوره‌ای این سامانه‌ها ضروری است.

ت) خوردگی در توربین‌ها: توربین‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: توربین‌های بخار و توربین‌های گازی. در توربین‌های بخار، بخار موردنیاز توسط دیگ‌های بخار (در نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند) و یا واکنشگاه (در نیروگاه‌های هسته‌ای) تأمین می‌شود.

در توربین‌های بخار، شکستگی پره‌ها و دیسک‌ها از نتایج آسیب‌های خوردگی است. این پدیده به غلظت ناخالصی‌های ناشی از تبخیر آب^۱ بستگی دارد. قطعات موجود در توربین‌های گازی نظیر پره‌ها و دیسک‌های کمپرسور در معرض خوردگی قرار دارند. محلول‌های آبی سبب خوردگی کمپرسورها می‌شوند. در برخی محیط‌ها مانند نزدیک دریا، رطوبت چنان زیاد است که قطرات آب روی اجزای کمپرسور متراکم می‌شوند. وجود آب سبب ایجاد خوردگی در پره‌ها و دیسک‌های کمپرسور می‌شود.

ث) خوردگی در خطوط لوله: از خطوط لوله برای انتقال مواد مختلف به‌ویژه نفت و گاز در مناطق خشکی، ساحل و در بستر یا زیر بستر دریا استفاده می‌شود. عوامل زیادی می‌توانند سبب ایجاد انواع خوردگی در خطوط لوله شوند. اگر سیال درون لوله حاوی CO_2 و H_2S باشد، در این صورت احتمال خوردگی خطوط لوله وجود دارد. بدنه خارجی لوله‌ها که در تماس با آب دریا، خاک و یا جو قرار دارند، در معرض انواع عوامل خوردنده موجود در این محیط‌ها مثل نمک‌های محلول و ذرات معلق در آب، اکسیژن، pH و ریزاندامکان‌ها قرار می‌گیرند.

راه‌های جلوگیری از خوردگی: روش‌های گوناگونی برای جلوگیری از خوردگی وجود دارد که عبارت‌اند از: استفاده از پوشش‌های محافظ، حفاظت الکتروشیمیایی (حفاظت کاتدی و آندی)، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی و انتخاب آلیاژ و مواد مناسب در محیط خوردنده.

در زمینه روش‌های گوناگون جلوگیری از خوردگی تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید
۸

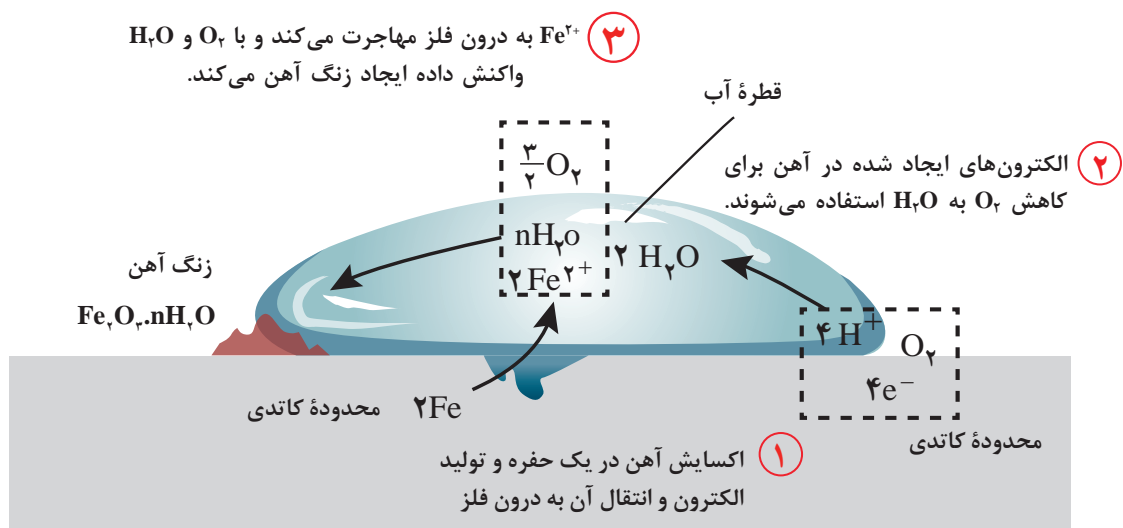


شکل ۲۳ نمای ساده‌ای از فرایند خوردگی آهن را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های پیشگیری از خوردگی فلزات، حفاظت کاتدی است. حفاظت کاتدی اولین بار توسط هامفری دیوی^۲ در سال ۱۸۲۴ میلادی برای حفاظت بدنه کشتی‌های جنگی استفاده شد. حفاظت از طریق کاتد قرار دادن بدنه کشتی با استفاده از جریان اعمال شده با اتصال به یک آند فداشونده^۳ (فلز فعال‌تر نسبت به بدنه کشتی که دارای پتانسیل کاهش کمتری است) انجام گرفت. در این صورت یک پیل گالوانی بین سازه حفاظت‌شده (کاتد) و آند قربانی‌شونده ایجاد می‌شود که در آن الکترون‌ها به‌طور خودبه‌خودی از آند وارد کاتد می‌شوند. آندهای روی (شکل ۲۴) و منیزیم (شکل ۲۵)، مهمترین آندهای گالوانی برای کاربردهای زیرزمینی هستند.

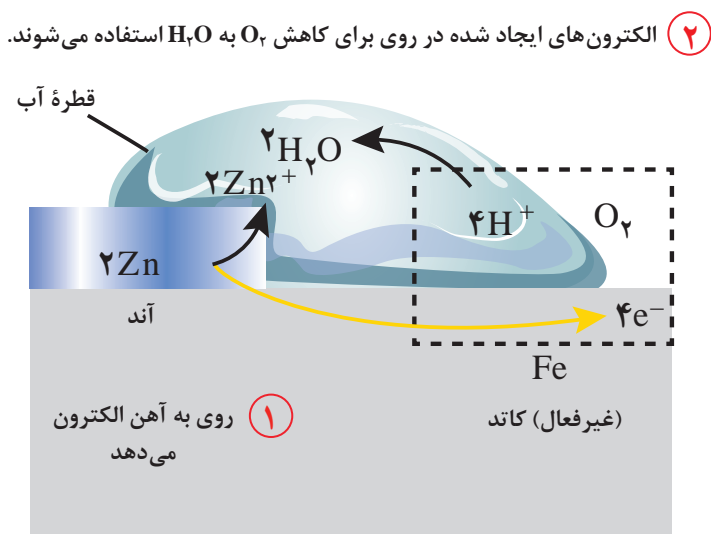
۱- این ناخالصی‌ها از جمله سیلیس است که به دلیل سرعت بالای بخار در توربین مانند گلوله عمل می‌کند و در برخورد با پره‌ها باعث ایجاد خسارت می‌شود.

۲- Humphery Davy

۳- Sacrificial Anode



شکل ۲۳- فرایند خوردگی آهن



حفاظت از خوردگی با روی

شکل ۲۴- حفاظت از خوردگی آهن در تماس با فلز روی

در مورد نیم‌واکنش‌های آندی و کاتدی و واکنش کلی، الف) در فرایند خوردگی آهن (شکل ۲۳) (ب) حفاظت از خوردگی آهن (شکل ۲۴) تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید
۹



استفاده از پوشش‌های معدنی (آبکاری فلزات) و آلی (رنگ‌ها) از مهمترین روش‌های حفاظت قطعات و تجهیزات فلزی هستند که در پودمان عملیات در صنایع پوششی با آنها آشنا خواهید شد.



شکل ۲۵- حفاظت لوله آهنی در خاک به روش آند فدا شونده

پرسش‌های پایانی

- ۱ شش عامل مؤثر و مهم بر خوردگی فلزات را نام ببرید.
- ۲ چند مثال عملی برای خوردگی فلزات در صنایع را بنویسید.
- ۳ چند دلیل عملی برای حفاظت از فلزات در برابر خوردگی را ذکر کنید.
- ۴ سه روش کلی برای جلوگیری از خوردگی را شرح دهید.
- ۵ دلیل اهمیت الکتروشیمی در خوردگی فلزات چیست؟
- ۶ پیل خوردگی، پیل گالوانی محسوب می‌شود یا پیل برقکافت؟ در پیل خوردگی، فلز مورد نظر که تحت حمله خوردگی قرار می‌گیرد، نقش آند دارد یا کاتد؟ و این الکتروود قطب مثبت است یا منفی؟
- ۷ بر طبق جدول پتانسیل‌های استاندارد کاهش، اتصال کدام یک از فلزات زیر به آهن از خوردگی آن می‌تواند جلوگیری کند (نقش آند فدا شونده داشته باشد)؟
الف) مس ب) منیزیم ج) روی د) آلومینیم
- ۸ افزایش دما چه اثری روی مقدار پتانسیل الکتروودها دارد؟
- ۹ پتانسیل‌های الکتروودی چگونه در تعیین میزان تمایل فلزات برای خورده شدن در محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- ۱۰ تمایل مس برای خوردگی در محلول مس کلرید با غلظت دسی مولار را محاسبه کنید.
- ۱۱ میزان علاقه مس به خوردگی در محیط سولفوریک اسید سانتی مولار را محاسبه کنید.

ارزشیابی شایستگی پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار سپرده شده را با دقت انجام دهد. هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند. پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد: به کارگیری روش‌های حفاظت از خوردگی در صنایع شیمیایی طبق دستور کار

شاخص‌ها:

- رعایت مسائل ایمنی حین کار
- انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: آزمایشگاه

شرایط دستگاه: تمیز و آماده برای کار

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: pH سنج، کولیس، منبع تغذیه DC، ترازوی دقیق ۰/۰۰۰۱ گرم، میلی‌ولت‌سنج در گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌ولت، میلی آمپرسنج در گستره ۰-۱۰۰۰ میکروآمپر، گرمکن صفحه‌ای، دماسنج، سیم‌های رابط، وسایل آزمایشگاهی شیشه‌ای، کپسول‌های اکسیژن و نیتروژن، الکتروود مرجع نقره - نقره کلرید، الکتروود کمکی پلاتین، الکتروود استاندارد هیدروژن

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری مفاهیم خوردگی	۱	
۲	به کارگیری پیل‌های الکتروشیمیایی	۲	
۳	به کارگیری روش‌های جلوگیری از خوردگی	۱	
۴			
	<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی</p> <p>۲- نگرش: صرفه‌جویی</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه‌زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش</p> <p>۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی</p> <p>۵- مستندسازی: گزارش نویسی</p>	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.