



هُوَ الَّذِي يُرِيكُمُ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا... (سوره رعد، آیه ۱۲)

اوست که برق را به شما نشان می‌دهد که هم مایه ترس و هم مایه امید است

پدیده‌های طبیعی همچون تندر و آذرخش نشان می‌دهند که بخشی از این انرژی ممکن است به شکل انرژی الکتریکی میان سامانه واکنش و محیط پیرامون جاری شود. پدیده‌هایی از این دست که از ماهیت الکتریکی ماده سرچشمه می‌گیرند سبب شد تا تلاش برای شناسایی واکنش‌های شامل داد و ستد الکترون هدفمند دنبال شوند. واکنش‌هایی که مبنای تولید انرژی الکتریکی هستند. تولید انرژی الکتریکی پاک و ارزان دستاوردی از دانش الکتروشیمی است که در سایه فناوری‌های پیشرفته افزایش سطح رفاه و آسایش را در جهان به دنبال داشته است. الکتروشیمی افزون بر تهیه مواد جدید به کمک انرژی الکتریکی می‌تواند در راستای پیاده کردن اصول شیمی سبز گام بردارد.

رشد دانش و پیشرفت فناوری، انجام فعالیت‌های فردی، اقتصادی، صنعتی و... را آسان‌تر کرده و افزایش سطح رفاه و آسایش را به دنبال داشته است. تأمین روشنایی، گرمایش و سرمایش آسان‌تر، حمل و نقل سریع‌تر و ایمن‌تر، درمان و کاهش اثر نقص عضو و انتقال ایمن آب آشامیدنی نیم رخی از افزایش سطح رفاه و آسایش را نشان می‌دهند (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه‌هایی از فناوری که نقش الکتروشیمی را در آسایش و رفاه نشان می‌دهند.

دو رکن اساسی تحقق این فناوری‌ها، دستیابی به مواد مناسب و تأمین انرژی است. می‌دانید که پرکاربردترین شکل انرژی در به‌کارگیری این فناوری‌ها انرژی الکتریکی است. **الکتروشیمی**^۱ شاخه‌ای از دانش شیمی است که در بهبود خواص مواد و تأمین انرژی نقش بسزایی دارد (شکل ۲).

الکتروشیمی



اندازه‌گیری و کنترل کیفی (اطمینان از کیفیت فرآورده)



تولید مواد (مانند برقکافت، آبکاری)



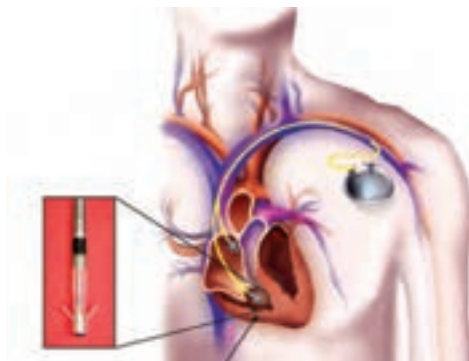
تأمین انرژی (باتری‌ها، سلول سوختی و سوخت آنها)

شکل ۲- برخی قلمروهای الکتروشیمی

باتری یکی از فرآورده‌های مهم صنعتی است که در محل مورد نیاز با انجام واکنش‌های شیمیایی، الکتریسیته تولید می‌کند. برای نمونه تأمین انرژی الکتریکی برای تنظیم‌کننده ضربان قلب، سمعک، تلفن همراه، اندام مصنوعی، دوربین دیجیتال، رایانه قابل حمل و خودروی الکتریکی به باتری وابسته است (شکل ۳).

آیا می دانید

فاصله میان اندام‌های مصنوعی و واقعی هر روز کمتر و کمتر می‌شود و به لطف پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه ساخت باتری، ربات‌های کنترل‌شونده با مغز و هوش مصنوعی، اندام‌های مکانیکی به عضوی از بدن تبدیل می‌شوند.



شکل ۳- برخی کاربردهای باتری

از سوی دیگر ساخت لوله‌های فلزی انتقال آب، قوطی‌های محتوی مواد غذایی، لوازم آشپزی که در برابر خوردگی مقاوم هستند و مانع از آلوده شدن آب و مواد غذایی می‌شوند، همچنین کسب اطمینان از کیفیت تولید فراورده‌های دارویی، بهداشتی، غذایی و... چهره‌ای دیگر از افزایش سطح رفاه و آسایش هستند. دستیابی به این موفقیت‌ها در گرو بهره‌گیری از دانش الکتروشیمی است. دانشی که می‌تواند دستاوردهای گوناگونی را برای رفاه بشر به ارمغان آورد و در ایجاد آسایش بیشتر برای مردم همچنین پیشرفت کشورمان نقش ایفا کند. برای دستیابی به این مهم نخست باید بدانید در چه واکنش‌هایی الکترون داد و ستد می‌شود؟ چگونه می‌توان از این واکنش‌ها در تأمین الکتروسیته بهره جست؟ الکتروشیمی چه نقشی در تأمین انرژی سبز و پاک دارد؟ چگونه می‌توان خواص مواد را بهبود بخشید؟

انجام واکنش با سفر الکترون

از درس علوم به یاد دارید که یکی از راه‌های بهره‌گیری از انرژی ذخیره شده در فلزها، اتصال آنها در شرایط مناسب به یکدیگر است. برای نمونه با یک تیغه مسی و تیغه‌ای دیگر مانند روی و با میوه‌ای مانند لیمو می‌توان نوعی باتری ساخت و با آن یک لامپ LED را روشن کرد (شکل ۴).

موتورسیکلت برقی نمونه‌ای از وسایلی است که با انرژی ذخیره شده در باتری کار می‌کند. در واقع باتری، مولدی است که در آن واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد تا بخشی از انرژی شیمیایی مواد به انرژی الکتریکی تبدیل شود و موتور را به حرکت درآورد. با این توصیف شناخت نوع و شیوه انجام واکنش‌های درون باتری‌ها کمک خواهد کرد تا بتوان از واکنش‌های شیمیایی برای رفع نیازها به درستی بهره برد.



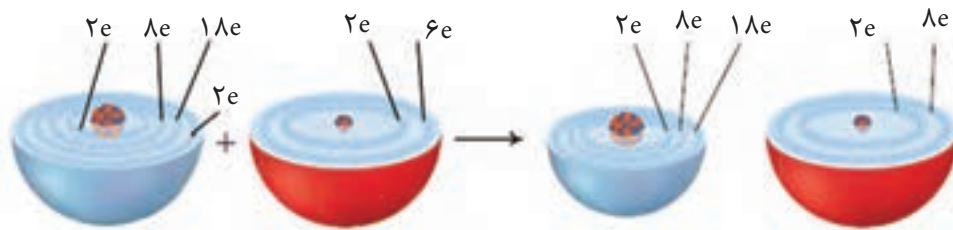
● چراغ خورشیدی یک ابزار روشنیایی است که از لامپ LED، سلول خورشیدی و باتری قابل شارژ تشکیل شده است.



شکل ۴- باتری لیمویی

با هم ببیندیشیم

اکسیژن نافلزی فعال است که با اغلب فلزها واکنش می‌دهد و آنها را به اکسید فلز تبدیل می‌کند، درحالی‌که با برخی فلزها مانند طلا و پلاتین واکنش نمی‌دهد. شکل زیر الگوی ساده‌ای از واکنش بین اتم‌های روی و اکسیژن را با ساختار لایه‌ای اتم نشان می‌دهد.



آ) کدام ساختار اتم روی و کدام یک اتم اکسیژن را نشان می‌دهد؟

ب) کدام اتم الکترون از دست داده و کدام الکترون گرفته است؟

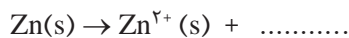
پ) اگر گرفتن الکترون را **کاهش**^۱ و از دست دادن الکترون را **اکسایش**^۲ بنامیم، کدام گونه

کاهش و کدام اکسایش یافته است؟

ت) شیمی‌دان‌ها هر یک از فرایندهای گرفتن و از دست دادن الکترون را با یک **نیم‌واکنش**^۳

نمایش می‌دهند که هر نیم‌واکنش باید از لحاظ جرم (اتم‌ها) و بار الکتریکی موازنه باشد.

اینک با قرار دادن تعداد معینی الکترون، هر یک از نیم‌واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



ث) کدام یک از نیم‌واکنش‌های بالا، نیم‌واکنش اکسایش و کدام یک نیم‌واکنش کاهش را

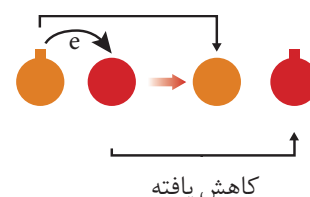
نشان می‌دهد؟ چرا؟

ج) ماده‌ای که با گرفتن الکترون سبب اکسایش گونه‌ی دیگر می‌شود، **اکسنده**^۴ و ماده‌ای

که با دادن الکترون سبب کاهش گونه‌ی دیگر می‌شود، **کاهنده**^۵ نام دارد. در واکنش روی با

اکسیژن، گونه‌ی اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

اکسایش یافته



- اکسایش: از دست دادن الکترون
- کاهش: به دست آوردن الکترون

● اغلب فلزها در واکنش با نافلزها تمایل دارند یک یا چند الکترون خود را به نافلزها داده و ضمن اکسایش به کاتیون تبدیل شوند. نافلزها نیز با گرفتن یک یا چند الکترون کاهش یافته و به آنیون تبدیل می‌شوند. از این رو فلزها اغلب کاهنده و نافلزها اغلب اکسنده هستند.

دریافتید که در واکنش‌های اکسایش-کاهش، گونه‌های شیمیایی الکترون داد و ستد

می‌کنند به طوری که برخی گونه‌ها با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابند و در مقابل،

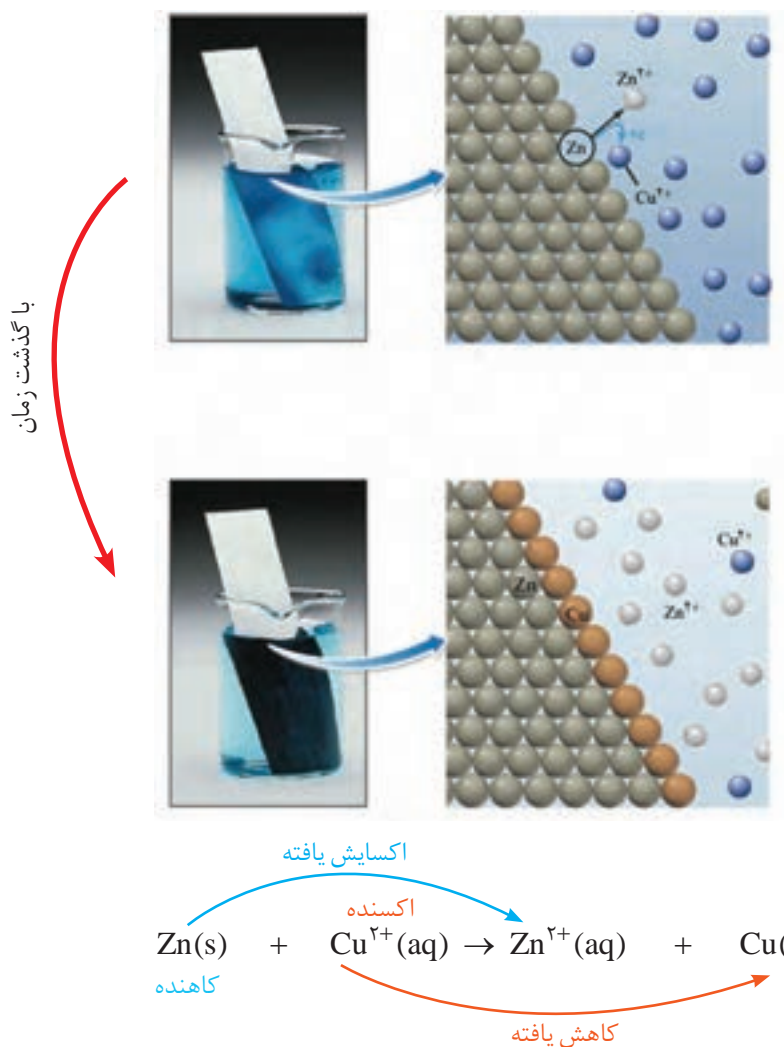
برخی گونه‌ها با گرفتن الکترون کاهش می‌یابند.

۱- Reduction
۲- Oxidation
۳- Half-reaction
۴- Oxidant
۵- Reductant

برای نمونه هرگاه تیغه‌ای از جنس روی درون محلول مس (II) سولفات آبی رنگ قرار گیرد، به تدریج از شدت رنگ محلول کاسته می‌شود. این تغییر رنگ نشان دهنده انجام واکنش شیمیایی زیر است.



در این واکنش اتم‌های خنثای روی (Zn) با از دست دادن دو الکترون به یون‌های روی (Zn^{2+}) اکسایش یافته و هم‌زمان با آن، هر یون مس (Cu^{2+}) با دریافت همان دو الکترون به اتم مس (Cu) کاهش می‌یابد. در واکنش‌هایی از این دست، فرآورده‌ها پایدارتر از واکنش دهنده‌ها هستند (شکل ۵).



شکل ۵- واکنش فلز روی با یون‌های مس (II)

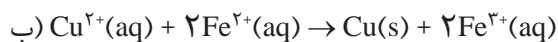
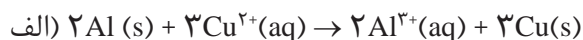
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در هر واکنش شیمیایی هنگامی که بار الکتریکی یک گونه (اتم، مولکول یا یون) مثبت‌تر می‌شود، آن گونه اکسایش یافته و گونه‌ای که بار الکتریکی آن منفی‌تر می‌شود، کاهش می‌یابد.

خود را بیازمایید

- ۱- اغلب فلزها در واکنش با محلول اسیدها، گاز هیدروژن و نمک تولید می‌کنند. با توجه به شکل روبه‌رو که نمایی از این واکنش را نشان می‌دهد، به پرسش‌ها پاسخ دهید.
- (آ) کدام گونه اکسایش و کدام گونه کاهش یافته است؟ چرا؟
- (ب) نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش را بنویسید و موازنه کنید.
- (پ) نیم‌واکنش‌ها را با هم جمع کنید تا با حذف الکترون‌ها، معادله واکنش به دست آید.
- (ت) با خط زدن واژه نادرست در هر مورد، عبارت داده شده را کامل کنید.

در این واکنش، اتم‌های روی الکترون $\frac{\text{کاهش}}{\text{اکسایش}}$ از دست داده $\frac{\text{کاهش}}{\text{اکسایش}}$ به دست آورده یافته‌اند و سبب $\frac{\text{کاهش}}{\text{اکسایش}}$ یون‌های هیدروژن شده‌اند، از این رو اتم‌های روی نقش $\frac{\text{اکسنده}}{\text{کاهنده}}$ دارند. در حالی که یون‌های هیدروژن، الکترون $\frac{\text{از دست داده}}{\text{به دست آورده}}$ و $\frac{\text{کاهش}}{\text{اکسایش}}$ یافته‌اند و سبب $\frac{\text{کاهش}}{\text{اکسایش}}$ یون‌های روی شده‌اند، از این رو یون‌های هیدروژن نقش $\frac{\text{اکسنده}}{\text{کاهنده}}$ دارند.

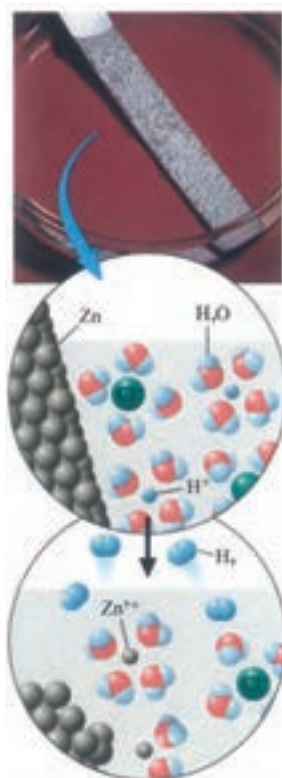
- ۲- در هریک از واکنش‌های زیر، گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



در میان تارنماها

با مراجعه به منابع علمی معتبر در مورد سیر تحول تولید نور در فلاش عکاسی، از سوختن منیزیم تا لامپ‌های امروزی اطلاعاتی جمع‌آوری و در کلاس گزارش کنید. در بحث خود به نقش جریان الکتریکی در نوآوری‌های مرتبط با فلاش عکاسی اشاره نمایید.

در برخی واکنش‌های اکسایش - کاهش افزون بر داد و ستد الکترون، انرژی نیز آزاد می‌شود. در شیمی ۱ دیدید که فلزهایی مانند منیزیم و سدیم در اکسیژن می‌سوزند، نور و گرما تولید می‌کنند.



● واکنش فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید.

● در گذشته برای عکاسی از سوختن منیزیم به عنوان منبع نور استفاده می‌شد. در این واکنش $\text{Mg}(s)$ با نور خیره‌کننده‌ای در $\text{O}_2(g)$ می‌سوزد و به $\text{MgO}(s)$ تبدیل می‌شود. در این واکنش گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



● واکنش بین الیاف آهن با محلول مس (II) سولفات

همچنین از واکنش میان فلزهایی مانند روی، آهن و آلومینیم با محلول مس (II) سولفات گرما آزاد می‌شود. شکل ۶ واکنش بین فلز آلومینیم با محلول مس (II) سولفات را همراه با معادله شیمیایی آن نشان می‌دهد.



شکل ۶- هنگامی که Al(s) درون $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ قرار گیرد، بر اثر واکنش اکسایش-کاهش، دمای محلول افزایش می‌یابد.

در واکنش بالا هر اتم آلومینیم سه الکترون از دست می‌دهد و اکسایش می‌یابد در حالی که هر یون مس دو الکترون می‌گیرد و کاهش می‌یابد. با این توصیف بر اساس معادله موازنه شده واکنش چند الکترون میان اتم‌های آلومینیم و یون‌های مس داد و ستد می‌شود؟

خود را بیازمایید

جدول زیر داده‌هایی را از قرار دادن برخی تیغه‌های فلزی درون محلول مس (II) سولفات در دمای 20°C نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.

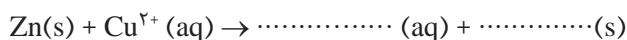
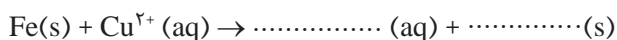
نام فلز	نشانه شیمیایی فلز	دمای مخلوط واکنش پس از مدتی ($^\circ\text{C}$)
آهن	Fe	۲۳
طلا	Au	۲۰
روی	Zn	۲۶
مس	Cu	۲۰



● تیغه مس درون محلول روی سولفات پس از مدت طولانی.

(آ) تغییر دمای مخلوط واکنش نشان دهنده چیست؟

(ب) هر یک از واکنش‌های زیر را کامل کرده سپس گونه‌های کاهنده و اکسنده را مشخص کنید.



(پ) با توجه به تغییر دمای هر سامانه، کدام فلز تمایل بیشتری به از دست دادن الکترون دارد؟ چرا؟

(ت) فلزهای Au، Fe، Zn و Cu را بر اساس قدرت کاهندگی مرتب کنید.

(ث) پیش‌بینی کنید هرگاه تیغه مس درون محلول روی سولفات قرار گیرد، آیا واکنشی

انجام می‌شود؟ چرا؟

آیا می دانید

آلساندرو ولتا، سلول ولتا را ابداع کرد. سلولی که از صفحه‌های دایره‌ای شکل از جنس مس و روی تشکیل شده و به صورت یک در میان روی هم قرار گرفته‌اند و بین آنها کاغذی آغشته به محلول نمک خوراکی وجود دارد.



آیا می دانید

شواهد تاریخی نشان می‌دهد که ایرانیان باستان با ظرف‌های سفالی، قطعه‌هایی از فلزهای آهن و مس همراه با محلول نمک خوراکی یا سرکه، دستگاهی برای تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی ساخته بودند.



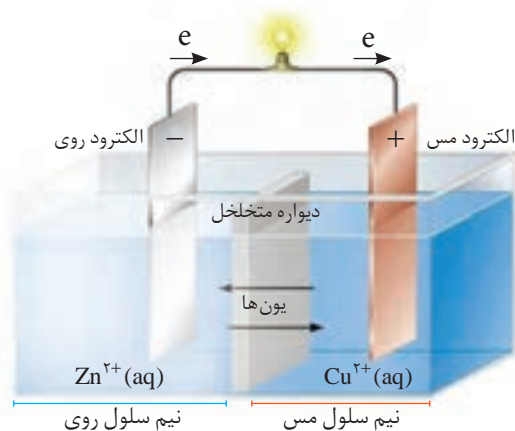
آموختید که تمایل فلزها برای از دست دادن الکترون در محلول‌های آبی یکسان نیست. به دیگر سخن فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند. برای نمونه فلز روی کاهنده‌تر از مس است. با این توصیف در یک واکنش اکسایش - کاهش، فلزی که قدرت کاهندگی بیشتری دارد، می‌تواند با برخی کاتیون‌های فلزی واکنش دهد و آنها را به اتم‌های فلزی بکاهد.

در واکنش‌هایی از این دست، مخلوط واکنش گرم می‌شود زیرا سامانه واکنش بخشی از انرژی خود را به شکل گرما به محیط می‌دهد. به نظر شما آیا می‌توان این واکنش‌ها را به گونه‌ای انجام داد تا به جای تولید گرما، از الکترون‌های داد و ستد شده برای ایجاد جریان الکتریکی استفاده کرد؟

واکنش‌های شیمیایی و سفر هدایت شده الکترون‌ها

برای ایجاد جریان الکتریکی باید الکترون‌ها را از یک مسیر معین عبور داد یا از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا نمود. اگر به جای داد و ستد مستقیم الکترون بین گونه‌های اکسایش و کاهش یافته در یک واکنش، بتوان الکترون‌ها را از طریق یک مدار بیرونی هدایت و جابه‌جا کرد آنگاه می‌توان بخشی از انرژی آزاد شده در واکنش اکسایش - کاهش را به شکل انرژی الکتریکی در دسترس تبدیل نمود. آیا می‌دانید برای دستیابی به این هدف چه تغییری باید در شرایط و چگونگی انجام یک واکنش اکسایش - کاهش صورت گیرد؟

شیمی دان‌ها در پژوهش‌ها دریافتند که هرگاه تیغه روی درون محلولی از روی سولفات (نیم سلول روی) و تیغه مس درون محلولی از مس (II) سولفات (نیم سلول مس) قرار گیرد و نیم سلول‌ها همانند شکل زیر به یکدیگر وصل شوند، الکترون‌ها در مدار بیرونی جابه‌جا شده و جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. جریانی که سبب روشن شدن لامپ خواهد شد. نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی منجر به ساخت سلول گالوانی^۱ شد (شکل ۷).



شکل ۷- نمایی از سلول گالوانی Zn-Cu

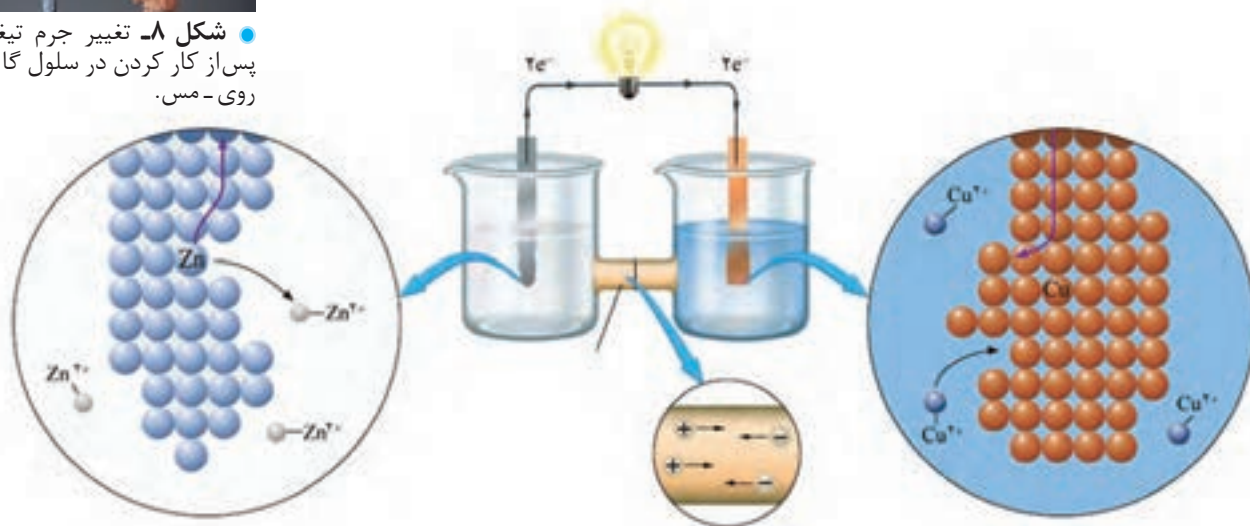


● شکل ۸- تغییر جرم تیغه ها پس از کار کردن در سلول گالوانی روی - مس.

اگر پس از انجام واکنش، تیغه‌های روی و مس را از سلول گالوانی جدا کنید، خواهید دید که از جرم تیغه روی کاسته شده و بر جرم تیغه مس افزوده شده است (شکل ۸).

با هم ببیندیشیم

شکل زیر نمای ذره‌ای از سلول گالوانی روی - مس (Zn - Cu) را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.



آ) نیم‌واکنش‌های انجام شده در هر نیم سلول و واکنش کلی سلول را بنویسید.
 ب) آند^۱ الکترودی است که در آن نیم‌واکنش اکسایش و کاتد^۲ الکترودی است که در آن نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد. با این توصیف، کدام الکترود نقش آند و کدام نقش کاتد را دارد؟
 پ) در مدار بیرونی، حرکت الکترون‌ها در چه جهتی است؟ چرا؟
 ت) توضیح دهید چرا پس از مدتی جرم تیغه روی کم و جرم تیغه مس زیاد شده است؟

آموختید که سلول گالوانی، دستگاهی است که می‌تواند بر اساس قدرت کاهندگی فلزها انرژی الکتریکی تولید کند. برای نمونه در سلول گالوانی روی - مس، نیم‌واکنش اکسایش در آند (الکترود روی) انجام می‌شود و هر اتم روی دو الکترون از دست می‌دهد و به شکل یون روی وارد محلول می‌شود. به دلیل تولید الکترون در این الکترود آن را با علامت منفی نشان می‌دهند. الکترون‌های تولید شده در سطح الکترود روی از طریق مدار بیرونی (سیم رابط) به سوی کاتد (الکترود مس) روانه می‌شوند. هر یون مس موجود در محلول، این دو الکترون را می‌گیرد و به شکل اتم مس بر سطح تیغه می‌نشیند. انتظار می‌رود با ادامه این روند به تدریج در

● نیم‌واکنش اکسایش را نیم‌واکنش آندی و نیم‌واکنش کاهش را نیم‌واکنش کاتدی می‌نامند.

۱- Anode
 ۲- Cathode

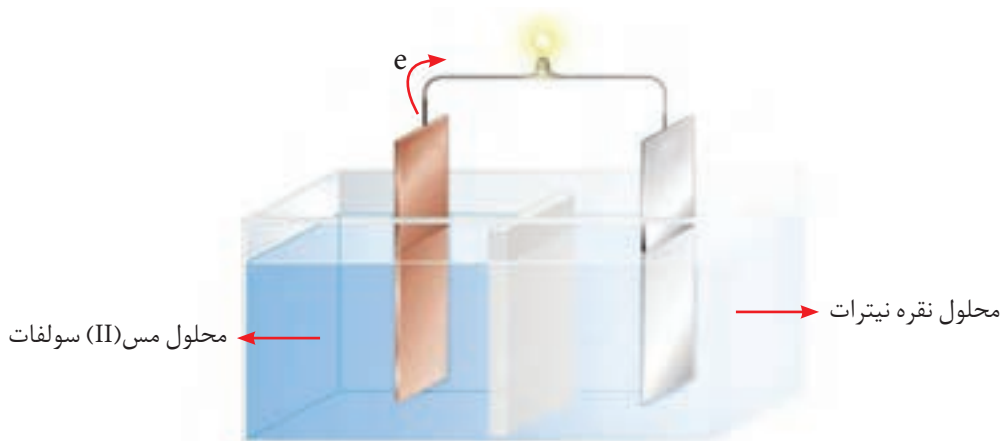
آیا می دانید

دیواره متخلخل از جنس سفال، خاک چینی (کائولن)، آزبست یا گرد فشرده شیشه است که از مخلوط شدن مستقیم و سریع دو الکترولیت جلوگیری می کند اما برخی یون های موجود در دو محلول می توانند از آن عبور کنند.

محلول پیرامون الکترود آند، غلظت کاتیون روی از آنیون ها بیشتر شده اما در محلول پیرامون الکترود کاتد، غلظت آنیون ها از کاتیون مس بیشتر شود. اما در عمل هیچگاه چنین پدیده ای رخ نمی دهد زیرا برای ادامه واکنش اکسایش - کاهش، محلول های موجود در هر دو ظرف باید از نظر بار الکتریکی خنثی بمانند. این مهم هنگامی امکان پذیر است که کاتیون ها از نیم سلول آند به کاتد و آنیون ها از نیم سلول کاتد به آند با گذر از دیواره متخلخل مهاجرت کنند.

خود را بیازمایید

شکل زیر سلول گالوانی مس - نقره (Cu - Ag) را نشان می دهد. با توجه به آن به پرسش ها پاسخ دهید.



- علامت الکترودهای مس و نقره را مشخص کنید.
- نیم واکنش های انجام شده در آند و کاتد را بنویسید.
- با انجام واکنش، جرم الکترودها چه تغییری می کند؟ توضیح دهید.
- جهت حرکت یون ها را از دیواره متخلخل مشخص کنید.

با ساختار و شیوه کار سلول گالوانی آشنا شدید. سلولی که به دلیل تولید انرژی الکتریکی ویژگی های یک باتری را دارد. با اینکه هر سلول گالوانی ولتاژ معینی دارد اما در آنها با تغییر هر یک از اجزای سلول، ولتاژ تغییر می کند. آیا می دانید این ولتاژ ناشی از چیست؟ چگونه می توان آن را اندازه گیری کرد؟

ولتاژی که ولت سنج در سلول گالوانی نشان می دهد، اختلاف پتانسیل میان دو نیم سلول است. کمیتی که به **نیروی الکتروموتوری**^۱ معروف است و با emf نمایش داده می شود. اینک می پرسید برای تعیین سهم هر یک از نیم سلول ها در ولتاژ سلول چه باید کرد؟

۱ - Electromotive Force

اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول به‌طور جداگانه ممکن نیست و باید این کمیت به‌طور نسبی اندازه‌گیری شود. شیمی‌دان‌ها برای دستیابی به این هدف، نیم‌سلول استاندارد هیدروژن (SHE) را به‌عنوان مبنا انتخاب کردند و پتانسیل آن را برابر با صفر در نظر گرفتند. در ادامه با تشکیل سلول گالوانی از هر نیم‌سلول با SHE توانستند پتانسیل بسیاری از نیم‌سلول‌ها را اندازه‌گیری کرده و در جدولی ثبت کنند (جدول ۱). این اندازه‌گیری‌ها در دمای 25°C ، فشار ۱ atm و غلظت یک مولار برای محلول الکترولیت‌ها انجام شده است. در این شرایط پتانسیل اندازه‌گیری شده را **پتانسیل استاندارد^۱ نیم‌سلول** می‌نامند و با E° نمایش می‌دهند.

جدول ۱- پتانسیل کاهش استاندارد برای برخی نیم‌سلول‌ها

نیم‌واکنش کاهش	E° (V)
$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Au}(\text{s})$	+۱/۵۰
$\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Pt}(\text{s})$	+۱/۲۰
$\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	+۰/۸۰
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+۰/۳۴
$2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	۰/۰۰
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-۰/۴۴
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-۰/۷۶
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Mn}(\text{s})$	-۱/۱۸
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Al}(\text{s})$	-۱/۶۶
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-۲/۳۷

اکسنده قوی‌تر

کاهنده قوی‌تر

رتبه‌بندی فلزها به ترتیب کاهش E° آنها در یک جدول، سری الکتروشیمیایی نامیده می‌شود.

آیا می‌دانید

SHE شامل یک الکتروود پلاتینی است که در محلولی با $\text{pH}=0$ و دمای 25°C قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار ۱ atm از روی آن عبور داده می‌شود.



همان‌گونه که مشاهده می‌کنید در این جدول، نیم‌واکنش‌ها به شکل کاهش نوشته شده‌اند و این پیشنهاد آیوپاک است که برای هماهنگی در منابع علمی معتبر به کار می‌رود. در هر نیم‌واکنش، الکترون‌ها در سمت چپ و گونه کاهش یافته در سمت راست قرار می‌گیرد. به دیگر سخن گونه کاهنده در سمت راست و گونه اکسنده در سمت چپ نوشته می‌شود. در این جدول علامت E° فلزهایی که قدرت کاهندگی بیشتری از H_2 دارند، منفی و علامت E° فلزهایی که قدرت کاهندگی کمتری از H_2 دارند، مثبت است.

^۱ - Standard Potential

خود را بیازمایید

با استفاده از جدول ۱ مشخص کنید در سلول گالوانی ساخته شده از نقره و منیزیم :
 (آ) کدام الکتروآند و کدام کاتد خواهد بود؟ چرا؟
 (ب) نیم واکنش‌های انجام شده را بنویسید و واکنش کلی سلول را به دست آورید.

پیوند با ریاضی

۱- با مراجعه به جدول ۱، هر یک از جاهای خالی را پر کنید.

$$E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\dots) = + \dots \text{ V} \quad \text{و} \quad E^\circ(\dots/\text{Zn}) = - \dots \text{ V}$$

۲- در سلول گالوانی تشکیل شده از دو نیم سلول بالا مشخص کنید کدام یک نقش آند و کدام یک نقش کاتد را دارد؟

۳- شکل زیر سلول گالوانی استاندارد روی - مس را نشان می‌دهد. با توجه به emf این سلول مشخص کنید کدام رابطه زیر برای محاسبه این کمیت به کار رفته است؟ توضیح دهید.



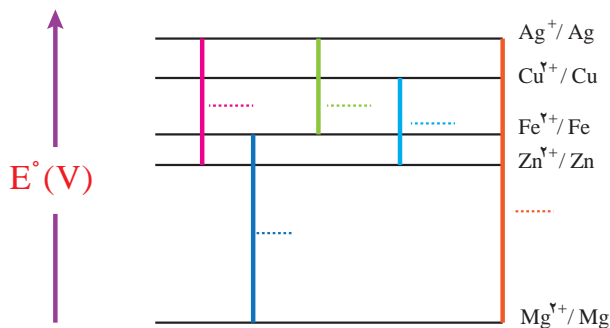
آیا می‌دانید

emf کمیتی از جنس انرژی است که آن را در فیزیک با نام نیروی محرکه الکتریکی شناختید. شیمی دان‌ها در منابع علمی معتبر آن را با $E_{\text{سلول}}$ نشان می‌دهند.

$$\text{emf} = E^\circ(\text{کاتد}) - E^\circ(\text{آند}) \quad \square$$

$$\text{emf} = E^\circ(\text{آند}) - E^\circ(\text{کاتد}) \quad \square$$

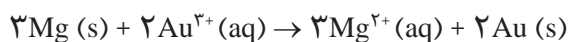
۴- در نمودار زیر هر خط رنگی نشان‌دهنده یک سلول گالوانی تشکیل شده از دو فلز را نشان می‌دهد. با توجه به جدول پتانسیل استاندارد به پرسش‌ها پاسخ دهید.



آ) نخست برای هر سلول گالوانی، آند و کاتد را مشخص کرده سپس emf را حساب کنید و در جای خالی بنویسید.

ب) اگر چند نیم سلول در اختیار داشته باشید و بخواهید از آنها یک سلول گالوانی با بیشترین ولتاژ بسازید، از کدام نیم سلول ها استفاده می کنید؟ چرا؟

۵ - با استفاده از جدول ۱، emf سلولی را حساب کنید که واکنش اکسایش - کاهش زیر در آن رخ می دهد.



● در هر تن از نمک دریاچه قم، بیش از ۲۰۰ گرم لیتیم وجود دارد.

با واکنش های اکسایش - کاهش و کاربرد آنها در ساخت سلول های گالوانی آشنا شدید. سلول هایی که می توانند به عنوان باتری، منبع تولید انرژی الکتریکی باشند. باید توجه داشت که هر باتری ساختاری مناسب برای کاربردی معین دارد. در ادامه با برخی از آنها آشنا خواهید شد.

پیوند با زندگی

لیتیم، فلزی ارزشمند برای ذخیره انرژی الکتریکی

مقدار فلزهای موجود در ۵۰۰ میلیون تلفن همراه به شرح زیر است.

مقدار (تن)	نام فلز
۷۹۰۰	مس
۱۷۸	نقره
۱۷	طلا
۷/۴	پالادیم
۰/۱۸	پلاتین

اگر به پیرامون خود توجه کنید وسایلی را می یابید که با باتری کار می کنند. ساعت مچی و تلفن همراه از جمله وسایلی هستند که انرژی الکتریکی آنها با استفاده از باتری تأمین می شود. باتری هایی که در شکل، اندازه و کارایی با یکدیگر تفاوت آشکاری دارند اما در همه آنها با انجام شدن نیم واکنش های آندی و کاتدی، جریان الکتریکی در مدار بیرونی برقرار می شود.

با رشد و پیشرفت چشمگیر صنایع گوناگون هر روز نیاز و تقاضا پیوسته برای ساخت باتری ها با ویژگی های گوناگون و کاربرد معین افزایش یافته است. شیمی دان ها در پی پاسخ به این نیازها طی پژوهش های بسیاری توانستند به فناوری ساخت باتری های جدید دست یابند. در این فناوری، نقش فلز لیتیم پررنگ است زیرا لیتیم در میان فلزها کمترین چگالی و E° را دارد. این ویژگی های لیتیم سبب شد راه برای ساخت باتری های سبک تر، کوچک تر و با توانایی ذخیره بیشتر انرژی هموار شود. باتری دگمه ای از جمله باتری های لیتیمی است که در شکل ها و اندازه های گوناگون به کار می رود. دسته ای دیگر از باتری های لیتیمی آنهایی هستند که در تلفن و رایانه همراه به کار می روند و می توان آنها را بارها شارژ کرد (شکل ۹).



شکل ۹- نمونه‌هایی از باتری‌های لیتیومی

افزایش تقاضا برای باتری‌های لیتیومی، سبب شد این فلز جایگاه ممتازی در تأمین انرژی جهان پیدا کند به طوری که سالانه از میلیاردها باتری لیتیومی درون دستگاه‌های الکترونیک در سرتاسر جهان استفاده می‌شود و سرانجام این دستگاه‌ها به همراه باتری‌های درون خود به شکل پسماند دور ریخته می‌شوند. به این ترتیب حجم انبوهی از پسماندهای الکترونیکی مانند تلفن و رایانه همراه، باتری‌های لیتیومی و... تولید می‌شود. این پسماندها به دلیل داشتن مواد شیمیایی گوناگون، سمی هستند و نباید در طبیعت رها یا دفن شوند زیرا محیط زیست را آلوده می‌کنند. از سوی دیگر برخی از این پسماندها به دلیل داشتن مقدار قابل توجهی از مواد فلزهای ارزشمند و گران قیمت، منبعی برای بازیافت این مواد هستند.

آیا می‌دانید

با بازیافت باتری‌ها می‌توان حجم انبوهی از فلزهای گوناگون را به چرخه مصرف برگرداند. جدول زیر مصرف سالانه فلزها برای تولید باتری در جهان را نشان می‌دهد.

مقدار (کیلو تن)	نام فلز
۱۳	کبالت
۳۰	لیتیم
۱۵۰	نیکل
۵۲۰۰	منگنز
۰/۱۸	پلاتین



آیا می‌دانید

در سال ۱۸۳۹ ویلیام گروو فیزیک‌دان و روزنامه نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویک مندوچارلز لنجر برمی‌گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول‌های سوختی در سفینه‌های جیمینی و آپولو برای تهیه الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دهه هفتاد میلادی فناوری سلول سوختی در وسایل خانگی و خودروها به کار گرفته شد. از دهه هشتاد به بعد شرکت بالارد کانادا زیردریایی مجهز به سلول سوختی را ساخت. پهباد سلول سوختی در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکه دوگانه (باتری خورشیدی و سلول سوختی) با توان شش ماه پرواز به بهره برداری رسید.

سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

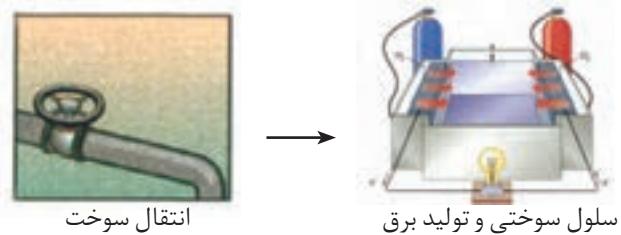
سوخت‌های فسیلی همچنان مناسب‌ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها به شمار می‌رود. از این رو استخراج و مصرف بی‌رویه این سوخت‌ها سبب شده تا ذخایر آن به سرعت کاهش یابد. از سوی دیگر گسترش روزافزون آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، جهان را با چالشی نگران‌کننده روبه‌رو کرده است. با این توصیف یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی به ویژه خودروها ضروری است. **سلول سوختی**^۱ نوعی سلول گالوانی است که شیمی‌دان‌ها برای گذر از این تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست پیشنهاد می‌دهند. این سلول‌ها افزون بر کارایی بیشتر می‌توانند ردپای کربن دی‌اکسید را کاهش دهند به طوری که دوستدار محیط زیست بوده و منبع انرژی سبز به شمار می‌روند.

در هر یک از روش‌های زیر مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.

روش ۱



روش ۲



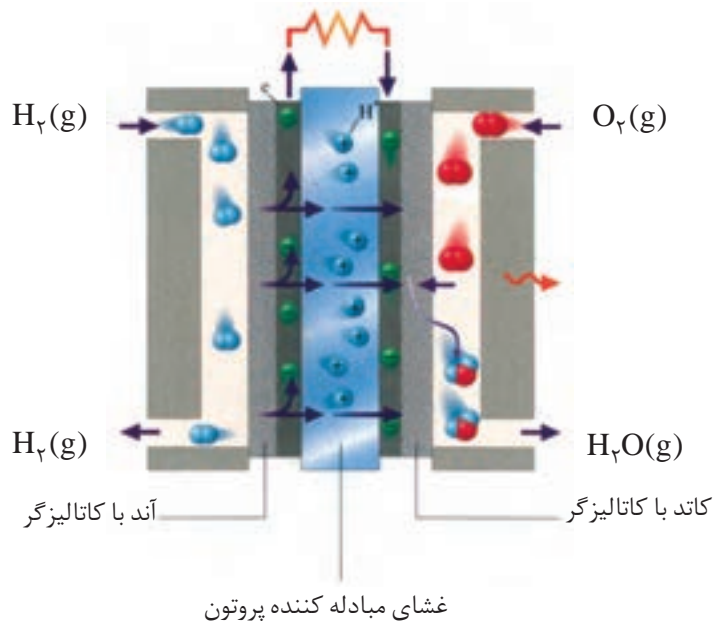
● سوزاندن گاز هیدروژن در موتور درون‌سوز بازدهی نزدیک به ۲۰ درصد دارد در حالی که اکسایش آن در سلول سوختی بازده را تا سه برابر افزایش می‌دهد.

آ) در کدام روش اتلاف انرژی به شکل گرما کمتر است؟ چرا؟
ب) کدام روش کارایی بالاتری دارد؟ توضیح دهید.

آیا می‌دانید

● در برخی از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور، پژوهش‌های خوبی روی سلول‌های سوختی انجام شده و موفقیت‌هایی نیز به دست آمده است. تولید توده سلول سوختی در دانشگاه شهید رجایی نمونه‌ای از آنها است.

رایج‌ترین سلول سوختی، سلول هیدروژن - اکسیژن است. دستگاهی که در آن گاز هیدروژن با گاز اکسیژن به صورت کنترل شده واکنش می‌دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود (شکل ۱).



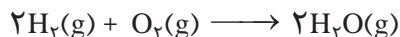
شکل ۱ - نوعی سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن

آیا می‌دانید

مهندسان و پژوهشگران کشور در چند دانشگاه نمونه‌هایی از خودروهای برقی را طراحی کرده و ساخته‌اند این خودرو از طریق ترکیب هیدروژن و اکسیژن در سلول سوختی، انرژی خود را تأمین می‌کند. همچنین در این خودرو یک باتری شارژی وجود دارد.



همان‌گونه که شکل ۱۰ نشان می‌دهد هر سلول سوختی سه جزء اصلی دارد به طوری که شامل یک غشا، الکتروآند و الکتروکاتد است. در این سلول، آند و کاتد دارای کاتالیزگرهایی هستند که به نیم واکنش‌های اکسایش و کاهش سرعت می‌بخشند. واکنش کلی در چنین سلولی به صورت زیر است:



از عملکرد این سلول پیداست که گاز هیدروژن به عنوان سوخت پیوسته وارد شده، اکسایش می‌یابد و هم‌زمان با آن گاز اکسیژن در واکنش با سوخت کاهش می‌یابد. روندی که در معادله واکنش دیده نمی‌شود زیرا همه گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش، مولکول‌های خنثی هستند و شمار الکترون‌های ظرفیت اتم‌ها در واکنش تغییر نمی‌کند. به راستی در واکنش‌هایی از این دست چگونه می‌توان گونه‌های اکسند و کاهنده را مشخص کرد؟ شیمی‌دان‌ها با معرفی عدد اکسایش^۱ راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارائه کردند.

با هم ببیندیشیم

۱- با توجه به واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن-اکسیژن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.
(آ) ساختار الکترون - نقطه‌ای گونه‌های شرکت‌کننده را رسم کنید.



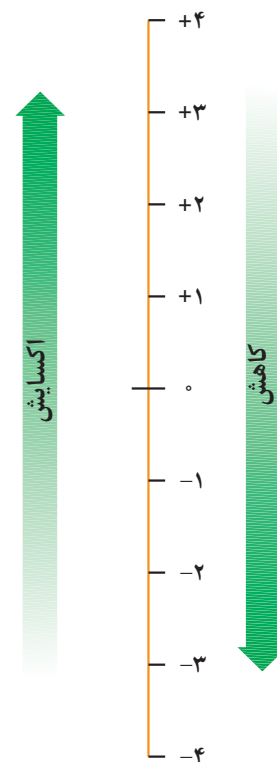
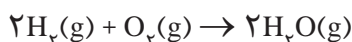
(ب) در هر ساختار:

- به ازای هر جفت الکترون پیوندی میان دو اتم یکسان، یک الکترون به هر اتم نسبت دهید.
- به ازای هر جفت الکترون پیوندی میان دو اتم متفاوت، هر دو الکترون را به اتم با خصلت نافلزی بیشتر نسبت دهید.

- همه الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.

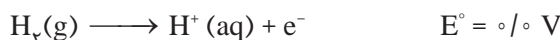
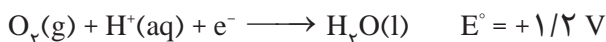
(پ) الکترون‌های نسبت داده شده به هر اتم را بشمارید و آن را از شمار الکترون‌های ظرفیت همان اتم کم کنید. عدد به دست آمده عدد اکسایش اتم مورد نظر را نشان می‌دهد.

۲- هرگاه بدانید که بیشتر شدن عدد اکسایش، نشان‌دهنده اکسایش یافتن و کمتر شدن آن نشان‌دهنده کاهش یافتن اتم‌هاست، در واکنش زیر گونه‌های اکسایش یافته، کاهش یافته، اکسند و کاهنده را مشخص کنید.



● افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و فرایند اکسایش است در حالی که کاهش آن به معنای به دست آوردن الکترون و فرایند کاهش است.

۳- دانش آموزی نیم واکنش های انجام شده در نوعی سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن را به صورت زیر از منابع علمی معتبر استخراج کرده است.



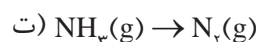
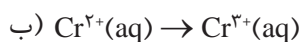
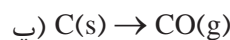
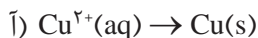
آ) هر یک از نیم واکنش ها را موازنه کنید سپس واکنش کلی سلول را به دست آورید.
ب) emf این سلول را حساب کنید.

● اغلب نافلزها و فلزهای واسطه عددهای اکسایش گوناگونی در ترکیب های خود دارند. برای نمونه عدد اکسایش آهن در FeCl_2 و FeCl_3 به ترتیب ۲+ و ۳+ در حالی که عدد اکسایش گوگرد در Na_2S و SO_2 به ترتیب ۲- و ۴+ است.

با تعیین عدد اکسایش اتم ها در یک گونه شیمیایی آشنا شدید. برای نمونه عدد اکسایش هیدروژن و اکسیژن به حالت آزاد برابر با صفر است. از این رو عدد اکسایش دیگر عناصر نیز به حالت آزاد مانند Mg ، Fe و Cl_2 برابر با صفر خواهد بود. در حالی که عدد اکسایش یون های تک اتمی برابر با بار الکتریکی آنهاست. برای نمونه عدد اکسایش یون اکسید و یون کلسیم در CaO به ترتیب برابر با ۲- و ۲+ است. همچنین دریافتید که با تغییر عدد اکسایش اتم ها در یک واکنش می توان گونه های اکسند و کاهنده را تعیین کرد. روشی که به کمک آن می توان واکنش اکسایش - کاهش را از دیگر واکنش ها تشخیص داد.

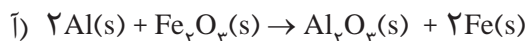
خود را بیازمایید

۱- در هر مورد با تعیین عدد اکسایش مشخص کنید که آن اتم اکسایش یا کاهش یافته است؟



۲- در هر یک از واکنش های زیر با محاسبه تغییر عدد اکسایش، گونه کاهنده و اکسند را

تعیین کنید.



اینک می پذیرید که برای تأمین انرژی الکتریکی می توان از واکنش های اکسایش - کاهش در سلول های گالوانی مانند باتری ها و سلول های سوختی بهره برد. با اینکه سلول های سوختی برخلاف باتری ها، انرژی شیمیایی را ذخیره نمی کنند اما در آنها نیز پیوسته سوخت در شرایط کنترل شده، مصرف و جریان الکتریکی برقرار می شود. یکی از چالش هایی که در کاربرد سلول های سوختی هیدروژن - اکسیژن خودنمایی می کند، تأمین سوخت آنهاست. آیا با استفاده از دانش الکتروشیمی می توان راهی برای تولید گاز هیدروژن یافت؟

برقکافت آب، راهی برای تولید گاز هیدروژن

تاکنون با سلول‌هایی آشنا شدید که در آنها با انجام واکنش‌های اکسایش - کاهش انرژی تولید می‌شود. نوع دیگری از سلول‌های الکتروشیمیایی وجود دارند که با اعمال یک ولتاژ بیرونی و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می‌توان یک واکنش شیمیایی را در خلاف جهت طبیعی پیش راند.

● آب خالص رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد از این رو برای برقکافت آن باید اندکی الکترولیت به آب افزود.

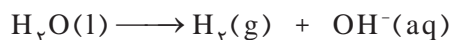
این سلول‌ها به **سلول‌های الکترولیتی^۱** معروف هستند و **برقکافت^۲** آب یک نمونه از واکنش‌هایی است که در آنها انجام می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تجزیه آب به عنصرهای سازنده آن با مصرف انرژی الکتریکی

خود را بیازمایید

نیم واکنش‌های انجام شده در سلول الکترولیتی هنگام برقکافت آب به صورت زیر است:



آ) با وارد کردن نماد الکترون در هر نیم واکنش مشخص کنید کدام نیم واکنش آندی و کدام کاتدی است؟

ب) هر یک از نیم واکنش‌ها را موازنه کنید و معادله کلی واکنش را به دست آورید.

پ) پیش‌بینی کنید کاغذ pH در محلول پیرامون آند و کاتد به چه رنگی درمی‌آید؟ چرا؟

دریافتید که در سلول الکترولیتی، دو الکتروود درون یک الکترولیت قرار دارند. الکترودهای بی اثری که در واکنش شرکت نمی‌کنند و اغلب گرافیتی هستند. در این سلول‌ها، کاتد به قطب منفی باتری و آند به قطب مثبت باتری متصل است و الکترولیت محتوی یون‌هایی است که آزادانه جابه‌جا می‌شوند.

۱- Electrolytic Cells

۲- Electrolysis



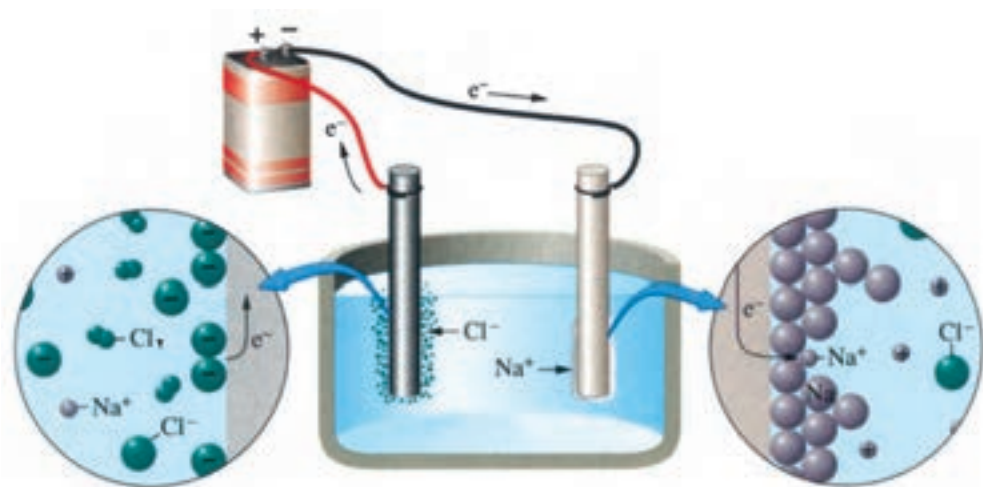
در واقع الکترولیت یک محلول یونی یا یک ترکیب یونی مذاب است. هنگامی که به این سلول ولتاژی اعمال شود، یون‌ها به سوی الکتروود با بار ناهمنام حرکت می‌کنند. به طوری که کاتیون‌ها به سوی کاتد و آنیون‌ها به سوی آند روانه می‌شوند تا به سطح الکتروودها برسند و در نیم واکنش اکسایش و کاهش شرکت کنند.

- سلول دانه یک سلول الکترولیتی است که در صنعت برای تهیه فلز سدیم به کار می‌رود. در این سلول، برقکافت سدیم کلرید مذاب انجام می‌شود.

- سدیم کلرید خالص در 801°C ذوب می‌شود. افزودن مقداری کلسیم کلرید به آن، دمای ذوب را تا حدود 587°C پایین می‌آورد. این کار از نظر اقتصادی چه مزیتی دارد؟

برقکافت (I) NaCl و تهیه فلز سدیم

فلز سدیم یک کاهنده قوی است که در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی‌شود، عنصری که در ترکیب‌های طبیعی و گوناگون خود تنها به شکل یون سدیم وجود دارد. این واقعیت نشان می‌دهد که یون‌های سدیم بسیار پایدارتر از اتم‌های آن هستند. به همین دلیل برای تهیه فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد (شکل ۱۲). تهیه این فلز را از برقکافت سدیم کلرید مذاب در یک سلول الکترولیتی نشان می‌دهد.



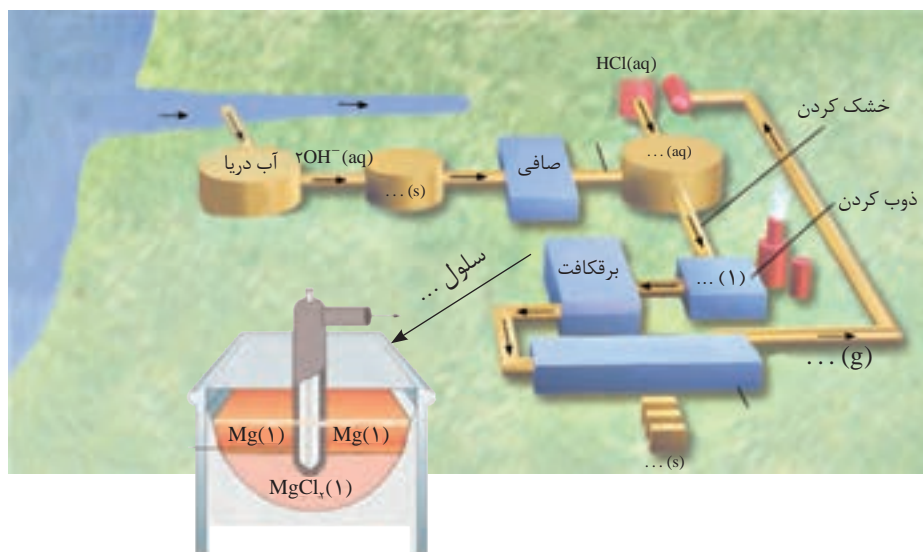
شکل ۱۲- برقکافت سدیم کلرید مذاب

از آنجا که دیگر فلزهای فعال نیز کاهنده‌های قوی هستند، باید آنها را همانند سدیم از برقکافت نمک مذاب آنها تهیه کرد. برای نمونه فلز منیزیم را در صنعت از برقکافت منیزیم کلرید مذاب تهیه می‌کنند.

خود را بیازمایید

۱- با توجه به شکل ۱۲، واکنش کلی برقکافت سدیم کلرید مذاب را به دست آورید.

۲- شکل زیر مراحل تهیه فلز منیزیم را از آب دریا نشان می‌دهد. جاهای خالی را پر کرده و درباره این روش در کلاس گفت و گو کنید.



تاکنون با دو نوع سلول الکتروشیمیایی آشنا شدید. در سلول گالوانی، انجام یک واکنش اکسایش - کاهش منجر به تولید انرژی الکتریکی شده اما در سلول الکتrolیتی با اعمال یک ولتاژ بیرونی یک واکنش اکسایش - کاهش دلخواه انجام می‌شود. واکنش‌های انجام شده در هر دو سلول، مطلوب و سودمند هستند، این در حالی است که پیرامون ما واکنش‌های اکسایش-کاهش زیادی مانند سیاه شدن وسایل نقره‌ای، فساد مواد خوراکی و... انجام می‌شوند که مطلوب ما نیستند و گاهی زیان‌هایی را به دنبال دارند.

خوردگی، یک واکنش اکسایش - کاهش ناخواسته

سالانه صدها میلیون تن از فلزهای گوناگون برای ساختن اسکله نفتی، اسکلت ساختمان، پل، کشتی، لوکوموتیو و راه آهن، خودرو، هواپیما و... مصرف می‌شود. هنگامی که فلزها در هوا قرار می‌گیرند، اغلب اکسایش یافته و به شکل اکسید در می‌آیند. در فلزهایی مانند آهن با ادامه اکسایش، لایه‌ای ترد و شکننده تشکیل می‌شود که به تدریج فرو می‌ریزد. در این حالت می‌گویند فلز خورده شده است.

از آنجا که آهن پر مصرف‌ترین فلز در جهان است، خوردگی آن خسارت‌های هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد می‌کند به طوری که سالانه حدود ۲۰ درصد از آهن تولیدی برای جایگزینی قطعه‌های خورده شده مصرف می‌شود.

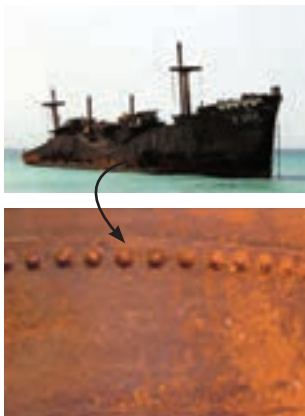


● نقره کدر شده با انجام واکنش اکسایش-کاهش.



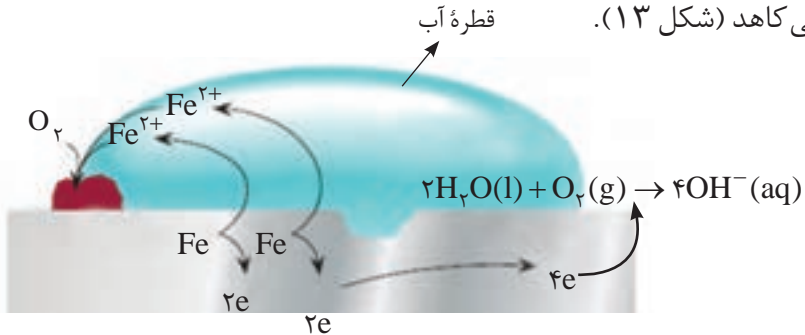
● نقره پرداخت شده با انجام واکنش اکسایش-کاهش.

● خوردگی به فرایند ترد شدن، خرد شدن و فروریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش - کاهش گفته می‌شود. زنگ زدن آهن، تیره شدن نقره و زنگار سبز بر سطح مس نمونه‌هایی از خوردگی هستند.



● بدنه آهنی کشتی در مجاورت هوا و رطوبت قرار گرفته و بر سطح آن زنگ آهن تشکیل شده است. فرایندی که باعث خوردگی می‌شود.

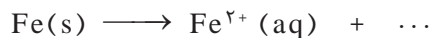
پتانسیل کاهشی اغلب فلزها منفی بوده اما پتانسیل کاهشی اکسیژن مثبت است. با این توصیف اکسیژن به عنوان اکسنده تمایل دارد با گرفتن الکترون از فلزها، آنها را اکسید کند. هنگامی که وسایل آهنی در هوای مرطوب قرار گیرند، یک واکنش اکسایش - کاهش انجام می‌شود. واکنشی که به طور طبیعی باعث اکسایش آهن می‌شود و از زیبایی و استحکام آن می‌کاهد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- زنگ زدن آهن در هوای مرطوب

با هم بیندیشیم

۱- با توجه به شکل بالا و نیم واکنش‌های انجام شده در آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.



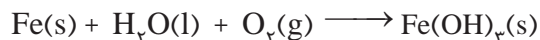
(آ) هر یک از نیم واکنش‌ها را موازنه کنید.

(ب) با توجه به اینکه زنگ آهن حاوی یون آهن (III) است، نیم واکنش اکسایش یون آهن (II)

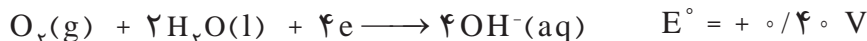
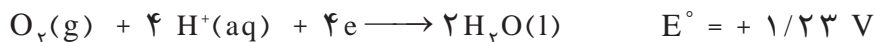
به یون آهن (III) را بنویسید.

(پ) فرآورده نهایی خوردگی، زنگ آهن بوده که فرمول شیمیایی آن $\text{Fe}(\text{OH})_2$ است. اگر

معادله واکنش کلی زنگ زدن آهن به صورت زیر باشد، آن را موازنه کنید.



۲- با توجه به نیم واکنش‌های زیر توضیح دهید چرا :



(آ) خوردگی آهن در محیط اسیدی به میزان بیشتری رخ می‌دهد؟

(ب) با گذشت زمان فلز طلا در هوای مرطوب و حتی در اعماق دریا همچنان درخشان باقی

می‌ماند؟

پی بردید که فلزهای نجیبی مانند طلا و پلاتین حتی در محیط‌های اسیدی اکسایش نمی‌یابند اما وسایل آهنی در هوای مرطوب دچار خوردگی می‌شوند. واکنش ناخواسته‌ای که در شهرهای بندری و ساحلی بیشتر خودنمایی می‌کند. بدیهی است که برای جلوگیری از خوردگی آهن، ساده‌ترین راه ایجاد یک پوشش محافظ است تا از رسیدن اکسیژن و رطوبت به آهن جلوگیری کند. پوششی که با روش‌هایی مانند رنگ زدن، قیراندود کردن و روکش دادن ایجاد می‌شود. باید توجه داشت که چنین روش‌هایی نمی‌توانند به‌طور کامل از خوردگی پیشگیری کنند زیرا به تدریج رطوبت و اکسیژن از روزنه‌های این پوشش‌ها به درون نفوذ کرده و به سطح آهن می‌رسند و خوردگی دوباره آغاز می‌شود. با توجه به آنچه که آموخته‌اید چه روش دیگری پیشنهاد می‌کنید که تا حد امکان آسیب‌ها و زیان‌های خوردگی را کاهش دهد؟

پیوند با صنعت

فداکاری فلزها برای حفاظت آهن

هنگامی که دو فلز در هوای مرطوب با هم در تماس باشند، برای اکسایش یافتن با یکدیگر رقابت می‌کنند. بدیهی است که فلز کاهنده‌تر در این رقابت برنده می‌شود. برای پیش بینی فلز برنده باید از پتانسیل کاهش استاندارد کمک گرفت. اینک به E° فلزهای زیر توجه کنید.

$$E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0.34 \text{ V}$$

$$E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0.44 \text{ V}$$

$$E^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.76 \text{ V}$$

$$E^\circ(\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}) = -2.37 \text{ V}$$

تصور کنید فلز روی یا منیزیم در هوای مرطوب با آهن تماس داشته باشد، با توجه به E° آنها بی‌شک روی یا منیزیم است که در رقابت برنده شده و اکسید می‌شود. اکسایشی که نشان از فداکاری آنها داشته و سبب پیشگیری از اکسایش آهن خواهد شد. این در حالی است که اگر فلز مس در تماس با آهن باشد در این رقابت، آهن دچار خوردگی می‌شود. اینک می‌پذیرید که مهندسين با تکیه بر دانش الکتروشیمی توانسته‌اند روش‌های عملی و مؤثرتری برای حفاظت از آهن در محیط‌های گوناگون به کار گیرند (شکل ۱۴).



● باید توجه داشت که با گذشت زمان منیزیم اکسایش یافته و مصرف می‌شود. از این رو باید به شکل دوره‌ای تکه‌های منیزیم را تعویض کرد.

منیزیم



(ب)



منیزیم

(آ)

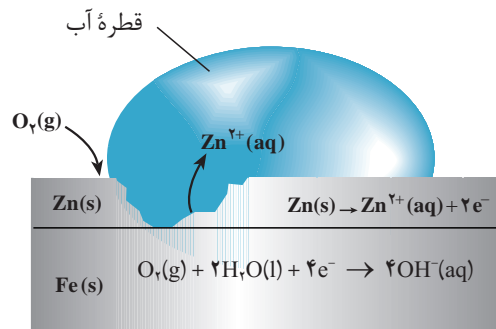
شکل ۱۴- حفاظت از آهن با منیزیم، (آ) بدنه کشتی (ب) لوله‌های نفتی



● تانکر آب ساخته شده از آهن سفید

فداکاری فلز روی برای حفاظت از آهن سبب شد تا در صنعت ورقه‌های آهنی با پوششی از فلز روی تهیه شود. این نوع آهن به آهن گالوانیزه^۱ (آهن سفید) معروف است و در ساخت تانکر آب، کانال کولر و... به کار می‌رود.

هنگامی که خراشی در سطح آهن گالوانیزه پدید می‌آید، هر دو فلز در مجاورت اکسیژن و رطوبت قرار می‌گیرند و برای اکسایش رقابت می‌کنند. بدیهی است که فلز روی اکسید شده و آهن محافظت می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- رقابت آهن و روی در آهن گالوانیزه

آیا می‌دانید

در منابع علمی فرایند حفاظت از یک فلز معین را با استفاده از فلزهای کاهنده‌تر حفاظت کاتدی می‌نامند.



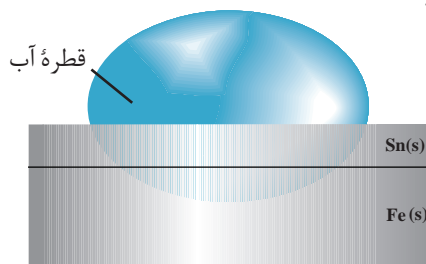
پس از مدتی



● قوطی‌هایی از جنس حلبی در اثر خراش زودتر و آسان‌تر دچار خوردگی می‌شوند.

خود را بیازمایید

شکل روبه‌رو بخشی از یک ورقه آهنی را نشان می‌دهد که با لایه نازکی از قلع پوشیده شده است. به این نوع آهن، حلبی می‌گویند. از ورقه‌های حلبی برای ساختن قوطی‌های کنسرو و روغن نباتی استفاده می‌شود.



آ) در اثر ایجاد خراش در سطح این نوع آهن، کدام فلز خورده می‌شود؟ کدام فلز در برابر خوردگی محافظت می‌شود؟

ب) نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش را بنویسید.

پ) توضیح دهید چرا برخلاف حلبی از آهن گالوانیزه نمی‌توان برای ساختن ظروف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کرد؟

پیوند با زندگی

در زندگی روزانه از وسایل و ابزار گوناگونی مانند وسایل آشپزخانه، شیرآلات ساختمان، دستگیره درب و... استفاده می‌شود که فلز اصلی سازنده آنها آهن یا مس است. خوردگی این فلزها از یک سو سبب از بین رفتن زیبایی وسیله می‌شود و از سوی دیگر به سلامتی بدن آسیب می‌رساند. به همین دلیل، سطح اغلب این وسایل فلزی را با فلزهایی مانند نقره، کروم، نیکل و طلا می‌پوشانند (شکل ۱۶).

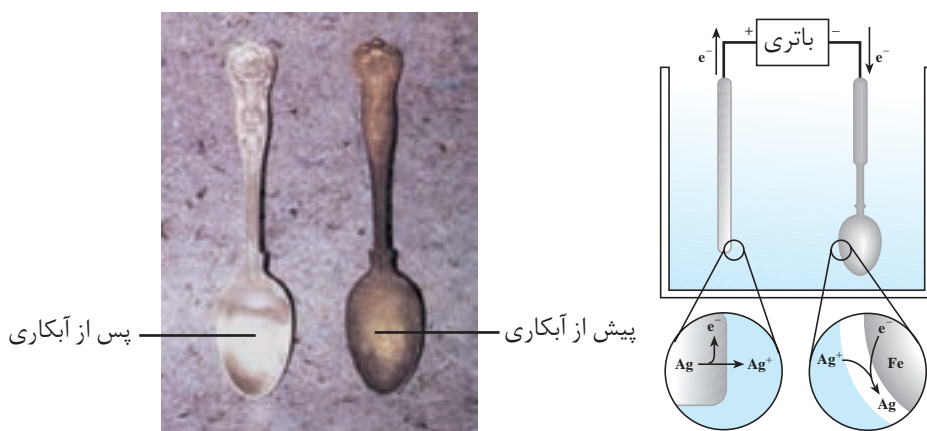


شکل ۱۶- نمونه‌هایی از برخی وسایل فلزی

پوشاندن سطح یک فلز با لایه نازکی از فلزهای ارزشمند و مقاوم در برابر خوردگی، آبکاری^۱ نام دارد. فرایندی که در سلول الکترولیتی انجام می‌شود.

خود را بیازمایید

شکل زیر آبکاری یک قاشق فولادی را با فلز نقره نشان می‌دهد با توجه به آن:



آ) قاشق فولادی به کدام قطب باتری متصل است؟

ب) نیم واکنش کاتدی را بنویسید.

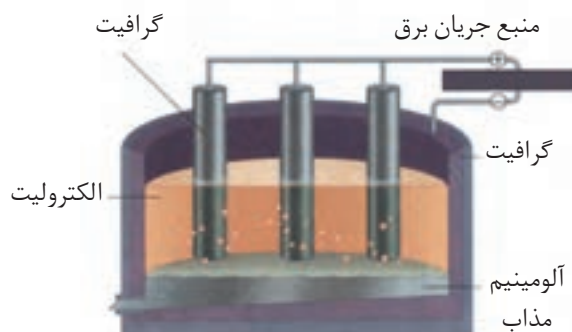
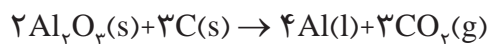
پ) چرا الکترولیت را محلولی از نمک نقره انتخاب کرده اند؟

برخی فلزها با اینکه اکسایش می‌یابند اما خورده نمی‌شوند. از این فلزها می‌توان برای ساخت وسایل گوناگونی بهره برد که برای مدت طولانی تری استحکام خود را حفظ می‌کنند. آلومینیم یکی از این فلزهاست. فلزی فعال که به سرعت در هوا اکسید می‌شود ($E^\circ(\text{Al}^{3+}/\text{Al}) = -1.66\text{V}$). این فلز با تشکیل لایه چسبنده و متراکم Al_2O_3 از ادامه اکسایش جلوگیری می‌کند به طوری که لایه‌های زیرین برای مدت طولانی دست نخورده باقی می‌ماند و استحکام خود را حفظ می‌کند. این ویژگی آلومینیم سبب شده که از آن در ساخت لوازم خانگی، هواپیما، کشتی و... استفاده کرد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- برخی کاربردهای آلومینیم

با این توصیف فلز آلومینیم نقش کلیدی در صنایع گوناگون دارد و فناوری تولید آن بسیار ارزشمند است. آلومینیم همانند دیگر فلزهای فعال در طبیعت به شکل ترکیب یافت می‌شود از این رو این فلز تنها از برقکافت نمک‌های مذاب آن به دست می‌آید. رایج‌ترین روشی که به فرایند هال^۱ معروف است (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- فرایند هال برای تولید آلومینیم از Al_2O_3

آیا می دانید

آلومینیم در صنایع به طور عمده به شکل آلیاژ استفاده می شود. از این فلز آلیاژهای گوناگونی تهیه می شود. نمونه ای از آنها مگنالیوم است که در ساخت بدنه کشتی به کار می رود. درصد فلزهای سازنده این آلیاژ مطابق جدول زیر است.

فلز	درصد جرمی
Al	۸۳
Mg	۱۵
Ca	۲

فرایندها به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد از این رو با بازیافت فلز آلومینیم می توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم ترین منابع تجدید ناپذیر طبیعت، برخی از هزینه های تولید این فلز را کاهش داد. برای نمونه تولید قوطی های آلومینیمی از قوطی های کهنه فقط به ۷ درصد از انرژی لازم برای تهیه همان تعداد قوطی از فرایندها نیاز دارد.

خود را بیازمایید

لوله آموزشی زیر، آب کاری یک قاشق مسی را با فلز نقره نشان می دهد. درباره آن در کلاس گفت و گو کنید

آبکاری

پیش از برقراری جریان الکتریکی

تیغه ای از جنس نقره به قطب مثبت باتری متصل می شود. در این قطب فلز نقره با اثر دست دادن الکترون به یون نقره تبدیل می شود.

مدتی پس از برقراری جریان الکتریکی

جسمی که آبکاری می شود به قطب منفی باتری اتصال دارد. در این قطب یون های نقره با گرفتن الکترون به نقره تبدیل می شوند و روی جسم می نشینند.

$$\text{Ag(s)} \rightarrow \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \quad \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag(s)}$$

پوشاندن یک جسم با لایه ای نازک از یک فلز به کمک یک سلول الکترولیتی، آبکاری نامیده می شود. جسمی که بعنوان کاتد است باید رسانای جریان برق باشد و محلول الکترولیت برای آبکاری دارای یون های فلزی باشد که قرار است لایه نازکی از آن روی جسم قرار بگیرد.

تمرین‌های دوره‌ای

۱- برای هر یک از جمله‌های زیر، دلیلی بنویسید.

آ) فلز پلاتین را می‌توان در بخش‌های مختلف بدن هنگام جراحی به کار برد.

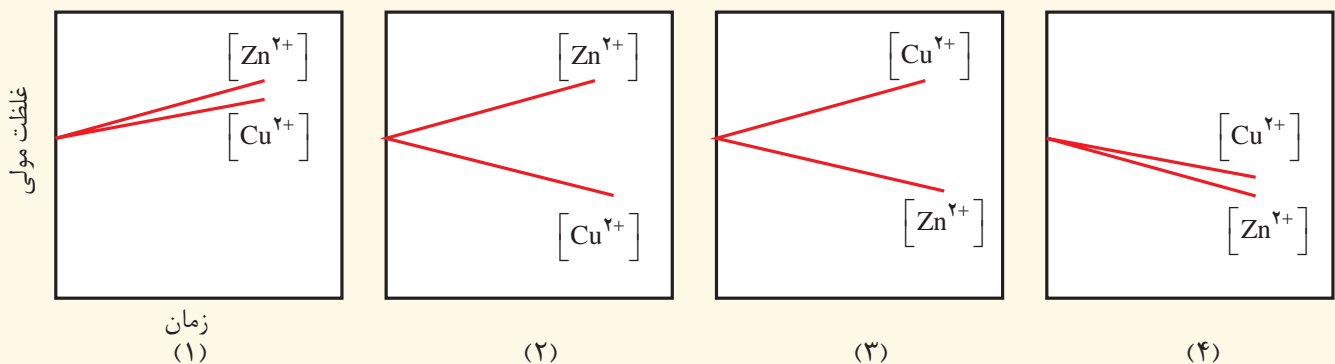
ب) $F_2(g)$ اکسنده‌ترین گونه در جدول پتانسیل کاهش استاندارد است.

پ) عدد اکسایش اکسیژن در OF_2 برابر با ۲+ است.

ت) عدد اکسایش کربن هنگام سوختن کامل گاز متان ۸ درجه افزایش می‌یابد.

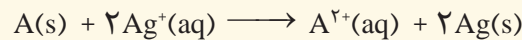
۲- با مراجعه به جدول پتانسیل کاهش استاندارد توضیح دهید کدام نمودار تغییر غلظت یون‌ها را در سلول گالوانی

روی-مس نشان می‌دهد.

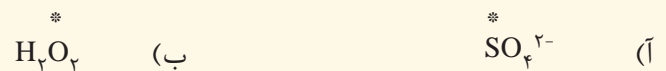


۳- emf سلولی که واکنش زیر در آن رخ می‌دهد برابر با $1/98 V$ است. E° نیم سلول A را حساب کرده و با مراجعه به جدول

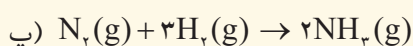
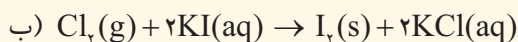
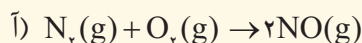
مشخص کنید A کدام فلز است؟



۴- عدد اکسایش اتم نشان داده شده با ستاره را مشخص کنید.



۵- در هر یک از واکنش‌های زیر گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



۶- با توجه به جدول زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.

نیم‌واکنش کاهش	$E^\circ(V)$
$A^+(aq) + e^- \rightarrow A(s)$	+۱/۳۳
$B^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow B(s)$	+۰/۸۷
$C^{3+}(aq) + e^- \rightarrow C^{2+}(aq)$	-۰/۱۲
$D^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow D(s)$	-۱/۵۹

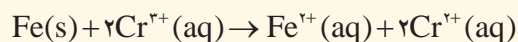
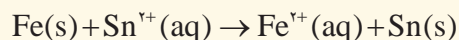
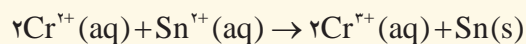
آ) کدام گونه قوی‌ترین و کدام ضعیف‌ترین اکسنده است؟

ب) کدام گونه قوی‌ترین و کدام ضعیف‌ترین کاهنده است؟

پ) کدام گونه(ها) می‌توانند C^{2+} را اکسید کنند؟

۷- با توجه به واکنش‌های زیر به‌طور طبیعی انجام می‌شوند گونه‌های کاهنده و گونه‌های اکسنده را بر حسب کاهش قدرت

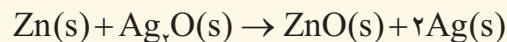
مرتب کنید؟



۸- با توجه به جدول پتانسیل‌های کاهش استاندارد توضیح دهید کدام ظرف(مسی یا آهنی) برای نگهداری محلول

هیدروکلریک اسید مناسب است؟

۹- باتری‌های روی - نقره از جمله باتری‌های دگمه‌ای هستند که در آنها واکنش زیر انجام می‌شود.



آ) گونه‌های اکسنده و کاهنده را در آن مشخص کنید.

ب) آند و کاتد را در این باتری مشخص کنید.