

## الکتروشیمی

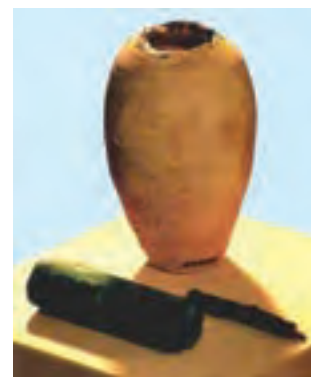


بام مسی و سرخ‌فام آرامگاه حافظ با گذشت زمان تغییر رنگ داده است

انرژی الکتریکی، پرکاربردترین شکل انرژی در زندگی امروزی است. از انتقال یک پیام عصبی تا صنایع الکترونیک، حمل و نقل، مهندسی پزشکی، روشنایی خانه‌ها و... همگی به انرژی الکتریکی وابسته‌اند. از این رو، همه کشورهای جهان تلاش می‌کنند راه‌هایی برای تولید انرژی الکتریکی ارزان و پاک بیابند. امروزه بخش عمده انرژی الکتریکی از انجام واکنش‌های شیمیایی که با داد و ستد الکترون همراه‌اند، تأمین می‌شود. آگاهی از چگونگی انجام این نوع واکنش‌ها و دانش الکتروشیمی می‌تواند راهکارهای مناسبی برای رفع چالش کمبود انرژی ارائه دهد.

تا چندین سال پیش تصور بر این بود که نخستین بار دانشمندان ایتالیایی به نام‌های الکساندر ولتا و لوئیجی گالوانی باتری را اختراع کردند. آنها از قرار دادن دو فلز در محلولی از نمک خوراکی، جریان الکتریکی تولید کردند. اما جالب است بدانید که این دو دانشمند برای ساختن باتری، از همان فلزهایی استفاده کردند که حدود ۲۰۰۰ سال پیش، ایرانیان برای ساختن باتری به کار برده بودند (شکل ۱). شواهد باستانی نشان می‌دهد که ایرانیان باستان با استفاده از ظرف‌های سفالی، قطعه‌هایی از فلزهای آهن و مس همراه با محلول نمک خوراکی یا سرکه، دستگاهی برای تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی ساخته بودند. اگرچه به نظر می‌رسد ایرانیان از این انرژی برای آبکاری اشیای فلزی بهره می‌بردند، اما امروزه انرژی الکتریکی کاربردهای بسیار گسترده‌ای در زندگی پیدا کرده است.

نیاز روزافزون جامعه بشری به انرژی الکتریکی، شیمی‌دان‌ها را بر آن داشت تا با بهره‌گیری از اصول الکتروشیمی به طراحی باتری‌هایی با کارایی بالا همت گمارند (شکل ۲). باتری‌هایی که افزون بر تولید انرژی بیشتر، آلاینده‌های کمتری ایجاد کنند. آشنایی با این مباحث به درک مفاهیمی مانند اکسایش، کاهش، سلول‌های الکتروشیمیایی و چگونگی عملکرد آنها نیاز دارد.



شکل ۱- دستگاه تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی در ایران باستان



اغلب باتری‌ها موادی دارند که خطرناک برای موجودات زنده به‌دنبال خواهد داشت. روش دفع این باتری‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که این مواد آب و خاک را آلوده نسازد. از این رو، به‌جای رهاکردن آنها در طبیعت باید به مراکز بازگردانی منتقل شوند.



شکل ۲- نمونه‌ای از کاربردهای انواع باتری



## واکنش‌های اکسایش - کاهش

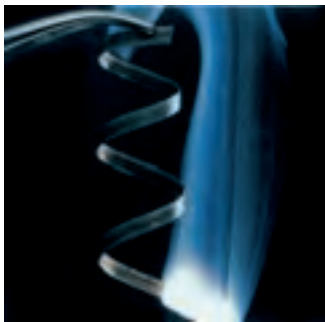


شکل ۳- زنگ زدن بدنه فولادی کشتی‌ها یک واکنش اکسایش - کاهش ناخواسته است.

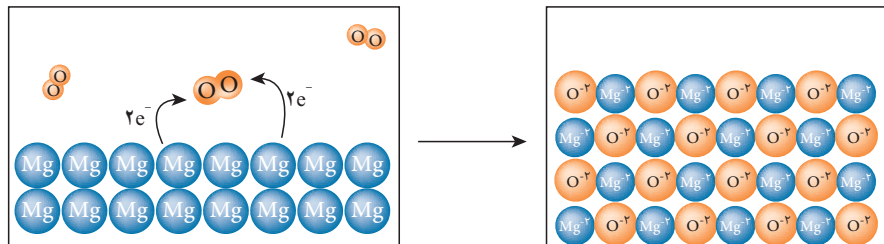
بسیاری از پدیده‌های پیرامون ما نتیجه انجام یک واکنش اکسایش - کاهش است. برای نمونه، سوخت و ساز سلولی در جانداران، فتوسنتز در گیاهان و استخراج هر فلز از سنگ معدن آن، شکل مطلوب و مفیدی از انجام این نوع واکنش‌هاست. این در حالی است که فساد خوراکی‌ها، سیاه شدن وسایل نقره‌ای و زنگ زدن بدنه آهنی پل‌ها و کشتی‌ها (شکل ۳)، نمونه‌هایی از انجام ناخواسته واکنش‌های اکسایش - کاهش به شمار می‌روند.

### فکر کنید

۱- شکل زیر واکنش فلز منیزیم با اکسیژن هوا و تشکیل منیزیم اکسید را نشان می‌دهد. با توجه به شکل به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



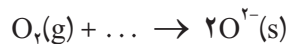
سوختن نوار منیزیم



الف) در این واکنش اتم‌های کدام عنصر الکترون می‌گیرد و کدام یک الکترون از دست می‌دهد؟

ب) اگر گرفتن الکترون به معنای کاهش و از دست دادن آن به معنای اکسایش باشد، کدام عنصر اکسایش و کدام یک کاهش یافته است؟

پ) شیمی‌دان‌ها هر یک از فرایندهای از دست دادن و گرفتن الکترون را با یک نیم‌واکنش نمایش می‌دهند. با قرار دادن تعداد معینی الکترون، هر یک از نیم‌واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



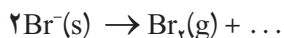
ت) کدام نیم‌واکنش بالا، نیم‌واکنش اکسایش و کدام یک نیم‌واکنش کاهش را نشان می‌دهد؟ چرا؟

ث) ماده‌ای که با گرفتن الکترون سبب اکسایش گونه دیگر می‌شود، اکسنده و ماده‌ای که با دادن الکترون سبب کاهش گونه دیگر می‌شود، کاهنده نامیده می‌شود. در واکنش منیزیم با اکسیژن، گونه اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



## خود را بیازمایید

فیلم عکاسی که در گذشته برای تهیه عکس‌های سیاه و سفید استفاده می‌شد، حاوی بلورهای بسیار ریز نقره برمید در ژلاتین است. هنگامی که این فیلم در برابر تابش نور قرار گیرد، سیاه می‌شود. در این پدیده نیم‌واکنش‌های زیر هم‌زمان رخ می‌دهند.



الف) با کامل کردن هریک از نیم‌واکنش‌ها مشخص کنید کدام گونه اکسایش و

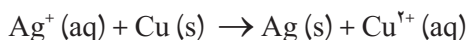
کدام یک کاهش یافته است؟

ب) گونه اکسند و کاهنده را در این واکنش مشخص کنید.

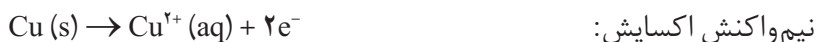
پ) معادله واکنش اکسایش-کاهش را به دست آورید.

## موازنه واکنش‌های اکسایش-کاهش

در واکنش‌های اکسایش-کاهش دو نیم‌واکنش اکسایش و کاهش، هم‌زمان و هم‌واره در کنار هم رخ می‌دهند، به طوری که تعداد الکترون‌های تولید شده در نیم‌واکنش اکسایش باید با تعداد الکترون‌های مصرف شده در نیم‌واکنش کاهش برابر باشد. برای نمونه، واکنش بین یک تیغه مسی با محلول نقره نیترات را در نظر بگیرید.



دو نیم‌واکنش تشکیل دهنده این واکنش عبارت‌اند از:



از آنجا که تعداد الکترون‌های مبادله شده در واکنش کلی باید برابر باشد بنابراین،

دو طرف نیم‌واکنش کاهش را در عدد ۲ ضرب می‌کنیم:



محلول نقره نیترات محتوی یون‌های  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  و  $\text{NO}_3^-(\text{aq})$  است. هنگامی که یک تیغه مسی درون این محلول قرار می‌گیرد، واکنش میان  $\text{Cu}(\text{s})$  و یون‌های  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  انجام می‌شود و یون‌های  $\text{NO}_3^-(\text{aq})$  بدون تغییر در محلول باقی می‌مانند و نقش یون تماشاگر را دارند.

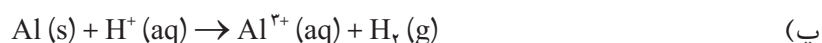
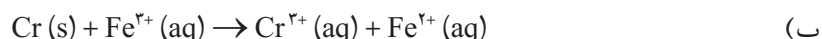
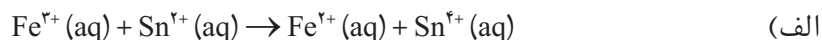


از جمع این نیم واکنش با نیم واکنش اکسایش، معادله موازنه شده واکنش اکسایش- کاهش یاد شده به دست می آید.



## خود را بیازمایید

در هر مورد واکنش اکسایش- کاهش داده شده را موازنه کنید (یون های تماشاگر حذف شده اند).



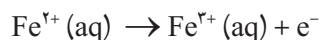
واکنش فلز مس با محلول نقره نیترات

## انتقال الکترون و عدد اکسایش

در بسیاری از واکنش های اکسایش - کاهش، ردیابی مبدأ و مقصد جابه جایی الکترون ها و تعیین گونه اکسند و کاهنده دشوار است. برای نمونه در واکنش زیر هیچ تغییری در تعداد الکترون های ظرفیتی اتم های درگیر در واکنش مشاهده نمی شود. از این رو، نمی توان گونه ای که اکسایش یافته (کاهنده) و یا کاهش یافته (اکسند) است را تشخیص داد.

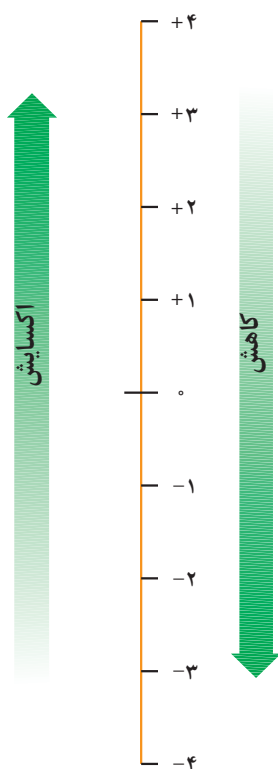


شیمی دان ها با معرفی عدد اکسایش، راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارائه کرده اند. برای این منظور آنها برای هر اتم موجود در یک گونه شیمیایی، عدد اکسایش ویژه ای در نظر گرفته اند. عدد اکسایش یک اتم در یک گونه شیمیایی، هم ارز با بار الکتریکی است که به اتم آن عنصر نسبت داده می شود، با فرض اینکه همه پیوندها یونی هستند. برای نمونه، در آهن (II) کلرید، عدد اکسایش آهن برابر با +۲ و عدد اکسایش کلر برابر با -۱ است. با این توصیف هنگامی که یون آهن (II)  $(\text{Fe}^{2+})$  به یون آهن (III)  $(\text{Fe}^{3+})$  تبدیل می شود، اکسایش رخ می دهد.



بر اثر اکسایش، عدد اکسایش آهن از +۲ به +۳ و حالت اکسایش آن از Fe(II) به Fe(III)

تغییر می کند. به عبارت دیگر اکسایش با افزایش در عدد اکسایش همراه است (شکل ۴).

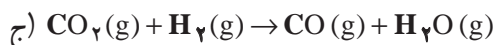
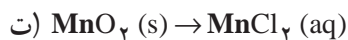
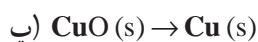
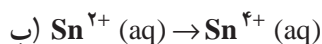
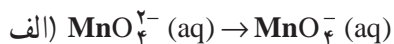


شکل ۴- گستره ای از تغییر عدد اکسایش. افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و بنابراین، فرایند اکسایش است. در حالی که کاهش عدد اکسایش به معنای به دست آوردن الکترون و بنابراین، فرایند کاهش است.



## خود را بیازمایید

۱- در هر مورد با محاسبه تغییر عدد اکسایش معلوم کنید که اتم مشخص شده اکسایش یا کاهش یافته است.



۲- با توجه به روش پیشنهادی زیر، عدد اکسایش هر یک از اتم‌های موجود در مولکول‌های داده شده را مطابق نمونه حل شده، تعیین کنید.



### روش پیشنهادی:

الف) ساختار الکترون نقطه‌ای مولکول یا یون مورد نظر را رسم کنید.

ب) برای هر جفت الکترون پیوندی موجود میان دو اتم یکسان، یک الکترون به هر اتم نسبت دهید.

پ) برای هر جفت الکترون پیوندی موجود میان دو اتم متفاوت، دو الکترون را به اتم الکترونگاتیوتر نسبت دهید.

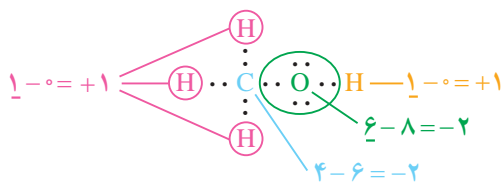
ت) همه الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.

ث) همه الکترون‌های نسبت داده شده به هر اتم را بشمارید.

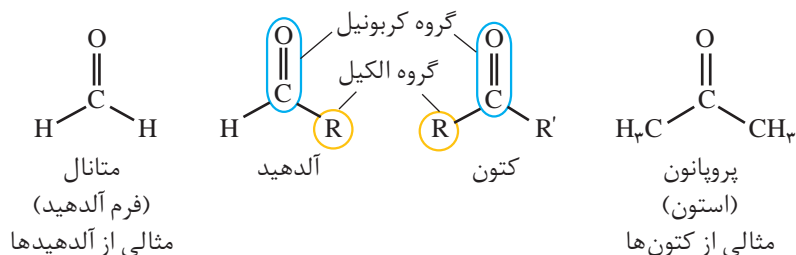
ج) تعداد الکترون‌های نسبت داده شده را از تعداد الکترون‌های ظرفیتی اتم یادشده کم کنید. باقی مانده عدد اکسایش اتم مورد نظر است.

### نمونه حل شده

تعیین عدد اکسایش کربن، اکسیژن و هیدروژن در متانول ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )

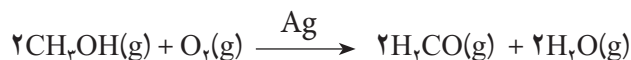


آلدهیدها و کتون‌ها دو دسته مهم از ترکیب‌های آلی با گروه عاملی کربونیل (C=O) هستند. فرمول‌های همگانی آلدهیدها و کتون‌ها به صورت زیر است.



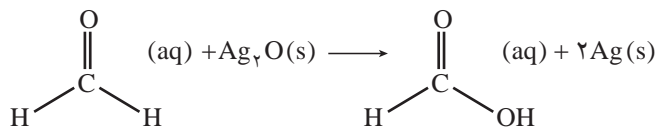
مهم‌ترین تفاوت میان آلدهیدها و کتون‌ها وجود اتم هیدروژن متصل به گروه کربونیل در آلدهیدهاست. وجود این اتم هیدروژن به آلدهیدها خاصیت کاهندگی چشمگیری می‌دهد. در حالی که کتون‌ها این خاصیت را ندارند و در برابر اکسایش مقاومت می‌کنند. با توجه به این مطالب به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

۱- متانال را می‌توان از اکسایش متانول به وسیله اکسیژن در حضور کاتالیزگر و دمای  $50^\circ\text{C}$  تهیه کرد.



تغییر عدد اکسایش کربن را در این واکنش تعیین کنید.

۲- آلدهیدها بر اثر اکسایش به کربوکسیلیک اسیدها تبدیل می‌شوند. در این واکنش گروه عاملی آلدهید (-CHO) به گروه عاملی کربوکسیل (-COOH) تبدیل می‌شود.



تغییر عدد اکسایش کربن را در این واکنش تعیین کنید.



تشکیل آینه نقره‌ای هنگام اکسایش متانال

## رقابت برای داد و ستد الکترون

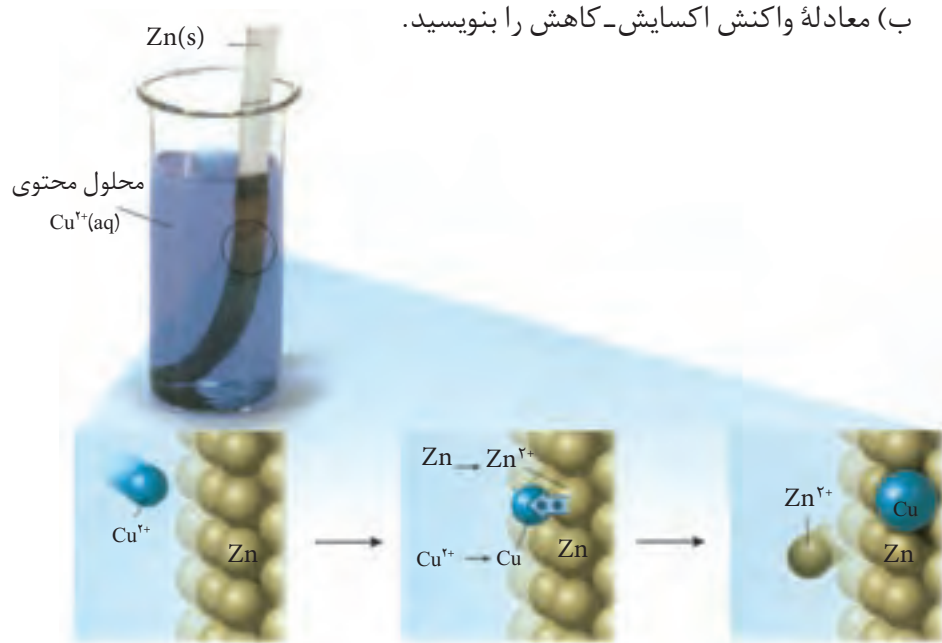
در واکنش‌های اکسایش-کاهش، برخی مواد به عنوان اکسنده و برخی دیگر به عنوان کاهنده عمل می‌کنند. با این حال، برای پیش‌بینی امکان انجام واکنش اکسایش-کاهش میان دو گونه، همواره لازم است که تمایل نسبی این دو گونه به اکسایش یا کاهش تعیین شود. پرسش این است، آیا می‌توان تعیین کرد اتم‌های کدام فلز تمایل بیشتری به از دست

دادن الکترون یا کدام کاتیون‌ها تمایل بیشتری به گرفتن الکترون دارند؟ راهکار عملی چیست؟



### فکر کنید

- هرگاه تیغه‌ای از جنس فلز روی مطابق شکل زیر درون محلول مس (II) سولفات قرار گیرد، واکنشی گرماده میان اتم‌های روی و یون‌های مس (II) رخ می‌دهد.
  - کدام گونه اکسایش و کدام گونه کاهش یافته است؟
  - معادله واکنش اکسایش-کاهش را بنویسید.



**شکل ۵-** فلز نیکل با محلول آبی‌رنگ دارای یون‌های  $Cu^{2+}(aq)$  واکنش می‌دهد. با وارد کردن یک تیغه نیکلی در چنین محلولی رسوب قهوه‌ای مایل به سرخی که همان فلز مس است، روی تیغه نیکلی می‌نشیند. هم‌زمان با آن یون‌های سبز رنگ  $Ni^{2+}(aq)$  نیز وارد محلول می‌شوند. از این آزمایش درمی‌یابیم که  $Cu^{2+}(aq)$  از  $Ni^{2+}(aq)$  اکسندۀ تر است.

- هرگاه تیغه‌ای از جنس فلز مس را حتی برای مدت طولانی، درون محلول روی سولفات (محتوی یون‌های  $Zn^{2+}$ ) قرار دهیم، واکنشی رخ نمی‌دهد.





الف) در رقابت برای گرفتن الکترون، کدام کاتیون برنده است؟

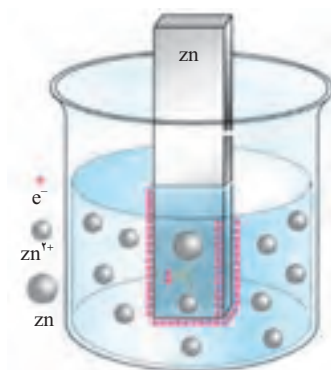


ب) در رقابت برای از دست دادن الکترون، اتم‌های کدام فلز برنده است؟



## سلول الکتروشیمیایی

دریافتید که فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند. برای نمونه، روی، کاهنده‌تر از مس است. دستگاهی که بر اساس قدرت کاهندگی فلزها، انرژی الکتریکی تولید می‌کند، نوعی سلول الکتروشیمیایی است. فرض کنید که یک تیغه از جنس فلز روی درون یک بشر دارای محلول آبی یون‌های روی (مانند محلول روی سولفات) قرار دارد. به این مجموعه یک **نیم سلول** می‌گویند، (شکل ۶). در این نیم سلول برای برقراری تعادل، تعدادی از اتم‌های  $Zn$ ، الکترون‌های خود را روی سطح تیغه روی (رسانای الکترونی که به آن الکتروود گفته می‌شود) می‌گذارند و به صورت یون‌های  $Zn^{2+}$  وارد محلول می‌شوند. در نتیجه بین تیغه روی (الکتروود) و محلول (الکترولیت)، اختلاف پتانسیلی به وجود می‌آید. **پتانسیل الکتروودی** نامی است که بر این اختلاف پتانسیل نهاده‌اند.



شکل ۶- نیم سلول روی؛ به محض وارد کردن تیغه روی (الکتروود) در محلول آبی یون‌های روی، تعادل زیر برقرار می‌شود.



تعادل مشابهی نیز با قراردادن یک تیغه از جنس فلز مس درون محلول آبی دارای یون‌های مس (II) برقرار می‌شود. به این ترتیب با تشکیل نیم سلول مس، پتانسیل الکتروودی ویژه‌ای نیز به وجود می‌آید.



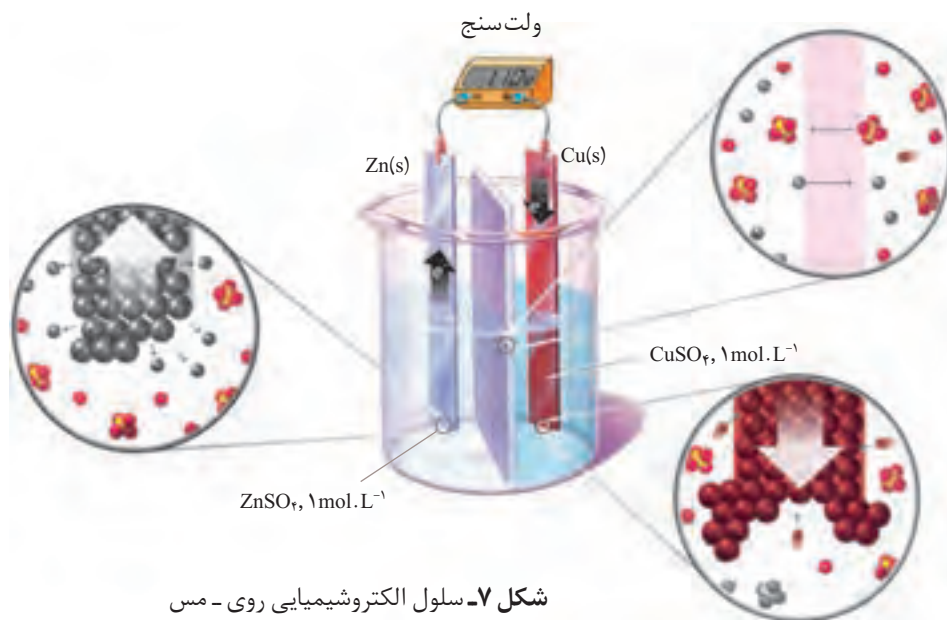
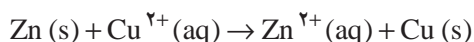
اگر این دو نیم سلول مطابق شکل ۷ به هم متصل شوند، مجموعه‌ای به دست می‌آید که نوعی سلول الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد. در این سلول الکتروشیمیایی همان واکنش جانشینی ساده‌ای رخ می‌دهد که با وارد کردن تیغه‌ای از جنس فلز روی در محلول آبی دارای یون‌های مس (II) به وقوع می‌پیوست. با این تفاوت که در این حالت، واکنش

فلزها رساناهای خوبی برای جریان برق هستند. الکترون‌ها با حرکت خود این رسانایی را امکان‌پذیر می‌کنند. درحالی که در محلول‌های الکترولیت این یون‌ها هستند که با حرکت خود جریان برق را هدایت می‌کنند. رسانای الکترونی و رسانای یونی نام‌هایی هستند که به ترتیب به این نوع رساناها اطلاق می‌شود. هنگامی که یک رسانای الکترونی (الکتروود) در تماس با یک رسانای یونی (الکترولیت) قرار گیرد مجموعه حاصل نیم سلول نامیده می‌شود.

از آنجا که واکنش اکسایش یا کاهش در سطح الکتروود (مرز میان دو رسانای الکترونی و یونی) روی می‌دهد، از این رو به این نوع واکنش‌ها، واکنش‌های الکتروودی می‌گویند.



در شرایطی کنترل شده انجام می‌گیرد.



شکل ۷- سلول الکتروشیمیایی روی - مس

در سلول الکتروشیمیایی

روی - مس، دو محلول الکترولیت توسط یک دیواره محکم و متخلخل از یکدیگر جدا شده‌اند.

دیواره متخلخل که از جنس سفال، خاک چینی (کائولن)، آزبست یا گرد فشرده شده شیشه است و از مخلوط شدن مستقیم و سریع دو الکترولیت جلوگیری می‌کند، ولی یون‌های موجود در دو محلول می‌توانند از آن عبور کنند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در مدار بیرونی از سمت الکتروود روی به سمت الکتروکاتود مس جریانی از الکترون‌ها برقرار شده است. این مشاهده نشان دهنده تمایل بیشتر کدام فلز برای از دست دادن الکترون است؟

## فکر کنید

سلول الکتروشیمیایی روی - مس را در نظر بگیرید (شکل ۷) و به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۱- بر طبق اصل لوشاتلیه کم شدن تعداد الکترون‌ها بر تعادل (۱) و افزوده شدن تعداد الکترون‌ها بر تعادل (۲) چه اثری دارد؟



۲- در سطح کدام الکتروود اکسایش و در سطح کدام یک کاهش رخ می‌دهد؟

۳- آند، الکتروود است که در آن اکسایش و کاتد، الکتروود است که در آن کاهش

رخ می‌دهد. در این سلول الکتروشیمیایی آند و کاتد کدام‌اند؟

۴- همان‌طوری که مشاهده می‌شود اختلاف پتانسیل مشاهده شده بین دو نیم‌سلول

در این سلول الکتروشیمیایی برابر با  $1.10\text{V}$  است. اگر اختلاف پتانسیل بین دو نیم‌سلول

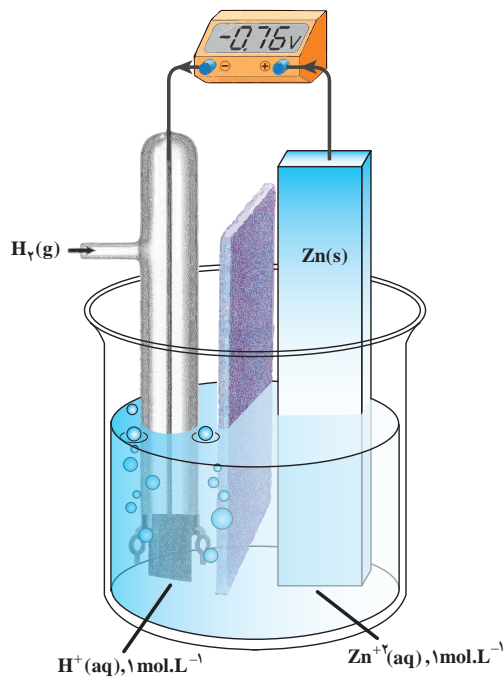


در سلول الکتروشیمیایی نیکل - مس برابر با  $0.59\text{ V}$  باشد، قدرت کاهندگی کدام فلز (Ni یا Zn) بیشتر است؟ چرا؟

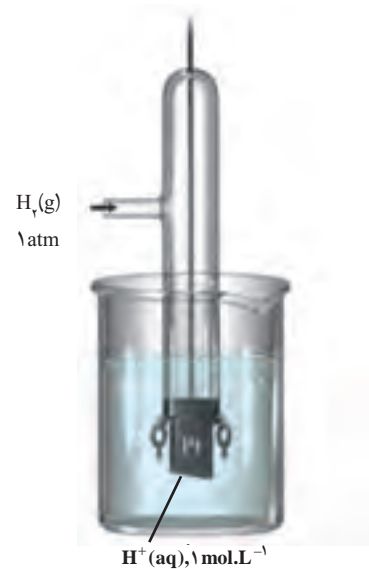
## پتانسیل های الکترودی استاندارد

هنگامی که دو نیم سلول به شکل مناسبی به یکدیگر متصل می شوند، یک سلول الکتروشیمیایی به وجود می آید. در این سلول الکتروشیمیایی، الکترون ها از الکترودی با پتانسیل منفی تر به سمت الکترودی با پتانسیل مثبت تر جریان می یابند. آنچه به وسیله ولت سنج اندازه گیری می شود فقط اختلاف پتانسیل میان دو نیم سلول یاد شده است. آنجا که اندازه گیری پتانسیل یک الکترودی به طور جداگانه ممکن نیست و نسبت دادن یک مقدار مطلق به پتانسیل آن الکترودی نیز نتیجه ای در بر ندارد، شیمی دان ها برای حل این مشکل، یک نیم سلول استاندارد انتخاب کردند و مقدار پتانسیل آن را برابر با صفر در نظر گرفتند. این نیم سلول استاندارد، الکترودی استاندارد هیدروژن (SHE) است (شکل ۸، ب).

مقدار پتانسیل الکترودی استاندارد با یکای ولت (V) گزارش می شود. علامت منفی روی صفحه نمایشگر ولت سنج نشان می دهد که قطب های ناهمنام سلول الکتروشیمیایی و ولت سنج به هم متصل شده است. از این طریق می توان نوع الکترودهای سلول الکتروشیمیایی (کاتد یا آند) را تشخیص داد.



(الف)



(ب)

**شکل ۸ - الف** یک سلول الکتروشیمیایی شامل یک الکترودی استاندارد هیدروژن و یک نیم سلول استاندارد روی. همان طوری که دیده می شود اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده، پتانسیل الکترودی استاندارد برای نیم واکنش کاهشی  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$  است. (ب) الکترودی استاندارد هیدروژن شامل یک الکترودی پلاتینی است که در یک محلول اسیدی با  $\text{pH} = 0$  (محلولی که در آن  $[\text{H}^+] = 1\text{ mol.L}^{-1}$ ) قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار  $1\text{ atm}$  از روی آن عبور داده می شود.

در الکتروود استاندارد هیدروژن تعادل زیر برقرار است:



نماد  $E^\circ$  (بخوانید ایی صفر) پتانسیل الکتروودی استاندارد است که مقدار آن برای SHE در هر دمایی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. به کارگیری واژه استاندارد برای پتانسیل‌های الکتروودی یادآور شرایط استاندارد، یعنی غلظت  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  برای یون‌های محلول و فشار یک اتمسفر برای گازهاست. اغلب اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق ( $25^\circ\text{C}$ ) انجام می‌گیرد (شکل ۸، ب). برای هماهنگی بیشتر و مطابق یک قرارداد، پتانسیل‌های الکتروودی استاندارد همواره به صورت پتانسیل‌های کاهش‌ی استاندارد گزارش می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱- پتانسیل‌های کاهش‌ی استاندارد برای برخی نیم‌سلول‌های یون فلز/فلز

گونه کاهنده $+ \text{ne}^- \rightleftharpoons$ گونه اکسند	$E^\circ$ (V)
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-۲/۷۱
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{s})$	-۲/۳۸
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-۱/۶۶
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$	-۰/۷۶
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-۰/۴۴
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	۰
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	+۰/۸۰
$\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{s})$	+۱/۲۰
$\text{Au}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}(\text{s})$	+۱/۶۸

رتبه‌بندی فلزها  
به ترتیب افزایش پتانسیل  
کاهش‌ی استاندارد، مجموعه  
سودمندی را فراهم می‌کند  
که سری الکتروشیمیایی  
نامیده می‌شود.

## فکر کنید

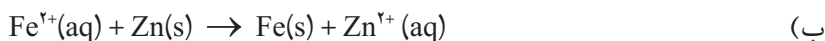
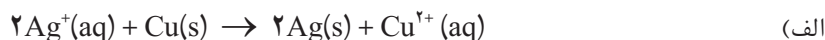
- ۱- علامت منفی یا مثبت پتانسیل کاهش‌ی استاندارد چه معنایی دارد؟ توضیح دهید.
- ۲- با توجه به اختلاف پتانسیل مشاهده شده در سلول الکتروشیمیایی Zn-Cu و پتانسیل الکتروودی استاندارد Zn<sup>2+</sup>/Zn، پتانسیل الکتروودی استاندارد Cu<sup>2+</sup>/Cu را محاسبه کنید.



## خود را بیازمایید

۱- اگر اختلاف پتانسیل‌های الکترودی استاندارد دو نیم سلول در یک سلول الکتروشیمیایی را نیروی الکتروموتوری (emf) استاندارد آن سلول بنامیم و آن را با  $E^\circ$  نمایش دهیم، در هر مورد سلول  $E^\circ$  را برای سلولی محاسبه کنید که واکنش اکسایش - کاهش داده شده در آن رخ می‌دهد.

emf کوتاه شده عبارت  
electromotive force  
است. emf بیشترین  
ولتاژی است که یک سلول  
الکتروشیمیایی می‌تواند  
به وجود بیاورد.



**راهنمایی:** نخست آند و کاتد سلول الکتروشیمیایی یادشده را تعیین کنید و سپس با یافتن پتانسیل کاهش استاندارد هر الکترواد از جدول پتانسیل‌های کاهش استاندارد و با توجه به رابطه زیر، مقدار سلول  $E^\circ$  را محاسبه کنید.

$$E^\circ_{\text{سلول}} = E^\circ_{\text{کاتد}} - E^\circ_{\text{آند}}$$

## آیا همه واکنش‌های اکسایش - کاهش، خودبه‌خودی انجام می‌شوند؟

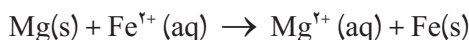
سری الکتروشیمیایی کمک می‌کند تا بتوان واکنش‌پذیری فلزها را با هم مقایسه کرد؛ به دیگر سخن انجام‌پذیر بودن یا نبودن واکنش‌های میان آنها را پیش‌بینی کرد. برای این کار کافی است سلول  $E^\circ$  را برای سلولی محاسبه کرد که واکنش اکسایش - کاهش یاد شده در آن رخ می‌دهد. اگر مقدار سلول  $E^\circ$  مثبت باشد، واکنش انجام‌پذیر است. به عبارت دیگر، از چپ به راست خود به خودی است؛ درحالی که اگر سلول  $E^\circ$  منفی باشد، واکنش در آن جهت انجام ناپذیر است. به عبارت دیگر، واکنش از راست به چپ خودبه‌خودی است. این روش به واکنش‌های دیگر نیز قابل تعمیم است.

## نمونه حل شده

آیا فلز منیزیم می‌تواند آهن را از محلول آبی دارای یون‌های آهن (II) خارج کند؟

**پاسخ**

این توانایی در صورتی است که واکنش زیر انجام‌پذیر باشد.



۱- نخست آند و کاتد سلول الکتروشیمیایی ویژه‌ای را تعیین می‌کنیم که واکنش



یادشده می‌تواند در آن رخ دهد.



۲- پتانسیل کاهش استاندارد هریک از نیم سلول‌های این سلول الکتروشیمیایی را از جدول ۱ استخراج می‌کنیم.



۳- سلول  $E^{\circ}$  را برای این سلول الکتروشیمیایی محاسبه می‌کنیم.

$$E^{\circ}_{\text{سلول}} = E^{\circ}_{\text{کاتد}} - E^{\circ}_{\text{آند}} = -0/447 - (-2/387)$$

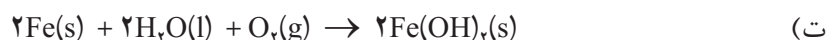
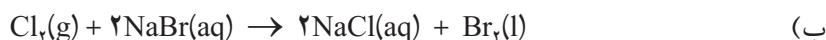
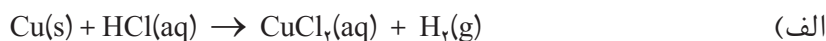
$$E^{\circ}_{\text{سلول}} = +1/947$$

از آنجا که  $E^{\circ}_{\text{سلول}} > 0$  است، واکنش در جهت یاد شده انجام پذیر است.

پتانسیل‌های الکترودی استاندارد تنها برای واکنش‌هایی به کار می‌روند که در محلول آبی روی می‌دهند.

## خود را بیازمایید

با کمک داده‌های جدول پتانسیل‌های کاهش استاندارد، انجام پذیر بودن یا نبودن هریک از واکنش‌های زیر را در شرایط استاندارد پیش‌بینی کنید.

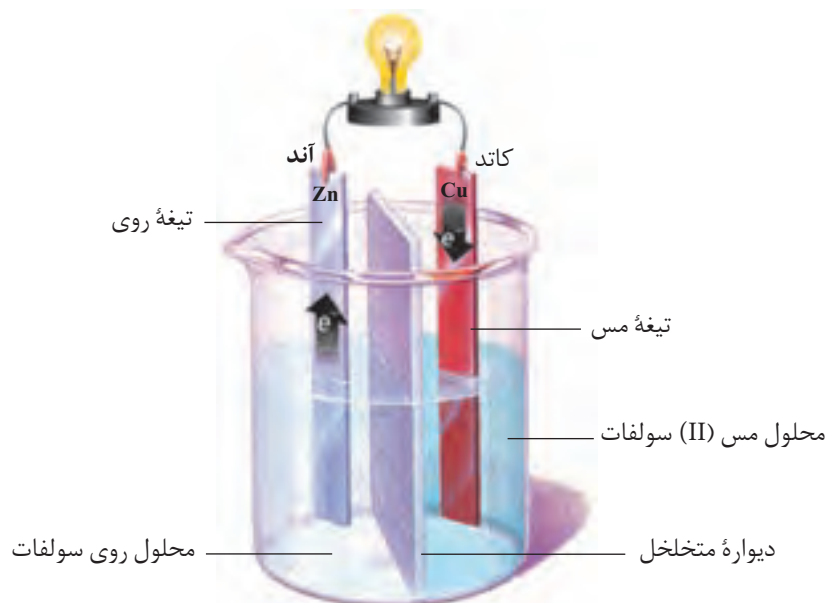


## انواع سلول‌های الکتروشیمیایی

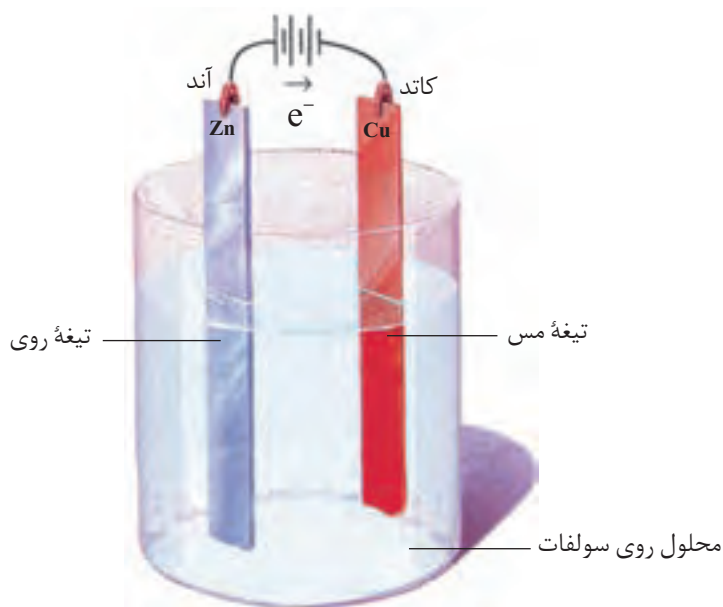
سلول‌های الکتروشیمیایی را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کنند. دسته نخست که به سلول‌های **گالوانی** شهرت دارند، سلول‌هایی هستند که هر دو نیم واکنش الکترودی آنها به طور خودبه‌خود انجام می‌گیرد و بر اثر وقوع آنها انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، (شکل ۹). در حالی که در دسته دوم که سلول‌های **الکترولیتی** نامیده شده‌اند، انرژی الکتریکی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود. در این نوع سلول‌ها با اعمال یک ولتاژ بیرونی، هر دو نیم واکنش الکترودی با صرف انرژی به سمت ایجاد تغییر شیمیایی دلخواه رانده می‌شوند (شکل ۱۰).

به سلول‌های گالوانی، سلول‌های ولتایی نیز می‌گویند.





**شکل ۹-** در یک سلول گالوانی با انجام شدن یک واکنش اکسایش - کاهش خودبه خودی، الکترون‌ها در مدار بیرونی از سمت آند به کاتد جریان یافته و باعث روشن شدن لامپ می‌شوند.



**شکل ۱۰-** یک سلول الکترولیتی. با اعمال یک ولتاژ بیرونی نیم‌واکنش‌های الکترودی در مسیر غیرخود به خودی، یعنی کاهش یون‌های روی و تبدیل آنها به اتم‌های روی رانده می‌شوند. با ادامه این فرایند، لایه نازکی از فلز روی بر سطح تیغه مس می‌نشیند.

## انواع سلول‌های گالوانی

از آنجا که در سلول‌های گالوانی انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، از این سلول‌ها به عنوان منبع انرژی الکتروشیمیایی یاد می‌شود. سلول‌های گالوانی را به دو دسته تقسیم می‌کنند، سلول‌های نوع اول و سلول‌های نوع دوم. باتری‌ها و سلول‌های



باتری های نوع دوم به هنگام شارژ شدن یک سلول الکترولیتی هستند. در واقع حین شارژ شدن با عبور یک جریان الکتریکی واکنش های خودبه خودی انجام شده در مرحله تولید برق در جهت معکوس رانده می شود.

## بیشتر بدانید

### باتری های خشک؛ باتری لکلانسه و باتری قلیایی

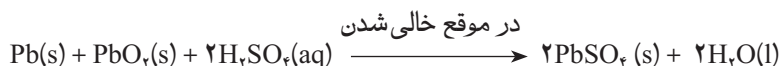
باتری لکلانسه از جمله باتری های خشک و یکی از پرکاربردترین باتری های نوع اول است. همان طوری که در (شکل الف) ملاحظه می کنید، این باتری شامل یک ظرف از جنس روی است که درون آن با خمیر مرطوبی از  $\text{NH}_4\text{Cl}$  و  $\text{ZnCl}_2$  پر شده، یک میله ای گرافیتی که با لایه ای از جنس  $\text{MnO}_2$  پوشیده شده است در وسط این باتری و در میان خمیر مرطوب جای گرفته است.

از معایب باتری لکلانسه تولید گازهای  $\text{H}_2$  و  $\text{NH}_3$  در اطراف الکترودها به هنگام تولید جریان است. این گازها با همان سرعتی که تولید می شوند، از بین نمی روند. از این رو، با ایجاد لایه ای عایق روی سطح الکترودها، باتری را با کاهش ولتاژ روبه رو می کنند.

باتری های قلیایی نمونه دیگری از باتری های خشک هستند، شکل ب. خمیر  $\text{KOH}$  موجود در این نوع باتری ها خاصیت بازی شدیدی به الکترولیت می دهد. باتری قلیایی مانند باتری لکلانسه ولتاژی معادل  $1/5$  ولت تولید می کند. با این تفاوت که در این باتری گازی تولید نمی شود و واکنش جانبی ناخواسته ای نیز رخ نمی دهد. از این رو، می توان در مدت به نسبت طولانی تری جریان الکتریکی زیادی از آن گرفت بدون آنکه ولتاژ باتری کاهش چشمگیری پیدا کند.

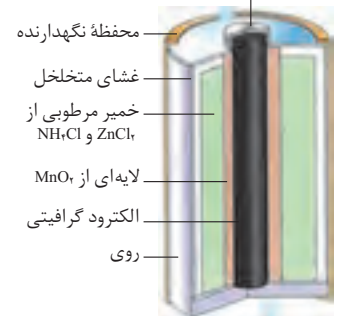
### باتری های انبازه ای؛ باتری خودرو

باتری خودرو نمونه ای از باتری های نوع دوم است. شکل پ یک باتری سربی را نشان می دهد. این باتری شامل ۶ سلول گالوانی است که به طور سری به هم متصل شده است. در هر سلول، آند فلز سرب و کاتد سرب (IV) اکسید است. محلول رقیق سولفوریک اسید به عنوان الکترولیت در آن استفاده می شود. هنگام تخلیه الکتریکی در باتری واکنش کلی زیر انجام می شود.



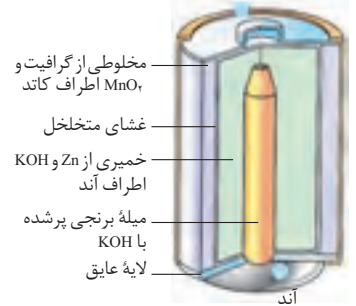
همان طوری که ملاحظه می کنید طی این فرایند  $\text{H}_2\text{SO}_4$  مصرف و  $\text{PbSO}_4$  تولید شده که به صورت گرد سفید رنگی روی الکترودها جمع می شود. ولتاژ حاصل از این واکنش برای هر سلول حدود ۲V است و در مجموع انبازه ولتاژی معادل ۱۲V تولید می کند. پس از مدتی کارکرد و تخلیه الکتریکی با عبور یک جریان مستقیم، فرایند معکوس انجام می شود. طی این فرایند  $\text{Pb}$ ،  $\text{PbO}_2$  و  $\text{H}_2\text{SO}_4$  از نو تولید

درپوش نقره ای

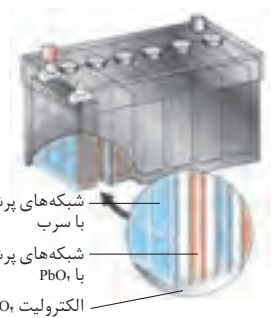


شکل الف) یک باتری خشک از نوع قدیمی کربن - روی معروف به باتری لکلانسه

کاتد



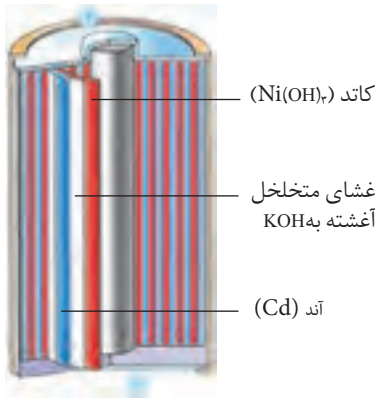
شکل ب) باتری قلیایی. ولتاژ این باتری ها در هنگام کشیده شدن جریان الکتریکی بالا، از ثبات نسبی بهتری برخوردار است.



شکل پ) باتری خودرو



می‌شود. در یک شرایط مناسب برای نگهداری، باتری سربی فرایند دو طرفه خالی و پرشدن هزارها بار انجام پذیراست.



## باتری‌های نیکل - کادمیم

باتری‌های نیکل - کادمیم نمونه دیگری از باتری‌های نوع دوم هستند، شکل ت. در این باتری‌ها آند از جنس کادمیم و کاتد از نیکل (III) اکسید آبدار است. در این باتری‌ها KOH به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود. باتری‌های نیکل - کادمیم می‌توانند تا صدها بار خالی و پر شوند. از این باتری‌ها در ابزاری مانند تلفن‌های بی‌سیم، رایانه‌های قابل حمل (لپ‌تاپ)، تلفن همراه و ماشین‌های اصلاح استفاده می‌شود. این باتری‌ها برای وسایلی مانند دوربین و چراغ‌قوه که برای مدت طولانی بدون مصرف رها می‌شوند، مناسب نیستند، زیرا اگر مورد استفاده قرار نگیرند، روزانه یک درصد از آنها کم می‌شود.

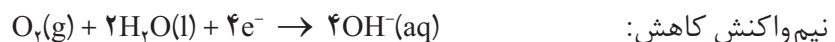
شکل ت) یک باتری نیکل - کادمیم، این نوع، ولتاژی برابر ۱/۲۵V تولید می‌کند.

## خوردگی آهن

اکسیژن عنصر بسیار واکنش‌پذیری است و می‌تواند هر فلز به جز فلزهای نجیب (طلا، پلاتین و پالادیم) را به طور خودبه‌خودی اکسید کند. همین واکنش‌پذیری بیش از اندازه اکسیژن و تمایل طبیعی برخی فلزها مانند آهن به زنگ‌زدن، به مرور زمان سبب ترد شدن، خورد شدن و فرو ریختن این فلزها می‌شود. به تدریج و خورد شدن و فروریختن فلزها بر اثر اکسایش خوردگی می‌گویند. عوامل دیگری به جز اکسیژن مانند مجاورت با آب یا یک محلول اسیدی باعث خوردگی می‌شوند.

هنگامی که یک قطعه آهن در تماس با یک قطره آب قرار می‌گیرد، یک واکنش

اکسایش-کاهش رخ می‌دهد.

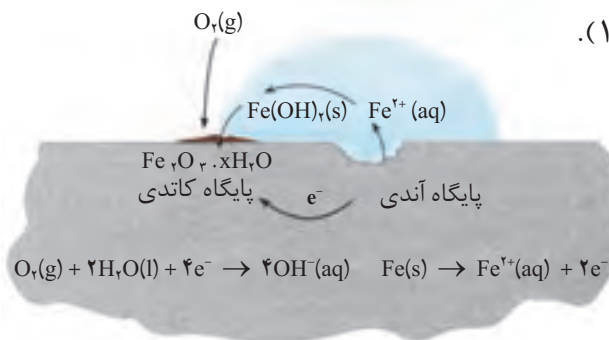


این دو نیم‌واکنش در دو بخش مختلف قطعه آهن رخ می‌دهند. پایگاه آندی و پایگاه

کاتدی (شکل ۱۱).

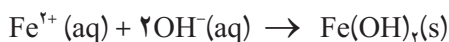


زنگ‌زدن یک زنجیر آهنی



شکل ۱۱- چگونگی وقوع زنگ‌زدن. نیم‌واکنش کاتدی در جایی رخ می‌دهد که غلظت اکسیژن زیاد باشد. در حالی که نیم‌واکنش آندی در جایی رخ می‌دهد که غلظت اکسیژن کم باشد.

الکترون‌ها از میان فلز و از پایگاه آندی به سمت پایگاه کاتدی جریان می‌یابند (مدار درونی - رسانای الکترونی). درحالی‌که یون‌ها در قطره آب (مدار بیرونی رسانای یونی) جریان یافته، مدار الکتریکی را کامل می‌کنند. از این رو، بدون آب مدار یادشده کامل نیست و زنگ زدن رخ نمی‌دهد. یون‌های آهن (II) هنگام عبور از آب به صورت  $\text{Fe(OH)}_2$  رسوب می‌دهند. در ادامه، این رسوب نیز دوباره اکسایش یافته و به آهن (III) اکسید آبیوشیده یا **زنگ آهن** تبدیل می‌شود.



## فکر کنید

آب باران چه تأثیری بر سرعت خوردگی آهن دارد؟ توضیح دهید.

$4\text{Fe(OH)}_2$  را به صورت  $2(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$  نیز نشان می‌دهند که آهن (III) اکسید آبیوشیده گفته می‌شود.

خوردگی آهن سالانه خسارت هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد می‌کند. به طوری که در کشورهای صنعتی حدود ۲۰ درصد از آهن و فولاد تولیدی برای جایگزین کردن قطعات خورده شده مصرف می‌شود.

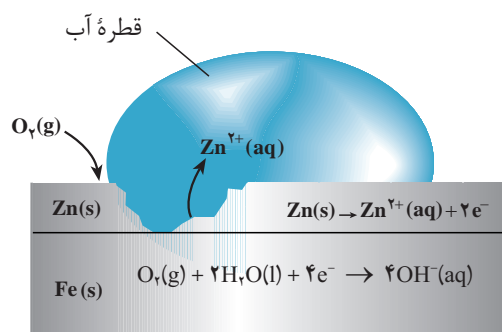
## راه‌های جلوگیری از خوردگی آهن

امروزه روش‌های گوناگونی برای جلوگیری از خوردگی فلزها به ویژه آهن به کار می‌رود. رنگ کردن در و پنجره‌های آهنی و بدنه خودرو، قیراندود کردن سطح لوله‌های نفتی و روکش دادن به ظروف فلزی، همگی روش‌هایی هستند که در آنها از طریق ایجاد یک پوشش محافظ اکسیژن، آب و یون‌ها را از فلز دور می‌کنند. یکی از مهم‌ترین و پربارترین روش‌های محافظت فلزها، **حفاظت کاتدی** است (شکل ۱۲).

اگر دو فلز که با یکدیگر در تماس هستند در معرض هوا و رطوبت قرار بگیرند، بین آنها نوعی سلول گالوانی به وجود می‌آید. در این سلول، فلزی که  $E^\circ$  کوچک‌تری دارد نقش آند را ایفا می‌کند و با اکسایش یافتن دچار خوردگی می‌شود. این درحالی است که فلز با  $E^\circ$  بزرگ‌تر، نقش کاتد را بازی کرده و نسبت به خوردگی محافظت می‌شود. برای حفاظت کاتدی آهن، آن را با یک فلز فعال‌تر مانند  $\text{Mg}$  یا  $\text{Zn}$  مجاور می‌کنند. فلزهایی



شکل ۱۲- محافظت لوله‌های نفت با میله‌هایی از جنس روی



شکل ۱۳- بخشی از یک ورقه گالوانیزه



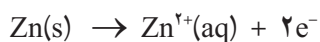
کاربردی از آهن سفید



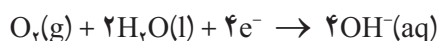
که  $E^\circ$  آنها کوچکتر از آهن است و به عنوان آند عمل کرده، با از خودگذشتگی از آهن محافظت می کنند.

شکل ۱۳ یک قطعه آهن را نشان می دهد که سطح آن با لایه نازکی از فلز روی پوشیده شده است. به این نوع آهن، گالوانیزه یا آهن سفید می گویند.

هرگاه خراشی در سطح آهن سفید ایجاد شود، در محل خراش یک سلول گالوانی تشکیل می شود. در این سلول، Zn به عنوان آند اکسایش یافته و خورده می شود.



الکترون های حاصل از اکسایش فلز روی در سطح فلز آهن و در حضور رطوبت به اکسیژن داده می شود.



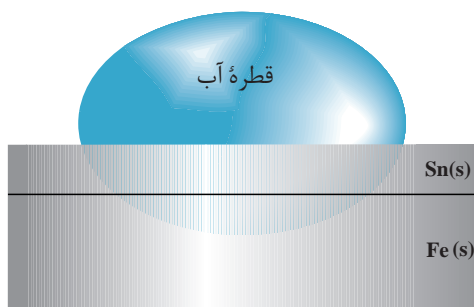
در نتیجه، آهن به عنوان کاتد عمل کرده و از خوردگی می گریزد.

## خود را بیازمایید

شکل زیر بخشی از یک ورقه آهنی را نشان می دهد که با لایه نازکی از قلع پوشیده شده است. به این نوع آهن حلبی می گویند. از ورقه های حلبی برای ساختن قوطی های کنسرو و روغن نباتی استفاده می شود.



قوطی هایی از جنس حلبی در اثر خراش زودتر و آسان تر دچار خوردگی می شوند.



- الف) در اثر ایجاد خراش در سطح این نوع آهن، کدام فلز نقش آند را ایفا می کند و خورده می شود؟ کدام فلز در برابر خوردگی محافظت می شود؟
- ب) نیم واکنش های اکسایش و کاهش را بنویسید.
- پ) چرا برخلاف حلبی از آهن گالوانیزه نمی توان برای ساختن ظروف بسته بندی مواد غذایی استفاده کرد؟



## بیشتر بدانید

در دندان پزشکی از ماده‌ای به نام آمالگام برای پر کردن دندان‌های پوسیده استفاده می‌کنند. آمالگام ماده‌ای است که از مخلوط کردن جیوه با یک یا چند فلز دیگر به دست می‌آید. در واقع، آمالگام از سه فاز جامد تشکیل شده است که استوکیومتری تقریبی فازهای تشکیل دهنده آن عبارت است از:  $\text{Ag}_7\text{Sn}$ ،  $\text{Ag}_7\text{Hg}$  و  $\text{Sn}_8\text{Hg}$ . پتانسیل کاهش استاندارد هر یک از این فازها چنین است:

$$E_{\text{Hg}_7^{2+}/\text{Ag}_7\text{Hg}_7}^\circ = 0/85\text{V}, \quad E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Ag}_7\text{Sn}}^\circ = -0/05\text{V}, \quad E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}_8\text{Hg}}^\circ = -0/13\text{V}$$

اگر تکه‌ای از یک ورق آلومینیمی را با دندان پُر شده خود گاز بگیرید، به طوری که ماده پُرکننده دندان با ورق تماس پیدا کند، ناگهان درد شدیدی را احساس خواهید کرد. در واقع، یک سلول الکتروشیمیایی در دهان شما به وجود می‌آید که ورق آلومینیمی ( $E^\circ = -1/66\text{V}$ ) آند، ماده پُرکننده کاند و آب دهان الکترولیت این سلول را تشکیل می‌دهند. بر اثر تماس ورقه آلومینیمی و ماده پُرکننده، جریان برق ضعیفی بین این دو الکترود به وجود می‌آید. این جریان، عصب حساس دندان را تحریک می‌کند و باعث به وجود آمدن درد می‌شود.

## سلول‌های الکترولیتی

دیدید که در این سلول‌ها با عبور دادن جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت، می‌توان یک واکنش شیمیایی را در جهتی خلاف جهت طبیعی به پیش راند. بر قکافت نمونه‌ای از انجام چنین واکنش‌هایی در سلول‌های الکترولیتی است، (شکل ۱۴). سلول‌های الکترولیتی در تجزیه محلول‌ها و مواد مذاب همچنین آبکاری فلزها کاربرد دارند. یک سلول الکترولیتی شامل دو الکترود است که در یک محلول الکترولیت فرو رفته است. این الکترولیت می‌تواند یک ترکیب یونی مذاب یا محلول یونی در آب باشد. در هر دو حالت، محلول الکترولیت یون‌هایی خواهد داشت که می‌توانند آزادانه در محلول حرکت کنند. هنگامی که دو الکترود به قطب‌های یک منبع جریان مستقیم متصل می‌شوند، الکترودی که به قطب مثبت متصل شده و آند نامیده می‌شود، پس از قرار گرفتن در الکترولیت، الکترون‌ها را از الکترولیت خارج می‌کند (الکترون‌های حاصل از فرایند اکسایش گونه‌های موجود در الکترولیت). در حالی که الکترود دیگر که به قطب منفی منبع متصل شده است و کاتد نامیده می‌شود پس از قرار گرفتن در الکترولیت، الکترون‌های رانده شده از منبع را به الکترولیت منتقل می‌کند (الکترون‌های مورد نیاز برای کاهش گونه‌های موجود در الکترولیت). یون‌های موجود در محلول که پیش از این آزادانه در حرکت بودند، اکنون در میدان الکتریکی به وجود آمده، به سمت الکترودی با بار مخالف خود حرکت می‌کنند.



**شکل ۱۴- بر قکافت آب.** فرایندی است که در آن آب به عنصرهای سازنده‌اش تجزیه می‌شود. نیم‌واکنش اکسایش:  
$$2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$$
 نیم‌واکنش کاهش:  
$$4\text{H}_2\text{O}(l) + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2(g) + 4\text{OH}^-(aq)$$
 قطب مثبت و منفی باتری را در این شکل مشخص کنید.



یون های مثبت به سمت کاتد و یون های منفی به سمت آند مهاجرت می کند. از این رو، به این یون ها به ترتیب **کاتیون** و **آنیون** گفته می شود. هنگامی که این یون ها به سطح الکترودها می رسند، نیم واکنش کاهش در کاتد و نیم واکنش اکسایش در آند به وقوع می پیوندد. کاتیون ها، کاهش و آنیون ها، اکسایش می یابند. وقوع این نیم واکنش ها به غلظت محلول و موقعیت یون های یاد شده در جدول پتانسیل های کاهش استناد دارد بستگی دارد.

## برقکافت سدیم کلرید مذاب

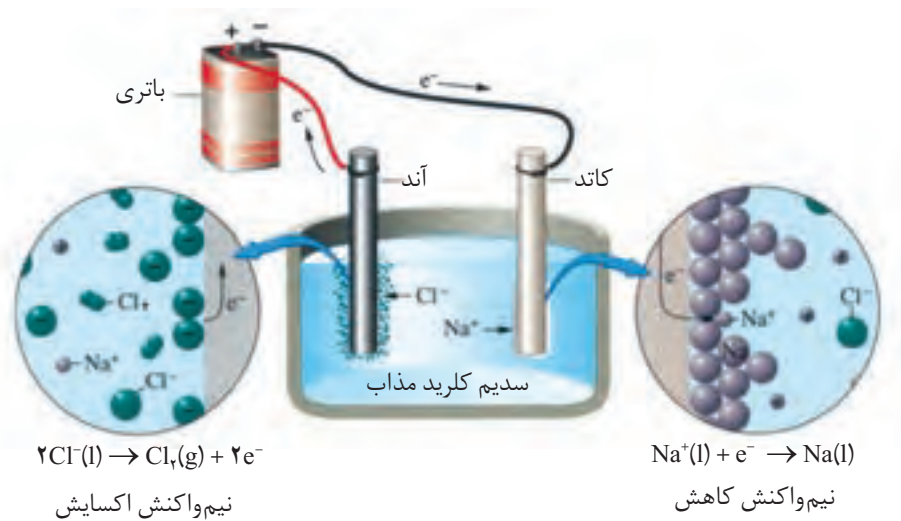
فلز سدیم به حالت آزاد در طبیعت وجود ندارد. اما ترکیب های شیمیایی گوناگونی از آن در طبیعت شناخته شده است. سدیم در این ترکیب ها به صورت یون سدیم ( $\text{Na}^+$ ) مشاهده می شود. این مشاهده ها نشان می دهد که فلز سدیم بسیار واکنش پذیر است و طی واکنشی خود به خود به سرعت اکسایش یافته و به یون  $\text{Na}^+$  تبدیل می شود. بنابراین، برای به دست آوردن فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد. برای نمونه، اگر هدف تهیه فلز سدیم از  $\text{NaCl}$  باشد، باید واکنش زیر در جهت معکوس خود به خود انجام گیرد.



محاسبه نشان می دهد که برای خود به خودی انجام شدن فرایند تجزیه گرمایی  $\text{NaCl}$  به دمای بسیار بالایی حدود  $4267^\circ\text{C}$  (فقط کمی کمتر از دمای سطح خورشید) نیاز است. آشکار است که تأمین چنین دمایی ممکن نیست.

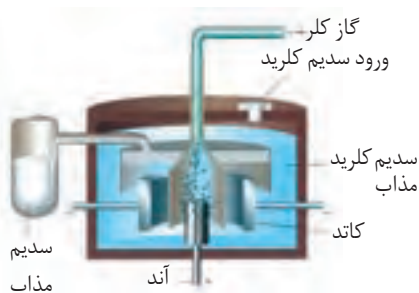
با این توصیف برقکافت سدیم کلرید مذاب راه حل بسیار مناسبی برای تولید سدیم

است، (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- برقکافت سدیم کلرید مذاب

۲/۷ درصد جرمی آب دریا را سدیم کلرید تشکیل می دهد.



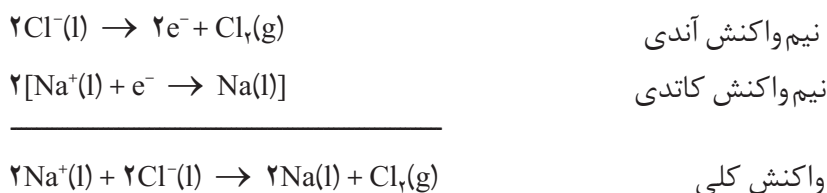
شکل ۱۶- سلول دانز

یک سلول الکترولیتی است که در صنعت برای تهیه فلز سدیم به کار می رود. در این سلول، برقکافت سدیم کلرید مذاب انجام می شود.

$\text{NaCl}$  خالص در

$1^\circ\text{C}$  ذوب می شود. افزودن مقداری  $\text{CaCl}_2$  به آن، دمای ذوب را تا حدود  $587^\circ\text{C}$  پایین می آورد. این کار از نظر اقتصادی چه مزیتی دارد؟

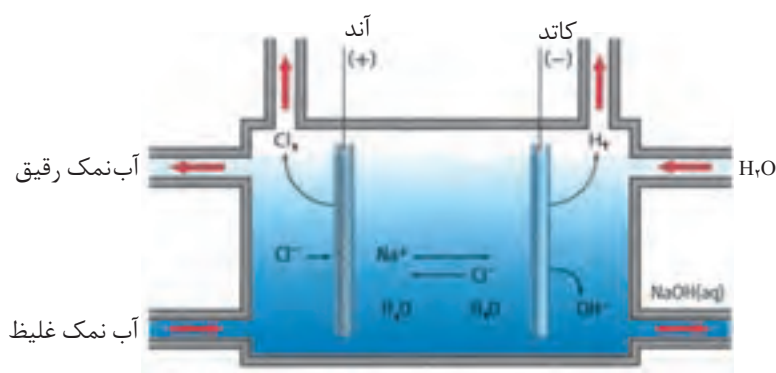
واکنش‌های انجام شده در سلول دانه (شکل ۱۶) به شرح زیر است:



### همچون دانشمندان

محلول غلیظی از نمک خوراکی در آب، مطابق شکل زیر برقکافت شده است. با دقت

به این شکل نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



برقکافت محلول غلیظ نمک خوراکی در آب

۱- در سطح کاتد گاز هیدروژن تولید می‌شود. اگر این گاز فراورده‌ و واکنش زیر باشد:



با مراجعه به جدول پتانسیل‌های الکترودی استاندارد، علت پیروزی مولکول‌های

$\text{H}_2\text{O}$  بر یون‌های  $\text{Na}^+(\text{aq})$  در رقابت برای کاهش یافتن در کاتد را توجیه کنید.

۲- اگر به محلول اطراف کاتد چند قطره شناساگر فنول فتالین بیفزایید، محلول به

رنگ ارغوانی درمی‌آید. ایجاد این رنگ نشانگر حضور چه یونی است؟

۳- در سطح آند گاز کلر تولید می‌شود. تجربه نشان می‌دهد اگر غلظت یون‌های

$\text{Cl}^-(\text{aq})$  در محلول زیاد باشد، این یون‌ها به جای مولکول‌های آب در آند اکسایش می‌یابند.

چرا؟ در این صورت نیم‌واکنش آندی را بنویسید.

۴- با ادامه برقکافت، غلظت یون‌های  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ ،  $\text{OH}^-(\text{aq})$  و  $\text{Na}^+(\text{aq})$  چه تغییری می‌کند؟

۵- به نظر شما از برقکافت محلول آب نمک غلیظ چه موادی را می‌توان تهیه کرد؟



## استخراج آلومینیم

آلومینیم فراوان‌ترین فلز و سومین عنصر فراوان در پوسته زمین است.

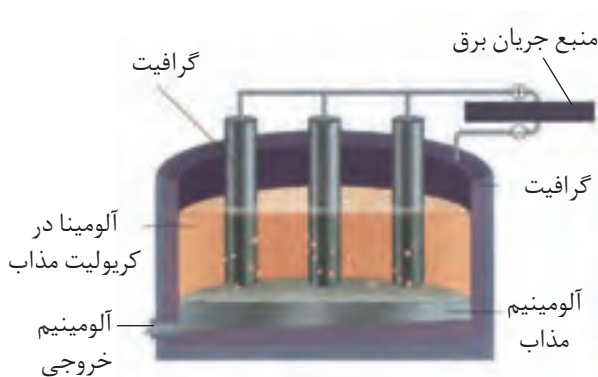
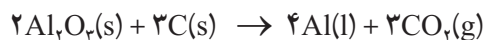


چارلز مارتین هال  
(۱۸۶۳، ۱۹۱۴)

شیمی‌دان آمریکایی. او در سن ۲۳ سالگی این روش را ابداع کرد.

آلومینیم یکی از ارزشمندترین و پرکاربردترین فلزها به‌شمار می‌آید. در صنعت، آلومینیم را از سنگ معدن بوکسیت (آلومینای ناخالص) به‌دست می‌آورند. نقطه ذوب آلومینای خالص  $2045^{\circ}\text{C}$  است، بدیهی است تأمین این دما و برق‌کافت آن به‌حالت مذاب، فرایندی اقتصادی نیست. از این‌رو، آلومینای ناخالص را پس از خالص‌سازی در دمایی حدود  $960^{\circ}\text{C}$  در کریولیت ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) مذاب حل می‌کنند.

فرایند برق‌کافت محلول مذاب یاد شده در سلول الکترولیتی ویژه‌ای انجام می‌گیرد، (شکل ۱۷). واکنش کلی انجام شده در این سلول به‌صورت زیر است:



خروج آلومینیم مذاب

شکل ۱۷- فرایند هال برای تولید آلومینیم از  $\text{Al}_2\text{O}_3$

تولید آلومینیم با این روش **فرایند هال** نامیده می‌شود. پیش از ابداع این روش در سال ۱۸۸۶، آلومینیم به علت کمیاب بودن از طلا و نقره گران‌تر بود. چون فرایند هال به‌علاوه مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد، از این‌رو با بازیافت فلز  $\text{Al}$  می‌توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدناپذیر طبیعت، برخی از هزینه‌های تولید فلز آلومینیم را کاهش داد. برای نمونه، تولید قوطی‌های آلومینیمی از قوطی‌های کهنه فقط به ۷ درصد از انرژی لازم برای تهیه همان تعداد قوطی از فرایند هال نیاز دارد.

## آبکاری

پوشاندن یک جسم با لایه نازکی از یک فلز به کمک یک سلول الکترولیتی، آبکاری نامیده می‌شود، (شکل ۱۸، الف) جسمی که روکش فلزی روی آن ایجاد می‌شود باید



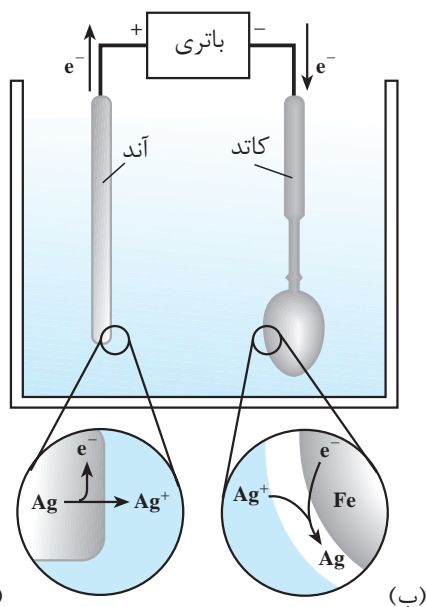
رسانای جریان برق باشد.

الکترولیت مورد استفاده برای آبکاری باید دارای یون های فلزی باشد که قرار است لایه نازکی از آن روی جسم قرار بگیرد. برای نمونه، در آبکاری با نقره محلولی از نقره نیترات به عنوان الکترولیت به کار برده می شود.

(شکل ۱۸، ب) سلول الکترولیتی ساده ای را نشان می دهد که از آن برای آبکاری با نقره استفاده می شود.



پیش از آبکاری      پس از آبکاری



(الف)

(ب)

شکل ۱۸- الف) یک قاشق آبکاری شده با نقره، ب) سلول الکترولیتی مناسب برای آبکاری با نقره

## فکر کنید

با دقت به شکل ۱۸، ب نگاه کنید. قاشق فلزی به کدام قطب باتری متصل شده است؟ این قاشق نقش کدام الکتروود را دارد؟ الکتروود دیگر از چه جنسی است؟ نیم واکنش های آندی و کاتدی در این فرایند را بنویسید.

## شیمی و زندگی

در طول سده گذشته، بنزین مناسب ترین سوخت برای حرکت خودروها بوده است. بنزین را از تقطیر نفت خام تهیه می کنند. با مصرف بی رویه نفت خام، اکنون ذخایر آن به





سرعت روبه کاهش است. اگرچه هنوز نفت خام زیادی در دل زمین وجود دارد؛ اما این اندوخته‌ها در مکان‌هایی قرار دارند که دسترسی به آنها بسیار دشوار است. از سوی دیگر، گسترش روزافزون آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، جهان را با یک چالش بزرگ مواجه کرده است. با این توصیف، یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در خودروها ضروری است. یک راه حل مناسب برای عبور از تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست، استفاده از سلول‌های سوختی است.

## خود را بیازمایید

در هر یک از شکل‌های زیر مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است.



انتقال سوخت



سوزاندن سوخت



تولید بخار



راه اندازی توربین و تولید برق

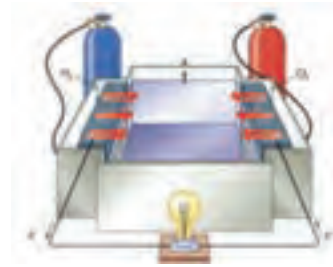


انتقال برق

روش ۱:



انتقال سوخت



سلول سوختی و تولید برق

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.

الف) در کدام روش اتلاف انرژی به شکل گرما کمتر است؟ چرا؟

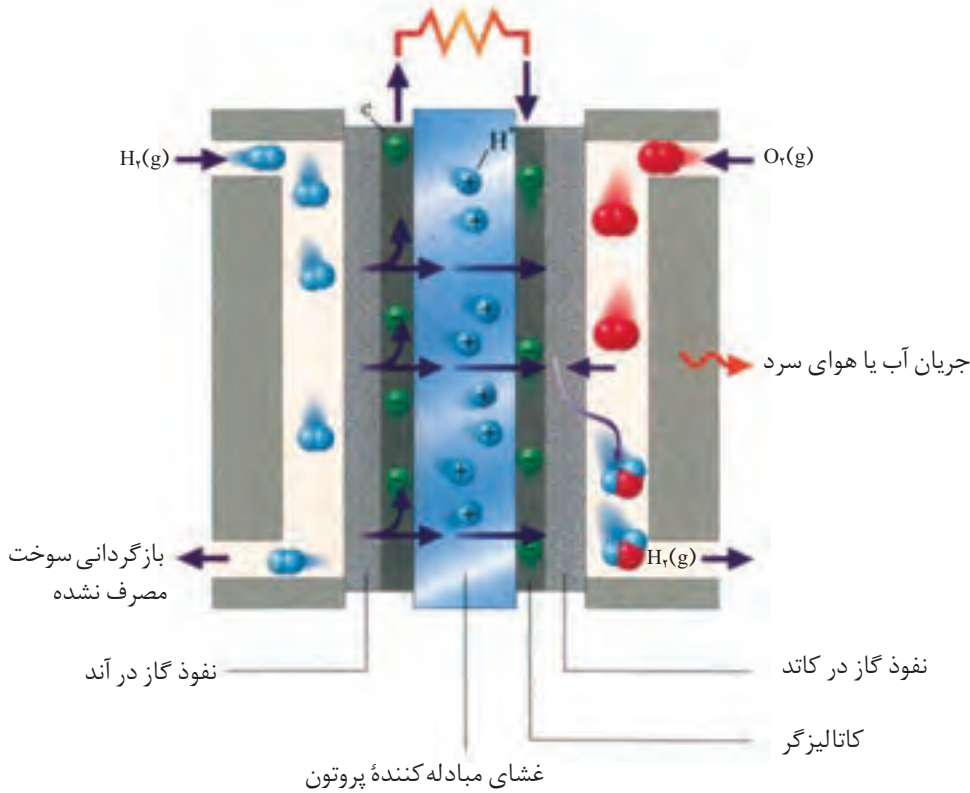
ب) کارایی کدام روش بالاتر است؟ توضیح دهید.

## سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن

سلول سوختی ساختاری همانند سلول گالوانی دارد. در رایج‌ترین سلول سوختی، گاز هیدروژن با گاز اکسیژن به صورت کنترل شده واکنش می‌دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. هر سلول سوختی سه جزء اصلی دارد که شامل یک غشا، الکتروود آند و الکتروود کاتد است. در واقع آند و کاتد کاتالیزگرهایی هستند که انجام نیم‌واکنش اکسایش و نیم‌واکنش کاهش را آسان‌تر می‌کنند (شکل ۱۹).



مدار الکتریکی (بازده ...؟)



شکل ۱۹- نوعی سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن

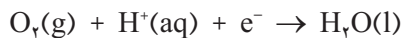
در سال ۱۸۳۹ ویلیام گرو فیزیک دان و روزنامه نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویگ مند و چارلز لنجر برمی گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول های سوختی در سفینه های جیمینی و آپولو برای تهیه الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دهه هفتاد میلادی، فناوری سلول سوختی در وسایل خانگی و خودروها به کار گرفته شد. از دهه هشتاد به بعد شرکت بالارد کانادا زیر دریایی مجهز به سلول سوختی را ساخت. هواپیمای سلول سوختی در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکه دوگانه (باتری خورشیدی و سلول سوختی) با توان شش ماه پرواز به بهره برداری رسید.

## فکر کنید

۱- با توجه به شکل ۱۹ به پرسش ها پاسخ دهید.

الف) آند و کاتد را روی شکل مشخص کنید.

ب) با موازنه هریک از نیم واکنش های زیر، واکنش کلی سلول را به دست آورید.



پ) با استفاده از جدول پتانسیل های کاهش استاندارد، emf سلول را حساب کنید.

ت) اگر در عمل، ولت سنج نیروی الکتروموتوری این سلول را ۰/۷ V نشان دهد،

بازده این سلول چند درصد است؟

۲- همانند هر دستگاه یا فرآورده صنعتی، سلول های سوختی نیز دارای مزایا و معایبی

هستند. با بررسی موارد زیر مزایا و معایب آنها را فهرست کنید.

- کارایی و طول عمر کاتالیزگر

- اثرات زیست محیطی

- تولید و در دسترس بودن سوخت

- هزینه تولید سلول

- نگهداری و ایمنی سوخت

- بازدهی سلول



خودروی سنگینی که با سلول سوختی کار می کند.

گاز هیدروژن کمترین چگالی را در میان عناصرها دارد. از این رو حتی یک تانکر بسیار بزرگ نمی‌تواند مقدار زیادی از این گاز را حمل کند!

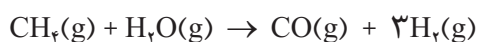
## تأمین سوخت سلول

با مزایا و معایب سلول‌های سوختی آشنا شدید. بزرگ‌ترین چالش در کاربرد سلول‌های سوختی تولید گاز هیدروژن در مقیاس صنعتی است. دوروش تهیه گاز هیدروژن به صورت زیر است:

### ۱- برقکافت آب



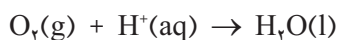
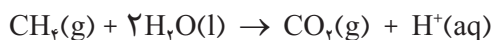
### ۲- واکنش بخار آب با متان



واکنش نخست با مصرف انرژی الکتریکی همراه است. این واکنش افزون بر هزینه بالا، آلاینده‌گی محیط زیست را نیز به دنبال دارد. (چرا؟) درحالی‌که واکنش دوم، صرفه اقتصادی دارد، اما برای تأمین سوخت باید گاز  $\text{H}_2$  تولید شده را جداسازی و خالص نمود؛ زیرا وجود مقادیر اندک  $\text{CO}$  می‌تواند کاتالیزورها را در سلول سوختی مسموم کند و از کارایی آنها بکاهد. تلاش شیمییدان‌ها برای یافتن سوخت مناسب، ایمن و با صرفه اقتصادی همچنان ادامه دارد.

## فکر کنید

در برخی سلول‌های سوختی، گاز متان به عنوان سوخت به کار می‌رود. نیم‌واکنش‌های انجام شده در این سلول‌ها به صورت زیر است.



الف) واکنش کلی سلول را به دست آورید.

ب) اگر  $E^\circ$  این سلول برابر با  $1.06\text{ V}$  باشد،  $E^\circ$  نیم‌واکنش اکسایش متان را به دست آورید.



پتانسیل‌های کاهش استاندارد

نیم‌واکنش	$E^{\circ}(\text{V})$
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}(\text{s})$	-۲/۹۲
$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ba}(\text{s})$	-۲/۹۰
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{s})$	-۲/۸۷
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-۲/۷۱
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{s})$	-۲/۳۸
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-۱/۶۶
$\text{V}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{V}(\text{s})$	-۱/۲۰
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{s})$	-۱/۱۸
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-۰/۸۳
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$	-۰/۷۶
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{s})$	-۰/۷۴
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-۰/۴۴
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}(\text{aq})$	-۰/۴۲
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{s})$	-۰/۴۰
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}(\text{s})$	-۰/۲۸
$\text{V}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{V}^{2+}(\text{aq})$	-۰/۲۶
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{s})$	-۰/۲۵
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{s})$	-۰/۱۴
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-۰/۱۳
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-۰/۰۴
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	۰/۰۰
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	+۰/۱۵
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq})$	+۰/۱۶
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	+۰/۳۴
$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-(\text{aq})$	+۰/۴۰
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	+۰/۵۲
$\text{I}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-(\text{aq})$	+۰/۵۴



$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-} (\text{aq})$	+0/56
$\text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{H}^+ (\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	+0/68
$\text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} (\text{aq})$	+0/77
$\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} (\text{s})$	+0/80
$\text{Hg}_2^{2+} (\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg} (\text{l})$	+0/85
$\text{Br}_2 (\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^- (\text{aq})$	+1/07
$\text{Pt}^{2+} (\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt} (\text{s})$	+1/20
$\text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{H}^+ (\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	+1/23
$\text{Cl}_2 (\text{g}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^- (\text{aq})$	+1/36
$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 4\text{H}^+ (\text{aq}) + 5\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	+1/52
$\text{Au}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au} (\text{s})$	+1/68
$\text{Co}^{3+} (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} (\text{aq})$	+1/82
$\text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{H}^+ (\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	+2/07
$\text{F}_2 (\text{g}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^- (\text{aq})$	+2/87



## واژه‌نامه

آبکاری	۱۱۳ electroplating	پوشاندن سطح یک جسم با لایه نازکی از یک فلز به کمک یک سلول الکترولیتی.
آبکافت	۸۴ hydrolysis	هرگونه واکنش شیمیایی که در آن آب، یکی از واکنش دهنده‌هاست.
آمفوتر	۶۱ amphoteric (amphiprotic)	ماده‌ای که می‌تواند در برخی واکنش‌ها مانند اسید و در برخی دیگر شبیه باز رفتار کند.
آند	۱۰۰ anode	الکترودی که در سطح آن عمل اکسایش رخ می‌دهد.
اسید	۶۰ acid	ماده‌ای که مزه ترش داشته باشد و در واکنش با بازها نمک تولید کند.
اسید آرنیوس	۶۱ Arrhenius acid	ماده‌ای که با حل شدن در آب غلظت یون هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) را افزایش می‌دهد.
اسید تک پروتون دار	۶۷ monoprotic acid	اسید لوری - برونستدی که پس از حل شدن در آب یک پروتون آزاد کند.
اسید چرب	۸۵ fatty acid	کربوکسیلیک اسیدی که شامل زنجیرهای ۱۴ تا ۱۸ کربنی سیر شده یا سیر نشده بدون شاخه است.
اسید چند پروتون دار	۶۷ polyprotic acid	اسید لوری - برونستدی که پس از حل شدن در آب بتواند بیش از یک پروتون آزاد کند.
اسید لوری - برونستد	۶۲ Lowry and Brønsted acid	ماده‌ای که می‌تواند پروتون از دست بدهد.
اسید مزدوج یک باز	۶۲ conjugate acid	گونه‌ای است که در فرایندی برگشت پذیر با دادن پروتون به باز به دست می‌آید.
اصل لوشاتلیه	۴۸ Le Chatelier principle	اگر عاملی حالت تعادلی یک سامانه را بر هم بزند، سامانه برای رسیدن دوباره به تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تأثیر عامل یادشده را به کمترین میزان خود برساند.
اکسایش	۹۳ oxidation	فرایندی که طی آن اتم‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها الکترون از دست می‌دهند.
اکسنده	۹۳ oxidant	گونه‌ای است که در یک واکنش اکسایش - کاهش گونه دیگر را اکسید می‌کند.



الکتروود	electrode	۹۹	رسانای الکترونی در یک سلول الکتروشیمیایی که جریان برق را به الکتروولت وارد یا از آن خارج می کند.
<b>الکتروود استاندارد هیدروژن</b>			
	standard hydrogen electrode	۱۰۱	تیغه پلاتین پوشیده شده از گرد بسیار نرم پلاتین در محلول یک مولار هیدروکلریک اسید که گاز هیدروژن با فشار یک اتمسفر در پیرامون آن وجود دارد.
الکتروشیمی	electrochemistry	۹۲	علم استفاده از انرژی الکتریکی برای انجام تغییر شیمیایی یا تولید انرژی الکتریکی از انجام واکنش شیمیایی است.
انرژی فعال سازی	activation energy	۱۶	حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی
باز	base	۶۰	ماده ای تلخ مزه که بر اثر واکنش با اسیدها، نمک تولید می کند.
باز آرنیوس	Arrhenius base	۶۱	ماده ای که با حل شدن در آب غلظت یون هیدروکسید (OH <sup>-</sup> ) را افزایش می دهد.
باز لوری - برونستد	Lowry and Brønsted base	۶۲	ماده ای که پروتون (H <sup>+</sup> ) می پذیرد.
باز مزدوج یک اسید	conjugate base	۶۲	گونه ای است که در فرایندی برگشت پذیر با گرفتن یک پروتون از اسید به دست می آید.
برقکافت	electrolysis	۱۱۰	تجزیه مواد شیمیایی بر اثر عبور دادن جریان الکتریکی از محلول یا مذاب آنها.
پتانسیل الکتروودی	electrode potential	۹۹	اختلاف پتانسیلی که بین تیغه فلزی (الکتروود) و محلول آبی دارای یون فلزی (الکتروولت) به وجود می آید.
پتانسیل الکتروودی استاندارد	standard electrode potential	۱۰۱	اختلاف پتانسیلی است که میان تیغه فلزی (الکتروود) و محلول آبی دارای یون فلزی (الکتروولت) با غلظت یک مولار در دمای ۲۵°C (شرایط استاندارد) وجود دارد و نسبت به نیم سلول استاندارد هیدروژن سنجیده می شود.
پتانسیل کاهش استاندارد	standard reduction potential	۱۰۲	پتانسیل الکتروودی استاندارد که برای فرایند کاهش (گونه کاهنده $\rightleftharpoons$ + ne گونه اکسنده) گزارش می شود.
تعادل	equilibrium	۳۱	حالتی در فرایندهای برگشت پذیر که سرعت فرایندهای رفت و برگشت با هم برابر است.
تعادل شیمیایی	chemical equilibrium	۳۲	حالتی در یک واکنش شیمیایی برگشت پذیر که در دمای ثابت سرعت واکنش های رفت و برگشت با یکدیگر برابر می شود.
تعادل فیزیکی	physical equilibrium	۳۱	حالتی در یک فرایند فیزیکی برگشت پذیر که سرعت فرایند رفت و برگشت با یکدیگر برابر می شود.
تعادل ناهمگن	heterogeneous equilibrium	۳۷	تعادلی که همه اجزای شرکت کننده در یک فاز قرار ندارند.



تبادل همگن	homogeneous equilibrium	۳۷	تعادلی که همه اجزای شرکت کننده در یک فاز قرار دارند.
ثابت تعادل	equilibrium constant	۳۵	عدد ثابتی است که از جایگزین کردن غلظت های تعادلی مواد شرکت کننده در واکنش، در عبارت ثابت تعادل به دست می آید.
ثابت سرعت واکنش	rate constant	۱۳	به سرعت واکنش شیمیایی در شرایط استاندارد گفته می شود. در این شرایط غلظت مولی همه مواد شرکت کننده در واکنش یک مول بر لیتر است.
ثابت یونش آب	water ionization (dissociation) constant	۶۸	حاصل ضرب غلظت یون های $H_2O^+$ و $OH^-$ حاصل از خود-یونش آب در دمای معین است.
ثابت یونش اسیدی	acid ionization constant ( $K_a$ )	۶۶	مقدار ثابت تعادل برای یونش یک اسید در محلول آبی در دمای معین است.
ثابت یونش باز	base ionization constant ( $K_b$ )	۷۹	مقدار ثابت تعادل برای یونش یک باز در محلول آبی در دمای معین است.
حالت گذار	transition state	۱۷	پیچیده فعال، ساختار بسیار ناپایداری که در یک واکنش بنیادی از برخورد ذره های واکنش دهنده پدید می آید.
حفاظت کاتدی	cathodic protection	۱۰۸	حفاظت یک فلز در برابر خوردگی از راه اتصال فلز به یک قطعه فلز واکنش پذیرتر.
خارج قسمت واکنش	reaction quotient	۴۴	رابطه ای ریاضی است که نسبت حاصل ضرب غلظت های فراورده (ها) به توان ضریب استوکیومتری آنها به حاصل ضرب غلظت های واکنش دهنده (ها) به توان ضریب استوکیومتری آنها در هر لحظه از واکنش را نشان می دهد.
خود-یونش آب	autoionization of water	۶۳	فرایند انتقال پروتون ( $H^+$ ) میان دو مولکول آب که به ایجاد یون های هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) و هیدروکسید ( $OH^-$ ) می انجامد.
خوردگی	corrosion	۱۰۷	فرایندی است که در آن یک فلز بر اثر یک واکنش اکسایش-کاهش تخریب می شود.
رسانای الکترونی	electronic conductor	۹۹	ماده ای که جریان برق را به کمک جریان الکترون ها از خود عبور می دهد.
رسانای یونی	ionic conductor	۹۹	ماده ای که جریان برق را به کمک حرکت یون ها از خود عبور می دهد.
سرعت واکنش	reaction rate	۸	کمیتی تجربی که برای یک واکنش شیمیایی نسبت تغییر ویژگی های قابل اندازه گیری واکنش دهنده (ها) یا فراورده (ها)، به زمان را نشان می دهد.
سری الکتروشیمیایی	electrochemical series	۱۰۲	فهرستی که در آن فلزها به ترتیب افزایش پتانسیل کاهش استاندارد مرتب شده اند.
سلول الکتروشیمیایی	electrochemical cell	۹۹	دو نیم سلول که به وسیله رسانای الکترونی و یک دیواره متخلخل به هم متصل هستند.





سلول الکترولیتی	electrolytic cell ۱۰۴	نوعی سلول الکتروشیمیایی است که با عبور جریان برق (انرژی الکتریکی) از آن یک تغییر شیمیایی روی می‌دهد.
سلول سوختی	fuel cell ۱۱۵	نوعی سلول گالوانی نوع اول است که انرژی الکتریکی از اکسایش یک سوخت گازی شکل مانند هیدروژن با متان به دست می‌آید.
سلول گالوانی	galvanic cell ۱۰۴	نوعی سلول الکتروشیمیایی که طی یک واکنش شیمیایی انرژی الکتریکی تولید می‌کند.
سینتیک شیمیایی	chemical kinetics ۳	مبحثی از شیمی که دربارهٔ سرعت واکنش‌های شیمیایی، عوامل مؤثر بر سرعت و نحوهٔ انجام آنها گفت و گو می‌کند.
شناساگر	indicator ۷۳	ماده‌ای شیمیایی است که بر اثر تغییر pH در یک محلول آبی دچار تغییر رنگ می‌شود.
صابون	soap ۸۵	نمک اسید چرب حاصل از آبکافت روغن یا چربی با بازهای قوی.
عبارت ثابت تعادل	equilibrium constant expression ۳۵	رابطه‌ای ریاضی است که نسبت حاصل ضرب غلظت تعادلی فراورده (ها) به توان ضریب استوکیومتری آن (ها) به حاصل ضرب غلظت تعادلی واکنش دهنده (ها) به توان ضریب استوکیومتری آن (ها) را در دمای معین نشان می‌دهد.
قانون سرعت	rate law ۱۲	معادلهٔ تجربی است که ارتباط سرعت واکنش شیمیایی با غلظت مولی مواد واکنش دهنده را نشان می‌دهد.
کاتالیزگر	catalyst ۱۹	ماده‌ای که بر سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌افزاید.
کاتد	cathode ۱۰۰	الکترودی که در سطح آن عمل کاهش رخ می‌دهد.
کاهش	reduction ۹۳	فرایندی که طی آن اتم‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها الکترون دریافت می‌کنند.
کاهنده	reductant ۹۳	گونه‌ای است که در یک واکنش اکسایش-کاهش گونهٔ دیگر را کاهش می‌دهد.
محلول بافر	buffer solution ۸۷	محلولی که علی‌رغم افزایش یون‌های هیدرونیوم و هیدروکسید به آن، در برابر تغییر pH مقاومت می‌کند.
نظریهٔ برخورد	collision theory ۱۴	بر طبق این نظریه یک واکنش بنیادی هنگامی رخ می‌دهد که بین ذره‌های واکنش دهنده برخوردی مؤثر صورت گیرد.
نمک خنثی	neutral salt ۸۴	نمکی که pH محلول آبی آن ۷ است.
نیروی الکتروموتوری	electromotive force ۱۰۳	اختلاف پتانسیل الکترودی استاندارد دو نیم سلول یک سلول الکتروشیمیایی
نیم سلول	half-cell ۹۹	نیمی از یک سلول الکتروشیمیایی که الکتروود و الکترولیت را شامل می‌شود.



- نیم‌واکنش half-reaction ۹۳ واکنشی است که در یک نیم سلول رخ می‌دهد.  
 واکنش اکسایش-کاهش واکنشی که در آن یک یا چند الکترون از گونه‌ای به گونه دیگر منتقل می‌شود. ۹۳ oxidation - reduction reaction  
 واکنش الکترودی electrode reaction ۹۹ واکنش اکسایش یا کاهش که در مرز میان رسانای الکترونی و رسانای یونی رخ می‌دهد.  
 واکنش برگشت پذیر reversible reaction ۱۸ واکنشی است که می‌تواند در دو جهت (رفت و برگشت) پیشرفت کند.  
 واکنش برگشت ناپذیر irreversible reaction ۳۰ واکنشی است که تنها در یک جهت پیش می‌رود.  
 واکنش بنیادی elementary reaction ۱۴ واکنشی که در آن فراورده از برخورد مستقیم واکنش دهنده‌ها به دست می‌آید.  
 واکنش کامل complete reaction ۴۲ واکنشی که در آن ثابت تعادل بسیار بزرگ است و بیشتر واکنش دهنده (ها) به فراورده (ها) تبدیل می‌شود.  
 واکنش گرماگیر endothermic reaction ۱۸ واکنشی که طی آن گرما جذب شود.

## فهرست کتاب‌های کمک آموزشی و مجلات مناسب

- شیمی و آزمایشگاه؛ شیمی را در آزمایشگاه بیاموزیم.
- محمدرضا ملاردی، سیدرضا آقاپور مقدم، انتشارات مدرسه، ۱۳۹۲.



## منابع و مأخذ

- 1- Ebbing, D.D. Gammon, S.D., General Chemistry, 2009, Brooks/cole.
- 2- Tro, N.J., Principles of Chemistry, A Molecular Approach, 2010, Pearson.
- 3- Phillips, J.S.; Stozak, V.S.; Wistrom, C.; Zike, D. Chemistry, Concepts and Applications, 2009, Glencoe McGraw- Hill.
- 4- Ryan L., Advanced chemistry for you, 2000, Nelson Thornes.
- 5- Gilbert, T.R.; Kirss, R.V., Foster, N.; Davies, Chemistry, the science context, 2009, W.W. Norton & Company.



