

الکتروشیمی



بام مسی و سرخ فام 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 خطرانی 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



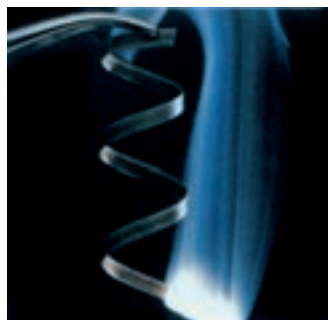
واکنش‌های اکسایش - کاهش



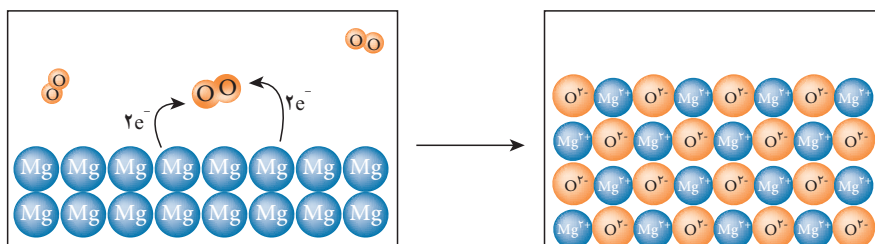
شکل ۳- زنگ زدن بدنه فولادی کشتی‌ها یک واکنش اکسایش - کاهش ناخواسته است.

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



در گذشته، کاهش هم‌ارز با گرفتن هیدروژن و اکسایش هم‌ارز با گرفتن اکسیژن تعریف می‌شد.

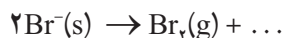
ت) کدام نیم‌واکنش بالا، نیم‌واکنش اکسایش و کدام یک نیم‌واکنش کاهش را نشان می‌دهد؟ چرا؟

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.



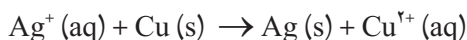
الف) با کامل کردن هریک از نیم‌واکنش‌ها مشخص کنید کدام گونه اکسایش و کدام یک کاهش یافته است؟

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:

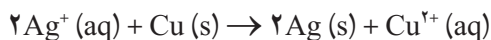


محلول نقره نیترات

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.

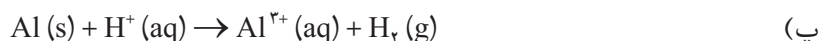
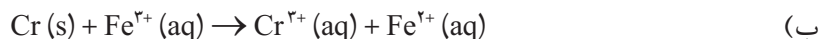
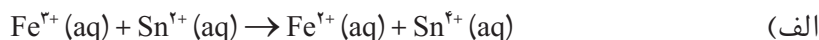


از جمع این نیم واکنش با نیم واکنش اکسایش، معادله موازنه شده واکنش اکسایش- کاهش یاد شده به دست می آید.



خود را بیازمایید

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

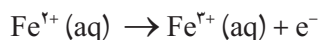


انتقال الکترون و عدد اکسایش

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.

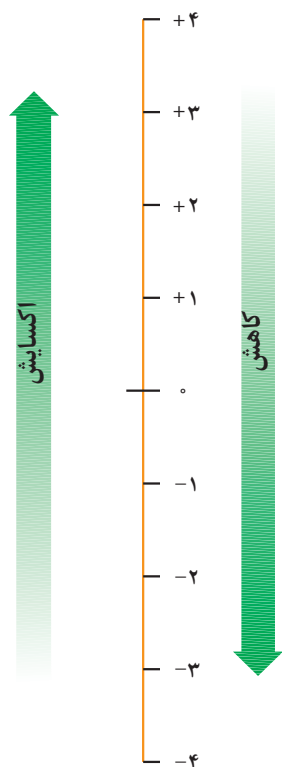


شیمی دان ها با معرفی **عدد اکسایش**، راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارائه کرده اند. برای این منظور آنها برای هر اتم موجود در یک گونه شیمیایی، عدد اکسایش ویژه ای در نظر گرفته اند. عدد اکسایش یک اتم در یک گونه شیمیایی، هم ارز با بار الکتریکی است که به اتم آن عنصر نسبت داده می شود، با فرض اینکه همه پیوندها 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) (Fe^{2+}) به یون آهن (III) (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).

واکنش فلز مس با محلول نقره نیترات

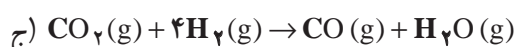
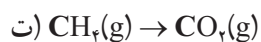
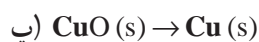
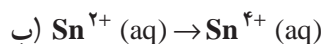
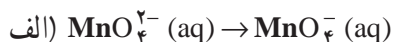


شکل ۴- گستره ای از تغییر عدد اکسایش. افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و بنابراین، فرایند اکسایش است. در حالی که کاهش عدد اکسایش به معنای به دست آوردن الکترون و بنابراین، فرایند کاهش است.



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 الکترون‌گاتر نسبت دهید.

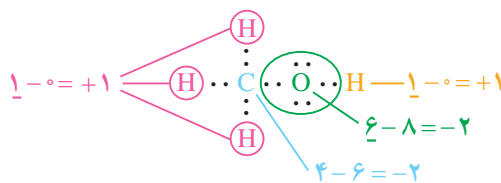
ت) همه الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.

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

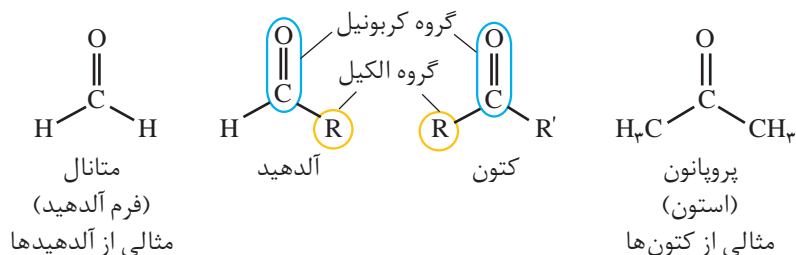
ج) تعداد الکترون‌های نسبت داده شده را از تعداد الکترون‌های ظرفیتی اتم یادشده کم کنید. باقی مانده عدد اکسایش اتم مورد نظر است.

نمونه حل شده

تعیین عدد اکسایش کربن، اکسیژن و هیدروژن در متانول (CH_3OH)

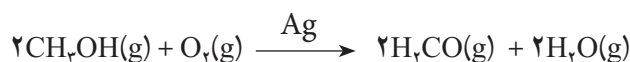


آلدهیدها و کتون‌ها دو دسته مهم از ترکیب‌های آلی با گروه عاملی کربونیل ($C=O$) هستند. فرمول همگانی آلدهیدها و کتون‌ها به صورت زیر است.



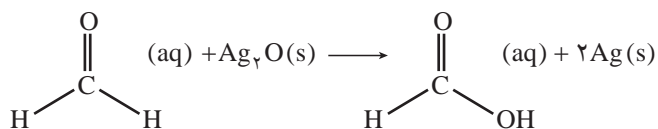
مهم‌ترین تفاوت میان آلدهیدها و کتون‌ها وجود اتم هیدروژن متصل به گروه کربونیل در آلدهیدهاست. وجود این اتم هیدروژن به آلدهیدها خاصیت کاهندگی چشمگیری می‌دهد. درحالی‌که کتون‌ها این خاصیت را ندارند و در برابر اکسایش مقاومت می‌کنند. با توجه به این مطالب به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

۱- متانال را می‌توان از اکسایش متانول به وسیله اکسیژن در حضور کاتالیزگر و دمای 50°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 ($-\text{CHO}$) به گروه عاملی کربوکسیل ($-\text{COOH}$) تبدیل می‌شود.



تغییر عدد اکسایش کربن را در این واکنش تعیین کنید.

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

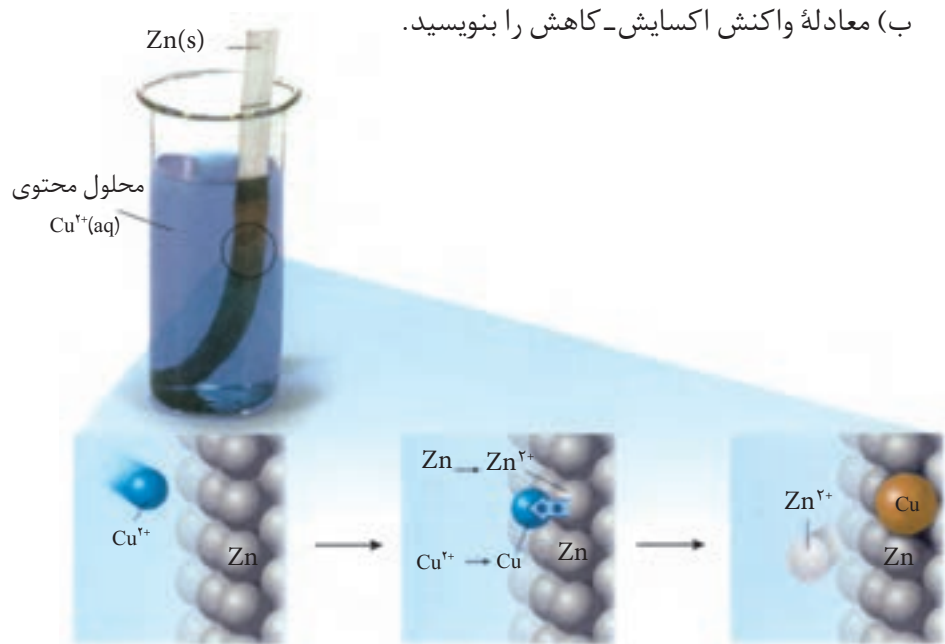


تشکیل آینه نقره‌ای هنگام اکسایش متانال

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.
الف) کدام گونه اکسایش و کدام گونه کاهش یافته است؟
ب) معادله واکنش اکسایش-کاهش را بنویسید.

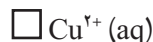
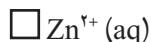


شکل ۵- فلز نیکل با محلول
آبی‌رنگ دارای یون‌های $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ واکنش می‌دهد. با وارد کردن یک تیغه نیکلی در چنین محلولی رسوب قهوه‌ای مایل به سرخی که همان فلز مس است، روی تیغه نیکلی می‌نشیند. هم‌زمان با آن یون‌های سبز رنگ $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$ نیز وارد محلول می‌شوند. از این آزمایش درمی‌یابیم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

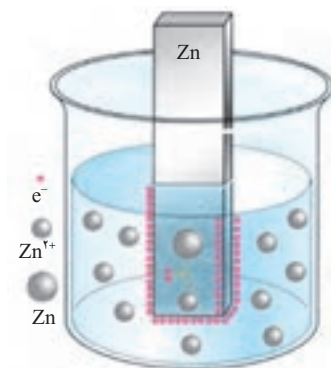


سلول الکتروشیمیایی

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.

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.



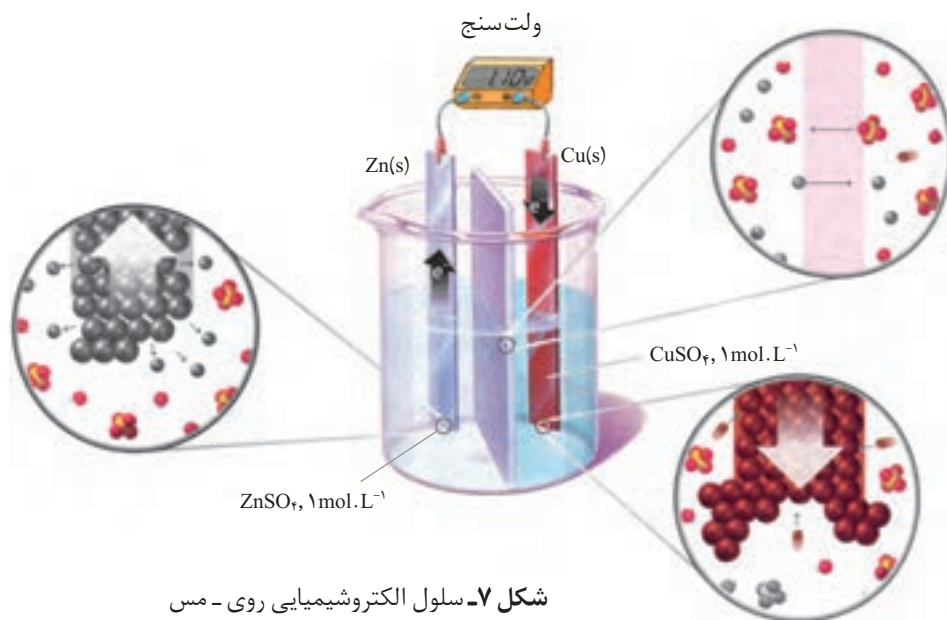
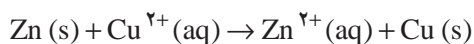
تعادل مشابهی نیز با قراردادن یک تیغه از جنس فلز مس درون محلول آبی دارای یون‌های مس (II) برقرار می‌شود. به این ترتیب با تشکیل نیم سلول مس، پتانسیل الکتروودی ویژه‌ای نیز به وجود می‌آید.



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



در شرایطی کنترل شده انجام می گیرد.



شکل ۷- سلول الکتروشیمیایی روی - مس

در سلول الکتروشیمیایی

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

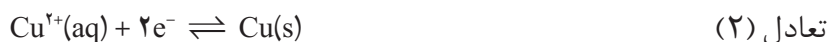
دیواره متخلخل که از
جنس سفال، خاک چینی
(کائولن)، آزبست یا گرد
فشرده شده شیشه است و
از مخلوط شدن مستقیم
و سریع دو الکترولیت
جلوگیری می کند، ولی
یون های موجود در دو
محلول می توانند از آن
عبور کنند.

همان طور که مشاهده می شود در مدار بیرونی از سمت الکتروود روی به سمت الکتروود مس جریانی از الکترون ها 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 پرسش های زیر پاسخ دهید.

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



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

۳- آند، الکتروود است که در آن اکسایش و کاتد، الکتروود است که در آن کاهش رخ می دهد. در این سلول الکتروشیمیایی آند و کاتد کدام اند؟

۴- همان طوری که مشاهده می شود اختلاف پتانسیل مشاهده شده بین دو نیم سلول در این سلول الکتروشیمیایی برابر با 1.1 V است. اگر اختلاف پتانسیل بین دو نیم سلول

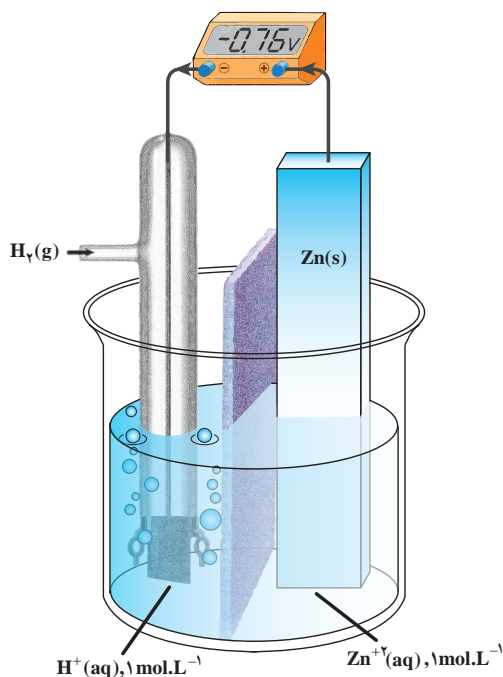


در سلول الکتروشیمیایی نیکل - مس برابر با $V / 59^\circ$ باشد، قدرت کاهندگی کدام فلز (Ni) یا Zn بیشتر است؟ چرا؟

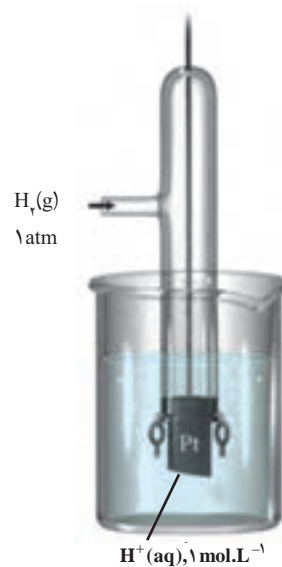
پتانسیل های الکترودی استاندارد

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. از آنجا که اندازه گیری پتانسیل یک الکترود به طور جداگانه ممکن نیست و نسبت دادن یک مقدار مطلق به پتانسیل آن الکترود 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، الکترود 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 آنود) را تشخیص داد.



(الف)



(ب)

شکل ۸ - الف) یک سلول الکتروشیمیایی شامل یک الکترود 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 $Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Zn(s)$ است. **ب)** الکترود استاندارد هیدروژن شامل یک الکترود پلاتینی است که در یک محلول اسیدی با $pH = 0$ (محلولی که در آن $[H^+] = 1 \text{ mol.L}^{-1}$) قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار 1 atm از روی آن عبور داده می شود.

در الکتروود استاندارد هیدروژن تعادل زیر برقرار است:



نماد E° (بخوانید ایی صفر) پتانسیل الکتروودی استاندارد است که مقدار آن برای SHE در هر دمایی برابر صفر در نظر گرفته می شود. به کارگیری واژه استاندارد برای پتانسیل های الکتروودی یادآور شرایط استاندارد، یعنی غلظت $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ برای یون های محلول و فشار یک اتمسفر برای گازهاست. اغلب اندازه گیری ها در دمای اتاق (25°C) انجام می گیرد (شکل ۸، ب). برای هماهنگی بیشتر و مطابق یک قرارداد، پتانسیل های الکتروودی استاندارد همواره به صورت پتانسیل های کاهش استاندارد گزارش می شود (جدول ۱).

جدول ۱- پتانسیل های کاهش استاندارد برای برخی نیم سلول های یون فلز/فلز

گونه کاهنده $+ \text{ne}^- \rightleftharpoons$ گونه اکسنده	$E^\circ (\text{V})$
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na} (\text{s})$	$-2/71$
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg} (\text{s})$	$-2/38$
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al} (\text{s})$	$-1/66$
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn} (\text{s})$	$-0/76$
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe} (\text{s})$	$-0/44$
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{g})$	۰
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} (\text{s})$	$+0/80$
$\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt} (\text{s})$	$+1/20$
$\text{Au}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au} (\text{s})$	$+1/68$

رتبه بندی فلزها
به ترتیب افزایش پتانسیل
کاهش استاندارد، مجموعه
سودمندی را فراهم می کند
که سری الکتروشیمیایی
نامیده می شود.

فکر کنید

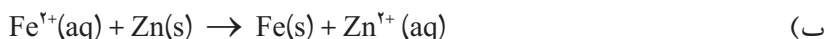
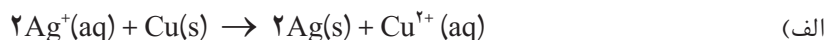
- ۱- علامت منفی یا مثبت پتانسیل کاهش استاندارد چه معنایی دارد؟ توضیح دهید.
- ۲- با توجه به اختلاف پتانسیل مشاهده شده در سلول الکتروشیمیایی Zn-Cu و پتانسیل الکتروودی استاندارد Zn^{2+}/Zn ، پتانسیل الکتروودی استاندارد Cu^{2+}/Cu را محاسبه کنید.



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° نمایش دهیم، در هر مورد E° سلول 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 الکتروکود از جدول پتانسیل‌های کاهش استاندارد و با توجه به رابطه زیر، مقدار E° سلول را محاسبه کنید.

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

آیا همه واکنش‌های اکسایش - کاهش، خود به خودی انجام می‌شوند؟

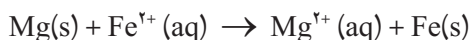
سری الکتروشیمیایی کمک می‌کند تا بتوان واکنش‌پذیری فلزها را با هم مقایسه کرد؛ به دیگر سخن انجام‌پذیر بودن یا نبودن واکنش‌های میان آنها را پیش‌بینی کرد. برای این کار کافی است E° سلول را برای سلولی محاسبه کرد که واکنش اکسایش - کاهش یاد شده در آن رخ می‌دهد. اگر مقدار E° مثبت باشد، واکنش انجام‌پذیر است. به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

$$E^{\circ}_{\text{سلول}} = E^{\circ}_{\text{کاتد}} - E^{\circ}_{\text{آند}} = -0/44\text{V} - (-2/38\text{V})$$

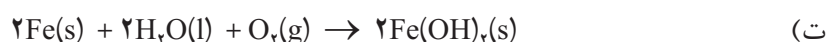
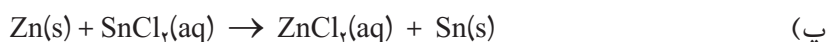
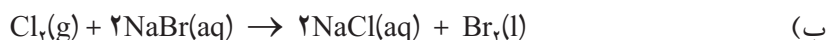
$$E^{\circ}_{\text{سلول}} = +1/94\text{V}$$

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 پیش بینی کنید.

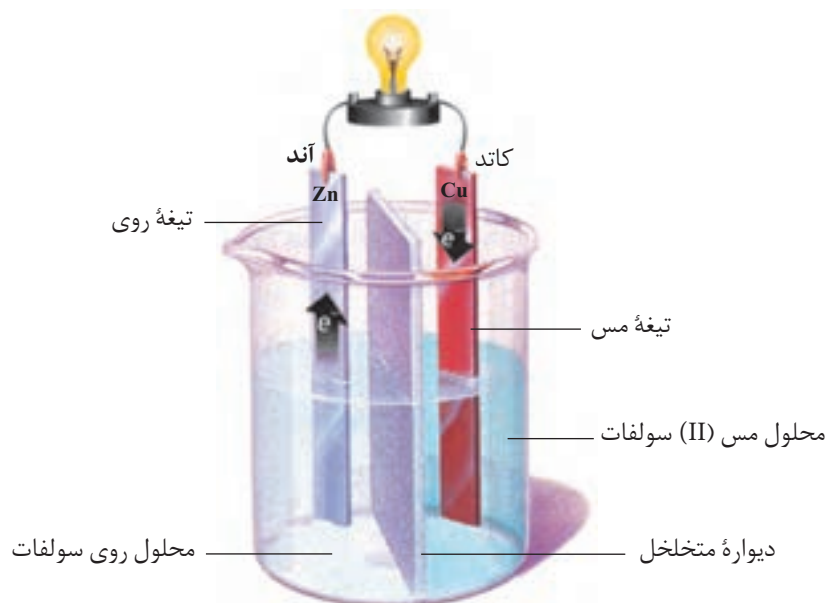


انواع سلول‌های الکتروشیمیایی

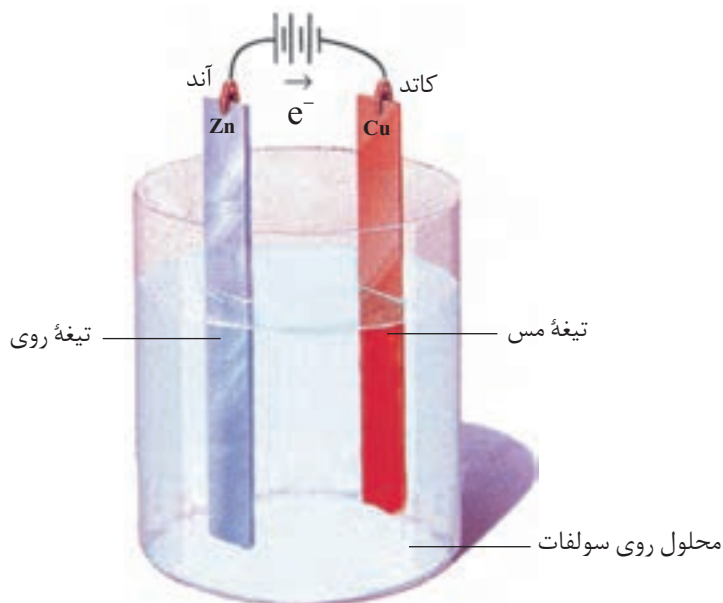
سلول‌های الکتروشیمیایی را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کنند. دسته نخست که به سلول‌های **گالوانی** شهرت دارند، سلول‌هایی هستند که هر دو نیم واکنش الکترودی آنها به طور خودبه خود انجام می‌گیرد و بر اثر وقوع آنها انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، (شکل ۹). در حالی که در دسته دوم که سلول‌های **الکترولیتی** 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.



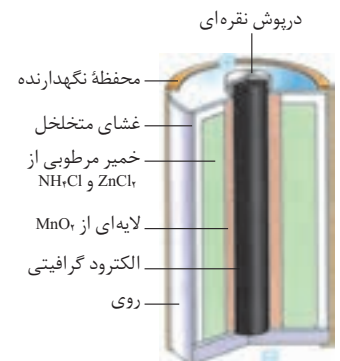
شکل ۱۰- یک سلول الکترولیتی. با اعمال یک ولتاژ بیرونی نیم‌واکنش‌های الکترودی در مسیر غیرخود به خودی، یعنی کاهش یون‌های روی و تبدیل آنها به اتم‌های روی رانده می‌شوند. با ادامه این فرایند، لایه نازکی از فلز روی بر سطح تیغه مس می‌نشیند.

انواع سلول‌های گالوانی

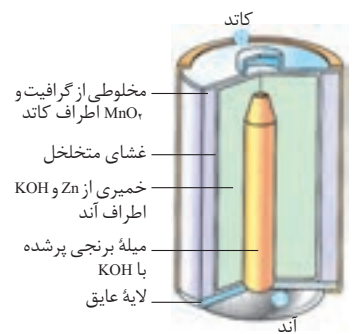
از آنجا که در سلول‌های گالوانی انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، از این سلول‌ها به عنوان منبع انرژی الکتروشیمیایی یاد می‌شود. سلول‌های گالوانی را به دو دسته تقسیم می‌کنند، سلول‌های نوع اول و سلول‌های نوع دوم. باتری‌ها و سلول‌های



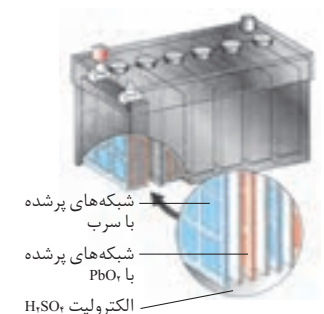
باتری های نوع دوم به هنگام شارژ شدن یک سلول الکترولیتی هستند. در واقع حین شارژ شدن با عبور یک جریان الکتریکی واکنش های خودبه خودی انجام شده در مرحله تولید برق در جهت معکوس رانده می شود.



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



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

سوختی از جمله سلول های نوع اول هستند. این نوع سلول ها با تمام شدن واکنش دهنده های موجود در آنها غیرفعال می شوند و امکان شارژ یا پر کردن دوباره آنها وجود ندارد؛ درحالی که سلول های نوع دوم که شامل سلول های انباره ای (مانند باتری خودرو) و باتری های قابل شارژ هستند را می توان بارها شارژ کرد و مورد استفاده قرار داد.

بیشتر بدانید

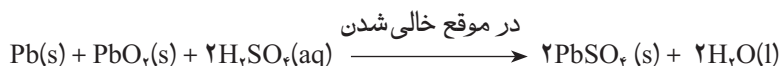
باتری های خشک؛ باتری لکلانشه و باتری قلیایی

باتری لکلانشه 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 NH_4Cl و ZnCl_2 پر شده، یک میله ای گرافیتی که با لایه ای از جنس MnO_2 پوشیده شده است در وسط این باتری و در میان خمیر مرطوب جای گرفته است. از معایب باتری لکلانشه تولید گازهای H_2 و 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 KOH موجود در این نوع باتری ها خاصیت بازی شدیدی به الکترولیت می دهد. باتری قلیایی مانند باتری لکلانشه 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 انباره ای؛ باتری خودرو

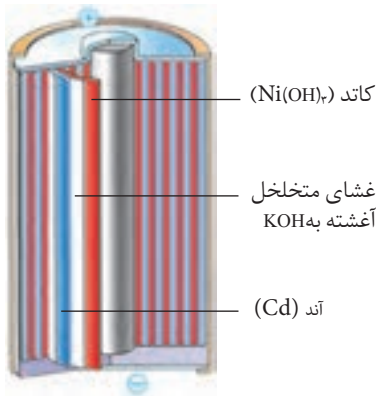
باتری خودرو نمونه ای از باتری های نوع دوم است. شکل پ یک باتری سربی را نشان می دهد. این باتری شامل ۶ سلول گالوانی است که به طور سری به هم متصل شده است. در هر سلول، آند فلز سرب و کاتد سرب (IV) اکسید است. محلول رقیق سولفوریک اسید به عنوان الکترولیت در آن استفاده می شود. هنگام تخلیه الکتریکی در باتری واکنش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



همان طوری که ملاحظه می کنید طی این فرایند H_2SO_4 مصرف و 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 انباره 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 Pb ، PbO_2 و H_2SO_4 از نو تولید



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 بی سیم، 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.

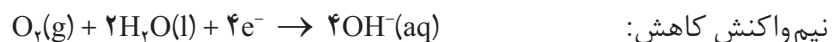
شکل ت) یک باتری نیکل - کادمیم، این نوع، ولتاژی برابر ۱/۲۵V تولید می‌کند.

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، خرد شدن و فرو ریختن این فلزها می‌شود. به تدریج و خرد شدن و فرو ریختن 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.

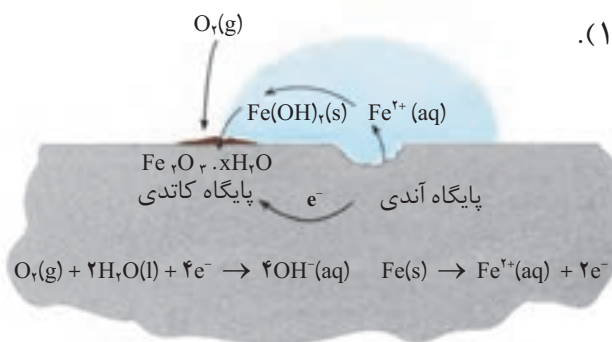


این دو نیم‌واکنش در دو بخش مختلف قطعه آهن رخ می‌دهند. پایگاه آندی و پایگاه

کاتدی (شکل ۱۱).



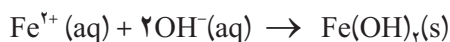
زنگ‌زدن یک زنجیر آهنی



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 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.

4Fe(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.

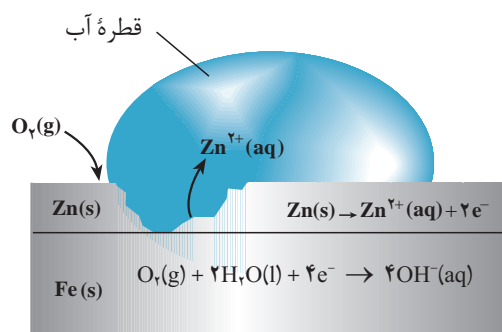
راه‌های جلوگیری از خوردگی آهن

امروزه روش‌های گوناگونی برای جلوگیری از خوردگی فلزها به‌ویژه 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 پرمصرف‌ترین 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° کوچک‌تری دارد نقش آند را ایفا می‌کند و با اکسایش یافتن دچار خوردگی می‌شود. این درحالی است که فلز با E° بزرگ‌تر، نقش کاتد را بازی کرده و نسبت به خوردگی محافظت می‌شود. برای حفاظت کاتدی آهن، آن را با یک فلز فعال‌تر مانند Mg یا Zn مجاور می‌کنند. فلزهایی



شکل ۱۲- محافظت لوله‌های نفت با میله‌هایی از جنس روی



شکل ۱۳- بخشی از یک ورقه گالوانیزه



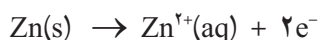
کاربردی از آهن سفید



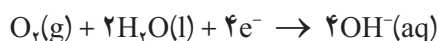
که E° آنها کوچک‌تر از آهن است و به‌عنوان آند عمل کرده، با از خودگذشتگی از آهن محافظت می‌کنند.

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

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



الکترون‌های حاصل از اکسایش فلز روی در سطح فلز آهن و در حضور رطوبت به اکسیژن داده می‌شود.



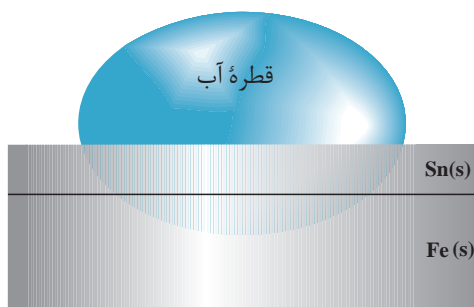
در نتیجه، آهن به‌عنوان کاتد عمل کرده و از خوردگی می‌گریزد.

خود را بیازمایید

شکل زیر 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.



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



الف) در اثر ایجاد خراش در سطح این نوع آهن، کدام فلز نقش آند را ایفا می‌کند و خورده می‌شود؟ کدام فلز در برابر خوردگی محافظت می‌شود؟

ب) نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش را بنویسید.

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



بیشتر بدانید

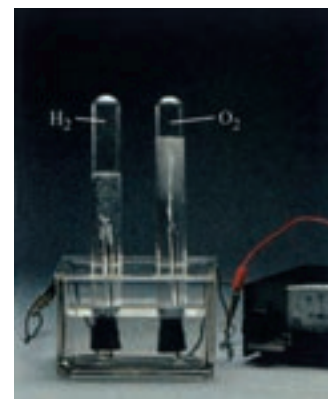
در دندان پزشکی از ماده‌ای به نام آمالگام برای پر کردن دندان‌های پوسیده استفاده می‌کنند. آمالگام ماده‌ای است که از مخلوط کردن جیوه با یک یا چند فلز دیگر به دست می‌آید. درواقع، آمالگام از سه فاز جامد تشکیل شده است که استوکیومتری تقریبی فازهای تشکیل دهنده آن عبارت است از: Ag_2Sn ، Ag_2Hg و Sn_8Hg . پتانسیل کاهش استاندارد هریک از این فازها چنین است:

$$E_{\text{Hg}_2^{2+}/\text{Ag}_2\text{Hg}_2}^\circ = 0.85\text{V}, \quad E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Ag}_2\text{Sn}}^\circ = -0.05\text{V}, \quad E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}_8\text{Hg}}^\circ = -0.13\text{V}$$

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. برقکافت 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). درحالی 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- برقکافت آب. فرایندی است که در آن آب به عنصرهای سازنده‌اش تجزیه می‌شود. نیم‌واکنش اکسایش:

$$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$$
نیم‌واکنش کاهش:

$$4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + 4\text{OH}^-(\text{aq})$$
قطب مثبت و منفی باتری را در این شکل مشخص کنید.



یون‌های مثبت به سمت کاتد و یون‌های منفی به سمت آند مهاجرت می‌کند. از این رو، به این یون‌ها به ترتیب **کاتیون** و **آنیون** گفته می‌شود. هنگامی که این یون‌ها به سطح الکترودها می‌رسند، نیم واکنش کاهش در کاتد و نیم واکنش اکسایش در آند به وقوع می‌پیوندد. کاتیون‌ها، کاهش و آنیون‌ها، اکسایش می‌یابند. وقوع این نیم‌واکنش‌ها به غلظت محلول و موقعیت یون‌های یاد شده در جدول پتانسیل‌های کاهش استناد دارد بستگی دارد.

برقکافت سدیم کلرید مذاب

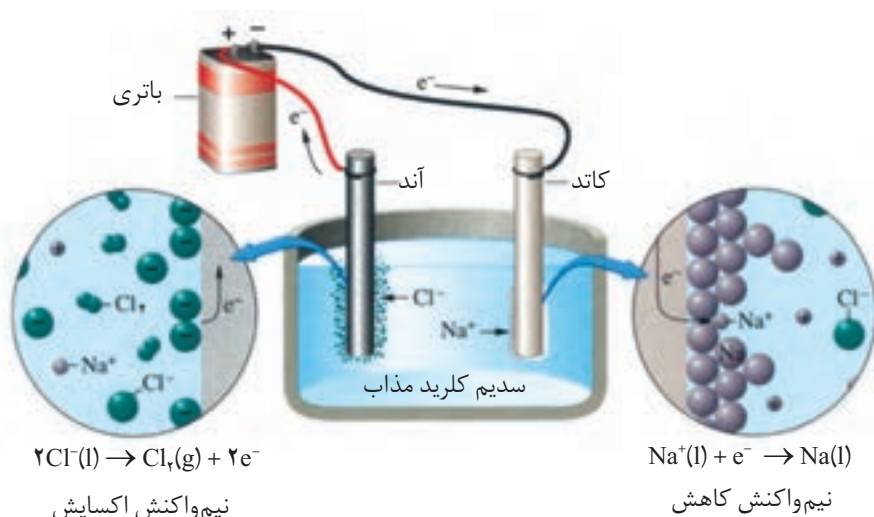
فلز سدیم به حالت آزاد در طبیعت وجود ندارد. اما ترکیب‌های شیمیایی گوناگونی از آن در طبیعت شناخته شده است. سدیم در این ترکیب‌ها به صورت یون سدیم (Na^+) مشاهده می‌شود. این مشاهده‌ها نشان می‌دهد که فلز سدیم بسیار واکنش‌پذیر است و طی واکنشی خود به خود به سرعت اکسایش یافته و به یون Na^+ تبدیل می‌شود. بنابراین، برای به دست آوردن فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد. برای نمونه، اگر هدف تهیه فلز سدیم از NaCl باشد، باید واکنش زیر در جهت معکوس خود به خود انجام گیرد.



محاسبه نشان می‌دهد که برای خود به خودی انجام شدن فرایند تجزیه گرمایی NaCl به دمای بسیار بالایی حدود 4267°C (فقط کمی کمتر از دمای سطح خورشید) نیاز است. آشکار است که تأمین چنین دمایی ممکن نیست.

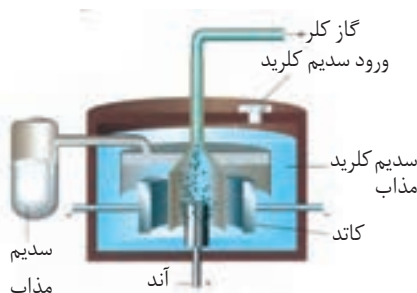
با این توصیف برقکافت سدیم کلرید مذاب راه حل بسیار مناسبی برای تولید سدیم

است، (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- برقکافت سدیم کلرید مذاب

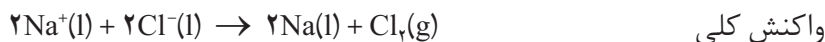
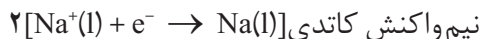
۲/۷ درصد جرمی آب دریا را سدیم کلرید تشکیل می‌دهد.



شکل ۱۶- سلول دانز
یک سلول الکترولیتی است که در صنعت برای تهیه فلز سدیم به کار می‌رود. در این سلول، برقکافت سدیم کلرید مذاب انجام می‌شود.

NaCl خالص در 801°C ذوب می‌شود. افزودن مقداری CaCl_2 به آن، دمای ذوب را تا حدود 587°C پایین می‌آورد. این کار از نظر اقتصادی چه مزیتی دارد؟

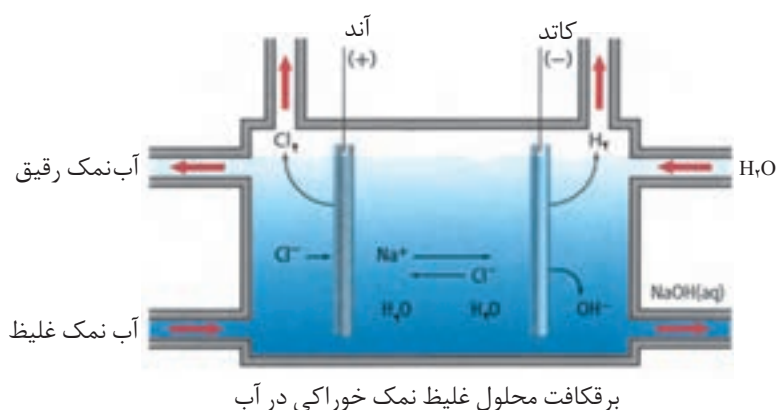
واکنش‌های انجام شده در سلول دانه (شکل ۱۶) به شرح زیر است:



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 واکنش زیر باشد:



با مراجعه به جدول پتانسیل‌های الکترونی استاندارد، علت پیروزی مولکول‌های

H_2O 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 فراوان ترین فلز و سومین عنصر فراوان در پوسته زمین است.

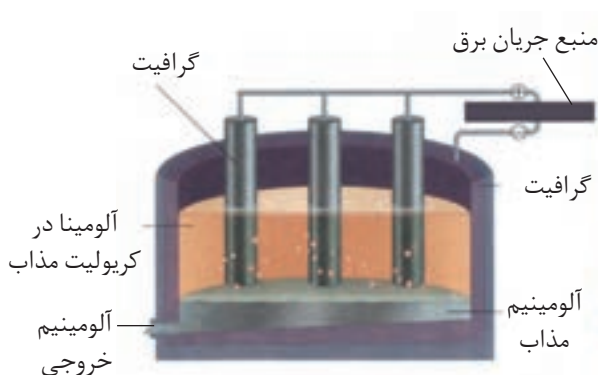
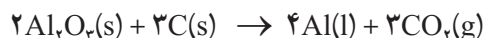


چارلز مارتین هال
(۱۸۶۳-۱۹۱۴)

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

آلومینیم یکی از ارزشمندترین و پرکاربردترین فلزها به شمار می آید. در صنعت، آلومینیم را از سنگ معدن بوکسیت (آلومینای ناخالص) به دست می آورند. نقطه ذوب آلومینای خالص 2045°C است، بدیهی است تأمین این دما و برقکافت آن به حالت مذاب، فرایندی اقتصادی نیست. از این رو، آلومینای ناخالص را پس از خالص سازی در دمایی حدود 960°C در کریولیت (Na_3AlF_6) مذاب حل می کنند.

فرایند برقکافت محلول مذاب یاد شده در سلول الکترولیتی ویژه ای انجام می گیرد، (شکل ۱۷). واکنش کلی انجام شده در این سلول به صورت زیر است:



خروج آلومینیم مذاب

شکل ۱۷- فرایند هال برای تولید آلومینیم از Al_2O_3

تولید آلومینیم با این روش **فرایند هال** نامیده می شود. پیش از ابداع این روش در سال ۱۸۸۶، آلومینیم به علت کمیاب بودن از طلا و نقره گران تر بود. چون فرایند هال به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد، از این رو با بازیافت فلز Al می توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم ترین منابع تجدیدناپذیر طبیعت، برخی از هزینه های تولید فلز آلومینیم 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 فرایند هال نیاز دارد.

آبکاری

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



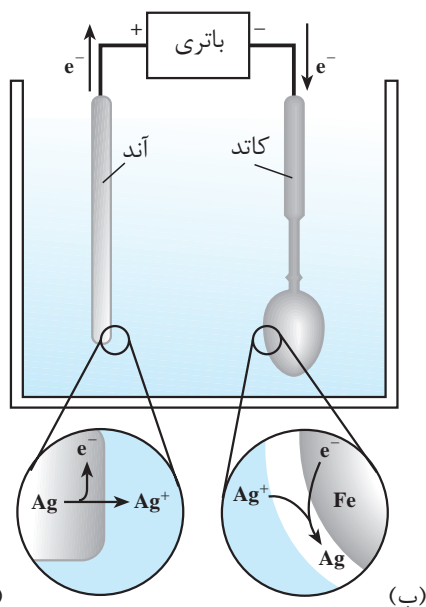
رسانای جریان برق باشد.

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

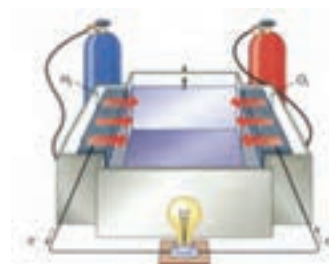


انتقال برق

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؟

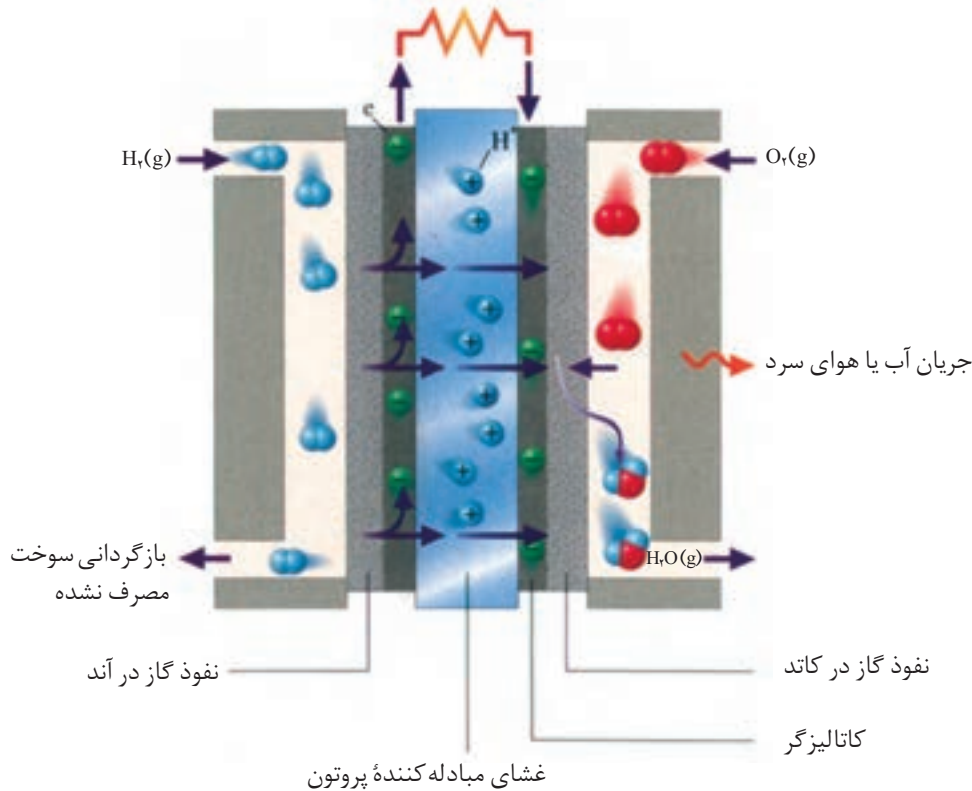
(ب) کارایی کدام روش بالاتر است؟ توضیح دهید.

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

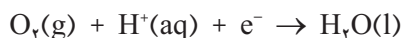
در سال ۱۸۳۹ ویلیام گرو فیزیک دان و روزنامه نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویگ مند و چارلز لنجر برمی گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول های سوختی در سفینه های جیمینی و آپولو برای تهیه الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دهه هفتاد میلادی، فناوری سلول سوختی در وسایل خانگی و خودروها به کار گرفته شد. از دهه هشتاد به بعد شرکت بالارد کانادا زیردریایی 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 0.7 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!

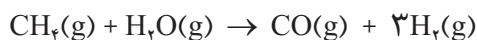
تأمین سوخت سلول

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



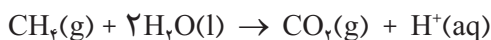
۲- واکنش بخار آب با متان



واکنش نخست با مصرف انرژی الکتریکی همراه است. این واکنش افزون بر هزینه بالا، آلاینده‌گی محیط زیست را نیز به دنبال دارد. (چرا؟)
درحالی که واکنش دوم، صرفه اقتصادی دارد، اما برای تأمین سوخت باید گاز H_2 تولید شده را جداسازی و خالص نمود؛ زیرا وجود مقادیر اندک CO می‌تواند کاتالیزورها را در سلول سوختی مسموم کند و از کارایی آنها بکاهد. تلاش شیمی‌دان‌ها 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) هر یک از نیم‌واکنش‌ها را موازنه کنید و واکنش کلی سلول را به دست آورید.
ب) اگر E° این سلول برابر با 1.06 V باشد، E° نیم‌واکنش اکسایش متان را به دست آورید.



پتانسیل‌های کاهش استاندارد

نیم‌واکنش	$E^\circ (V)$
$K^+ (aq) + e^- \rightleftharpoons K (s)$	$-2/92$
$Ba^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ba(s)$	$-2/90$
$Ca^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ca (s)$	$-2/87$
$Na^+ (aq) + e^- \rightleftharpoons Na (s)$	$-2/71$
$Mg^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mg (s)$	$-2/38$
$Al^{3+} (aq) + 3e^- \rightleftharpoons Al (s)$	$-1/66$
$V^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons V (s)$	$-1/20$
$Mn^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mn (s)$	$-1/18$
$2H_2O (l) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g) + 2OH^- (aq)$	$-0/83$
$Zn^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Zn (s)$	$-0/76$
$Cr^{3+} (aq) + 3e^- \rightleftharpoons Cr (s)$	$-0/74$
$Fe^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Fe (s)$	$-0/44$
$Cr^{3+} (aq) + e^- \rightleftharpoons Cr^{2+} (aq)$	$-0/42$
$Cd^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cd (s)$	$-0/40$
$Co^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Co (s)$	$-0/28$
$V^{3+} (aq) + e^- \rightleftharpoons V^{2+} (aq)$	$-0/26$
$Ni^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ni (s)$	$-0/25$
$Sn^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Sn (s)$	$-0/14$
$Pb^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Pb (s)$	$-0/13$
$Fe^{3+} (aq) + 3e^- \rightleftharpoons Fe (s)$	$-0/04$
$2H^+ (aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g)$	$0/00$
$Sn^{4+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Sn^{2+} (aq)$	$+0/15$
$Cu^{2+} (aq) + e^- \rightleftharpoons Cu^+ (aq)$	$+0/16$
$Cu^{2+} (aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu (s)$	$+0/34$
$O_2 (g) + 2H_2O (l) + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^- (aq)$	$+0/40$
$Cu^+ (aq) + e^- \rightleftharpoons Cu (s)$	$+0/52$
$I_2 (s) + 2e^- \rightleftharpoons 2I^- (aq)$	$+0/54$



$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-} (\text{aq})$	+ 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
$\text{Hg}^{2+} (\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg} (\text{l})$	+ 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 برهم 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 الکترولیت وارد یا از آن خارج می کند.
الکتروود استاندارد هیدروژن	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 ⁻) را افزایش می دهد.
باز لوری - برونستد	Lowry and Brønsted base ۶۲	ماده ای که پروتون (H ⁺) 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 (الکترولیت) 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 (الکترولیت) 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 + ne \rightleftharpoons گونه اکسند) 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 می دهد.
سلول سوختی	fuel cell ۱۱۵	نوعی سلول گالوانی نوع اول است که انرژی الکتریکی از اکسایش یک سوخت گازی شکل مانند هیدروژن یا متان به دست می آید.
سلول گالوانی	galvanic cell ۱۰۴	نوعی سلول الکتروشیمیایی که طی یک واکنش شیمیایی انرژی الکتریکی تولید می کند.
سینتیک شیمیایی	chemical kinetics ۳	مبحثی از شیمی که دربارهٔ سرعت واکنش های شیمیایی، عوامل مؤثر بر سرعت و نحوهٔ انجام آنها گفت و گو می کند.
شناساگر	indicator ۷۳	ماده ای شیمیایی است که بر اثر تغییر pH در یک محلول آبی دچار تغییر رنگ می شود.
صابون	soap ۸۵	نمک اسید چرب حاصل از آبکافت روغن یا چربی با بازهای قوی.
عبارت ثابت تعادل	equilibrium constant expression ۳۵	رابطه ای 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 می دهد.
قانون سرعت	rate law ۱۲	معادلهٔ تجربی است که ارتباط سرعت واکنش شیمیایی با غلظت مولی مواد واکنش دهنده را نشان می دهد.
کاتالیزگر	catalyst ۱۹	ماده ای که بر سرعت واکنش های شیمیایی می افزاید.
کاتد	cathode ۱۰۰	الکترودی که در سطح آن عمل کاهش رخ می دهد.
کاهش	reduction ۹۳	فرایندی که طی آن اتم ها، یون ها یا مولکول ها الکترون دریافت می کنند.
کاهنده	reductant ۹۳	گونه ای است که در یک واکنش اکسایش - کاهش گونهٔ دیگر را کاهش می دهد.
محلول بافر	buffer solution ۸۷	محلولی که علی رغم افزایش یون های هیدرونیوم و هیدروکسید به آن، در برابر تغییر pH مقاومت می کند.
نظریهٔ برخورد	collision theory ۱۴	بر طبق این نظریه یک واکنش بنیادی هنگامی رخ می دهد که بین ذره های 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 الکترون و الکترولیت را شامل می شود.



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

فهرست کتاب های کمک آموزشی و مجلات مناسب

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



منابع و مأخذ

- ١- 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.; Strozak, 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.



جدول تناوبی عناصر

عصرهای گروه اصلی

فلزهای قلیایی

فلزهای قلیایی خاکی

فلزها

شبه فلزها

نا فلزها

جامد

مایع

گاز

عصرهای واسطه

گازهای نجیب

هالوژنها

عصرهای گروه اصلی

1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012	5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 18.99	10 Ne Neon 20.18	11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31	13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95	19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 83.80	37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium [98]	44 Ru Ruthenium 101.1	45 Rh Rhodium 102.9	46 Pd Palladium 106.4	47 Ag Silver 107.9	48 Cd Cadmium 112.4	49 In Indium 114.8	50 Sn Tin 118.7	51 Sb Antimony 121.8	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.9	54 Xe Xenon 131.3	55 Cs Cesium 132.9	56 Ba Barium 137.3	57 La Lanthanum 138.9	58 Ce Cerium 140.1	59 Pr Praseodymium 140.9	60 Nd Neodymium 144.2	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.4	63 Eu Europium 152.0	64 Gd Gadolinium 157.3	65 Tb Terbium 158.9	66 Dy Dysprosium 162.5	67 Ho Holmium 164.9	68 Er Erbium 167.3	69 Tm Thulium 168.9	70 Yb Ytterbium 173.0	71 Lu Lutetium 175.0	72 Hf Hafnium 178.5	73 Ta Tantalum 180.9	74 W Tungsten 183.8	75 Re Rhenium 186.2	76 Os Osmium 190.2	77 Ir Iridium 192.2	78 Pt Platinum 195.1	79 Au Gold 197.0	80 Hg Mercury 200.6	81 Tl Thallium 204.4	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 209.0	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]	87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.0	91 Pa Protactinium 231.0	92 U Uranium 238.0	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [244]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [251]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]
-----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-------------------------------	------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------------	---------------------------	------------------------------	-------------------------------	---------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------

لانتانیدها

آکتینیدها

57 La Lanthanum 138.9	58 Ce Cerium 140.1	59 Pr Praseodymium 140.9	60 Nd Neodymium 144.2	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.4	63 Eu Europium 152.0	64 Gd Gadolinium 157.3	65 Tb Terbium 158.9	66 Dy Dysprosium 162.5	67 Ho Holmium 164.9	68 Er Erbium 167.3	69 Tm Thulium 168.9	70 Yb Ytterbium 173.0
--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------