فصل ۲

آسایش و رفاه در سایه شیمی

هُوَ الَّذِی یُرِیکُمُ الْبَرْقَ خَوْفاً وَ طَمَعاً... (سوره رعد، آیه ۱۲)

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

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

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

آ) اتاق باتری ب) سمعک پ) قطار برقی

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

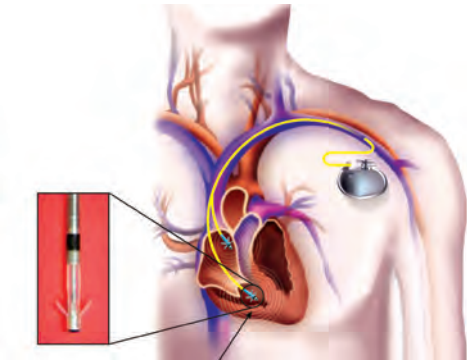
دو رکن اساسی تحقق این فناوری‌ها، دستیابی به مواد مناسب و تأمین انرژی است. می‌دانید که پرکاربردترین شکل انرژی در به‌کارگیری این فناوری‌ها انرژی الکتریکی است. **الکتروشیمی**[1] شاخه‌ای از دانش شیمی است که در بهبود خواص مواد و تأمین انرژی نقش بسزایی دارد (شکل ۲).

آ) تأمین انرژی (باتری‌ها، سلول سوختی و سوخت آنها) ب) تولید مواد (مانند برقکافت و آبکاری) پ) اندازه‌گیری و کنترل کیفی (اطمینان از کیفیت فراورده)

شکل ۲ـ برخی قلمروهای الکتروشیمی

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

۱ـ Electrochemistry



شکل ۳ـ برخی کاربردهای باتری

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

انجام واکنش با سفر الکترون

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

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

آیا می‌دانید

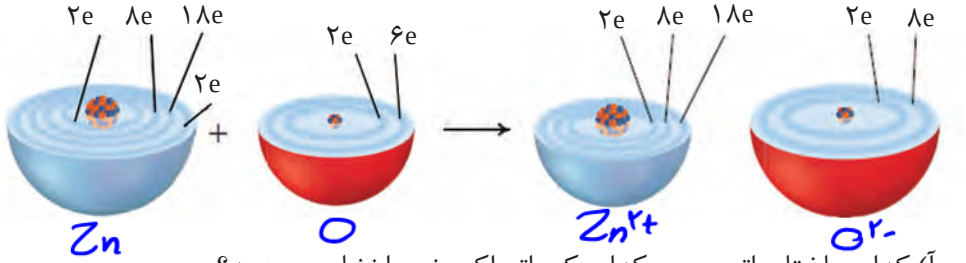
فاصله میان اندام‌های مصنوعی و واقعی هر روز کمتر و کمتر می‌شود و به لطف پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه ساخت باتری، روبات‌های کنترل‌شونده با مغز و هوش مصنوعی، اندام‌های مکانیکی به عضوی از بدن تبدیل می‌شوند.

چراغ خورشیدی یک ابزار روشنایی است که از لامپ[۱] LED، سلول[۲] خورشیدی و باتری[۳] قابل شارژ تشکیل شده است.

شکل ۴ـ باتری لیمویی

با هم بیندیشیم

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



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

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

پ) اگر گرفتن الکترون را **کاهش**[1] و از دست دادن الکترون را **اکسایش**[2] بنامیم، کدام گونه کاهش و کدام اکسایش یافته است؟

ت) شیمی‌دان‌ها هریک از فرایندهای گرفتن و از دست دادن الکترون را با یک **نیم‌واکنش**[3] نمایش می‌دهند که هر نیم‌واکنش باید از لحاظ جرم (اتم‌ها) و بار الکتریکی موازنه باشد.

اینک با قرار دادن شمار معینی الکترون، هریک از نیم‌واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

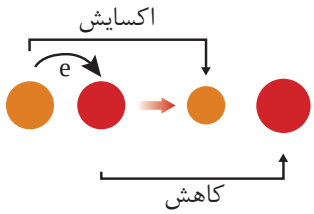
$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(s) + \ldots e^- \ldots$

$O_2(g) + \ldots e^- \ldots \rightarrow 2O^{2-}(s)$

ث) کدام یک از نیم‌واکنش‌های بالا، نیم‌واکنش اکسایش و کدام یک نیم‌واکنش کاهش را نشان می‌دهد؟ چرا؟

ج) ماده‌ای که با گرفتن الکترون سبب اکسایش گونهٔ دیگر می‌شود، **اکسنده**[4] و ماده‌ای که با دادن الکترون سبب کاهش گونهٔ دیگر می‌شود، **کاهنده**[5] نام دارد. در واکنش روی با اکسیژن، گونهٔ اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

دریافتید که در واکنش‌های اکسایش-کاهش، گونه‌های شیمیایی الکترون داد و ستد می‌کنند به‌طوری که برخی گونه‌ها با ازدست دادن الکترون اکسایش می‌یابند و در مقابل، برخی گونه‌ها با گرفتن الکترون کاهش می‌یابند.



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

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

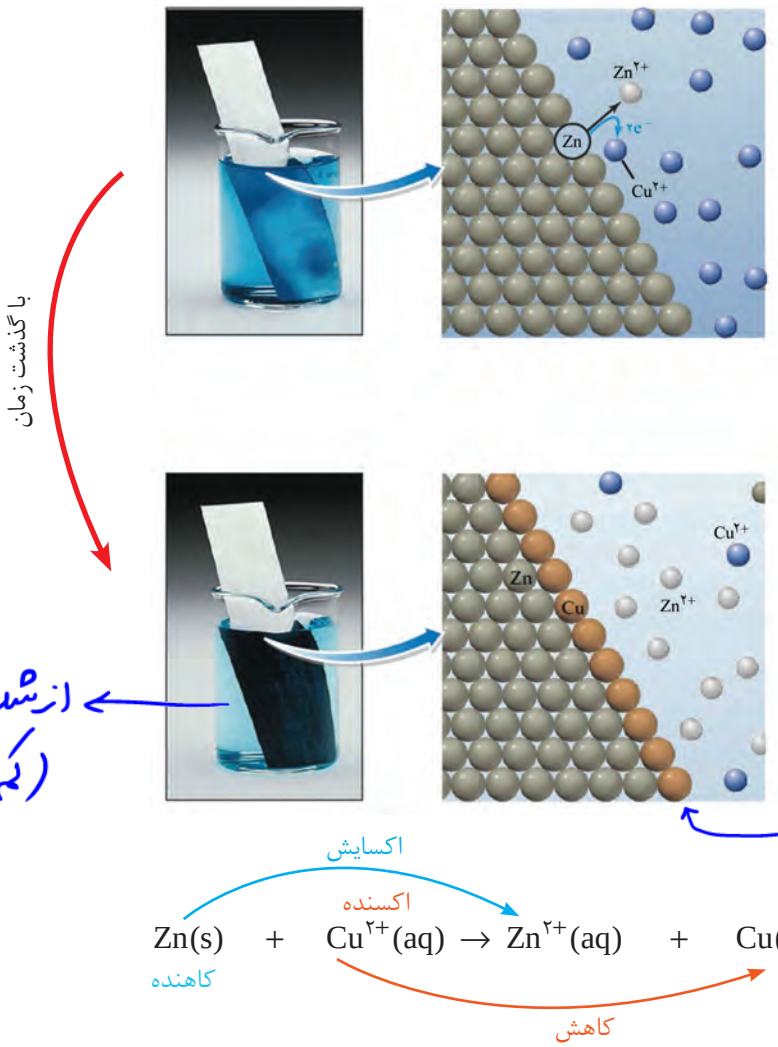
۱_ Reduction
۲_ Oxidation
۳_ Half-Reaction
۴_ Oxidant
۵_ Reductant

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

اکسنده کاهنده

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$$

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



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

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

خود را بیازمایید

۱ـ اغلب فلزها در واکنش با محلول اسیدها، گاز هیدروژن و نمک تولید می‌کنند. با توجه به این شکل که نمایی از این واکنش را نشان می‌دهد، به پرسش‌ها پاسخ دهید.

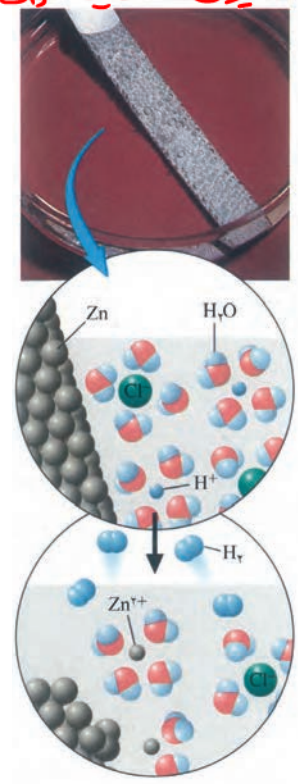
آ) کدام گونه اکسایش و کدام گونه کاهش یافته است؟ چرا؟

ب) نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش را بنویسید و موازنه کنید.

پ) نیم‌واکنش‌ها را با هم جمع کنید تا با حذف الکترون‌ها، معادله واکنش به‌دست آید.

ت) با خط زدن واژه نادرست در هر مورد، عبارت داده شده را کامل کنید.

در این واکنش، اتم‌های روی الکترون از دست می‌دهند / به دست می‌آورند و کاهش / اکسایش می‌یابند و سبب یون‌های هیدروژن می‌شوند، از این رو اتم‌های روی نقش اکسنده / کاهنده دارند. در حالی که یون‌های هیدروژن، الکترون از دست می‌دهند / به دست می‌آورند و کاهش / اکسایش می‌یابند و سبب اتم‌های روی می‌شوند، از این رو یون‌های هیدروژن نقش اکسنده / کاهنده دارند.



واکنش فلز روی با محلول هیدروکلریک‌اسید.

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

آ) $2Al(s) + 3Cu^{2+}(aq) \rightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3Cu(s)$

ب) $Cu^{2+}(aq) + Mn(s) \rightarrow Cu(s) + Mn^{2+}(aq)$

پ) $Zn(s) + 2V^{3+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2V^{2+}(aq)$

در میان تار نما ها

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

در گذشته برای عکاسی از سوختن منیزیم به عنوان منبع نور استفاده می‌شد. در این واکنش $Mg(s)$ با نور خیره‌کننده‌ای در $O_2(g)$ می‌سوزد و به $MgO(s)$ تبدیل می‌شود. در این واکنش گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

جاری شدن انرژی با سفر الکترون

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

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

$$2Al(s) + 3Cu^{2+}(aq) \longrightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3Cu(s)$$

شکل ۶- هنگامی که Al(s) درون $CuSO_4(aq)$ قرار گیرد، بر اثر واکنش اکسایش-کاهش، دمای محلول افزایش می‌یابد.

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

واکنش الیاف آهن با محلول مس(II) سولفات.

خود را بیازمایید

جدول زیر داده‌هایی را از قرار دادن برخی تیغه‌های فلزی درون محلول مس (II) سولفات در دمای ۲۰°C نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.

نام فلز	نشانه شیمیایی فلز	دمای مخلوط واکنش پس از مدتی (°C)
آهن	Fe	۲۳
طلا	Au	۲۰
روی	Zn	۲۶
مس	Cu	۲۰

تیغه مس در محلول روی سولفات پس از مدت طولانی تغییری نمی‌کند.

آ) تغییر دمای مخلوط واکنش نشان‌دهنده چیست؟

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

$$Fe(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow \ldots\ldots(aq) + \ldots\ldots(s)$$

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow \ldots\ldots(aq) + \ldots\ldots(s)$$

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

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

ث) پیش‌بینی کنید هرگاه تیغه مس درون محلول روی سولفات قرار گیرد، آیا واکنشی انجام می‌شود؟ چرا؟

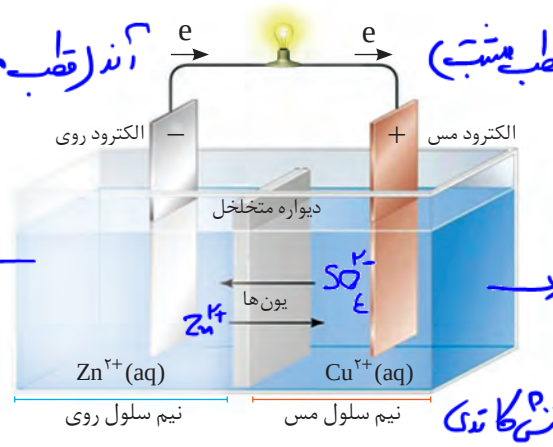
آموختید که تمایل فلزها برای از دست دادن الکترون در محلول‌های آبی یکسان نیست. به دیگر سخن فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند. برای نمونه فلز روی کاهنده‌تر از مس است. با این توصیف در یک واکنش اکسایش ـ کاهش، فلزی که قدرت کاهندگی بیشتری دارد، می‌تواند با برخی کاتیون‌های فلزی واکنش دهد و آنها را به اتم‌های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

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

واکنش‌های شیمیایی و سفر هدایت شده الکترون‌ها

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

شیمی‌دان‌ها در پژوهش‌ها دریافتند که هرگاه تیغه روی درون محلولی از روی سولفات (نیم سلول روی) و تیغه مس درون محلولی از مس (II) سولفات (نیم سلول مس)قرار گیرد و نیم‌سلول‌ها همانند شکل زیر به یکدیگر وصل شوند، الکترون‌ها در مدار بیرونی جابه‌جا شده و جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. جریانی که سبب روشن شدن لامپ خواهد شد. نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی منجر به ساخت **سلول گالوانی**[1] شد (شکل ۷).



شکل ۷ـ نمایی از سلول گالوانی Zn ـ Cu

۱ـ Galvanic Cell

آیا می‌دانید

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

آیا می‌دانید

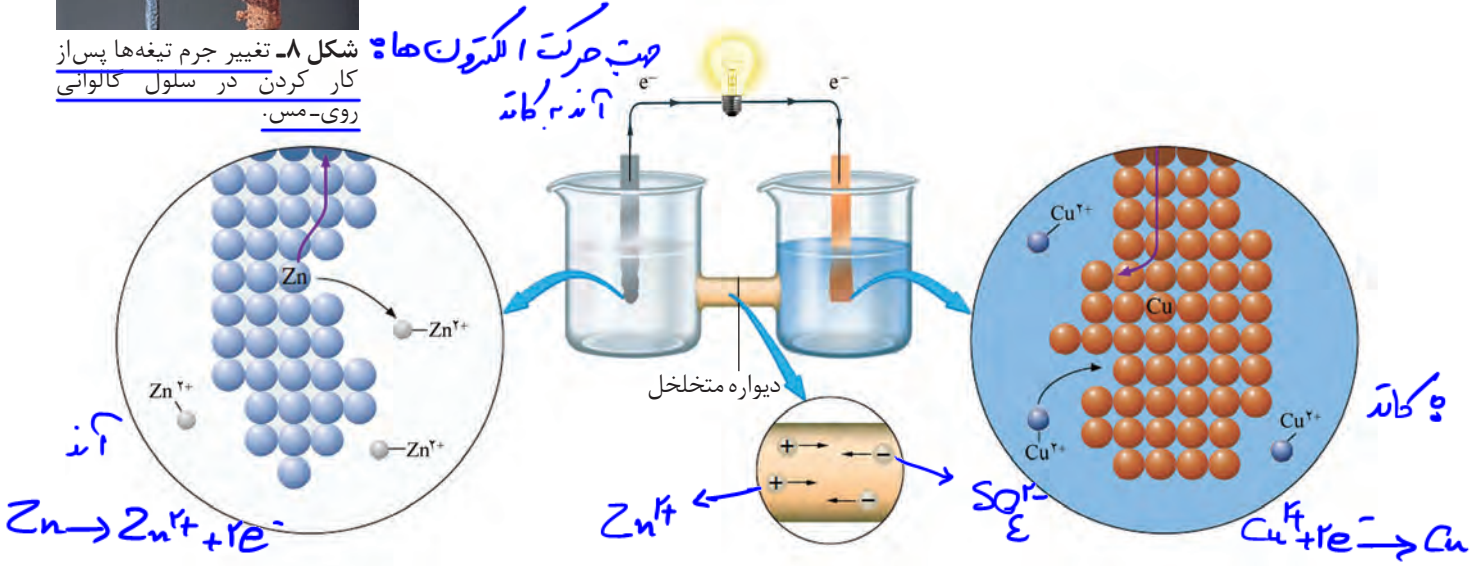
شواهد تاریخی نشان می‌دهد که ایرانیان باستان با ظرف‌های سفالی، قطعه‌هایی از فلزهای آهن و مس همراه با محلول نمک خوراکی یا سرکه، دستگاهی برای تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی ساخته بودند.

شکل ۸ـ تغییر جرم تیغه‌ها پس‌از کار کردن در سلول گالوانی روی-مس.

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

با هم بیندیشیم

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



آ) نیم‌واکنش‌های انجام شده در هر نیم سلول و واکنش کلی سلول را بنویسید.

ب) **آند**[۱] الکترودی است که در آن نیم‌واکنش اکسایش و **کاتد**[۲] الکترودی است که در آن نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد. با این توصیف، کدام الکترود نقش آند و کدام نقش کاتد را دارد؟

پ) در مدار بیرونی، حرکت الکترون‌ها در چه جهتی است؟ چرا؟

ت) توضیح دهید چرا پس از مدتی جرم تیغه روی کم و جرم تیغه مس زیاد شده است؟

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

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

۱ـ Anode
۲ـ Cathode

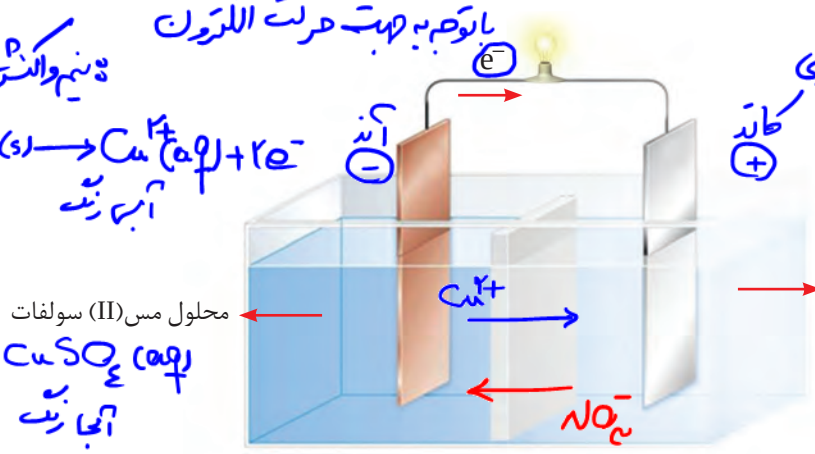
آیا می‌دانید

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

پیرامون الکترود آند، غلظت کاتیون روی از آنیون‌ها بیشتر شده اما در محلول پیرامون الکترود کاتد، غلظت آنیون‌ها از کاتیون مس بیشتر شود. جالب اینکه در عمل هیچگاه چنین پدیده‌ای رخ نمی‌دهد زیرا برای ادامه واکنش اکسایش ـ کاهش، محلول‌های موجود در هر دو ظرف باید از نظر بار الکتریکی خنثی بمانند. این مهم هنگامی امکان‌پذیر است که کاتیون‌ها از نیم‌سلول آند به کاتد و آنیون‌ها از نیم‌سلول کاتد به آند با گذر از دیواره متخلخل مهاجرت کنند.

خود را بیازمایید

شکل زیر سلول گالوانی مس ـ نقره (Cu ـ Ag) را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.



آ) علامت الکترودهای مس و نقره را مشخص کنید.

ب) نیم‌واکنش‌های انجام شده در آند و کاتد را بنویسید.

پ) با انجام واکنش، جرم الکترودها چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

ت) جهت حرکت یون‌ها را از دیواره متخلخل مشخص کنید.

با ساختار و شیوه کار سلول گالوانی آشنا شدید . سلولی که به دلیل تولید انرژی الکتریکی، ویژگی‌های یک باتری را دارد. با اینکه هر سلول گالوانی ولتاژ معینی دارد اما در آنها با تغییر هر یک از اجزای سلول، ولتاژ تغییر می‌کند. آیا می‌دانید این ولتاژ ناشی از چیست؟ چگونه می‌توان آن را اندازه‌گیری کرد؟

اگر در سلول گالوانی به‌جای لامپ، ولت‌سنج قرار گیرد، ولتاژی که ولت‌سنج نشان می‌دهد، اختلاف پتانسیل میان دو نیم‌سلول است. کمیتی که به **نیروی الکتروموتوری**[1] معروف است و با emf نمایش داده می‌شود. اینک می‌پرسید برای تعیین سهم هر یک از نیم سلول‌ها در ولتاژ سلول چه باید کرد؟

۱ـ Electromotive Force

اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول به‌طور جداگانه ممکن نیست و باید این کمیت به‌طور نسبی اندازه‌گیری شود. شیمی‌دان‌ها برای دستیابی به این هدف، نیم سلول استاندارد هیدروژن (SHE) را به‌عنوان مبنا انتخاب کردند و پتانسیل آن را برابر با صفر در نظر گرفتند. در ادامه با تشکیل سلول گالوانی از هر نیم سلول با SHE توانستند پتانسیل بسیاری از نیم‌سلول‌ها را اندازه‌گیری کرده و در جدولی ثبت کنند (جدول ۱). این اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۵°C، فشار ۱atm و غلظت یک مولار برای محلول الکترولیت‌ها انجام شده است. در این شرایط پتانسیل اندازه‌گیری شده را **پتانسیل استاندارد**[۱] نیم‌سلول می‌نامند و با E° نمایش می‌دهند.

جدول ۱ـ پتانسیل کاهشی استاندارد برای برخی نیم‌سلول‌ها

نیم‌واکنش کاهش		$E^\circ(V)$
$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow$	$Au(s)$	+۱/۵۰
$Pt^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Pt(s)$	+۱/۲۰
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow$	$Ag(s)$	+۰/۸۰
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Cu(s)$	+۰/۳۴
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow$	$H_2(g)$	۰/۰۰
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Sn(s)$	−۰/۱۴
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Fe(s)$	−۰/۴۴
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Zn(s)$	−۰/۷۶
$Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Mn(s)$	−۱/۱۸
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow$	$Al(s)$	−۱/۶۶
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow$	$Mg(s)$	−۲/۳۷

اکسنده قوی‌تر (کاتد) ↑

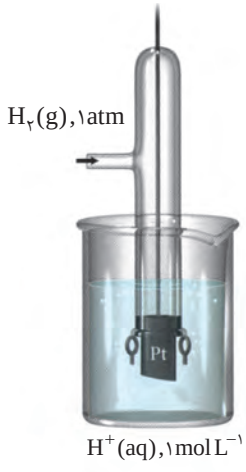
کاهنده قوی‌تر (آند) ↓

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

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

آیا می‌دانید

SHE شامل یک الکترود پلاتینی است که در محلولی با pH=۰ و دمای ۲۵°C قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار ۱atm از روی آن عبور داده می‌شود.



رتبه‌بندی فلزها براساس E° آنها در یک جدول، **سری الکتروشیمیایی** نامیده می‌شود.

آیا می‌دانید

هر یک از نیم‌واکنش‌های جدول E°، می‌تواند بسته به شرایط انجام واکنش کلی، در جهت رفت یا برگشت پیش بروند.

۱ـ Standard Potential

خود را بیازمایید

با استفاده از جدول ۱ مشخص کنید در سلول گالوانی ساخته شده از نقره و منیزیم :

آ) کدام الکترود آند و کدام کاتد خواهد بود؟ چرا؟

ب) نیم‌واکنش‌های انجام شده را بنویسید و واکنش کلی سلول را به‌دست آورید.

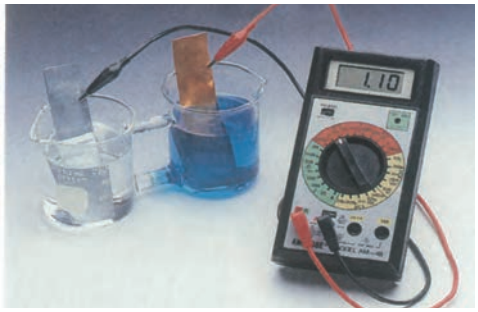
پیوند با ریاضی

۱ـ با مراجعه به جدول ۱، هریک از جاهای خالی را پر کنید.

$E^\circ(Cu^{2+}/Cu) = +0.34\ V$ $\qquad$ $E^\circ(Zn^{2+}/Zn) = -0.76\ V$

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

۳ـ شکل زیر سلول گالوانی استاندارد روی ـ مس را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:



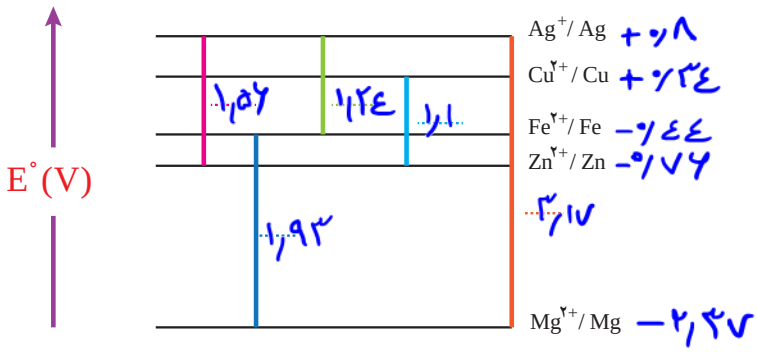
آ) emf این سلول را از روی شکل مشخص کنید.

ب) کدام رابطهٔ زیر برای محاسبه این کمیت به کار رفته است؟ توضیح دهید.

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

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

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



آیا می‌دانید

emf کمیتی از جنس انرژی است که آن را در فیزیک با نام نیروی محرکه الکتریکی شناختید. شیمی‌دان‌ها در منابع علمی معتبر آن را با $E^\circ_{\text{سلول}}$ نیز نشان می‌دهند.

ب) بیشترین E° کاتد - کمترین E° آند ← برای اینکه بیشترین اختلاف پتانسیل ایجاد شود.
(در مثال فوق: Ag ← کاتد و Mg ← آند)

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

E° مثبت‌تر ← کاتد E° منفی‌تر ← آند

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

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

$emf = E^\circ_{Au} - E^\circ_{Mg} = 1/5 - (-2/37) = 3/87\ (V)$

$$3Mg(s) + 2Au^{3+}(aq) \rightarrow 3Mg^{2+}(aq) + 2Au(s)$$

اکنده کاهنده

با واکنش‌های اکسایش ـ کاهش و کاربرد آنها در ساخت سلول‌های گالوانی آشنا شدید. سلول‌هایی که می‌توانند به عنوان باتری، منبع تولید انرژی الکتریکی باشند. باید توجه داشت که هر باتری، ساختاری مناسب برای کاربردی معین دارد. در ادامه با برخی از آنها آشنا خواهید شد.

پیوند با زندگی

لیتیم، فلزی ارزشمند برای ذخیره انرژی الکتریکی

اگر به پیرامون خود توجه کنید وسایلی را می‌یابید که با باتری کار می‌کنند. ساعت مچی و تلفن همراه از جمله وسایلی هستند که انرژی الکتریکی آنها با استفاده از باتری تأمین می‌شود. باتری‌هایی که در شکل، اندازه و کارایی با یکدیگر تفاوت آشکاری دارند اما در همه آنها با انجام شدن نیم‌واکنش‌های آندی و کاتدی، جریان الکتریکی در مدار بیرونی برقرار می‌شود.

با رشد و پیشرفت چشمگیر صنایع گوناگون هر روز نیاز و تقاضا پیوسته برای ساخت باتری‌ها با ویژگی‌های گوناگون و کاربرد معین افزایش یافته است. شیمی‌دان‌ها در پی پاسخ به این نیازها طی پژوهش‌های بسیاری توانستند به فناوری ساخت باتری‌های جدید دست‌یابند. در این فناوری، نقش فلز لیتیم پررنگ است زیرا لیتیم در میان فلزها، کمترین چگالی و E° را دارد. این ویژگی‌های لیتیم سبب شد راه برای ساخت باتری‌های سبک‌تر، کوچک‌تر و با توانایی ذخیره بیشتر انرژی هموار شود. باتری‌های لیتیمی از نوع دگمه‌ای در شکل‌ها و اندازه‌های گوناگون به‌کار می‌رود. دسته‌ای دیگر از باتری‌های لیتیمی آنهایی هستند که در تلفن و رایانه همراه به کار می‌روند و می‌توان آنها را بارها شارژ کرد (شکل ۹).

آیا می‌دانید

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

آیا می‌دانید

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

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

آیا می‌دانید

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

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

شکل ۹ـ نمونه‌هایی از باتری‌های لیتیمی

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

سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

سوخت‌های فسیلی رایج‌ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها به شمار می‌روند. ازاین رو استخراج و مصرف بی‌رویهٔ این سوخت‌ها سبب شده تا از ذخایر آنها به سرعت کاسته شود. از سوی دیگر گسترش روزافزون آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، جهان را با چالشی نگران‌کننده روبه‌رو کرده است. با این توصیف، یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی به ویژه در خودروها ضروری است. **سلول سوختی**[1] نوعی سلول گالوانی است که شیمی‌دان‌ها برای گذر از این تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط‌زیست پیشنهاد می‌دهند. این سلول‌ها افزون بر کارایی بیشتر می‌توانند ردپای کربن‌دی‌اکسید را کاهش دهند به‌طوری که دوستدار محیط زیست بوده و منبع انرژی سبز به شمار می‌روند.

۱ـ Fuel Cell

آیا می‌دانید

درسال ۱۸۳۹ ویلیام گرو فیزیک‌دان و روزنامه‌نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویک‌مند و چارلز لنجر برمی‌گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول‌های سوختی در سفینه‌های جیمینی و آپولو برای تهیهٔ الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دههٔ هفتاد میلادی فناوری سلول سوختی در وسایل خانگی و خودروها به‌کار گرفته شد. از دههٔ هشتاد به بعد شرکت بالارد کانادا زیردریایی مجهز به سلول سوختی را ساخت. پهپاد سلول سوختی در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکهٔ دوگانه (باتری خورشیدی و سلول سوختی) با توان شش ماه پرواز به بهره برداری رسید.