

## فصل ۲ شیمی ۱۲

آسایش و رفاه در سایه شیمی

تالیف و گرد آوری استاد زارع

مای درسی

گروه آموزشی عصر

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)

هُوَ الَّذِي يَرْيَكُمُ الْبَرْقَ خَوْفًا وَ طَمَعًا... (سوره رعد، آیه ۱۲)

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

اهمیت پدیده های طبیعی همچون تندر و آذرخش :

- ۱- بخشی از انرژی برق ممکن است به شکل انرژی الکتریکی میان سامانه واکنش و محیط پیرامون جاری شود.
- ۲- این پدیده ها که از ماهیت الکتریکی ماده سرچشمه می گیرند سبب شد تا تلاش برای شناسایی واکنش های که شامل داد و ستد الکترون هستند بصورت هدفمند دنبال شوند. واکنش هایی که مبنای تولید انرژی الکتریکی هستند.

نکته طلایی: تولید انرژی الکتریکی پاک و ارزان دستاوردی از دانش الکتروشمی است که در سایه فناوری های پیشرفته افزایش سطح رفاه و آسایش را در جهان به دنبال داشته است.

اهمیت دانش الکتروشمی:

- ۱- الکتروشمی افزون بر تهیه مواد جدید به کمک انرژی الکتریکی می تواند در راستای پیاده کردن اصول شیمی سبز گام بردارد.
- ۲- تولید انرژی مولد برق برای ساخت ابزارهای پزشکی و صنعتی، حمل و نقل ریلی، اتومبیل های هیبریدی، نیروی محرک اصلی کارخانه ها و صنایع سنگین بخصوص کوره های قوس الکتریکی صنعت ذوب آهن، و تصفیه آب و انتقال آب با پمپ های الکتریکی و خیل عظیمی از کاربردها تنها بخشی از کارکردهای استثنایی دانش الکتروشمی است. رشد دانش و پیشرفت فناوری، انجام فعالیت های فردی، اقتصادی، صنعتی و... را آسان تر کرده و افزایش سطح رفاه و آسایش را به دنبال داشته است. تأمین روشنایی، گرمایش و سرمایش آسان تر، حمل و نقل سریع تر و ایمن تر، درمان و کاهش اثر نقص عضو و انتقال ایمن آب آشامیدنی نیم رخی از افزایش سطح رفاه و آسایش را نشان می دهند (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه هایی از فناوری نه نفس الکتروشمی را در اسباب و رفاه نشان می دهند.

دو رکن اساسی تحقق این فناوری ها، دستیابی به مواد مناسب و تأمین انرژی است. می دانید که پرکاربردترین شکل انرژی در بکارگیری این فناوری ها انرژی الکتریکی است.

نکته طلایی تعریف کلیدی الکتروشیمی<sup>۱</sup>: شاخه ای از دانش شیمی است که در بهبود خواص مواد و تأمین انرژی نقش بسزایی دارد)

### الکتروشیمی



اندازه گیری و کنترل کیفی (اطمینان از کیفیت فرآورده)



تولید مواد (مانند برقکافت، آبکاری)



تأمین انرژی (باتری ها، سلول سوختی و سوخت آنها)

نکته طلایی: سه قلمرو مهم الکتروشیمی عبارت است از:

- ۱- تأمین انرژی (باتری ها و سلول های سوختی)
- ۲- تولید مواد شیمیایی با تکنیک الکترولیز یا برقکافت بخصوص در استخراج فلزات و آبکاری
- ۳- اندازه گیری و کنترل کیفی بخصوص برای سنجش غلظت یونها

باتری یکی از فرآورده های مهم صنعتی است که در محل مورد نیاز با انجام واکنش های شیمیایی، الکتروسیسته تولید می کند. برای نمونه تأمین انرژی الکتریکی برای تنظیم کننده ضربان قلب، سمک، تلفن همراه، اندام مصنوعی، دوربین دیجیتال، رایانه قابل حمل و خودروی الکتریکی به باتری وابسته است.



از سوی دیگر ساخت لوله های فلزی انتقال آب و قوطی های محتوی مواد غذایی و حتی لوازم آشپزی که در برابر خوردگی مقاوم هستند و مانع از آلوده شدن آب و مواد غذایی می شوند، همچنین کسب اطمینان از کیفیت تولید

<sup>۱</sup>. Electrochemistry

فرآورده های دارویی، بهداشتی، غذایی و... چهره ای دیگر از افزایش سطح رفاه و آسایش هستند. دستیابی به این موفقیت ها در گرو بهره گیری از دانش الکتروشیمی است.

نکته طلایی: یادآوری از کتاب شیمی ۷۴۷ دهم:

خوردگی کشتی ها و شناورها در طول سال هزینه های گزافی به کشورها وارد می کند اکنون میدانیم راه علمی کنترل و به حداقل رساندن این تلفات استفاده از تکنیک های الکتروشیمی است.

### آیا می دانید

فاصله میان اندامهای مصنوعی و واقعی هر روز کمتر و کمتر می شود و به لطف پیشرفتهای چشمگیر در زمینه ساخت باتری، رباتهای کنترل شونده با مغز و هوش مصنوعی، اندامهای مکانیکی به عضوی از بدن تبدیل می شوند. همچنین چراغ خورشیدی یک ابزار روشنایی است که از لامپ LED، سلول خورشیدی و باتری قابل شارژ تشکیل شده است. در این چراغ انرژی نورانی فوتون های خورشیدی تبدیل به انرژی الکتریکی می شود.

### انجام واکنش با سفر الکترون

از درس علوم به یاد دارید که یکی از راه های بهره گیری از انرژی ذخیره شده در فلزها، اتصال آنها در شرایط مناسب به یکدیگر است. برای نمونه با یک تیغه مسی و تیغه ای دیگر مانند روی و با میوه ای مانند لیمو می توان نوعی باتری ساخت و با آن یک لامپ LED را روشن کرد.



شکل ۴- باتری لیمویی

موتورسیکلت برقی نمونه ای از وسایلی است که با انرژی ذخیره شده در باتری کار می کند.

تعریف باتری: در واقع باتری، مولدی است که در آن واکنش های شیمیایی رخ می دهد 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 واکنش های درون باتری ها کمک خواهد کرد تا بتوان از واکنش های شیمیایی برای رفع نیازها به درستی بهره برد.

## آشنایی با اصول پایه ای الکتروشیمی:

- ✓ تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی و بالعکس، از طریق انجام واکنشهای «اکسایش - کاهش» امکان پذیر است.
- ✓ برای اکسایش و کاهش، سه تعریف مختلف ارائه شده است که در جدول زیر به هر یک اشاره شده است:

جدول مقایسه‌ای تعاریف مختلف «اکسایش - کاهش»

تعریف	اکسایش (عامل کاهنده)	منتقل می-شود	کاهش (عامل اکسنده)
۱	گرفتن اکسیژن (ترکیب با اکسیژن) $4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$ اکسایش یافته	اکسیژن	از دست دادن اکسیژن $CuO + C \rightarrow Cu + CO_2$ کاهش یافته
۲	از دست دادن هیدروژن $H_2S + Cl_2 \rightarrow 2HCl + S$ اکسایش یافته	هیدروژن	گرفتن هیدروژن (ترکیب با هیدروژن) $Cl_2 + H_2 \rightarrow 2HCl$ کاهش یافته
۳	از دست دادن الکترون (افزایش عدد اکسایش) $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ اکسایش یافته	الکترون	گرفتن الکترون (کاهش عدد اکسایش) $Fe^{3+} + 1e^- \rightarrow Fe^{2+}$ کاهش یافته

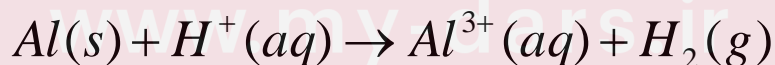
- ✓ هر واکنش «اکسایش - کاهش»، از دو نیم واکنش اکسایش و کاهش تشکیل شده است.
- ✓ در هر واکنش «اکسایش - کاهش» یک عنصر که اکسایش می‌یابد (اکسید می‌شود) عامل کاهنده است و هر عنصری که کاهش می‌یابد (کاهیده می‌شود) عامل اکسنده به حساب می‌آید. به عنوان مثال در واکنش زیر:



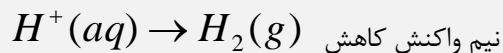
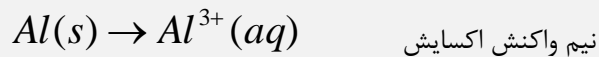
- ✓ فلز Mg، اکسیژن گرفته و اکسایش یافته است پس عامل کاهنده می‌باشد. Mg کاهندهی  $O_2$  است.
- ✓  $O_2$  کاهش یافته است پس اکسندهی Mg می‌باشد.
- ✓ ذره‌ی اکسنده، الکترون می‌گیرد و ذره‌ی کاهنده، الکترون از دست می‌دهد.

### موازنه‌ی واکنشهای «اکسایش - کاهش» از طریق: تنظیم نیم واکنشهای (OX-RED)

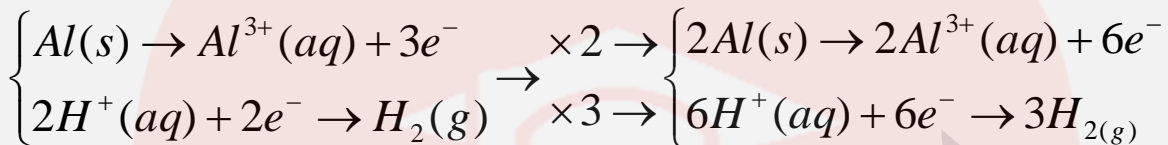
- ✓ در این روش با توجه به تغییر حالت‌های اکسایش و تعیین عنصرهای کاهش یافته و اکسایش یافته، معادله‌ی واکنش را به صورت دو نیم واکنش می‌نویسیم. سپس هر نیم واکنش را به طریق وارسی موازنه کرده و در نهایت آن دو نیم واکنش را با هم جمع می‌کنیم.
- مثال: معادله‌ی زیر را موازنه کنید.



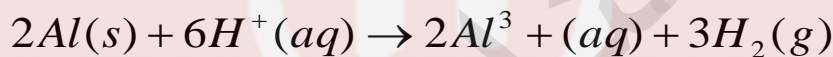
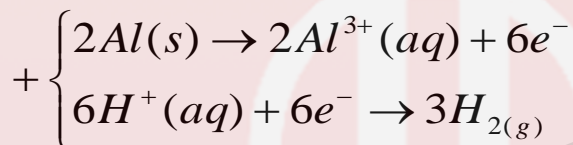
مرحله ۱: نوشتن واکنشهای اکسایش و کاهش



مرحله ی ۲:۷ با توجه به این که در واکنشهای «اکسایش- کاهش» تعداد الکترونهايي که از دست داده می شود، توسط عنصر دیگر گرفته می شوند، پس معادله ی هر نیم واکنش را در ضریب الکترونهايي معادله ی دیگر، ضرب می کنیم تا ضرایب الکترونها برابر شود.



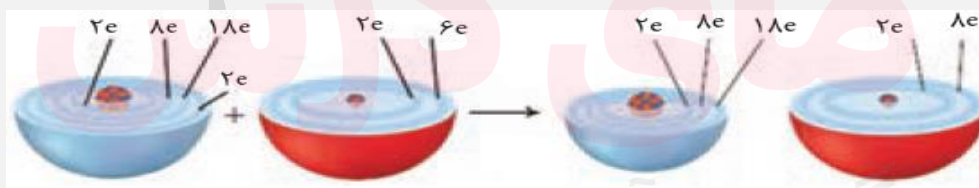
حال دو نیم واکنش را بعد از حذف کردن الکترونها از طرفین واکنش باهم جمع می کنیم:



✓ واکنشهای یونی «اکسایش- کاهش» را می توانید به روشی وارسی که در شیمی سال سوم یاد گرفته اید، موازنه نمایید. به طوری که علاوه بر موازنه ی اتم، مجموع بارهای الکتریکی دو طرف را هم می باید برابر نمود.

### با هم بیندیشیم

اکسیژن نافلز ی فعال است که با اغلب فلزها واکنش می دهد و آنها را به اکسید فلز تبدیل می کند، در حالیکه با برخی فلزها مانند طلا و پلاتین واکنش نمی دهد. شکل زیر الگوی ساده ای از واکنش بین اتم های روی و اکسیژن را با ساختار لایه ای اتم نشان می دهد.



(آ) کدام ساختار اتم روی و کدام یک اتم اکسیژن را نشان می دهد؟

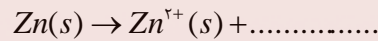
(ب) کدام اتم الکترون از دست داده و کدام الکترون گرفته است؟

(پ) اگر گرفتن الکترون را کاهش و از دست دادن الکترون را اکسایش بنامیم، کدام گونه کاهش و کدام اکسایش

یافته است؟

- . Reduction<sup>✓</sup>
- . Oxidation<sup>✓</sup>

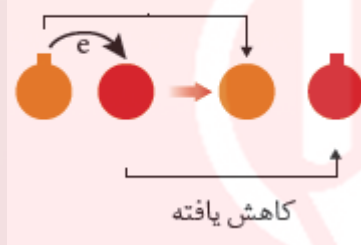
ت) شیمی دان ها هریک از فرایندهای گرفتن و از دست دادن الکترون را با یک نیم واکنش نمایش می دهند که هر نیم واکنش باید از لحاظ جرم (اتم ها) و بار الکتریکی موازنه باشد. اینک با قرار دادن تعداد معینی الکترون، هریک از نیم واکنش های زیر را موازنه کنید.



ث) کدام یک از نیم واکنش های بالا، نیم واکنش اکسایش و کدام یک نیم واکنش کاهش را نشان می دهد؟ چرا؟

ج) ماده ای که با گرفتن الکترون سبب اکسایش گونه دیگر می شود، اکسندۀ ماده ای که با دادن الکترون سبب

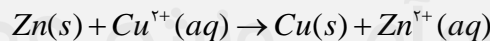
کاهش گونه دیگر می شود، کاهندۀ نام دارد. در واکنش روی اکسایش یافته مشخص کنید.



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

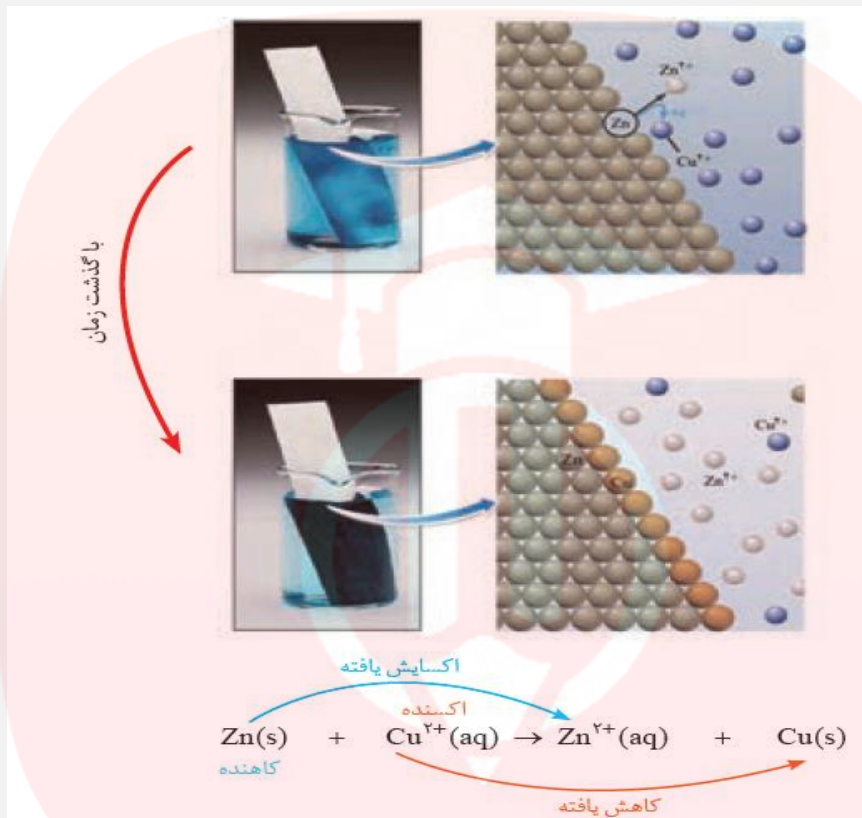
- اغلب فلزها در واکنش با نافلزها تمایل دارند یک یا چند الکترون خود را به نافلزها داده و ضمن اکسایش به کاتیون تبدیل شوند. نافلزها نیز با گرفتن یک یا چند الکترون کاهش یافته و به آنیون تبدیل می شوند. از این رو **فلزها اغلب کاهنده و نافلزها اغلب اکسندۀ هستند.**

دریافتید که در واکنش های اکسایش-کاهش، گونه های شیمیایی الکترون داد و ستد می کنند به طوری که برخی گونه ها با ازدست دادن الکترون اکسایش می یابند و در مقابل، برخی گونه ها با گرفتن الکترون کاهش می یابند. برای نمونه هرگاه تیغه ای از جنس روی درون محلول مس (II) سولفات آبی رنگ قرار گیرد، به تدریج از شدت رنگ محلول کاسته می شود. این تغییر رنگ نشان دهنده انجام واکنش شیمیایی زیر است.



در این واکنش اتم های خنثای روی (Zn) با از دست دادن دو الکترون به یون های روی ( $Zn^{2+}$ ) اکسایش یافته و هم زمان با آن، هر یون مس ( $Cu^{2+}$ ) با دریافت همان دو الکترون به اتم مس (Cu) کاهش می یابد. در واکنش هایی از این دست، فرآورده ها پایدارتر از واکنش دهنده ها هستند (شکل ۵).

- . Half-reaction<sup>۴</sup>
- . Oxidant<sup>۵</sup>
- . Reductant<sup>۶</sup>



بنابراین می توان نتیجه گرفت که در هر واکنش شیمیایی هنگامی که بار الکتریکی یک گونه (اتم، مولکول یا یون) مثبت تر می شود، آن گونه اکسایش یافته و گونه ای که بار الکتریکی آن منفی تر می شود، کاهش می یابد.

### خود را بیازمایید

۱- اغلب فلزها در واکنش با محلول اسیدها، گاز هیدروژن و نمک تولید می کنند. با توجه به شکل روبه رو که نمایی از

این واکنش را نشان می دهد، به پرسش ها پاسخ دهید.

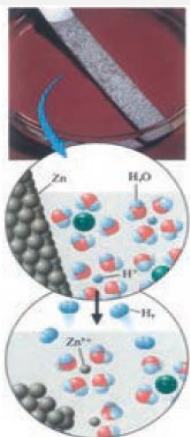
(آ) کدام گونه اکسایش و کدام گونه کاهش یافته است؟ چرا؟

(ب) نیم واکنش های اکسایش و کاهش را بنویسید و موازنه کنید.

(پ) نیم واکنش ها را با هم جمع کنید تا با حذف الکترون ها، معادله واکنش به دست آید.

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

در این واکنش، اتم های روی الکترون از دست داده و کاهش یافته اند و سبب کاهش یون اکسایش به دست آورده اکسایش اکسایش

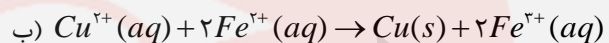
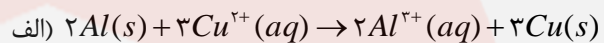


هیدروژن شده اند، از این رو اتم های روی نقش کاهنده دارند. در حالی که یون های هیدروژن، الکترون



از دست داده و  $\frac{\text{کاهش اکسایش}}{\text{کاهش اکسایش}}$  یافته اند و سبب  $\frac{\text{کاهش اکسایش}}{\text{کاهش اکسایش}}$  یون های روی شده اند، از این رو یون های به دست آورده  $\frac{\text{اکسنده کاهنده}}{\text{کاهنده}}$  هیدروژن نقش دارند.

۲- در هر یک از واکنش های زیر، گونه های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



- در گذشته برای عکاسی از سوختن منیزیم به عنوان منبع نور استفاده می شد. در این واکنش  $Mg(s)$  با نور خیره کننده ای در  $O_2(g)$  می سوزد و به  $MgO(s)$  تبدیل می شود. در این واکنش گونه های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

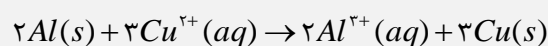
- واکنش فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید.

### تبادل انرژی در واکنشهای اکسایش و کاهش:

در برخی واکنش های اکسایش- کاهش افزون بر داد و ستد الکترون، انرژی نیز آزاد می شود. در شیمی ۱ دیدید که فلزهایی مانند منیزیم و سدیم در اکسیژن می سوزند، نور و گرما تولید می کنند. همچنین از واکنش میان فلزهایی مانند روی، آهن و آلومینیم با محلول مس (II) سولفات گرما آزاد می شود. شکل ۶ واکنش بین فلز آلومینیم با محلول مس (II) سولفات را همراه با معادله شیمیایی آن نشان می دهد.



شکل ۶- هنگامی که  $Al(s)$  درون  $CuSO_4(aq)$  قرار گیرد، بر اثر واکنش اکسایش- کاهش، دمای محلول افزایش می یابد. پس فرآیندی گرما ده داریم.



در واکنش بالا هر اتم آلومینیم سه الکترون از دست می دهد و اکسایش می یابد در حالیکه هر یون مس دو الکترون می گیرد و کاهش می یابد. با این توصیف بر اساس معادله موازنه شده واکنش چند الکترون میان اتم های آلومینیم و یون های مس داد و ستد می شود؟



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



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

خود را بیازمایید

جدول زیر داده هایی را از قرار دادن برخی تیغه های فلزی درون محلول مس (II) سولفات در دمای  $20^{\circ}C$  نشان می دهد. با توجه به آن به پرسش ها پاسخ دهید.

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

آ) تغییر دمای مخلوط واکنش نشان دهنده چیست؟

ب) هر یک از واکنش های زیر را کامل کرده سپس گونه های کاهنده و اکسنده را مشخص کنید.



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

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

ث) پیش بینی کنید هرگاه تیغه مس درون محلول روی سولفات قرار گیرد، آیا واکنشی انجام می شود؟ چرا؟

## آیا می دانید

آلساندرو ولتا، سلول ولتا را ابداع کرد. سلولی که از صفحه های دایره ای شکل از جنس مس و روی تشکیل شده و به صورت یک در میان روی هم قرار گرفته اند و بین آنها کاغذی آغشته به محلول نمک خوراکی وجود دارد. نمک خوراکی در اینجا نقش الکترولیت را دارد.

نکته طلایی: دقت کنید که تمایل فلزها برای از دست دادن الکترون در محلول های آبی یکسان نیست. به دیگر سخن فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند. برای نمونه فلز روی کاهنده تر از مس است. با این توصیف در یک واکنش اکسایش کاهش، فلزی که قدرت کاهندگی بیشتری دارد، می تواند با برخی کاتیون های فلزی واکنش دهد و آنها را به اتم های فلزی بکاهد.

توجه کنید که: در واکنش های اکسایش و کاهش، مخلوط واکنش گرم می شود زیرا سامانه واکنش بخشی از انرژی خود را به شکل گرما به محیط می دهد.

### واکنش های شیمیایی و سفر هدایت شده الکترون ها

برای ایجاد جریان الکتریکی باید الکترون ها را از یک مسیر معین عبور داد یا از نقطه ای به نقطه دیگر جابه جا نمود. اگر به جای داد و ستد مستقیم الکترون بین گونه های اکسایش و کاهش یافته در یک واکنش، بتوان الکترون ها را از طریق یک مدار بیرونی هدایت و جابه جا کرد آنگاه می توان بخشی نه همه آزاد شده در واکنش اکسایش-کاهش را به شکل انرژی الکتریکی در دسترس تبدیل نمود. آیا می دانید برای دستیابی به این هدف چه تغییری باید در شرایط و چگونگی انجام یک واکنش اکسایش کاهش صورت گیرد؟

شیمیدان ها در پژوهش ها دریافته اند که هرگاه تیغه روی درون محلولی از روی سولفات (نیم سلول روی) و تیغه مس درون محلولی از مس (II) سولفات (نیم سلول مس) قرار گیرد و نیم سلول ها همانند شکل صفحه بعد به یکدیگر وصل شوند، الکترون ها در مدار بیرونی جابه جا شده و جریان الکتریکی ایجاد می شود. جریانی که سبب روشن شدن لامپ خواهد شد. نتایج حاصل از چنین پژوهش هایی منجر به ساخت سلول گالوانی<sup>۷</sup> شد (شکل ۷).

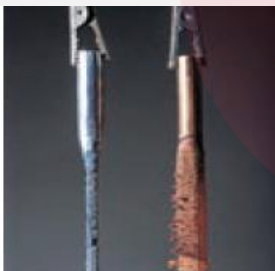
www.my-dars.ir

<sup>۷</sup> Galvanic Cell

شکل ۷- نمایی از سلول گالوانی Zn-Cu

**آیا می دانید**

شواهد تاریخی نشان می دهد که ایرانیان باستان با ظرف های سفالی، قطعه هایی از فلزهای آهن و مس همراه با محلول نمک خوراکی یا سرکه، دستگاهی برای تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی ساخته بودند. اگر پس از انجام واکنش، تیغه های 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).



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

مای دارس  
گروه آموزشی عصر

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)

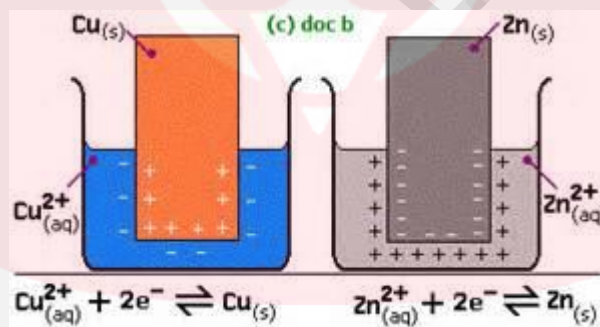
## مفهوم الکتروود و نیم سلول

✓ هنگامی که یک رسانای الکترونی (فلزی) در تماس با یک رسانای یونی (محلول الکترولیت) قرار گیرد، مجموعه‌ی حاصل را «نیم سلول» می‌گویند.



## نیم سلولهای مس و روی

✓ نیم سلول روی: به محض وارد کردن تیغه ی روی و مس در محلول آبی یون های روی، تعادلهای زیر برقرار می شود:



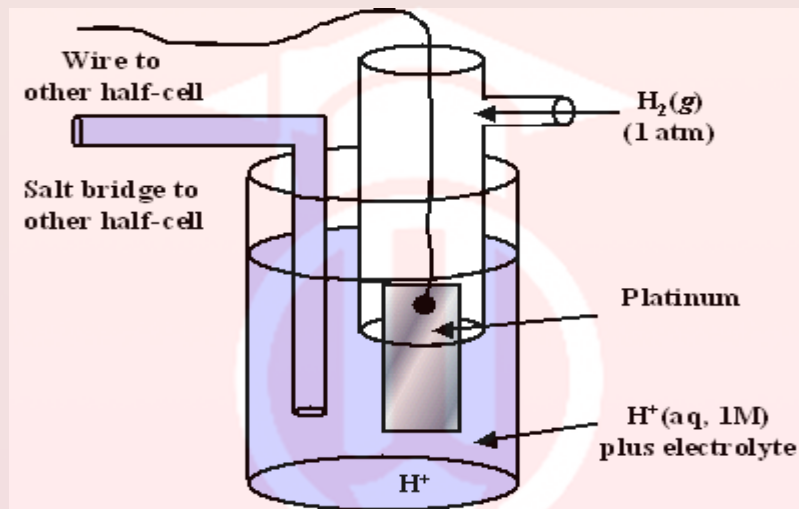
✓ هر الکتروود شامل تیغه‌ای فلزی است که در داخل محلول حاوی کاتیونهای آبپوشیده‌ی خود قرار دارد.  
✓ پتانسیل الکتروودی: اختلاف پتانسیل بین تیغه و محلول دارای کاتیون آن را «پتانسیل الکتروودی» می‌گویند که در واقع یک اختلاف ولتاژ است.

✓ بسته به نوع فلز ممکن است پتانسیل تیغه نسبت به محلول (در هر نیم سلول)، مثبت یا منفی باشد:  
✓ فلزهایی که در سری الکتروشیمیایی بالای هیدروژن قرار دارند، فلزهای فعال محسوب شده و در نیم سلول آنها تیغه نسبت به محلول، منفی است. مثل: نیم سلول  $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$ . (مطابق شکل بالا)  
✓ فلزهایی که در سری الکتروشیمیایی زیر هیدروژن قرار دارند، تیغه‌ی الکتروود آنها نسبت به محلول، بار مثبت دارد. مثل: نیم سلول  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$ . (مطابق شکل بالا)

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)

## الکتروستندارد هیدروژن (SHE)

✓ از آن جایی که اندازه گیری پتانسیل یک الکتروست، به طور جداگانه امکان پذیر نیست، شیمییدانها تصمیم گرفتند که برای حل این مشکل یک نیم سلول استاندارد را به عنوان مینا انتخاب کنند و مقدار پتانسیل آن را برابر صفر در نظر بگیرند. این نیم سلول استاندارد، الکتروستندارد هیدروژن (SHE) است.



سلول استاندارد هیدروژن

✓ برای SHE، ویژگیها و شرایط زیر را در نظر میگیرند:

۱. جنس تیغه از فلز پلاتین (Pt) است.
۲. محلول الکترولیت شامل هیدروکلریک اسید (HCl) یک مولار، با  $PH = 0$  است.
۳. گاز هیدروژن با فشار  $1 atm = 760 mmHg = 101325 Pa$  وارد محلول شود.
۴. در SHE تعادل زیر برقرار است:



۵. در همه‌ی دماها، پتانسیل الکتروست SHE برابر  $0/00$  ولت در نظر میگیرند.

پس پتانسیل استاندارد، یک کمیت نسبی است.

## جدول ۱- پتانسیل کاهش استاندارد برای برخی نیم سلول ها

نیم واکنش 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
$Fe^{2+} (aq) + 2e^{-} \rightarrow Fe (s)$	- 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

همان گونه که مشاهده می کنید در این جدول، نیم واکنش ها به شکل کاهش نوشته شده اند و این پیشنهاد آیوپاک است که برای هماهنگی در منابع علمی معتبر به کار می رود. در هر نیم واکنش، الکترون ها در سمت چپ و گونه کاهش یافته در سمت راست قرار می گیرد. به دیگر سخن گونه کاهش یافته در سمت راست و گونه اکسند در سمت چپ نوشته می شود. در این جدول علامت  $E^{\circ}$  فلزهایی که قدرت کاهش بیشتری از  $H_2$  دارند، منفی و علامت  $E^{\circ}$  فلزهایی که قدرت کاهش کمتری از  $H_2$  دارند، مثبت است.

### سری الکتروشیمیایی و کاربردهای $E^{\circ}$

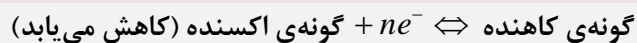
#### مفهوم $E^{\circ}$

✓ رتبه بندی فلزها به ترتیب کاهش  $E^{\circ}$  آنها در یک جدول، سری الکتروشیمیایی نامیده می شود.

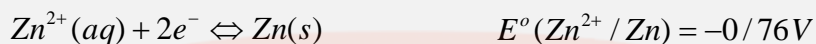
✓ پتانسیل الکترودی استاندارد را با نماد  $E^{\circ}$  نشان می دهند. به  $E^{\circ}$  سلول ها، نیروی الکتروموتوری (emf) گفته می شود.

✓ پتانسیل الکترودی استاندارد نیم سلول هیدروژن ( $2H^{+} / H_2$ ) در هر دمایی به عنوان مبنا و صفر در نظر گرفته می شود.

✓  $E^{\circ}$ ؛ عددی بر حسب ولت است که نشان دهنده میزانی است که برای جذب الکترون و کاهش یافتن است.



✓ بنا به قرار داد؛ پتانسیل الکترودی استاندارد را به صورت پتانسیل کاهش می‌گیریم و آن را با نماد  $E^{\circ}$  نشان می‌دهیم. به عنوان مثال پتانسیل الکترودی استاندارد چند عنصر در زیر معرفی می‌شود:



✓ توصیه می‌شود مقدار عددی  $E^{\circ}$ ، پنج نیم واکنش فوق حفظ شوند.

مفهوم علامت  $E^{\circ}$ :

$E^{\circ} < 0$ ؛ نشان دهنده‌ی تمایل کمتر گونه، برای کاهش یافتن در مقابل  $\text{H}^{+}$  است، به عبارتی عنصری که  $E^{\circ}$  منفی دارد برای کاهش یافتن در برابر  $\text{H}^{+}$ ، اکسایش می‌یابد و برنده‌ی کاهش یافتن،  $\text{H}^{+}$  است.

یعنی هیدروژن در مقابل این گونه صددرصد احیا می‌شود.

$E^{\circ} > 0$ ؛ نشان دهنده‌ی تمایل بیشتر گونه، برای کاهش یافتن در مقابل  $\text{H}^{+}$  است. در میدان الکترونی برای کاهش یافتن، عنصر با  $E^{\circ}$  مثبت برنده می‌شود و هیدروژن اکسایش می‌یابد. عنصر با  $E^{\circ}$  مثبت نسبت به هیدروژن، اکسندتر است.

یعنی هیدروژن در مقابل این گونه صددرصد اکسایش می‌یابد.

☞ نکته: هر چه  $E^{\circ}$  بزرگتر (مثبت‌تر) باشد، تمایل گونه‌ی سمت چپ در نیم واکنشها، برای کاهش یافتن و اکسند بودن بیشتر است.

$E^{\circ}$  بزرگتر = کاهش راحت‌تر = اکسندگی قویتر

☞ نکته: هر چه  $E^{\circ}$  کوچکتر (منفی‌تر) باشد، گونه‌ی سمت راست نیم واکنشها کاهنده‌ی قوی‌تری است.

$E^{\circ}$  کوچکتر = اکسایش راحت‌تر = کاهنده‌ی قویتر

سری الکتروشیمیایی

✓ اگر فلزها (و سایر عنصرها) را به ترتیب افزایش پتانسیل کاهش استاندارد ( $E^{\circ}$ )، رتبه بندی کنیم، مجموعه‌ی سودمندی به نام «سری الکتروشیمیایی» به دست می‌آید. در سری الکتروشیمیایی؛ عنصرهایی که  $E^{\circ}$  کمتر (منفی‌تر) دارند در بالای جدول و عنصرهای با  $E^{\circ}$  بزرگتر، در پایین سری قرار می‌گیرند.

✓ در سری الکتروشیمیایی؛ هیدروژن در میانه‌های جدول، عنصرهایی که  $E^{\circ}$  منفی دارند در بالای هیدروژن و عنصرهای با  $E^{\circ}$  مثبت، در زیر هیدروژن قرار می‌گیرند.

نکته طلایی: فلزهایی که  $E^{\circ}$  منفی دارند با هیدروکلریک اسید (HCl) وارد واکنش می‌شوند. بنابراین نمی‌توان محلول HCl را درون ظرفهایی نگه داری کرد که فلز سازنده‌ی آن‌ها،  $E^{\circ}$  منفی دارد.



✓ کمترین  $E^{\circ}$  مربوط به فلز لیتیم (Li) است، پس این فلز کاهنده‌ترین و اکسایش یافتنی‌ترین عنصر سری است. هر عنصری که در برابر لیتیم قرار گیرد، کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار  $E^{\circ}$  مربوط به گاز فلوئور ( $F_2$ ) است  $F_2(g)$  اکسندۀ ترین و کاهش یافتنی‌ترین عنصر جدول سری الکتروشیمیایی است. هر عنصری که در برابر  $F_2$  قرار گیرد، اکسایش می‌یابد. فلز لیتیم، (Li) قوی‌ترین کاهنده و گاز فلوئور ( $F_2$ )، قوی‌ترین اکسندۀ، است.

### کاربردهای $E^{\circ}$ و سری الکتروشیمیایی

✓ با داشتن مقادیر  $E^{\circ}$  عنصرها می‌توان واکنش‌پذیری آنها را با هم مقایسه کرد. هم چنین می‌توان انجام پذیر بودن یا نبودن واکنش میان آنها را پیش بینی کرد.

### جدول کاربردهای $E^{\circ}$

کاربردهای $E^{\circ}$	توضیح و مثال
مقایسه‌ی واکنش‌پذیری فلزها	فلز با $E^{\circ}$ منفی‌تر، فعالیت شیمیایی (واکنش‌پذیری) بیشتری دارد. $E^{\circ}_{Mg^{2+}/Mg} = -2/38V$ و $E^{\circ}_{Al^{3+}/Al} = -1/66V$ در نتیجه: $Mg > Al$ : فعالیت شیمیایی
مقایسه‌ی فعالیت شیمیایی نافلزها	نافلز با $E^{\circ}$ مثبت‌تر، فعالیت شیمیایی بیشتری دارد. $E^{\circ}_{F_2/2F^{-}} = +2/87V$ و $E^{\circ}_{Br_2/2Br^{-}} = +1/07V$ در نتیجه: $F_2 > Br_2$ : فعالیت شیمیایی
مقایسه‌ی قدرت اکسندگی و کاهندگی عنصرها	گونه‌ای که $E^{\circ}$ بزرگ‌تر (مثبت‌تر) دارد، راحت‌تر کاهش می‌یابد و اکسندۀ قوی‌تری است. یون $Ag^{+}$ ( $E^{\circ} = 0/80V$ ) نسبت به $Cu^{2+}$ ( $E^{\circ} = 0/34V$ ) اکسندۀ قوی‌تری است.
تشخیص قطب کاتد و آند سلول‌های الکتروشیمیایی گالوانی	عنصر با $E^{\circ}$ مثبت‌تر (بزرگ‌تر)، قطب کاتد سلول‌های گالوانی را تشکیل می‌دهد و کاهش می‌یابد. بین فلزهای Ag و Cu، فلز Ag قطب کاتد را تشکیل می‌دهد. ( $E^{\circ}$ نقره از مس بزرگ‌تر است).
محاسبه‌ی ولتاژ تولیدی سلول‌ها ( $E^{\circ}$ )	با استفاده از رابطه‌ی: آند $E^{\circ}$ - کاتد $E^{\circ}$ = سلول $E^{\circ}$ می‌توان ولتاژ تولید شده از یک سلول گالوانی را محاسبه کرد. سلول گالوانی «مس-نقره» دارای ولتاژی برابر با $0/4V$ ولت است: $E^{\circ}_{سلول} = E^{\circ}_{Ag} - E^{\circ}_{Cu} = 0/81 - 0/34 = 0/47V$
پیش‌بینی انجام پذیر بودن یا انجام ناپذیر بودن یک واکنش	با استفاده از رابطه‌ی: عنصر اکسایش یافته $E^{\circ}$ - عنصر کاهش یافته $E^{\circ}$ = واکنش $E^{\circ}$ می‌توان انجام پذیر بودن یا نبودن یک واکنش را پیش‌بینی نمود. اگر $E^{\circ}$ واکنش مثبت بود، واکنش انجام پذیر و اگر منفی بود، واکنش در جهت برگشت، انجام پذیر است. به عنوان مثال، واکنش زیر انجام پذیر است. $Zn_{(s)} + CuCl_{2(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + Cu(s)$ و انجام پذیر است $E^{\circ} > 0$ واکنش $E^{\circ} = 0/34 - (-0/76) = 1/10V$ واکنش $E^{\circ}$
حفاظت کاتدی	عنصری که $E^{\circ}$ بزرگ‌تر (مثبت‌تر) دارد نقش کاتد را ایفا کرده و محافظت می‌شود. عنصر با $E^{\circ}$ کمتر نیز نقش آند را داشته و دچار خوردگی می‌شود.

مثال: با توجه به این که در جدول پتانسیل کاهش استاندارد منگنز بالاتر از آهن و مس پایین‌تر از هیدروژن جای دارد، می‌توان دریافت که:

(۱)  $Cu^{2+}(aq)$ ، اکسندتر از  $Mn^{2+}(aq)$  است.

(۲)  $Fe(s)$ ، کاهنده‌تر از  $Mn(s)$  است.

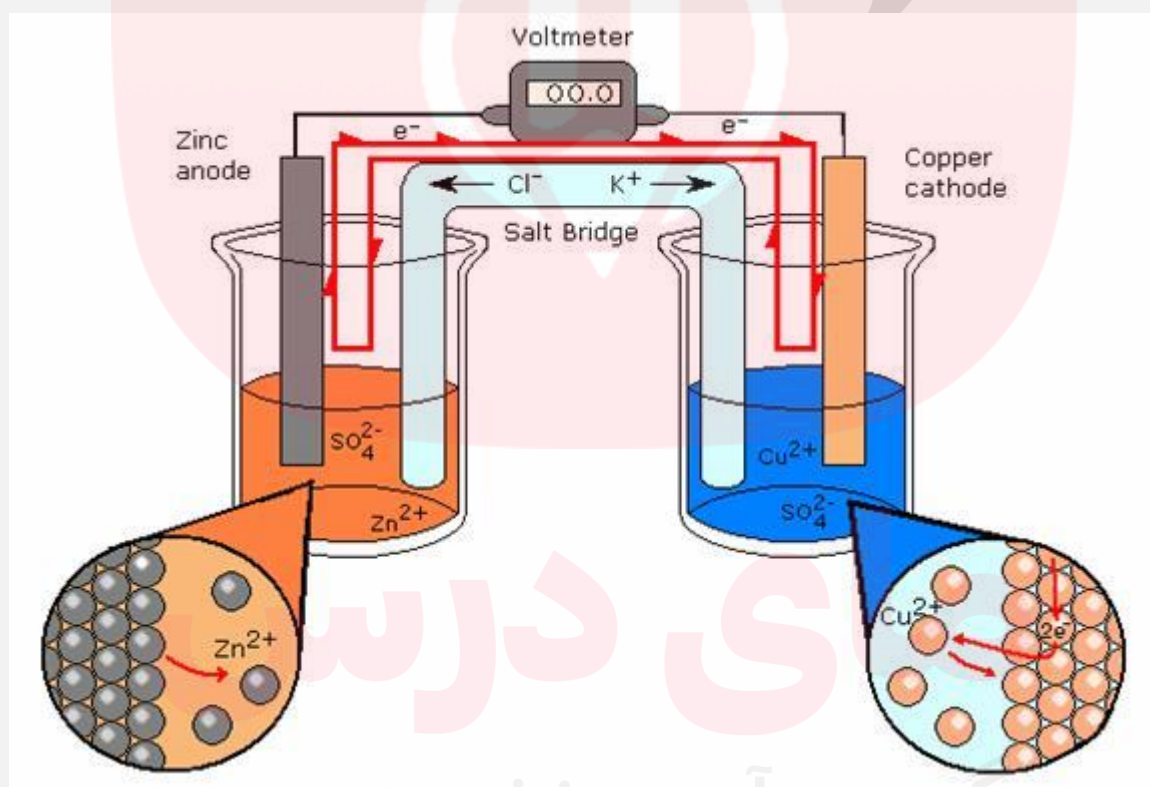
(۳) محلول نمکهای مس را می‌توان در ظرف آهنی نگه داری کرد.

(۴)  $E^o$  سلول ولتایی «منگنز-مس» از  $E^o$  سلول ولتایی «منگنز-آهن» کوچکتر است.

پاسخ: مس در جایگاه پایینتری قرار دارد. پس  $Cu$  اکسید شونده‌ی ضعیف‌تر و  $Cu^{2+}$  کاهش یابنده یا اکسندگی قویتری است. پس گزینه ی یک پاسخ صحیح است.

### سلولهای الکتروشیمیایی

✓ هر سلول الکتروشیمیایی، از دو نیم سلول کاهش و اکسایشی تشکیل شده است.



شکل یک سلول الکتروشیمیایی

✓ در نیم سلول آندی، نیم واکنشی اکسایش روی، انجام می‌گیرد:  $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$  و در نیم سلول

کاتدی، نیم واکنش کاهش مس، انجام می‌شود:  $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

✓ چون  $E^o$  مس از  $E^o$  روی بزرگتر است، الکتروود مس، قطب کاند (+) سلول را تشکیل می‌دهد.

✓ جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی سلول، از آند به سمت کاتد است.

- ✓ جهت حرکت آنیون‌ها در مدار داخلی و در پل نمکی، از نیم سلول کاتدی به سمت نیم سلول آندی است.
- ✓ جهت حرکت کاتیون‌ها در نیم سلول‌ها و در پل نمکی، برخلاف جهت حرکت آنیون‌هاست.

### نکات طلایی

✓ **آند:** الکترودی است که در آن نیم واکنش اکسایش، رخ می‌دهد. کاتد؛ هم الکترودی است که نیم واکنش کاهش در سطح الکتروود آن، رخ می‌دهد.

✓ با کار کردن سلول، به مرور زمان، از جرم تیغه‌ی آندی کاسته و بر جرم تیغه‌ی کاتدی افزوده می‌شود.

✶ **نکته:** با کار کردن سلول و به مرور زمان بر غلظت کاتیون‌ها در نیم واکنش آندی افزوده و از غلظت کاتیون‌ها در نیم واکنش کاتدی، کاسته می‌شود.

✓ **نقش پل نمکی،** کامل کردن مدار الکتریکی سلول است. پل نمکی با به جریان انداختن گونه‌های باردار بین دو محلول الکترولیت، باعث ادامه‌ی کار سلول می‌شود. در پل نمکی، آنیون‌ها به سمت آند و کاتیون‌ها به سمت کاتد مهاجرت می‌کنند.

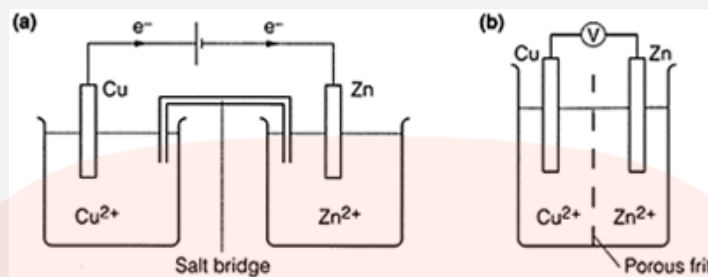
### ✓ انواع پل نمکی:

۱. لوله‌ی U شکل حاوی محلول سیر شده‌ای از یک نمک ۱۰٪ یونیده شده مثل:  $KNO_2$ ,  $KCl$  و ... .
۲. کاغذ صافی آغشته شده به محلول سیر شده‌ای از یک نمک ۱۰٪ یونیده شده مثل:  $KCl$ ,  $KNO_3$  و ..
۳. 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.

### انواع سلول‌های الکتروشیمیایی

✓ سلول‌های الکتروشیمیایی را به دو دسته گالوانی و الکترولیتی، طبقه بندی می‌کنند.

انواع سلول‌های الکترولیتی (برقکافت) عبارتند از:	انواع سلول‌های گالوانی (ولتایی) عبارتند از:
۱- دستگاه برقکافت محلولها	۱- گالوانی نوع اول (غیرقابل شارژ):
۲- سلول دانز (برقکافت سدیم کلرید مذاب)	- سلول‌های غلظتی
۳- دستگاه آبکاری با فلزها	- سلول‌های سوختی
۴- سلول‌های خالص سازی (پالایش) الکتروشیمیایی	- سلول‌های گالوانی استاندارد
۵- سلول استخراج آلومینیم به روش هال	- سلول‌های مربوط به خوردگی فلزها (آهن، قلع، گالوانیزه و...)
	۲- گالوانی نوع دوم (قابل شارژ):
	- باتری‌های تر (باتری خودرو = باتری انباره ای)
	- باتری‌های خشک، نیکل - کادمیم (باتری موبایل و دوربین)



کانال تلگرام کام به کام کل دروس  
@DAVAAZDAHOM

### جدول مقایسه‌ای سلولهای گالوانی و الکترولیتی

سلولهای الکترولیتی (برقکافت)	سلولهای گالوانی (ولتایی)
<p>۱- از یک سلول واحد، تشکیل شده است.</p> <p>۲- انرژی الکتریکی را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند.</p> <p>۳- واکنش «اکسایش- کاهش» غیر خودبه خودی و به کمک باتری انجام می‌شود و انرژی‌گیر است.</p> <p>۴- سطح انرژی فرآورده‌ها بالاتر از واکنش دهنده هاست.</p> <p>۵- فاقد پل نمکی و دارای منبع تغذیه (باتری) است.</p> <p>۶- آند قطب (+) و کاتد قطب (-) است.</p> <p>۷- نیم واکنش اکسایش در آند و کاهش در کاتد روی می‌دهد.</p> <p>۸- جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی از آند به کاتد است.</p>	<p>۱- از ۲ نیم سلول مستقل، تشکیل شده است.</p> <p>۲- انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند.</p> <p>۳- واکنشهای «اکسایش- کاهش» به طور خودبه خودی انجام می‌شوند، و انرژی ده است.</p> <p>۴- سطح انرژی فرآورده‌ها پایینتر از واکنش دهنده‌هاست.</p> <p>۵- دارای پل نمکی و مصرف کننده‌ی برق (مثل لامپ) است.</p> <p>۶- کاتد قطب (+) و آند قطب (-) است.</p> <p>۷- نیم واکنش اکسایش در آند و کاهش در کاتد روی می‌دهد.</p> <p>۸- جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی از آند به کاتد است.</p>

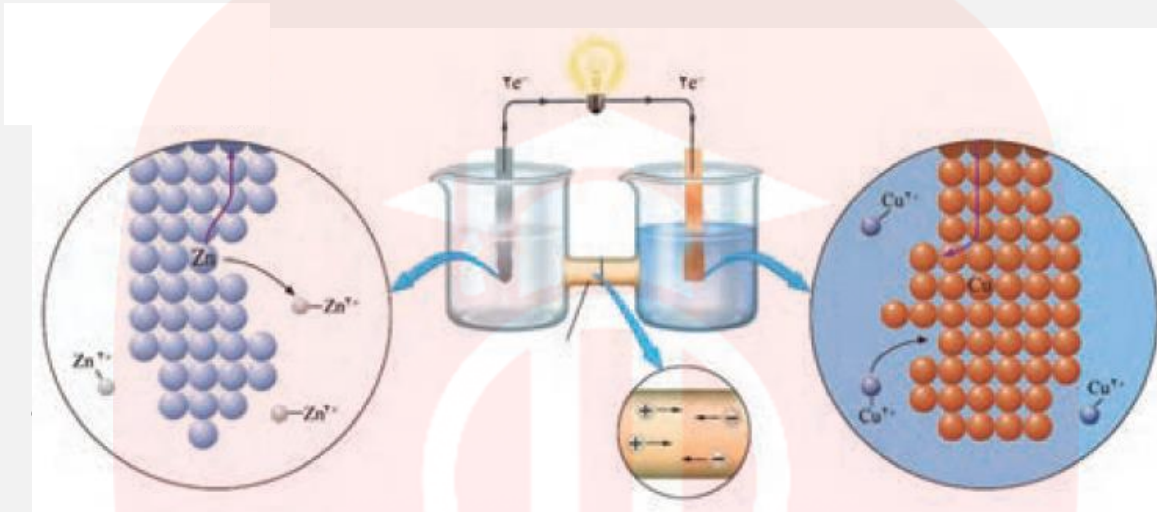
مای داریس

گروه آموزشی عصر

www.my-dars.ir

## با هم ببیندیشیم

شکل زیر نمای ذره ای از سلول گالوانی روی- مس (Zn-Cu) را نشان می دهد. با توجه به آن به پرسش ها پاسخ دهید.



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

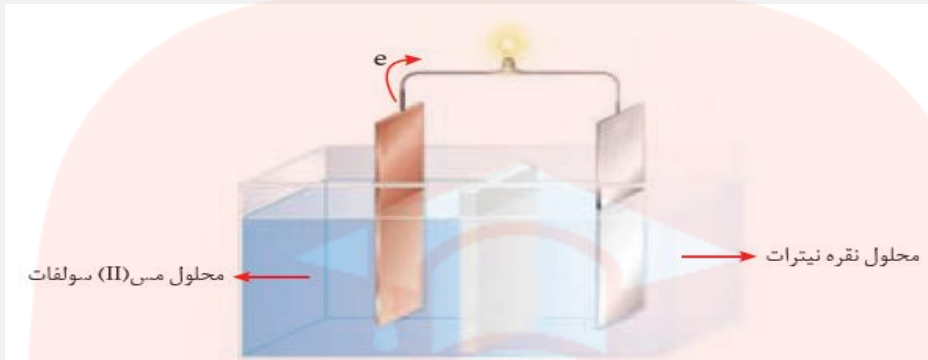
ت) توضیح دهید چرا پس از مدتی جرم تیغه روی کم و جرم تیغه مس زیاد شده است؟

آموختید که سلول گالوانی، دستگاهی است که می تواند بر اساس **قدرت کاهندگی** فلزها انرژی الکتریکی تولید کند. برای نمونه در سلول گالوانی روی مس، نیم واکنش اکسایش در آند (الکتروود روی) انجام می شود و هر اتم روی دو الکترون از دست می دهد و به شکل یون روی وارد محلول می شود. به دلیل تولید الکترون در این الکتروود آن را با علامت منفی نشان می دهند. الکترون های تولید شده در سطح الکتروود روی از طریق مدار بیرونی (سیم رابط) به سوی کاتد (الکتروود مس) روانه می شوند. هر یون مس موجود در محلول، این دو الکترون را می گیرد و به شکل اتم مس بر سطح تیغه می نشیند. انتظار می رود با ادامه این روند به تدریج در محلول پیرامون الکتروود آند، غلظت کاتیون روی از آنیون ها بیشتر شده اما در محلول پیرامون الکتروود کاتد، غلظت آنیون ها از کاتیون مس بیشتر شود. اما در عمل هیچگاه چنین پدیده ای رخ نمی دهد زیرا برای ادامه واکنش اکسایش - کاهش، محلول های موجود در هر دو ظرف باید از نظر بار الکتریکی خنثی بمانند. این مهم هنگامی امکان پذیر است که کاتیون ها از نیم سلول آند به کاتد و آنیون ها از نیم سلول کاتد به آند با گذر از دیواره متخلخل مهاجرت کنند.

<sup>^</sup>. Anode  
<sup>^</sup>. Cathode

## خود را بیازمایید

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



آ) علامت الکترودهای مس و نقره را مشخص کنید.

ب) نیم واکنش های انجام شده در آند و کاتد را بنویسید.

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

ت) جهت حرکت یون ها را از دیواره متخلخل مشخص کنید.

با ساختار و شیوه کار سلول گالوانی آشنا شدید. سلولی که به دلیل تولید انرژی الکتریکی ویژگی های یک باتری را

دارد. با اینکه هر سلول گالوانی ولتاژ معینی دارد اما در آنها با تغییر هر یک از اجزای سلول، ولتاژ تغییر می کند. آیا می

دانید این ولتاژ ناشی از چیست؟ چگونه می توان آن را اندازه گیری کرد؟

ولتاژی که ولت سنج در سلول گالوانی نشان می دهد، اختلاف پتانسیل میان دو نیم سلول است. کمیتی که به نیروی

الکتروموتوری معروف است و با  $emf$  نمایش داده می شود. اینک می پرسید برای تعیین سهم هر یک از نیم سلول

ها در ولتاژ سلول چه باید کرد؟

## خود را بیازمایید

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

آ) کدام الکتروآند و کدام کاتد خواهد بود؟ چرا؟

ب) نیم واکنش های انجام شده را بنویسید و واکنش کلی سلول را به دست آورید.

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)

پیوند با ریاضی

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

! Electromotive Force

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

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

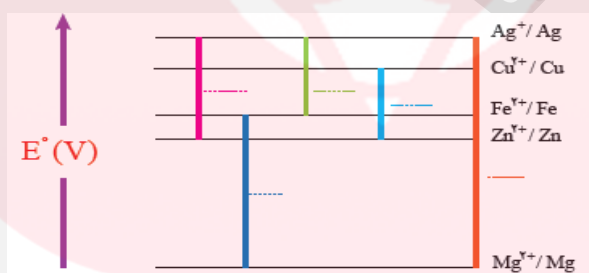
۳- شکل زیر سلول گالوانی استاندارد روی مس را نشان می دهد. با توجه به  $emf$  این سلول مشخص کنید کدام رابطه زیر برای محاسبه این کمیت به کار رفته است؟ توضیح دهید.



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

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

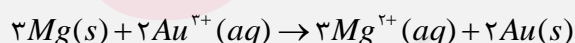
۴- در نمودار زیر هر خط رنگی نشان دهنده یک سلول گالوانی تشکیل شده از دو فلز را نشان می دهد. با توجه به جدول پتانسیل استاندارد به پرسش ها پاسخ دهید.



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

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

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



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

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

## پیوند با زندگی

### لیتیم، فلزی ارزشمند برای ذخیره انرژی الکتریکی

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

با رشد و پیشرفت چشمگیر صنایع گوناگون هر روز نیاز و تقاضا پیوسته برای ساخت باتری ها با ویژگی های گوناگون و کاربرد معین افزایش یافته است. شیمیدان ها در پی پاسخ به این نیازها طی پژوهش های بسیاری توانستند به فناوری ساخت باتری های جدید دست یابند. در این فناوری، نقش فلز لیتیم پررنگ است زیرا لیتیم در میان فلزها کمترین چگالی و  $E^0$  را دارد. این ویژگی های لیتیم سبب شد راه برای ساخت باتری های سبب کتر، کوچکتر و با توانایی ذخیره بیشتر انرژی هموار شود. باتری دگمه ای از جمله باتری های لیتیومی است که در شکل ها و اندازه های گوناگون به کار می رود. دسته ای دیگر از باتری های لیتیومی آنهايي هستند که در تلفن و رایانه همراه به کار می روند و می توان آنها را بارها شارژ کرد (شکل ۹).



شکل ۹- نمونه هایی از باتری های لیتیومی



## آیا می دانید

با بازیافت باتری ها می توان حجم انبوهی از فلزهای گوناگون را به چرخه مصرف برگرداند. جدول زیر مصرف سالانه فلزها برای تولید باتری در جهان را نشان م ی دهد.

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

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

## آیا می دانید

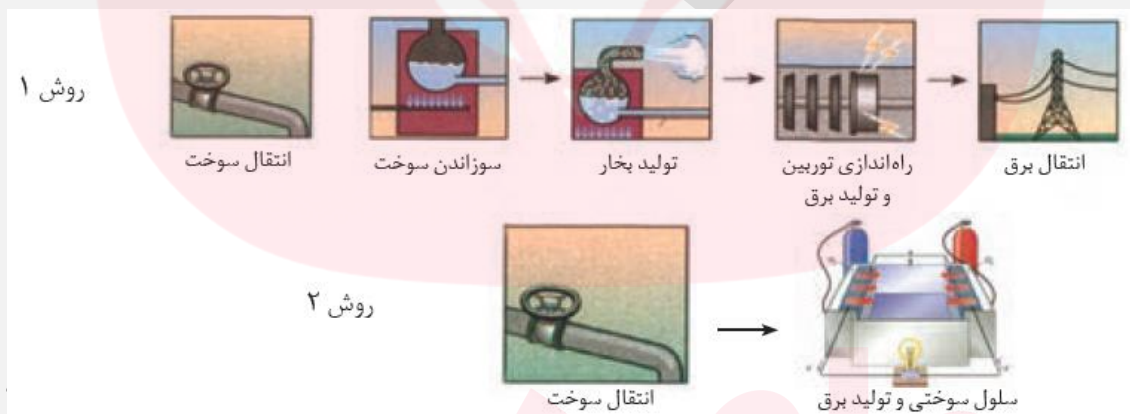
ر سال ۱۸۳۹ **ویلیام گرو** فیزیکدان و روزنامه نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویک مند و چارلز لنجر برمی گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول های سوختی در سفینه های جیمینی و آپولو برای تهیه الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دهه هفتاد میلادی 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. پهباد سلول سوختی در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکه دوگانه (باتری خورشیدی و سلول سوختی) با توان شش ماه پرواز به بهره برداری رسید.

## سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

سوخت های فسیلی همچنان مناسب ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه ها به شمار می رود. از این رو استخراج و مصرف بی رویه این سوخت ها سبب شده تا ذخایر آن به سرعت کاهش یابد. از سوی دیگر گسترش روزافزون آلودگی ناشی از مصرف سوخت های فسیلی، جهان را با چالشی نگران کننده روبه رو کرده است. با این توصیف یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت های فسیلی به ویژه خودروها ضروری است. سلول سوختی نوعی سلول گالوانی است که شیمیدان ها برای گذر از این تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست پیشنهاد می دهند. این سلول ها افزون بر کارایی بیشتر می توانند ردپای کربن دی اکسید را کاهش دهند به طوری که دوستدار محیط زیست بوده و منبع انرژی سبز به شمار می روند.

### خود را بیازمایید

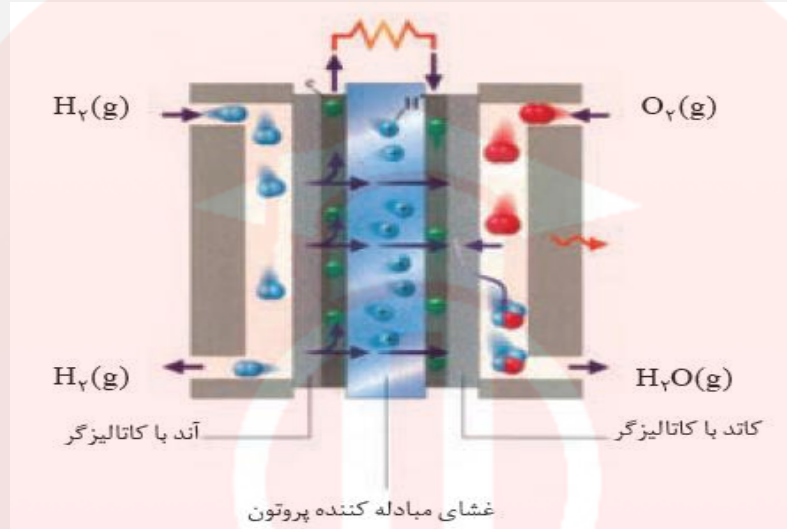
در هر یک از روش های زیر مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است. با توجه به آن به پرسشها پاسخ دهید.



کنترل شده واکنش می دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می شود (شکل ۱۰). سوزاندن گاز هیدروژن در موتور درون سوز بازدهی نزدیک به ۲۰ درصد دارد در حالی که اکسایش آن در سلول سوختی بازده را تا سه برابر افزایش می دهد.

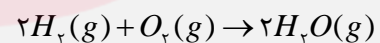
## آیا می دانید

در برخی از دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی کشور، پژوهش های خوبی روی سلول های سوختی انجام شده و موفقیت هایی نیز به دست آمده است. تولید توده سلول سوختی در دانشگاه شهید رجایی نمونه ای از آنها است.



شکل ۱۰- نوعی سلول سوختی هیدروژن اکسیژن

همان گونه که شکل ۱۰ نشان می دهد هر سلول سوختی سه جزء اصلی دارد به طوری که شامل یک غشا، الکتروود آند و الکتروود کاتد است. در این سلول، آند و کاتد دارای کاتالیزگرهایی هستند که به نیم واکنش های اکسایش و کاهش سرعت می بخشند. واکنش کلی در چنین سلولی به صورت زیر است:



از عملکرد این سلول پیداست که گاز هیدروژن به عنوان سوخت پیوسته وارد شده، اکسایش می یابد و هم زمان با آن گاز اکسیژن در واکنش با سوخت کاهش می یابد. روندی که در معادله واکنش دیده نمی شود زیرا همه گونه های شرکت کننده در واکنش، مولکول های خنثی هستند و شمار الکترون های ظرفیت اتم ها در واکنش تغییر نمی کند. به راستی در واکنش هایی از این دست چگونه می توان گونه های اکسند و کاهنده را مشخص کرد؟ شیمیدان ها با معرفی عدد اکسایش<sup>۱۲</sup> که قبلا به آن پرداختیم، راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارائه کردند.

### سلولهای سوختی

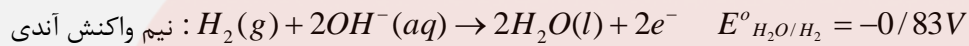
✓ سلولهای سوختی از سلولهای گالوانی نوع اول هستند که به منظور تولید جریان برق، از یک سوخت گازی مانند  $H_2$  یا  $CH_4$  استفاده می کنند.

✓ از سلولهای سوختی برای تأمین برق و آب آشامیدنی فضا پیمایان، تأمین برق بیمارستان و وسایل نقلیه، استفاده می کنند.

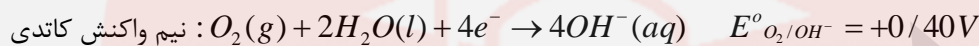
<sup>۱۲</sup> Oxidation Number

✓ سلول سوختی، بر مبنای واکنش میان یک سوخت گازی و گاز اکسیژن، کار می‌کنند.  
 ✓ از دید محیط زیست، استفاده از گاز هیدروژن نسبت به گاز متان در سلول‌های سوختی دارای این مزیت است که از آلودگی هوا، جلوگیری می‌شود.

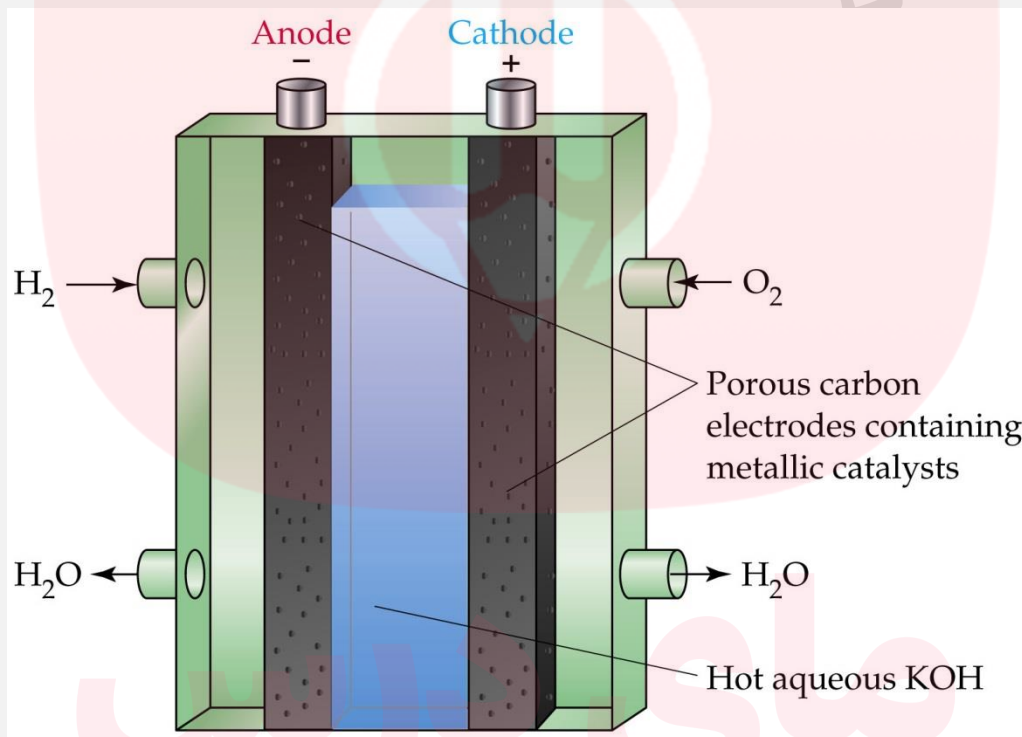
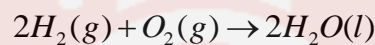
✓ در سلول سوختی «هیدروژن-اکسیژن»، گاز هیدروژن اکسایش می‌یابد و نیم سلول حاوی گاز  $H_2$  قطب آند (-) را تشکیل می‌دهد. در آند، نیم واکنش زیر انجام می‌شود:



همچنین در این سلول، گاز اکسیژن کاهش می‌یابد و در قطب کاتد، این گاز طی نیم واکنش کاتدی زیر کاهش می‌شود:



✓ واکنش کلی سلول سوختی  $H_2 - O_2$  از جمع دو نیم واکنش آندی و کاتدی، به دست می‌آید:



سلول سوختی «هیدروژن-اکسیژن»

- 🔹 نکته ۱: در سلول‌های سوختی، یون  $OH^-$  در کاتد تولید و در آند مصرف می‌شود.
- 🔹 نکته ۲: الکترولیت به کار رفته در سلول‌های سوختی می‌تواند محلول KOH باشد.
- 🔹 نکته ۳: نوعی سلول گالوانی‌اند که آند و کاتد در آن‌ها می‌تواند از جنس گرافیت منفذدار باشد.
- 🔹 نکته ۴: جریان الکترون در مدار بیرونی آنها، با حرکت کاتیونها در الکترولیت همسو است.

### تست نمونه

(سراسری ریاضی ۹۱)

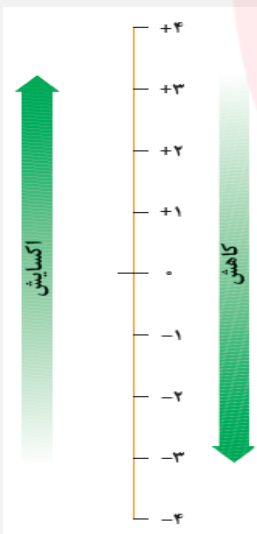
✓ کدام مطلب درباره سلول‌های سوختی درست است؟

- ۱) الکترولیت به کار رفته در آنها می‌تواند از نوع محلول پتاسیم هیدروکسید باشد.
  - ۲) واکنش آندی در آنها، اکسایش گاز  $H_2$  و واکنش کاتدی کاهش آب است.
  - ۳) نوعی سلول الکترولیتی‌اند که آند و کاتد در آن‌ها می‌تواند از جنس گرافیت منفذدار باشد.
  - ۴) جریان الکترون در مدار بیرونی آنها، با حرکت آنیونها در الکترولیت همسو است.
- پاسخ: در سلول سوختی هیدروژن از محلول KOH به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود. پس گزینه یک پاسخ سوال است.

### آیا می‌دانید

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

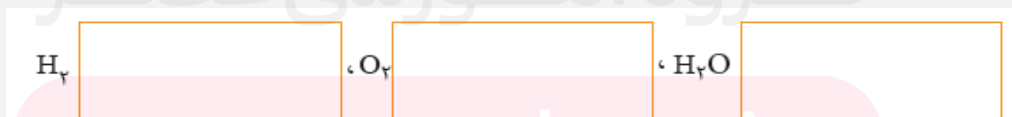
- افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و فرایند اکسایش است در حالی که کاهش آن به معنای به دست آوردن الکترون و فرایند کاهش است.



### با هم بیندیشیم

۱- با توجه به واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن-اکسیژن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) ساختار الکترون- نقطه‌ای گونه‌های شرکت‌کننده را رسم کنید.



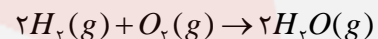
ب) در هر ساختار:

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

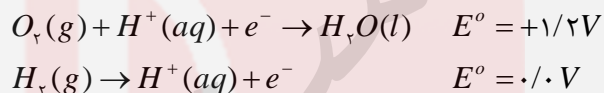
- همه الکترون های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.

پ) الکترون های نسبت داده شده به هر اتم را بشمارید و آن را از شمار الکترون های ظرفیت همان اتم کم کنید. عدد به دست آمده عدد اکسایش اتم مورد نظر را نشان می دهد.

۲- هرگاه بدانید که بیشتر شدن عدد اکسایش، نشان دهنده اکسایش یافتن و کمتر شدن آن نشان دهنده کاهش یافتن اتم هاست، در واکنش زیر گونه های اکسایش یافته، کاهش یافته، اکسند و کاهنده را مشخص کنید.



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



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

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

- اغلب نافلزها و فلزهای واسطه عددهای اکسایش گوناگونی در ترکیب های خود دارند. برای نمونه عدد اکسایش آهن در  $FeCl_2$  و  $FeCl_3$  به ترتیب ۲+ و ۳+ در حالی که عدد اکسایش گوگرد در  $Na_2S$  و  $SO_2$  به ترتیب ۲- و ۴+ است. در ادامه به تبیین بیشتر این مفهوم کلیدی خواهیم پرداخت.

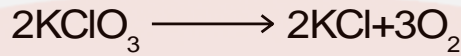
### مفهوم و تعیین عدد اکسایش

✓ برای تشخیص آسانتر عوامل اکسند و کاهنده در یک واکنش، می توان از عدد اکسایش و تغییر آن استفاده کرد.

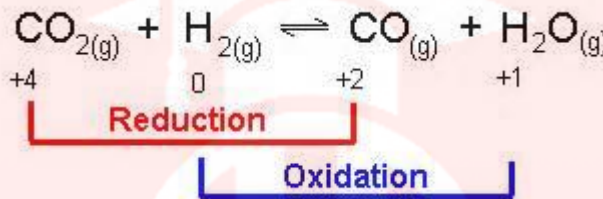
✓ «عدد اکسایش» یک اتم برابر تعداد الکترونهايي است که آن اتم برای تبدیل شدن به یک اتم خنثی، باید بگیرد یا از دست بدهد.

به عنوان مثال: یون آهن  $Fe^{2+}$  با گرفتن دو الکترون به یک اتم خنثی تبدیل می شود. بنابراین عدد اکسایش آهن در یون  $Fe^{2+}$ ، برابر ۲+ است.

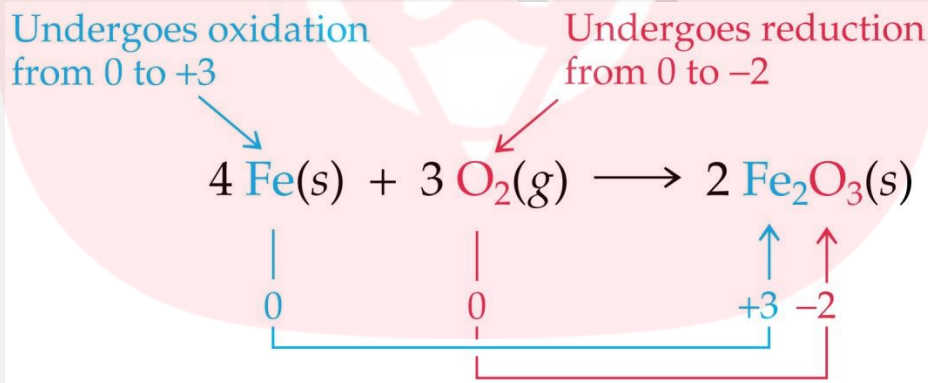
✓ تفاوت حالت‌های اکسایش یک اتم را «تغییر عدد اکسایش» می‌گویند.  
 ✓ مثال: به واکنش زیر توجه کنید:



در واکنش فوق؛ هر اتم کلر ۶ درجه کاهش و هر اتم O، ۲ درجه اکسایش یافته است پس اتم کلر که کاهش یافته، عامل اکسنده (اکسنده‌ی O) و اتم اکسیژن که اکسایش یافته، کاهنده‌ی Cl است.  
 مثال:



در واکنش فوق؛ هر اتم کربن ۲ درجه کاهش و هر اتم هیدروژن، ۱ درجه اکسایش یافته است پس اتم کربن که کاهش یافته، عامل اکسنده (اکسنده‌ی O) و اتم هیدروژن که اکسایش یافته، کاهنده‌ی کربن است.



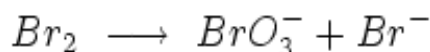
در واکنش فوق؛ هر اتم اکسیژن ۲ درجه کاهش و هر اتم آهن، ۳ درجه اکسایش یافته است پس اتم اکسیژن که کاهش یافته، عامل اکسنده (اکسنده‌ی آهن) و اتم آهن که اکسایش یافته، کاهنده‌ی کربن است.

✓ در اغلب واکنش‌های «اکسایش-کاهش»، یون‌هایی وجود دارند که عدد اکسایش آن‌ها تغییر نمی‌کند. این یونها در واقع در واکنش‌های «اکسایش-کاهش» شرکت نمی‌کنند و یون ناظر (تماشاچی) هستند.  
 ✓ در مثال زیر، اتم‌های O، یون ناظر هستند چون عدد اکسایش آنها تغییر نمی‌کند:

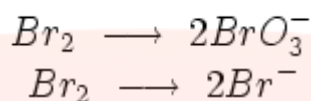


✓ در برخی واکنش‌ها «اکسایش-کاهش» ممکن است یک عنصر هم اکسایش یابد هم کاهش. در این صورت عنصر مذکور هم عامل کاهنده است هم عامل اکسنده. چنین واکنش‌هایی را واکنش «تسهیم نامتناسب» می‌گویند.

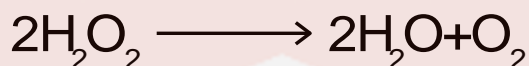
معادله واکنش زیر را در محلول قلیایی در نظر بگیرید:



در این واکنش یک ماده،  $Br_2$ ، هم اکسید و هم کاهش می‌شود. چنین واکنشی تسهیم نامتناسب یا خود اکسایش-کاهش نامیده می‌شود:



واکنش زیر هم یک واکنش تسهیم نامتناسب است:



نیمی از اتمهای O کاهش و نیمی از آنها اکسایش یافته است.

نکته: هرگاه یک عنصر در ترکیبی دارای بالاترین عدد اکسایش (برابر با شماره گروه اصلی) خود باشد، آن عنصر فقط می‌تواند اکسندگی باشد زیرا توانایی اکسایش بیشتر را ندارد.  
مثال:

فلزات قلیایی	فلزات قلیایی خاکی	گروه ۱۳	گروه ۱۴	گروه ۱۵	گروه ۱۶	گروه ۱۷
+۱	+۲	+۳	+۴	+۵	+۶	+۷

نکته: اگر عنصر نافلزها در یک ترکیب دارای کوچکترین عدد اکسایش (برابر با ۱۸- شماره گروه اصلی) خود باشد، فقط می‌تواند کاهش‌دهنده باشد.  
مثال:

گروه ۱۴	گروه ۱۵	گروه ۱۶	گروه ۱۷
-۴	-۳	-۲	-۱

نکته: اگر عنصر مذکور دارای عدد اکسایش بینابین بزرگترین و کوچکترین عدد اکسایش خود باشد، هم می‌تواند کاهش‌دهنده و هم اکسندگی باشد.

گروه ۱۴	گروه ۱۵	گروه ۱۶	گروه ۱۷
-۴	-۳	-۲	-۱
$n < 4$	$n < 5$	$n < 6$	$n < 7$

نکته: از بین عناصر جدول تناوبی عناصری زیر فقط و فقط دارای یک نوع عدد اکسایش هستند:

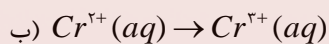
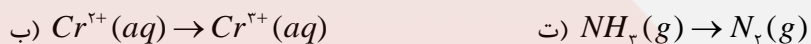
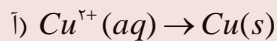
$F^{-1}$	$Cd^{2+}$	$Zn^{2+}$	$Ag^{+}$	$B^{+3}$	$Sc^{3+}$	$Al^{3+}$	قلیایی خاکی	قلیایی
-۱	+۲	+۲	+۱	+۳	+۳	+۳	+۲	+۱

نکته: بور در حالت کاتیونی پایدار نیست به همین خاطر در پیوندهای کوالانسی مشارکت می‌کند.

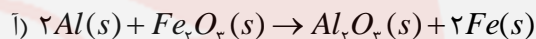


## خود را بیازماید

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



۲- در هر یک از واکنش های زیر با محاسبه تغییر عدد اکسایش، گونه کاهنده و اکسنده را تعیین کنید.



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

## برقکافت آب، راهی برای تولید گاز هیدروژن

تاکنون تنها با سلول هایی آشنا شدید که در آنها با انجام واکنش های اکسایش- کاهش انرژی تولید می شود. نوع دیگری از سلول های الکتروشیمیایی وجود دارند که با اعمال یک ولتاژ بیرونی و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می توان یک واکنش شیمیایی را در خلاف جهت طبیعی پیش راند.

این سلول ها به سلول های الکترولیتی<sup>۱۳</sup> معروف هستند و برقکافت<sup>۱۴</sup> آب یک نمونه از واکنش هایی است که در آنها انجام می شود (شکل ۱۱).



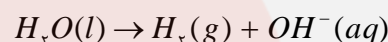
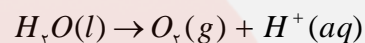
<sup>۱۳</sup>Electrolytic Cells

<sup>۱۴</sup>Electrolysis

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

### خود را بیازمایید

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



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

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

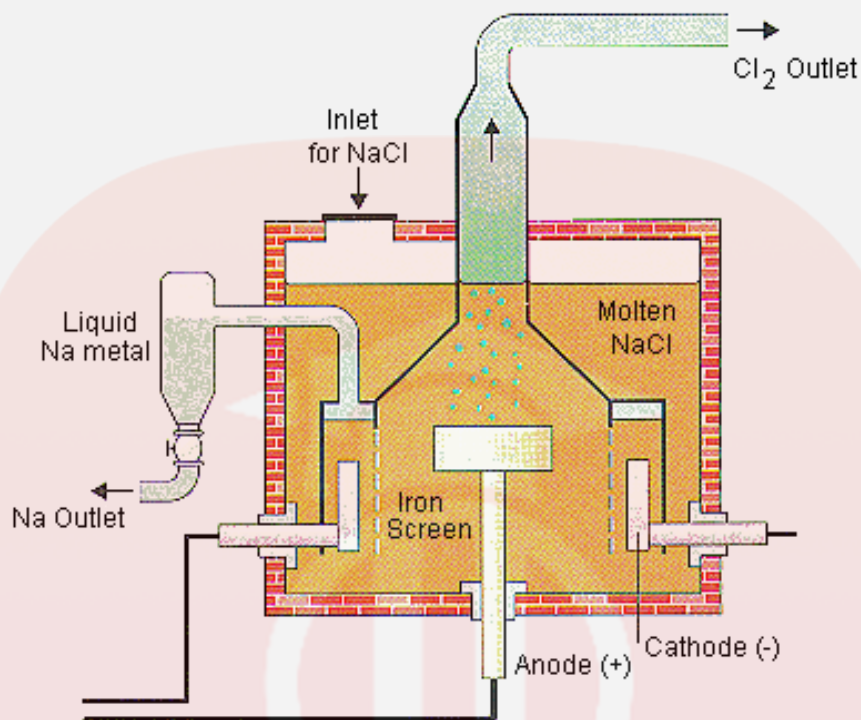
پ) پیش بینی کنید کاغذ pH در محلول پیرامون آند و کاتد به چه رنگی درمی آید؟ چرا؟

دریافتید که در سلول الکترولیتی، دو الکتروود درون یک الکترولیت قرار دارند. الکترودهای بی اثری که در واکنش شرکت نمی کنند و اغلب گرافیتی هستند. در این سلول ها، کاتد به قطب منفی باتری و آند به قطب مثبت باتری متصل است و الکترولیت محتوی یون هایی است که آزادانه جابه جا می شوند.

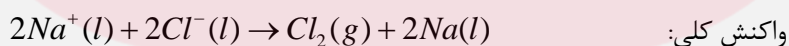
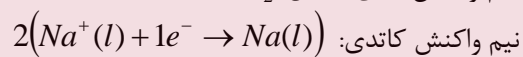
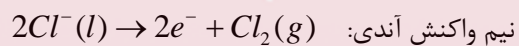
در واقع الکترولیت یک محلول یونی یا یک ترکیب یونی مذاب است. هنگامیکه به این سلول ولتاژی اعمال شود، یون ها به سوی الکتروود با بار ناهمنام حرکت می کنند. به طوری که کاتیون ها به سوی کاتد و آنیون ها به سوی آند روانه می شوند تا به سطح الکتروودها برسند و در نیم واکنش اکسایش و کاهش شرکت کنند.

- 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.

✓ NaCl خالص در دمای  $801^\circ C$  ذوب می شود که از نظر مصرف انرژی به صرفه نیست. از این رو مقداری کلسیم کلرید  $CaCl_2$  را به عنوان کمک ذوب به آن می افزایند تا دمای ذوب مخلوط را به  $587^\circ C$  کاهش دهند.  
✓ از طریق برقکافت سدیم کلرید مذاب، در سلول دانز، می توان در مقیاس صنعتی فلز سدیم و گاز کلر تولید نمود. شکل ساده شده ی دستگاه برقکافت سدیم کلرید مذاب، در زیر نشان داده است:



سلول دانز



### نکات طلایی

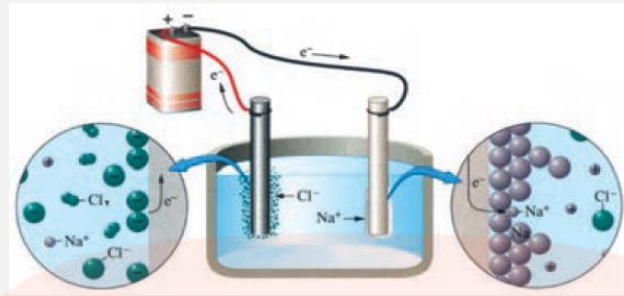
✓ یون  $OH^{-}$  در کاتد تولید و در آند مصرف می‌شود.

✓ محصولات کاتدی و آنودی به ترتیب  $Na$  و  $Cl_2$  هستند.

✓ جنس الکترود کاتد از آهن و آند از جنس گرافیت است.

### برقکافت

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

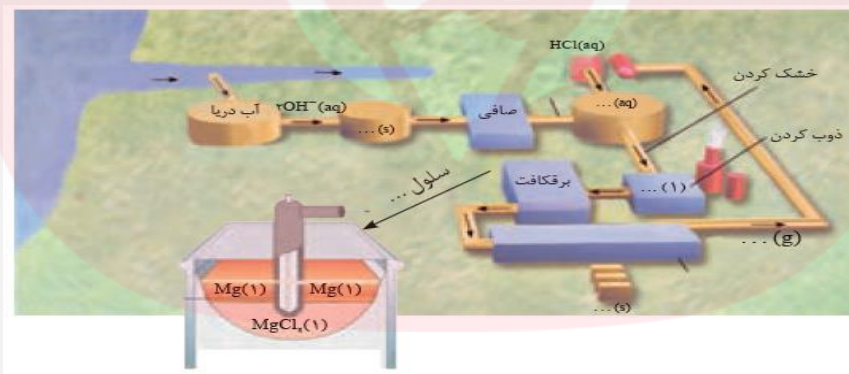


شکل ۱۲- برقکافت سدیم کلرید مذاب

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

### خود را بیازمایید

- ۱- با توجه به شکل ۱۲ ، واکنش کلی برقکافت سدیم کلرید مذاب را به دست آورید.
- ۲- شکل زیر مراحل تهیه فلز منیزیم را از آب دریا نشان می دهد. جاهای خالی را پر کرده و درباره این روش در کلاس گفت و گو کنید.



تاکنون با دو نوع سلول الکتروشیمیایی آشنا شدید. در سلول گالوانی، انجام یک واکنش اکسایش- کاهش منجر به تولید انرژی الکتریکی شده اما در سلول الکترولیتی با اعمال یک ولتاژ بیرونی یک واکنش اکسایش کاهش دلخواه انجام می شود. واکنش های انجام شده در هر دو سلول، مطلوب و سودمند هستند، این در حالی است که پیرامون ما واکنش های اکسایش- کاهش زیادی مانند سیاه شدن وسایل نقره ای، فساد مواد خوراکی و... انجام می شوند که مطلوب ما نیستند و گاهی زیان هایی را به دنبال دارند.

- نقره کدر شده با انجام واکنش اکسایش- کاهش.

www.my-dars.ir





- نقره پرداخت شده با انجام واکنش اکسایش - کاهش.

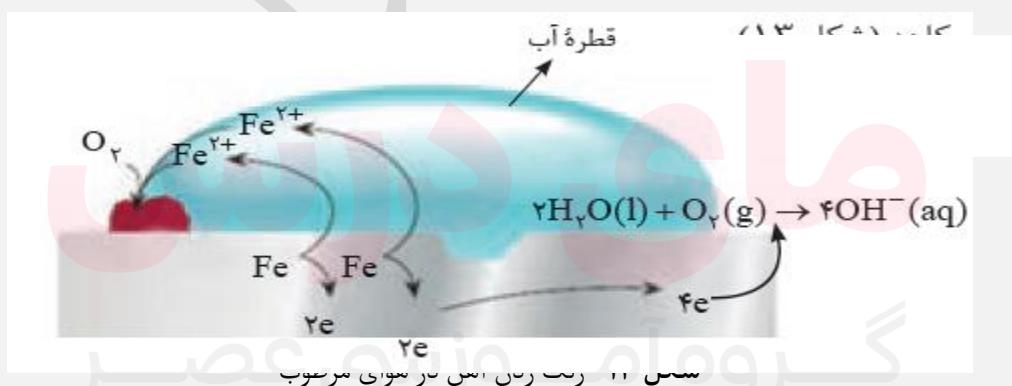
### خوردگی، یک واکنش اکسایش - کاهش ناخواسته

سالانه صدها میلیون تن از فلزهای گوناگون برای ساختن اسکله نفتی، اسکلت ساختمان، پل، کشتی، لوکوموتیو و راه آهن، خودرو، هواپیما و... مصرف می شود. هنگامیکه فلزها در هوا قرار می گیرند، اغلب اکسایش یافته و به شکل اکسید در می آیند. در فلزهایی مانند آهن با ادامه اکسایش، لایه ای ترد و شکننده تشکیل می شود که به تدریج فرو می ریزد. در این حالت می گویند فلز خورده شده است.

از آنجا که آهن پر مصرف ترین فلز در جهان است، خوردگی آن خسارت های هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد می کند به طوری که سالانه حدود ۲۰ درصد از آهن تولیدی برای جایگزینی قطعه های خورده شده مصرف می شود.

- خوردگی به فرایند ترد شدن، خرد شدن و فرو ریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش کاهش گفته می شود. زنگ زدن آهن، تیره شدن نقره و زنگار سبز بر سطح مس نمونه هایی از خوردگی هستند.

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



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

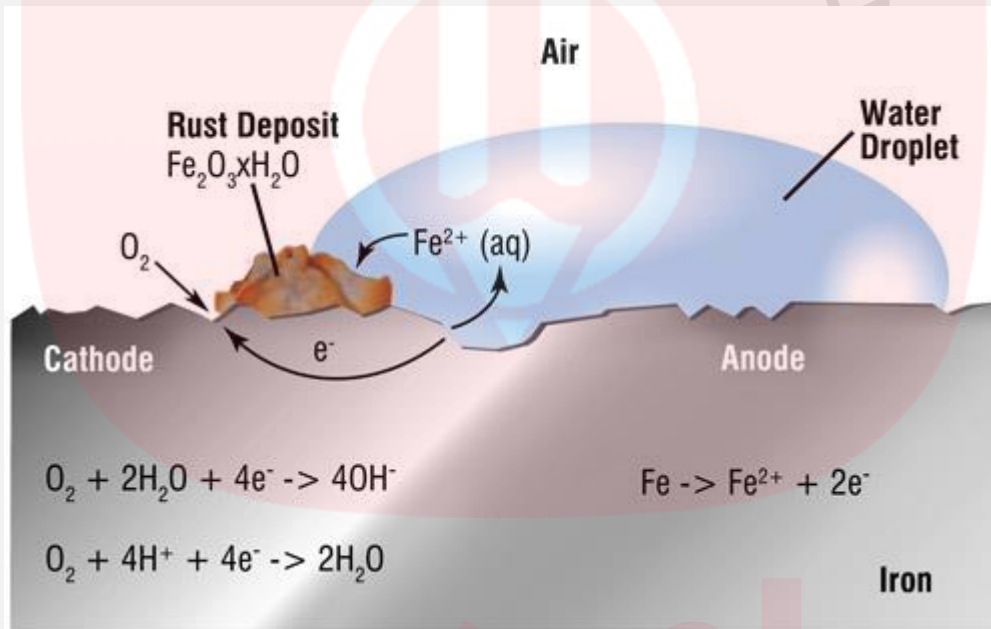


خوردگی می شود.

www.my-dars.ir

### خوردگی آهن و حفاظت کاتدی

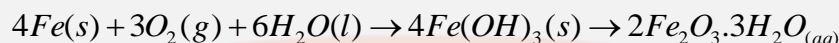
- ✓ به ترد و خرد شدن و فرو ریختن فلزها بر اثر اکسایش «خوردگی» می‌گویند.
- ✓ همهی فلزها به جز فلزهای **نجیب (طلا، پلاتین و پالادیم)** در شرایط مناسب با اکسیژن ترکیب شده و به طور خودبه خودی اکسید می‌شوند.
- ✓ عوامل مؤثر بر خوردگی فلزها، عبارتند از:
  ۱. حضور اکسیژن یا هوا در تماس با فلز.
  ۲. حضور آب یا رطوبت در تماس با فلز.
  ۳. مجاورت با محیط اسیدی و حضور یونها (محللول الکترولیت) بر سرعت خوردگی فلزها می‌افزاید.
- ✓ وقتی یک قطعه آهن، در تماس با یک قطره ی آب و هوا قرار می‌گیرد، نوعی سلول الکتروشیمیایی گالوانی تشکیل می‌شود که منجر به اکسایش و خوردگی آهن می‌شود.



- ✓ نیم واکنش اکسایش آهن، در بخشی از قطعه آهنی به نام «پایگاه آندی» صورت می‌گیرد. در این پایگاه، اتمهای آهن به یونهای  $Fe^{2+}(aq)$  تبدیل می‌شوند:
- $$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$$
- اکسایش آهن
- ✓ نیم واکنش کاهش اکسیژن ( $O_2$ ) به کمک مولکولهای آب در «پایگاه کاتدی» رخ می‌دهد:
- $$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$
- کاهش اکسیژن
- ✓ یونهای آهن (II)، از درون قطره ی آب، عبور کرده و به پایگاه کاتدی می‌رسند و در آن جا با یونهای  $OH^-(aq)$  ترکیب شده و به آهن (II) هیدروکسید، تبدیل می‌شوند:
- $$Fe^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_2(s)$$
- ✓ رسوب  $Fe(OH)_2$ ، به نوبه ی خود، با  $O_2$  و  $H_2O$  واکنش داده و مجدداً اکسایش می‌یابد و به رسوب  $Fe_2O_3$  یا  $Fe(OH)_2$  آبپوشیده، تبدیل می‌شود:
- $$4Fe(OH)_2(s) + O_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 4Fe(OH)_3(s) \quad (2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O(aq))$$

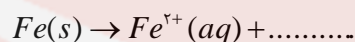
زنگ آهن (III) هیدروکسید

✓ واکنش کلی خوردگی آهن به صورت زیر نوشته می شود:



### با هم بیاندیشیم

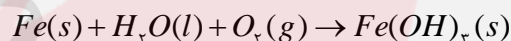
۱- با توجه به شکل بالا و نیم واکنش های انجام شده در آن به پرسش ها پاسخ دهید.



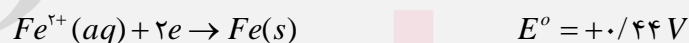
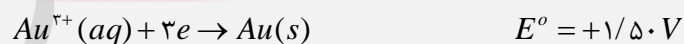
آ هر یک از نیم واکنش ها را موازنه کنید.

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

پ) فرآورده نهایی خوردگی، زنگ آهن بوده که فرمول شیمیایی آن  $Fe(OH)_3$  است. اگر معادله واکنش کلی زنگ زدن آهن به صورت زیر باشد، آن را موازنه کنید.



۲- با توجه به نیم واکنش های زیر توضیح دهید چرا:



آ) خوردگی آهن در محیط اسیدی به میزان بیشتری رخ می دهد؟

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

www.my-dars.ir

پی بردید که فلزهای نجیبی مانند طلا و پلاتین حتی در محیط های اسیدی اکسایش نمی یابند اما وسایل آهنی در هوای مرطوب دچار خوردگی می شوند. واکنش ناخواست های که در شهرهای بندری و ساحلی بیشتر خودنمایی می کند. بدیهی است که برای جلوگیری از خوردگی آهن، ساده ترین راه ایجاد یک پوشش محافظ است تا از رسیدن اکسیژن و رطوبت به آهن جلوگیری کند. پوششی که با روش هایی مانند رنگ زدن، قیراندود کردن و روکش دادن ایجاد می شود. باید توجه داشت که چنین روش هایی نمی توانند به طور کامل از خوردگی پیشگیری کنند زیرا به تدریج رطوبت و اکسیژن از روزنه های این پوشش ها به درون نفوذ کرده و به سطح آهن می رسند و خوردگی دوباره آغاز می شود. با توجه به آنچه که آموخت هاید چه روش دیگری پیشنهاد می کنید که تا حد امکان آسیب ها و زیان های خوردگی را کاهش دهد؟

- باید توجه داشت که با گذشت زمان منیزیم اکسایش یافته و مصرف می شود. از این رو باید به شکل



دوره ای تکه های منیزیم را تعویض کرد.

### پیوند با صنعت

### فداکاری فلزها برای حفاظت آهن

هنگامیکه دو فلز در هوای مرطوب با هم در تماس باشند، برای اکسایش یافتن با یکدیگر رقابت می کنند. بدیهی است که فلز کاهنده تر در این رقابت برنده می شود. برای پیش بینی فلز برنده باید از پتانسیل کاهش استاندارد کمک گرفت. اینک به  $E^{\circ}$  فلزهای زیر توجه کنید.

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

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

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

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

تصور کنید فلز روی یا منیزیم در هوای مرطوب با آهن تماس داشته باشد، با توجه به بی شک روی یا منیزیم است که در رقابت برنده شده و اکسید می شود. اکسایشی که نشان از فداکاری آنها داشته و سبب پیشگیری از اکسایش آهن خواهد شد. این در حالی است که اگر فلز مس در تماس با آهن باشد در این رقابت، آهن دچار خوردگی می شود. اینک می پذیرید که مهندسين با تکیه بر دانش الکتروشیمی توانسته اند روشهای عملی و مؤثرتری برای حفاظت از آهن در محیط های گوناگون به کارگیرند (شکل ۱۴).

www.my-dars.ir





منیزیم

(ب)

(آ)

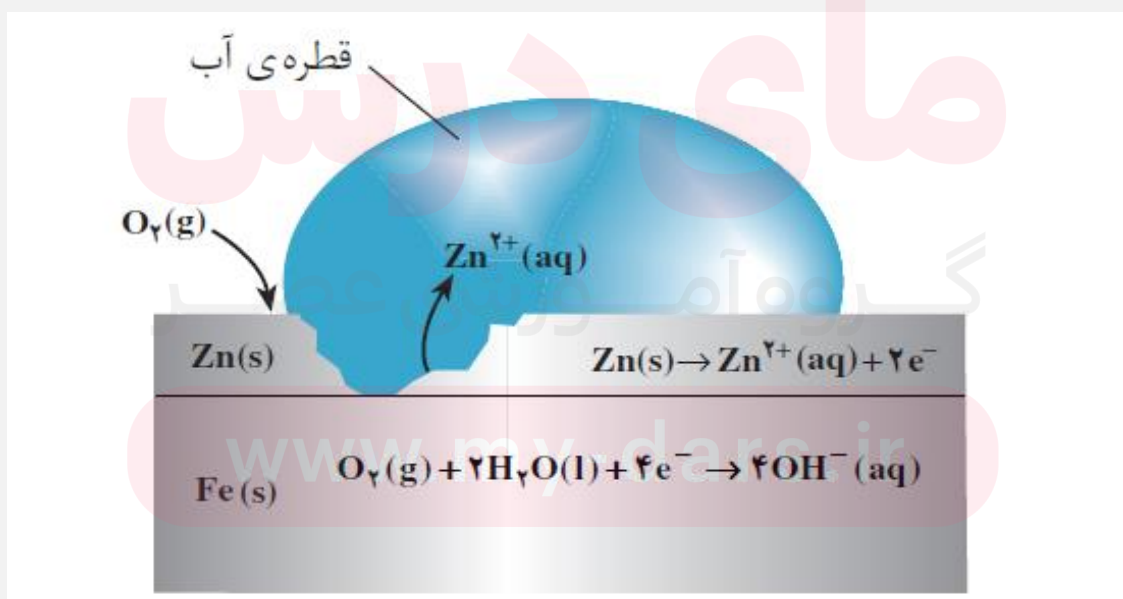
شکل ۱۴- حفاظت از آهن با منیزیم، (آ) بدنه کشتی (ب) لوله های نفتی

### جلوگیری از زنگ زدن آهن

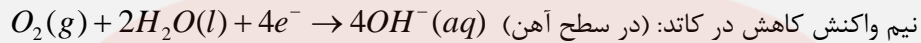
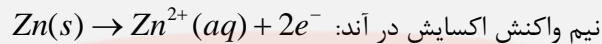
- ✓ برای جلوگیری از خوردگی آهن، روشهای مختلفی به کار می رود. از جمله:
۱. رنگ کردن و یا ضد رنگ زدن قطعات آهنی، مثل: درب و پنجره های آهنی و بدنه ی خودروها.
  ۲. قیراندود کردن و یا روغن مالی قطعات آهنی. مثل: سطح لوله های نفتی و سطوح خارجی بدنه ی قایقها.
  ۳. استفاده از روکشهای فلزی بر روی قطعات آهنی به روش آبکاری و ...
  ۴. حفاظت کاتدی. (یکی از مهمترین و پرکاربردترین روشهای محافظت فلزهاست)
- ✓ **حفاظت کاتدی آهن:** روشی که در آن، آهن را با یک فلز فعالتر مانند Zn یا Mg مجاور می کنند. در این صورت فلزهای با  $E^o$  منفیتر از آهن، نقش آند را ایفا کرده و با از خودگذشتگی، از آهن محافظت می کنند.

✓ اگر دو فلز، که با یکدیگر در تماس هستند، در معرض هوا و رطوبت قرار بگیرند، نوعی سلول گالوانی به وجود می آید، که فلز فعالتر (با  $E^o$  منفی تر) فدای فلز کمتر فعال (با  $E^o$  مثبت تر) شده و فلز با  $E^o$  مثبتتر، حفاظت کاتدی می شود.

گالوانیزه (آهن سفید): آهن با روکش روی (Zn) را «گالوانیزه» یا «آهن سفید» می گویند.



✓ هرگاه خراشی در سطح آهن سفید ایجاد شود، در محل خراش یک سلول گالوانی تشکیل می‌شود که در این سلول، Zn به عنوان آند اکسایش یافته و آهن (Fe) به عنوان کاتد نجات می‌یابد و از خوردگی محافظت می‌شود.

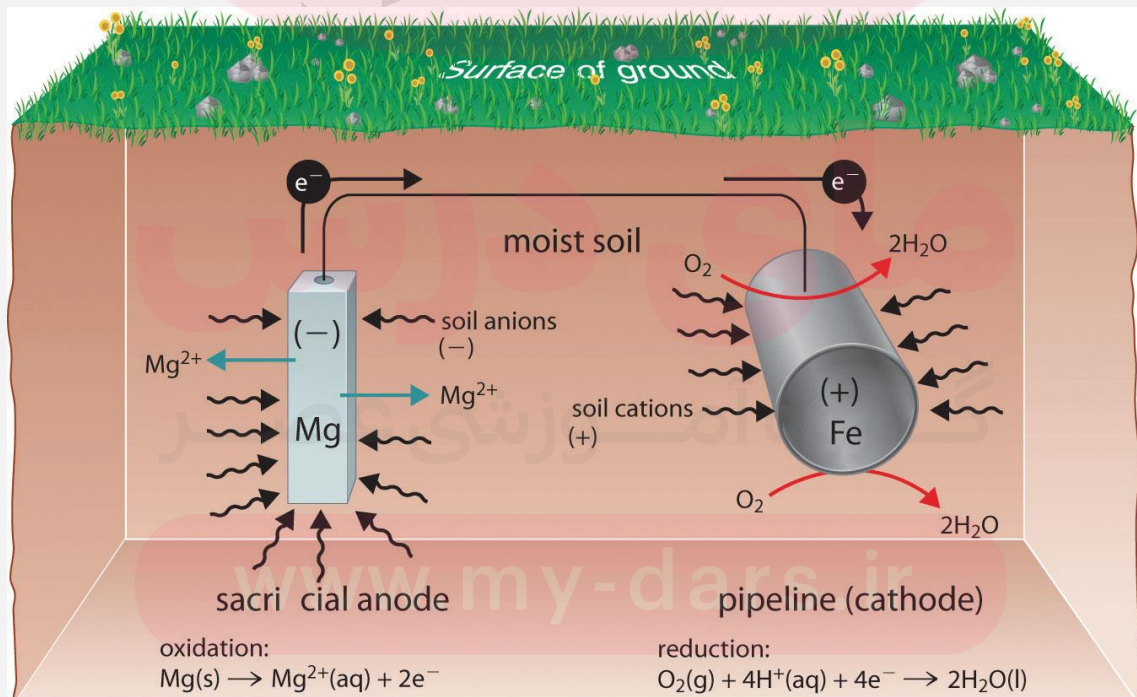
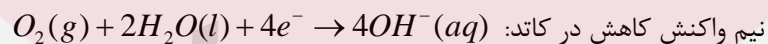
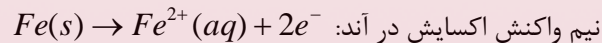


یادآوری:  $E^{\circ}$  روی و آهن به ترتیب  $-0.76$  و  $-0.44$  ولت است. چون  $E^{\circ}$  روی منفی‌تر (کوچکتر) است، برای اکسایش یافتن در برابر آهن، روی برنده می‌شود و اکسید می‌شود. به همین دلیل تانکرهای آب عمدتاً از آهن سفید ساخته شده‌اند.

✓ حلبی: آهن با روکش قلع (Sn) را «حلبی» می‌گویند که برای ساختن ظروف بسته بندی مواد غذایی مانند قوطی های کنسرو و روغن نباتی، استفاده می‌شود.



✓ در اثر ایجاد خراش در سطح حلبی، چون آهن کوچک تر از  $E^{\circ}$  قلع است، فلز آهن به عنوان آند عمل کرده و دچار خوردگی می‌شود و فلز قلع از خوردگی می‌گریزد. نیم واکنش های سلول، عبارتند از:



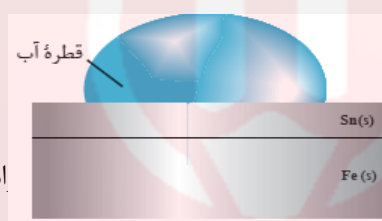
حفاظت کاتدی از لوله‌های انتقال گاز

نکته طلایی: در منابع علمی فرایند حفاظت از یک فلز معین را با استفاده از فلزهای کاهنده هنر حفاظت کاتدی می نامند.

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

### خود را بیازمایید

شکل روبه رو 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.



آ) در اثر ایجاد خراش در سطح این نوع آهن، ابر خوردگی محافظت می شود؟  
ب) نیم واکنش های اکسایش و کاهش را بنویسید.

پ) توضیح دهید چرا برخلاف حلبی از آهن گالوانیزه نمی توان برای ساختن ظروف بسته بندی مواد غذایی استفاده کرد؟

### پیوند با زندگی

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

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)

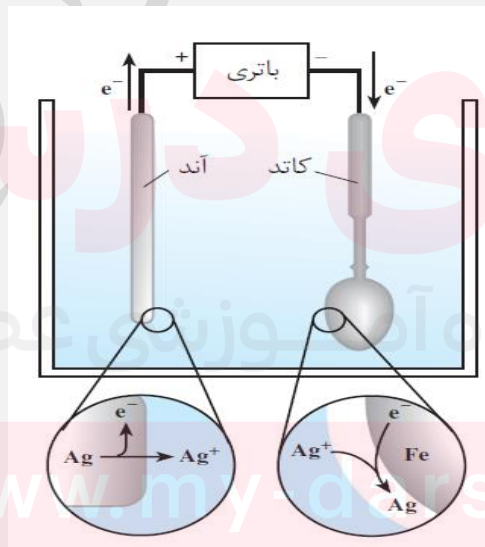


شکل ۱۶- نمونه هایی از برخی وسایل فلزی

نکته طلایی: پوشاندن سطح یک فلز با لایه نازکی از فلزهای ارزشمند و مقاوم در برابر خوردگی، آبکاری نام دارد. فرایندی که در سلول الکترولیتی انجام می شود.

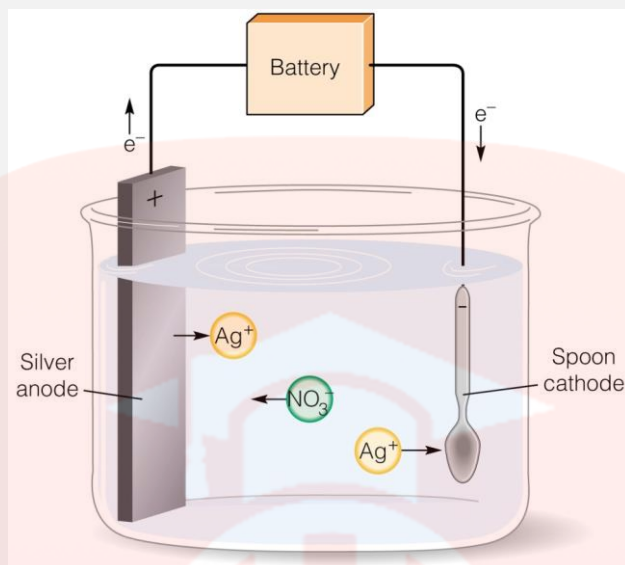
#### نکات کلیدی آبکاری

- ✓ برای انجام فرایند آبکاری، در سلول مربوطه، شرایط زیر، در نظر گرفته می شود:
  ۱. جسمی که روکش فلزی روی آن ایجاد می شود، باید رسانای جریان برق باشد.
  ۲. الکترولیت مورد استفاده برای آبکاری، باید دارای یونهای فلزی باشد، که قرار است لایه نازکی از آن روی جسم قرار بگیرد. در آبکاری با نقره، محلول نقره نیترات را به عنوان الکترولیت، مورد استفاده قرار می دهند.
  ۳. جسمی که باید روکش روی آن را بپوشاند، باید به قطب منفی سلول (کاتد) وصل شود. و قطعه‌ی خالصی که قرار است به عنوان روکش روی جسم قرار گیرد، به قطب مثبت باتری (آند) وصل گردد.
- ✓ شکل زیر یک سلول الکترولیتی مناسب برای آبکاری با نقره، را نشان می دهد:



✓ در این سلول، روکشی از فلز نقره، روی قاشق آهنی را می پوشاند.

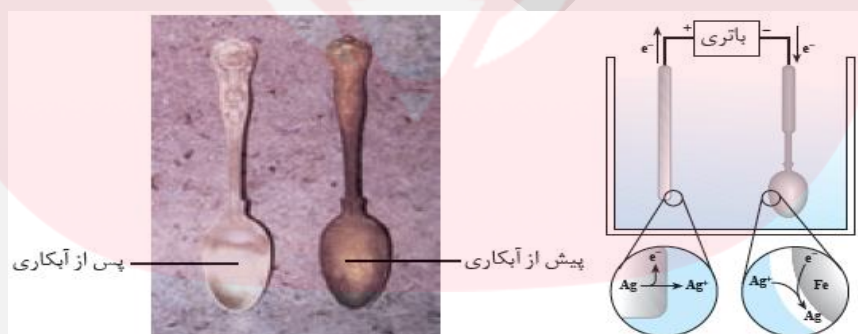
<sup>۱۵</sup> Electroplating



آبکاری نقره

خود را بیازماید

شکل زیر آبکاری یک قاشق فولادی را با فلز نشان می دهد با توجه به آن:



آ) قاشق فولادی به کدام قطب باتری متصل است؟

ب) نیم واکنش کاتدی را بنویسید.

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

برخی فلزها با اینکه اکسایش می یابند اما خورده نمی شوند. از این فلزها می توان برای ساخت وسایل گوناگونی بهره برد که برای مدت طولانی تری استحکام خود را حفظ می کنند. آلومینیم یکی از این فلزهاست. فلزی فعال که به

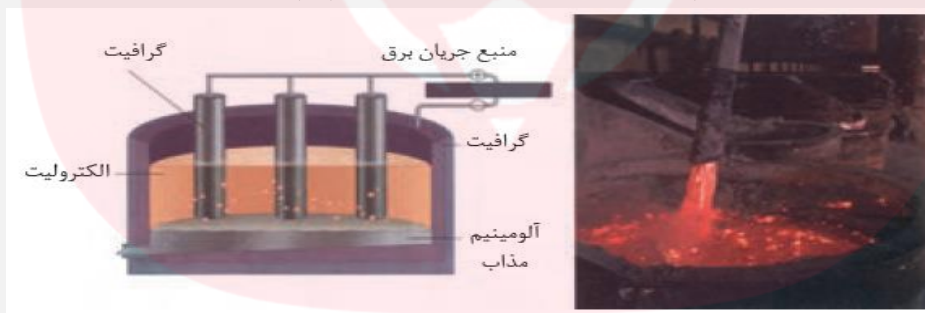
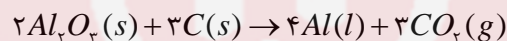
سرعت در هوا اکسید می شود ( $E^{\circ}(Al^{3+}/Al) = -1/66V$ ). این فلز با تشکیل لایه چسبنده و متراکم  $Al_2O_3$  از ادامه اکسایش جلوگیری می کند به طوری که لایه های زیرین برای مدت طولانی دست نخورده باقی می ماند و

استحکام خود را حفظ می کند. این ویژگی آلومینیم سبب شده که از آن در ساخت لوازم خانگی ، هواپیما، کشتی و ... استفاده کرد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- برخی کاربردهای آلومینیم

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



شکل ۱۸- فرایند هال برای تولید آلومینیم از  $Al_2O_3$

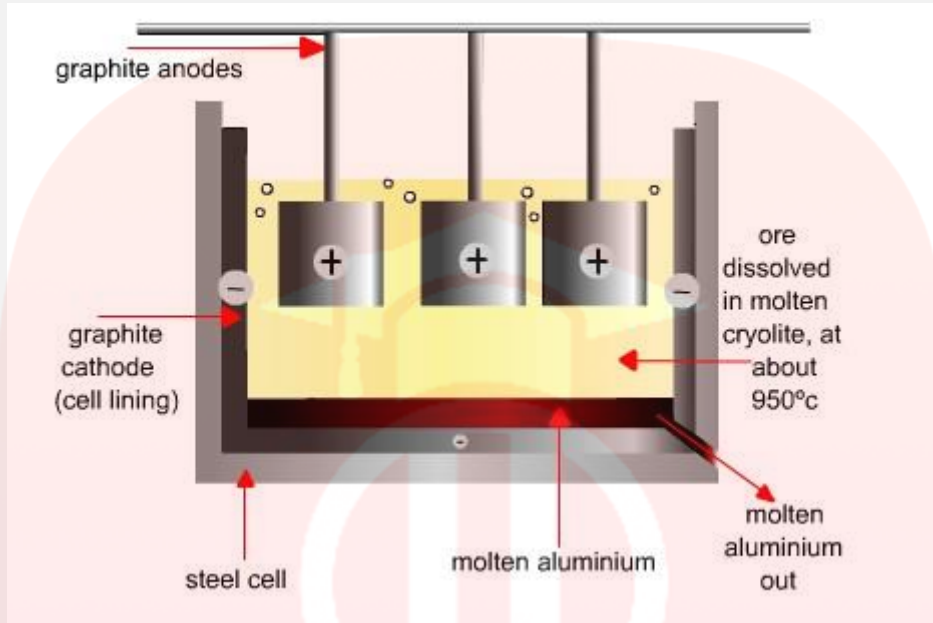
فرایند هال به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد از این رو با بازیافت فلز آلومینیم می توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم ترین منابع تجدید ناپذیر طبیعت، برخی از هزینه های تولید این فلز را کاهش داد. برای نمونه تولید قوطی های آلومینیمی از قوطی های کهنه فقط به ۷ درصد از انرژی لازم برای تهیه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

### استخراج آلومینیم [فرایند هال]

- ✓ آلومینیم فراوانترین فلز و سومین عنصر فراوان در پوسته زمین است.
- ✓ در صنعت آلومینیم را از سنگ معدن آلومینیم داری به نام بوکسیت (آلومینای ناخالص) به دست می آورند.
- ✓ چون دمای ذوب آلومینای خالص، حدود  $2045^{\circ}C$  است، تأمین این دما و برقکافت آن به حالت مذاب فرایندی اقتصادی نیست. به این دلیل آلومینایی ناخالص را پس از خالص سازی، در دمایی حدود  $960^{\circ}C$  سانتریگراد در

<sup>۱۱</sup>Hall Process

کریولیت  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  مذاب به عنوان کمک ذوب حل می‌کنند و سپس الکترولیز می‌کنند و طی آن آلومینیوم را استخراج می‌کنند.

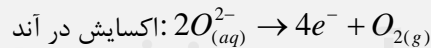
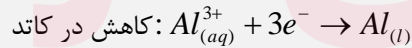


### سلول الکترولیزی هال

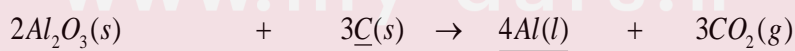
#### نکات طلایی:

- ۱- جنس الکترودهای آند از تیغه‌های کربن و کاتد از گرافیت لایه‌ای است.
- ۲- از آند قاعدتا باید گاز اکسیژن آزاد شود اما اکسیژن با کربن آمیخته شده و خروج گاز کربن دی‌اکسید را خواهیم داشت.
- ۳- آلومینیوم مذاب به علت چگالی بالاتر از الکترولیت در انتهای سلول قرار می‌گیرد.
- ۴- آلومینای خالص همان  $\text{Al}_2\text{O}_3$  است اما آلومینای ناخالص دارای مقداری آب در ساختار خود می‌باشد یعنی یک نمک آبپوشیده تلقی می‌شود و بصورت  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است.
- ۵- اگر فرآیند "هال" نبود قیمت آلومینیوم از طلا و نقره هم به علت مصرف زیاد الکتریسیته بیشتر می‌شد.

✓ نیم واکنشهای اکسایش و کاهش فرایند هال عبارتند از:



✓ واکنش کلی فرایند هال به صورت زیر است:



آلومینا                      آند گرافیتی                      محصول کاتدی                      محصول آندی

## آیا می دانید

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

فلز	درصد جرمی
Al	۸۳
Mg	۱۵
Ca	۲

## خود را بیازمایید

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



[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)



## تمرین های دوره ای

۱- برای هر یک از جمله های زیر، دلیلی بنویسید.

آ) فلز پلاتین را می توان در بخش های مختلف بدن هنگام جراحی به کار برد.

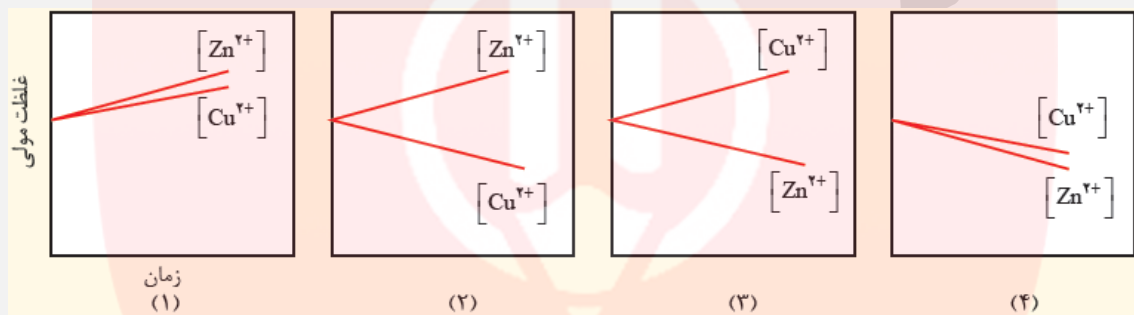
ب)  $F_2(g)$  اکسنده ترین گونه در جدول پتانسیل کاهش استاندارد است.

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

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

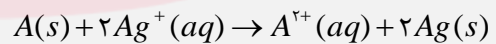
۲- با مراجعه به جدول پتانسیل کاهش استاندارد توضیح دهید کدام نمودار تغییر غلظت یون ها را در سلول گالوانی

روی- مس نشان می دهد.

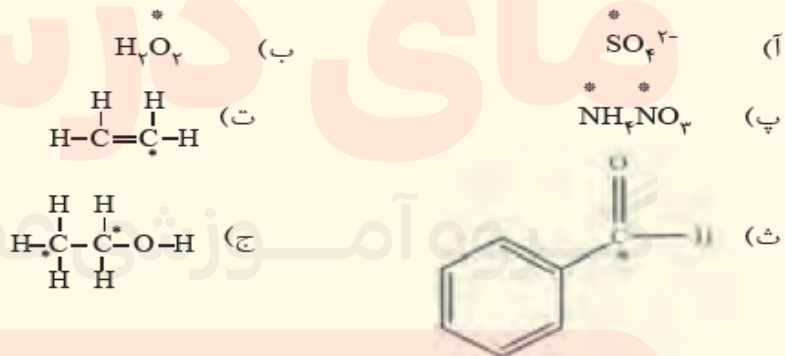


۳- emf سلولی که واکنش زیر در آن رخ می دهد برابر با  $V$  ۱/۹۸ است.  $E^o$  نیم سلول A را حساب کرده و با

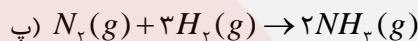
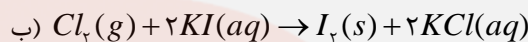
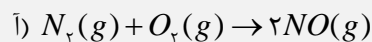
مراجعه به جدول مشخص کنید A کدام فلز است؟



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



۵- در هر یک از واکنش های زیر گونه های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



۶- با توجه به جدول زیر به پرسش ها پاسخ دهید.

نیم واکنش کاهش	$E^{\circ} (V)$
$A^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow A(s)$	+۱/۳۳
$B^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow B(s)$	+۰/۸
$C^{2+}(aq) + e^{-} \rightarrow C^{+}(aq)$	-۰/۱۲
$D^{2+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow D(s)$	-۱/۵۹

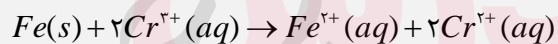
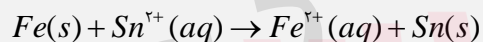
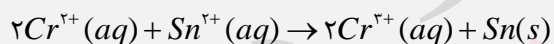
آ) کدام گونه قوی ترین و کدام ضعیف ترین اکسنده است؟

ب) کدام گونه قوی ترین و کدام ضعیف ترین کاهنده است؟

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

۷- با توجه به واکنش های زیر به طور طبیعی انجام می شوند گونه های کاهنده و گونه های اکسنده را بر حسب

کاهش قدرت مرتب کنید؟



۸- با توجه به جدول پتانسیل های کاهش استاندارد توضیح دهید کدام ظرف (مسی یا آهنی) برای نگه داری محلول

هیدروکلریک اسید مناسب است؟

۹- باتری های روی نقره از جمله باتری های دگمه ای هستند که در آنها واکنش زیر انجام می شود.



آ) گونه های اکسنده و کاهنده را در آن مشخص کنید.

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

مای درسی  
گروه آموزشی عصر

[www.my-dars.ir](http://www.my-dars.ir)