



## فرایند انحلال

- پیش‌بینی انحلال:**
- ۱- مولکول‌های قطبی در حلال‌های قطبی حل می‌شوند.
  - ۲- مولکول‌های ناقطبی در حلال‌های ناقطبی حل می‌شوند.
  - ۳- ترکیب‌های یونی در حلال‌های قطبی حل می‌شوند.

**شرط انحلال:** میانگین جاذبه‌ها در حلال خالص و حل شونده خالص > جاذبه‌های حل شونده با حلال در محلول

- تعیین قطبیت:**
- ۱- ترکیب‌های معدنی
  - ۲- ترکیب‌های آلی

**نکته** چگونه دوقطبی‌ها را تعیین تکلیف کنیم؟

### تمرین

۱) پس از رسم ساختار لوویس هر یک از ترکیب‌های زیر، قطبیت جزیی و کلی آن‌ها را مشخص کنید.

ب - استیرن

آ - اتیلن گلیکول

ت - اوره

پ - استیک اسید

ج - منتول

ث - اگزالیک اسید



تمرین

۲) قسمت‌های قطبی و ناقطبی را در ترکیب‌های زیر مشخص کنید.



تعیین جفت الکترون‌های پیوندی و ناپیوندی در یک مولکول :

جفت الکترون‌های پیوندی =

جفت الکترون‌های ناپیوندی

تمرین

۳) تعداد جفت الکترون‌های پیوندی و ناپیوندی را در هر یک از ترکیب‌های زیر محاسبه کنید.

آ- گلوکز ب- وازلین ( $C_{25}H_{52}$ )

ت- بنزین

پ- روغن زیتون ( $C_{57}H_{104}O_6$ )

تمرین

۴) مشخص کنید کدام یک از ترکیب‌های زیر در آب و کدام یک در هگزان حل می‌شوند.

ب- عسل

آ- گریس ( $C_{18}H_{38}$ )

ت- سدیم کلرید

پ- هپتانوئیک اسید

ج- اوره

ث- بنزین



## کربوکسیلیک اسیدها

دارای ساختار عمومی  $R - COOH$  می باشند. فرمول کلی اسیدهای سیر شده راست زنجیر به صورت  $C_nH_{2n}O_2$  است. اگر  $R$  یک زنجیر هیدروکربنی خطی و سیر شده باشد می توانیم آن را با فرمول  $C_nH_{2n+1}$  نمایش دهیم.

### تمرین ✓

۵) فرمول بسته دو اسید زیر را بنویسید.

ب- نونانویک اسید

آ- اتانویک اسید

### نکته

### تمرین ✓

۶) فرمول عمومی اسیدهای زیر را بنویسید.

آ- کربوکسیلیک اسیدی که زنجیر هیدروکربنی آن ۱۴ کربن داشته و دارای یک پیوند سه گانه است.

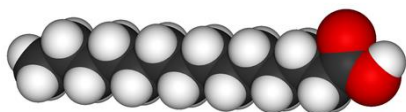
ب- کربوکسیلیک اسیدی که زنجیر هیدروکربنی آن ۱۰ کربن دارد و علاوه بر آن دارای یک حلقه بنزنی است.

پ- کربوکسیلیک اسیدی که دارای دو پیوند دوگانه و یک پیوند سه گانه است و زنجیر هیدروکربنی آن ۷ کربن دارد.



شکل مقابل قسمت‌های قطبی و ناقطبی یک کربوکسیلیک اسید را نشان می‌دهد.

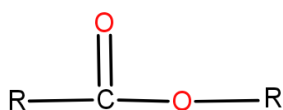
**اسید چرب:** کربوکسیلیک اسید با زنجیر هیدروکربنی بلند را اسید چرب می‌گوییم.



## استرها

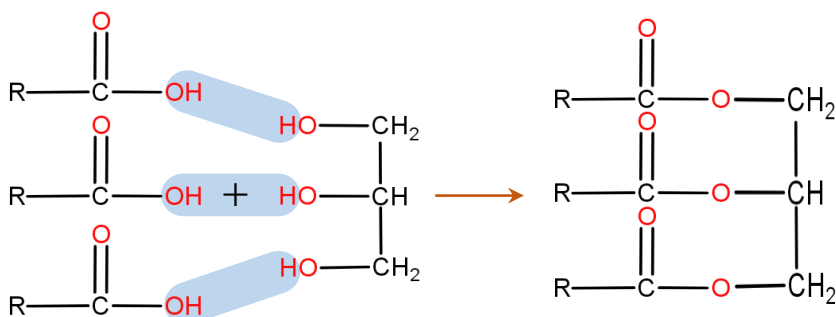
دارای ساختار عمومی  $R-COOR'$  می‌باشند.

روش تهیه استرها:

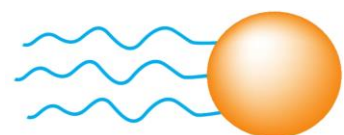
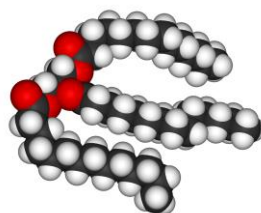
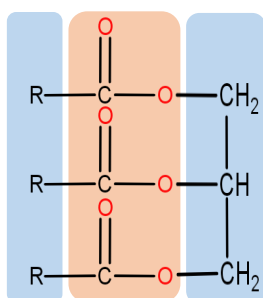


روش تشخیص اسید و الکل اولیه یک استر:

روش تهیه استرهای سه عاملی:

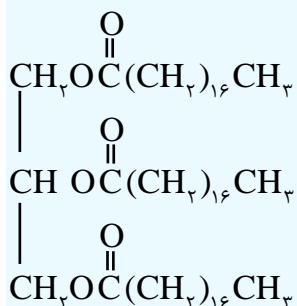


به قسمت‌های قطبی و ناقطبی در شکل یک استر سه عاملی دقت کنید:



### تمرین

۷) فرمول اسید و الکل سازنده استر مقابل را بنویسید.

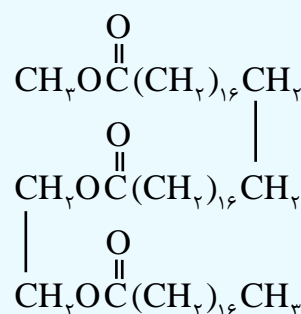
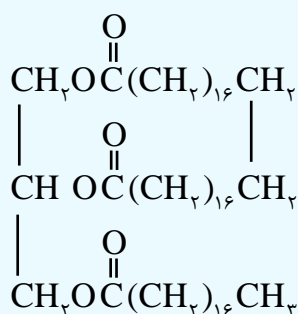
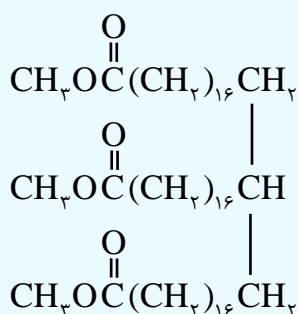






### تمرین

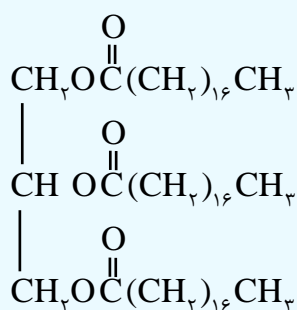
۸) در هر یک از مولکول‌های زیر مشخص کنید الکل و اسید سازنده چند عاملی هستند.



چربی: مخلوطی از اسیدهای چرب و استرهای بلند زنجیر (با جرم مولی زیاد) هستند.

### تمرین

۹) با توجه به شکل مقابل درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.



آ- این ترکیب یک اسید چرب سه عاملی است.

ب- سه نوع الکل در ساخت آن بکار رفته است.

پ- هر مول اسید سازنده آن دارای ۳۵ هیدروژن است.

ت- یکی از اجزای سازنده اسید چرب است.

ث- به علت داشتن سر قطبی در آب محلول است.

### تمرین

۱۰) با توجه به شکل مقابل درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.



آ- از یک اسید سه عاملی تشکیل شده است.

ب- به علت داشتن هر دو سر قطبی و ناقطبی هم در آب و هم در هگزان محلول است.

پ- این مولکول دارای حداقل سه پیوند دوگانه است.

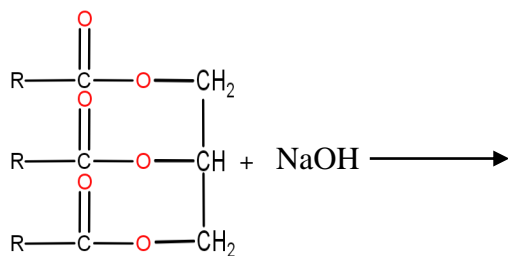
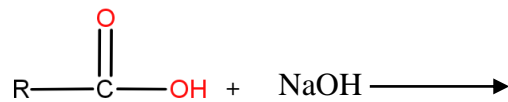
ت- یکی از مواد سازنده آن مولکولی با ساختار است.

ث- الکل سازنده آن در مجموع ناقطبی است.

ج- می‌تواند ساختار روغن زیتون باشد.

## صابون‌ها

صابون‌ها از واکنش چربی و یک باز پدید می‌آیند. در واقع صابون‌ها نمک اسیدهای چرب هستند.

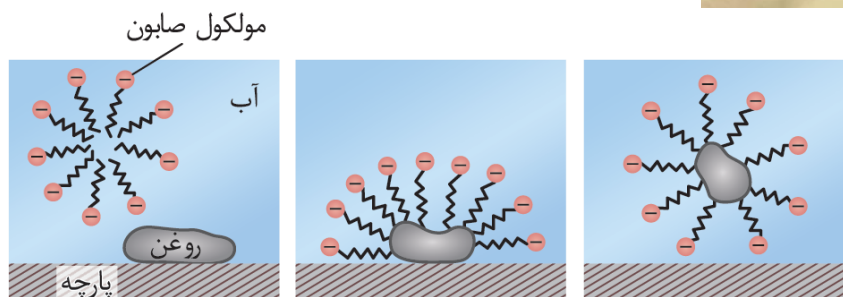
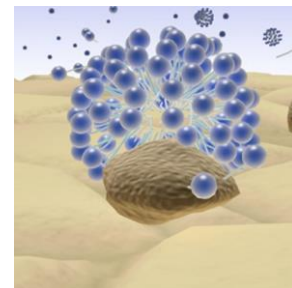
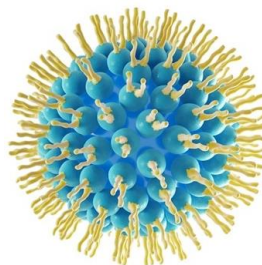
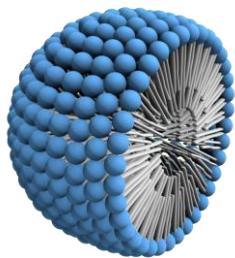


ساختار عمومی صابون‌ها:



نکته

با توجه به این‌که صابون هم سر قطبی و هم سر غیرقطبی دارد، هم در آب حل می‌شود هم در چربی. به بخش‌های ناقطبی صابون که در آب حل نمی‌شوند آب‌گریز و به بخش قطبی صابون که در آب حل می‌شود آب‌دوست می‌گوییم.





- ۱- پس از حل شدن صابون در آب، بخش کاتیونی صابون از بخش آنیونی آن جدا می‌شود؛ بنابراین بخش کاتیونی در شویندگی تأثیری ندارد.
- ۲- بخش آنیونی دارای یک بخش قطبی و آب‌دوست است که هنگام شستشوی یک لکه چربی در آب حل می‌شود.
- ۳- بخش آنیونی دارای یک بخش ناقطبی نیز می‌باشد که چربی‌دوست و آب‌گریز بوده و در هنگام شستشوی یک لکه چربی در چربی حل می‌شود.
- ۴- در واقع مولکول‌های صابون مانند پلی بین مولکول‌های آب و چربی قرار می‌گیرند.

### تمرین

۱۱) درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

آ-  $\text{RCOONa}$  فرمول عمومی صابون جامد است.

ب- در هنگام شستشوی یک لکه چربی توسط صابون، یون‌های  $\text{Na}^+$  درون قطره چربی پخش می‌شوند.

پ- قسمت آنیونی صابون در آب ساختاری می‌گیرد که قسمت ناقطبی آن با آب پیوند می‌دهد.

ت- فرمول یک پاک‌کننده صابونی جامد که زنجیر هیدروکربنی سیرشده آن ۱۳ کربن دارد  $\text{C}_{14}\text{H}_{27}\text{O}_2\text{Na}$  است.

ث- اگر زنجیر هیدروکربنی یک شوینده مایع دارای ۱۴ کربن و ۲ پیوند دوگانه باشد فرمول عمومی آن می‌تواند به صورت  $\text{C}_{15}\text{H}_{25}\text{O}_2\text{K}$  باشد.

### انواع مخلوط

مخلوط

همگن	← محلول	مانند: هوا، آب نمک و ...
ناهمگن	← کلئید	مخلوط‌های حاوی توده‌های مولکولی با اندازه متفاوت مانند: شیر، ژله،
	← سس مایونز، رنگ پوششی و ...	
	← سوسپانسیون	مخلوط‌های ناهمگنی هستند که ته‌نشین می‌شوند مانند: شربت معده و ...

**توجه** مخلوط آب و روغن یک مخلوط ناپایدار است؛ زیرا به محض اینکه هم زدن را متوقف کنید آب و روغن از هم جدا شده و دو لایه مجزا را تشکیل می‌دهند. اما اگر مقداری صابون به این مخلوط اضافه کنیم و به هم بزنیم یک مخلوط پایدار ایجاد می‌شود که ناهمگن بوده و کلئید نام دارد. شکل زیر کلئید پایدار شده آب و روغن به وسیله صابون را نشان می‌دهد که برای نمایش بهتر به آب دو قطره رنگ افزوده شده است.





## تمرین ✓

(۱۲) جدول زیر را کامل کنید.

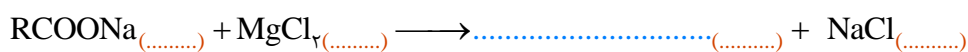
محلول	کلوئید	سوسپانسیون	
پخش نمی‌کند	پخش می‌کند	پخش می‌کند	رفتار در برابر نور
همگن		ناهمگن	همگن بودن
پایدار			پایداری
مولکول‌ها و یون‌ها			ذره سازنده
			مثال



تعریف پایداری:

## عوامل مؤثر بر روی پاک‌کنندگی صابون‌ها

۱- نوع آب: به آبی که حاوی مقادیر چشم‌گیری یون‌های کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) و منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ ) می‌باشد، آب سخت می‌گوییم. صابون در آب سخت خوب کف نمی‌کند و قدرت پاک‌کنندگی آن کاهش می‌یابد؛ زیرا صابون با یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب سخت رسوب تشکیل می‌دهد. لکه‌های سفیدی که پس از شستن لباس با صابون روی آن‌ها برجای می‌ماند، نشانه‌ای از تشکیل چنین رسوب‌هایی است.



## نکته

نوع صابون	نوع پارچه	دما	درصد لکه باقی‌مانده
صابون بدون آنزیم	نخی	۳۰	۲۵
صابون بدون آنزیم	نخی	۴۰	۱۵
صابون آنزیم‌دار	نخی	۳۰	۱۰
صابون آنزیم‌دار	نخی	۴۰	۰
صابون آنزیم‌دار	پلی استر	۴۰	۱۵

۲- دما:

۳- نوع پارچه:

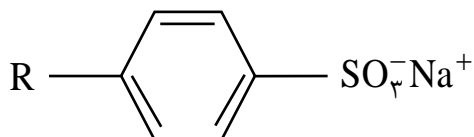
۴- مقدار صابون:

۵- آنزیم‌ها:



## در جست‌وجوی پاک‌کننده‌های جدید

شیمی‌دان‌ها به دنبال موادی بودند که قدرت پاک‌کنندگی زیادی داشته باشند و در آب سخت نیز قدرت خود را از دست ندهند. آن‌ها توانستند از بنزن و دیگر مواد اولیه در صنعت پتروشیمی، مواد پاک‌کننده‌ای با فرمول همگانی زیر تولید کنند که به پاک‌کننده‌های غیر صابونی مشهورند.



بنابراین مولکول‌هایی با فرمول  $\text{R} - \text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$  همانند  $\text{RCOONa}$  پاک‌کننده هستند با این تفاوت که از بنزن و مواد پتروشیمیایی طی واکنش‌های پیچیده در صنعت تولید می‌شوند. این مواد قدرت پاک‌کنندگی بیشتری نسبت به صابون دارند و در آب‌های سخت نیز خاصیت پاک‌کنندگی خود را حفظ می‌کنند؛ زیرا با یون‌های موجود در این آب‌ها رسوب تشکیل نمی‌دهند.



**نکته** صابون‌های طبیعی مانند صابون مراغه فاقد افزودنی هستند ولی به صابون‌های جدید افزودنی‌هایی اضافه می‌شود.

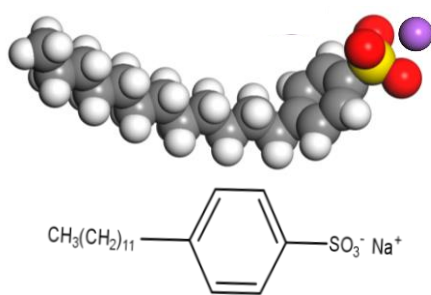
**صابون گوگرددار:** برای از بین بردن جوش صورت و همچنین قارچ‌های پوستی

**صابون کلردار:** برای افزایش خاصیت ضد عفونی‌کنندگی و میکروب‌کشی

**صابون فسفات‌دار:** برای افزایش قدرت پاک‌کنندگی شوینده‌ها

هرچه شوینده‌ای مواد شیمیایی بیشتری داشته باشد، احتمال ایجاد عوارض جانبی آن بیشتر خواهد بود. به همین دلیل مصرف زیاد شوینده‌ها و تنفس بخار آن‌ها، عوارض پوستی و بیماری‌های تنفسی ایجاد می‌کند. برای همین برای حفظ سلامت بدن و محیط زیست، استفاده از شوینده‌های ملایم، طبیعی و مناسب توصیه می‌شود.

### تمرین



۱۳) با توجه به شکل درستی یا نادرستی هریک از عبارات‌ها را مشخص کنید.

آ- به علت وجود زنجیر ناقطبی بلند در آب حل نمیشود.

ب- بخش آب‌گریز آن دارای ۱۲ کربن است.

پ- دارای ۹ جفت الکترون ناپیوندی در ساختار لوویس خود است.

ت- با حل شدن در آب، یون‌های سدیم توسط سرهای هیدروژن مولکول آب احاطه میشوند.

ث- همانند صابون‌ها دارای پیوند کووالانسی و یونی است.

ج- در آب‌های سخت، بدلیل عدم تشکیل رسوب با یون‌های منیزیم و کلسیم خاصیت شویندگی خود را حفظ میکند.

چ- از بنزین و دیگر مواد اولیه در صنایع پتروشیمی به‌دست می‌آید.



## پاک‌کننده‌های خورنده

نحوه عمل پاک‌کننده‌ها

بدون واکنش شیمیایی (براساس برهم‌کنش‌های بین ذره‌ای)

پاک‌کننده‌های صابونی

پاک‌کننده‌های غیرصابونی

با انجام واکنش شیمیایی و با استفاده از برهم‌کنش‌های بین ذره‌ای ← پاک‌کننده‌های خورنده

در هر یک از شکل‌های زیر با توجه به رنگ کاغذ pH می‌توانیم خاصیت مواد را مشخص کنیم.

ماده	رنگ کاغذ pH	خاصیت
محلول جوهر نمک (HCl)	قرمز	اسیدی
محلول سود (NaOH)	آبی	بازی
صابون	آبی	بازی
سرکه سفید	قرمز	اسیدی



سرکه سفید



صابون



محلول سود



محلول جوهر نمک

## تمرین

۱۴ نوعی پاک‌کننده که به شکل پودر عرضه می‌شود شامل مخلوط سدیم هیدروکسید و پودر آلومینیم است. این پاک‌کننده برای بازکردن مجاری مسدود شده در برخی وسایل و دستگاه‌های صنعتی استفاده می‌شود. با توجه به الگوی زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.



آ- فرمول فرآیند بالا را بنویسید.

ب- چرا از این پودر برای باز کردن لوله‌ها و مسیرهایی استفاده می‌شود که بر اثر ایجاد رسوب و تجمع چربی‌ها بسته شده‌اند؟

پ- این واکنش گرماگیر است یا گرماده؟

ت- گاز هیدروژن تولیدی چه تأثیری بر روی پاک‌کنندگی دارد؟





تمرین ✓

۱۵) بر روی ۲/۳۶ گرم شوینده غیر صابونی دارای سدیم با زنجیر هیدروکربنی و سیر شده که دارای ۴ اتم کربن می‌باشد مقدار زیادی  $\text{CaCl}_2$  می‌ریزیم. چند گرم رسوب تشکیل می‌شود؟ ( $\text{Ca} = 40, \text{C} = 12, \text{S} = 32, \text{O} = 16, \text{H} = 1, \text{Na} = 23$ )

تمرین ✓

۱۶) از ریختن مقدار زیادی  $\text{MgCl}_2$  بر روی یک صابون مایع که اتم نیتروژن ندارد و زنجیر هیدروکربنی آن دارای ۸ اتم کربن و دو پیوند دوگانه است، مقدار ۳۳ گرم رسوب حاصل شده است. مقدار اولیه صابون چند گرم بوده است؟ ( $\text{Mg} = 24, \text{C} = 12, \text{S} = 32, \text{O} = 16, \text{H} = 1, \text{Na} = 23, \text{Ca} = 40, \text{K} = 39 : \text{g.mol}^{-1}$ )



## نظریه آرنیوس

شواهد بسیاری نشان می‌دهد که پیش از آن‌که ساختار اسیدها و بازها شناخته شود، شیمی‌دان‌ها افزون بر ویژگی‌های اسیدها و بازها با برخی واکنش‌های آن‌ها نیز آشنا بودند. سوانت آرنیوس نخستین کسی بود که اسیدها و بازها را بر مبنای علمی توصیف کرد. او بر روی رسانایی الکتریکی محلول‌های آبی کار می‌کرد. یافته‌های تجربی او نشان داد که محلول اسیدها و بازها رسانای جریان الکتریکی هستند، هرچند میزان رسانایی آن‌ها با یکدیگر یکسان نیست.

### اسید آرنیوس

مطابق مدل آرنیوس، ماده‌ای که با حل شدن در آب مقدار یون  $H^+(aq)$  را افزایش دهد، اسید آرنیوس نام دارد.

۱

۲

نکته سه اکسید ..... ، ..... و ..... اکسیدهای خنثی هستند.

### باز آرنیوس

مطابق مدل آرنیوس، ماده‌ای که با حل شدن در آب مقدار یون  $OH^-(aq)$  را افزایش دهد، باز آرنیوس نام دارد.

۱

۲

۳

۴





## تمرین ✓

۱۷) به سوال‌های زیر را در رابطه با یون هیدرونیوم پاسخ دهید.

آ- واکنش یون  $H^+$  با آب را بنویسید.

ب- ساختار لوئیس یون هیدرونیوم را رسم کنید.

پ- تعداد الکترون‌های این یون و تعداد الکترون‌های لایه ظرفیت این یون را مشخص کنید.

**یونش:** به فرآیندی که در آن یک ترکیب مولکولی در آب به یون‌های مثبت و منفی تبدیل می‌شود، یونش می‌گویند.



## تمرین ✓

۱۸) جملات زیر را کامل کنید.

آ-  $HCl$  گاز است. ..... آرنیوس محسوب می‌شود؛ زیرا در آب باعث افزایش غلظت یون ..... می‌شود.

ب- سدیم هیدروکسید جامد یک ..... آرنیوس محسوب می‌شود؛ زیرا در آب باعث افزایش غلظت یون ..... می‌شود.

## تمرین ✓

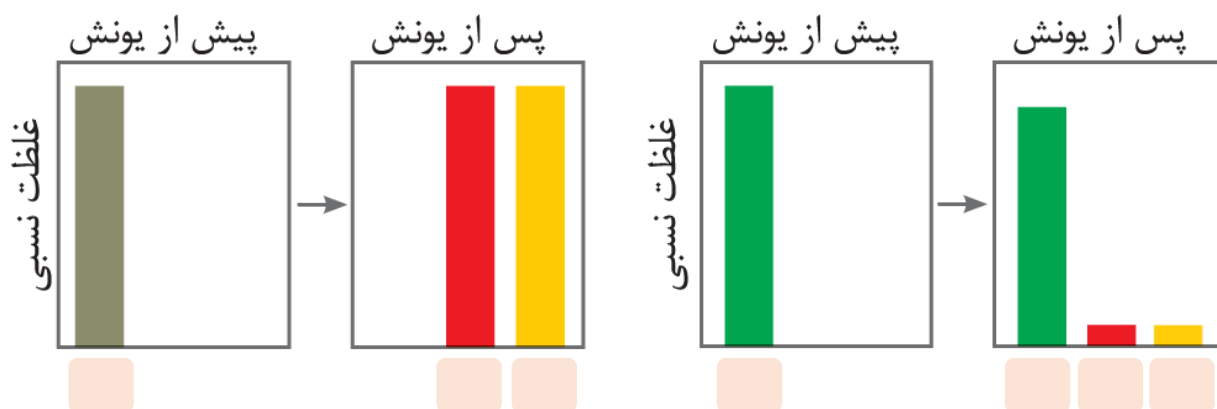
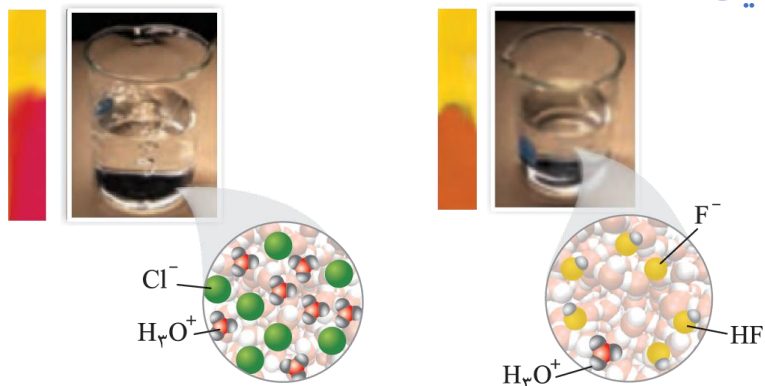
۱۹) از بین ترکیب‌های  $Li_2O$ ،  $SO_3$ ،  $BaO$ ،  $K_2O$ ،  $N_2O_5$  و  $CO_2$  اسیدها و بازهای آرنیوس را مشخص کنید.

## تمرین ✓

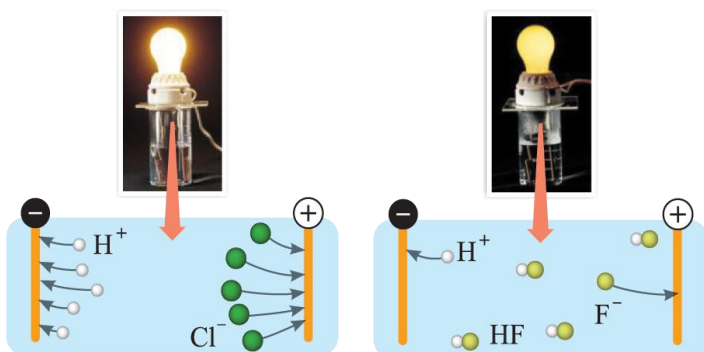
۲۰) تعداد یون‌های حاصل از انحلال هریک از ترکیب‌های  $Li_2O$ ،  $N_2O_5$ ،  $CO_2$  و  $SO_3$  را مشخص کنید.

## اسیدها و بازهای قوی و ضعیف

### اسیدهای قوی و ضعیف

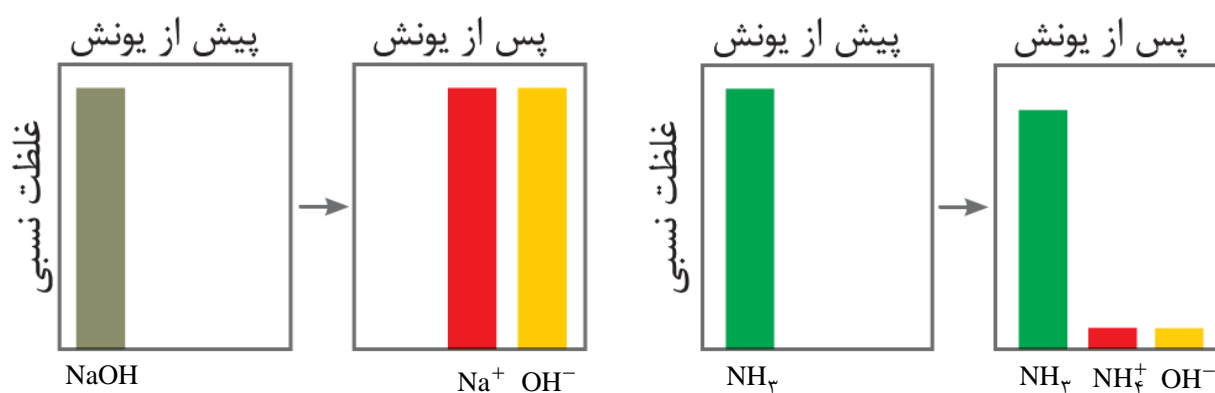
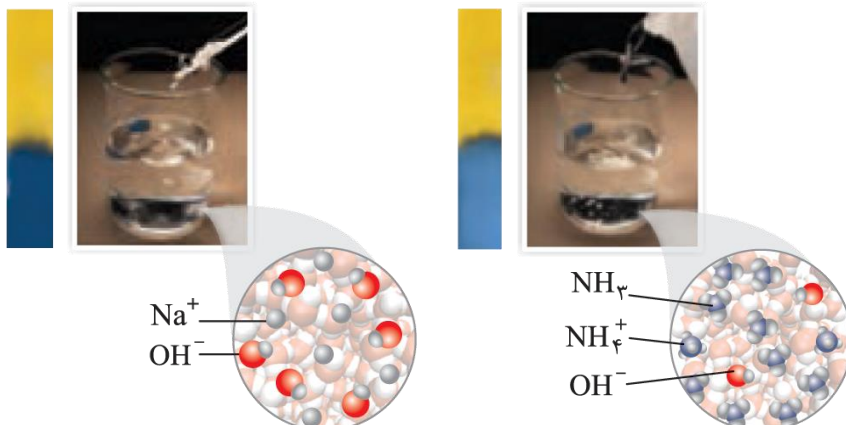


نکته: اسید تک پوتونه:



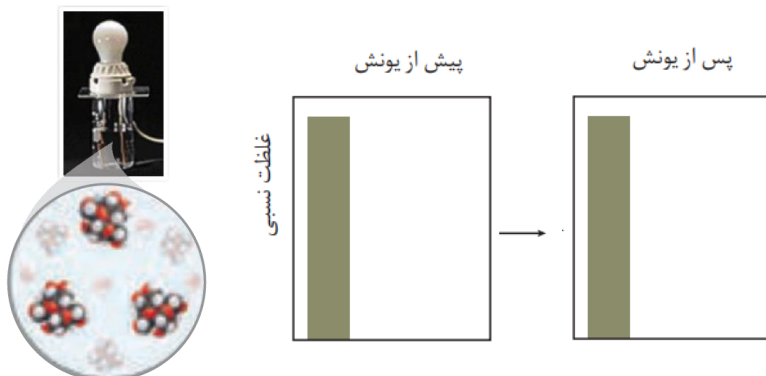
اسیدهای قوی عبارتند از:

## بازهای قوی و ضعیف



## بازهای قوی عبارتند از:

ممکن است ماده مورد نظر به صورت مولکولی حل شود و هیچ یونی تولید نکند.





## درجه یونش (تفکیک یونی)

شیمی‌دان‌ها برای بیان میزان یونش اسیدها، از کمیتی به نام درجه یونش ( $\alpha$ ) استفاده می‌کنند که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\text{درجه یونش } (\alpha) = \frac{\text{شمار مولکول‌های یونیده شده}}{\text{شمار کل مولکول‌های حل شده}}$$

**توجه** در این رابطه می‌توان به جای شمار مولکول‌ها، شمار مول‌ها یا غلظت مولی را قرار داد.

**توجه** در منابع علمی معتبر گاهی به جای درجه یونش از درصد یونش ( $\alpha \times 100$ ) استفاده می‌کنند.

$$\alpha = 0$$

$$\alpha = 1$$

$$0 < \alpha < 1$$

### تست

۲۱) در صورتی که از هر ۱۰۰۰ مولکول از یک اسید، ۸۵۲ مولکول در محلول به صورت یونیده نشده باقی بماند، درصد یونش این اسید کدام است؟

$$18/4(4)$$

$$14/8(3)$$

$$85/2(2)$$

$$58/2(1)$$



## تست ✓

(۲۲) چنانچه در محلول ۱/۲ مولار HA در دمای معین، از انحلال ۱۰۰۰ مولکول ۲۸ یون ایجاد شود، درصد یونش اسید کدام است؟

- ۲۸(۱)      ۲/۸(۲)      ۱۴(۳)      ۱/۴(۴)

## تست ✓

(۲۳) اگر در محلول ۰/۱ مولار استیک اسید در دمای معین، غلظت یون هیدرونیوم برابر  $10^{-3} \times 35 / \text{mol.L}^{-1}$  باشد، درصد یونش آن در این دما چقدر است؟

- ۱/۳۵(۱)      ۱۳/۵(۲)      ۰/۱(۳)      ۰/۰۱(۴)

## تست ✓

(۲۴) در ۲۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۲ مولار  $\text{HNO}_3$ ، ۹۲٪ گرم یون نیتريت وجود دارد. درصد یونش این اسید در دمای آزمایش کدام است؟ ( $\text{H} = 1, \text{N} = 14, \text{O} = 16: \text{g.mol}^{-1}$ )

- ۲(۱)      ۰/۲۵(۲)      ۵(۳)      ۰/۷۵(۴)

## تست ✓

(۲۵) در صورتی که درصد یونش اسید ضعیف HA برابر ۱۲/۵ درصد باشد و در یک محلول ۴۰ میلی لیتری از آن  $4 \times 10^{-2}$  مولکول HA وجود داشته باشد، غلظت تقریبی یون  $\text{H}^+$  در این محلول چقدر است؟

- ۲/۸  $\times 10^{-3}$  (۱)      ۲/۲  $\times 10^{-3}$  (۲)      ۲/۵  $\times 10^{-3}$  (۳)      ۱/۵  $\times 10^{-3}$  (۴)

## واکنش های تعادلی

حضور هم‌زمان واکنش دهنده ها و فرآورده‌ها در مخلوط واکنش را می‌توان نشانه‌ای از برگشت پذیر بودن آن واکنش دانست.

**واکنش های تعادلی:** هرگاه در یک واکنش برگشت پذیر، سرعت واکنش رفت و برگشت باهم برابر شود، آن واکنش را تعادلی می‌نامیم. در این واکنش ها همه ی واکنش دهنده ها به فرآورده تبدیل نمی‌شوند، بلکه در شرایط معین مقدار آن‌ها در سامانه ثابت خواهد ماند. واکنش تعادلی را با نماد ( $\rightleftharpoons$ ) نمایش می‌دهند.

برای مثال واکنش  $nA \xrightleftharpoons[R_{\text{برگشت}}]{R_{\text{رفت}}} mB$  را در نظر بگیرید.

$$R_{\text{رفت}} = \text{_____} = \text{_____}$$

$$R_{\text{برگشت}} = \text{_____} = \text{_____}$$

شرط تعادل:

### ۱) لحظه شروع واکنش

در لحظه شروع واکنش به این علت که فقط ماده اولیه در ظرف داریم، سرعت واکنش رفت در بیشترین مقدار خود است و سرعت واکنش برگشت صفر است.

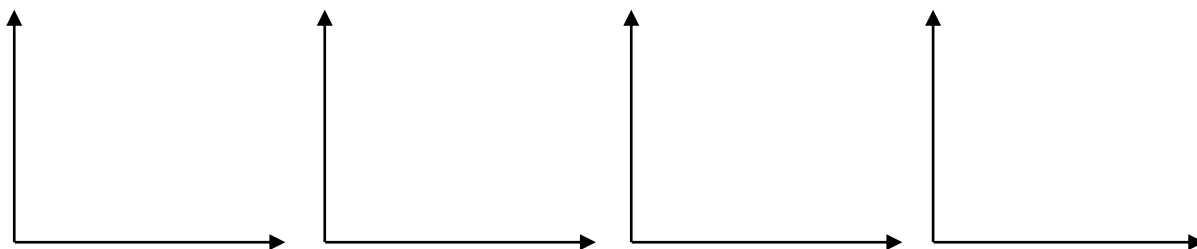
🎯 **نکته** واکنش رفت و برگشت را چگونه تشخیص می‌دهیم؟

### ۲) لحظاتی بعد از شروع واکنش

آرام آرام غلظت مواد اولیه کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت واکنش رفت هم کاهش می‌یابد و با توجه به تولید فرآورده سرعت واکنش برگشت نیز شروع به افزایش می‌کند.

### ۳) لحظه تعادل

سرعت‌ها در لحظه تعادل برابر و لزوماً مابین سرعت‌های اولیه واکنش‌های رفت و برگشت است.





## تمرین

۲۶) در واکنش تعادلی گازی  $2A \rightleftharpoons 3B$  که در ظرفی سربسته با مقداری A در دمای ثابت شروع می‌شود، کدام

عبارت‌ها همواره درست هستند؟

- آ- در آغاز سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیش تر است.  
 ب- در لحظه ای که غلظت واکنش دهنده و فراورده یکسان می‌شود، سرعت واکنش رفت و برگشت نیز برابر می‌گردد.  
 پ- پس از تعادل غلظت A و B باهم برابر می‌شود.  
 ت- سرعت تبدیل B به A با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

## تمرین

۲۷) در واکنش تعادلی گازی  $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$  که با مقداری  $NO_2$  در دمای ثابت شروع می‌شود، درستی یا نادرستی

هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

- آ- در لحظه تعادل سرعت مصرف  $NO_2$  و سرعت تولید  $N_2O_4$  باهم برابر است.  
 ب- غلظت  $NO_2$  و  $N_2O_4$  در لحظه تعادل متناسب با ضرایب استوکیومتری آن‌هاست.  
 پ- این تعادل فقط می‌تواند در ظرف دربسته برقرار شود.  
 ت- مجموع تعداد مول‌های  $NO_2$  و  $N_2O_4$  از آغاز تا رسیدن به تعادل روند کاهشی خواهند داشت.

## چگونگی تغییرات غلظت در واکنش‌های تعادلی

	$2A \rightleftharpoons B$	
غلظت اولیه		
تغییر غلظت		
غلظت تعادلی		

	$2A \rightleftharpoons B$	
غلظت اولیه		
تغییر غلظت		
غلظت تعادلی		

	$2A \rightleftharpoons B$	
غلظت اولیه		
تغییر غلظت		
غلظت تعادلی		

	$2A \rightleftharpoons B$	
غلظت اولیه		
تغییر غلظت		
غلظت تعادلی		

	$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$			
غلظت اولیه				
تغییر غلظت				
غلظت تعادلی				





## تمرین ✓

- ۲۸) اگر واکنش تعادلی گازی  $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$  در یک ظرف یک لیتری با ۲ مول از هریک از مواد اولیه شروع شود، درستی یا نادرستی هریک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.
- آ- تعادل زمانی برقرار می‌شود که سرعت مصرف  $SO_2$  با سرعت تولید  $SO_3$  برابر شود.
- ب- تعادل زمانی برقرار می‌شود که سرعت مصرف  $SO_2$  با سرعت مصرف  $O_2$  برابر شود.
- پ- سرعت تولید  $SO_3$  تا رسیدن به تعادل در حال کاهش است.
- ت- سرعت تولید  $O_2$  در آغاز برابر صفر است.
- ث- در لحظه تعادل غلظت  $SO_2$  و  $SO_3$  با هم برابر است.
- ج- بعد از تعادل غلظت  $O_2$  از غلظت  $SO_2$  بیش‌تر است.
- چ- غلظت  $SO_3$  بعد از تعادل ۲ برابر غلظت  $O_2$  است.
- ح- مجموع تعداد مول‌ها از آغاز تا رسیدن به تعادل روند کاهشی داشته است.
- خ- سرعت مصرف  $SO_2$  تا رسیدن به حالت تعادل در حال افزایش است.

## ثابت تعادل

یک واکنش تعادلی در حالت کلی در واقع یک واکنش ناقص است به عبارت دیگر تمام واکنش دهنده‌ها به فرآورده تبدیل نمی‌شوند. ثابت تعادل عاملی است که به ما نشان می‌دهد در لحظه تعادل چه مقدار از مواد واکنش دهنده به فرآورده تبدیل شده است.

برای یک سامانه تعادلی در دمای ثابت غلظت تعادلی گونه‌های موجود در محلول ثابت می‌ماند؛ زیرا سرعت تولید هرگونه با سرعت مصرف آن برابر است. برای واکنش فرضی  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$  ثابت تعادل به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$K_a = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

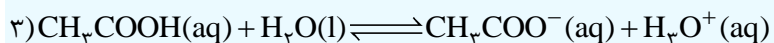
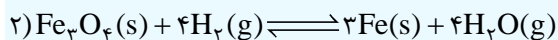
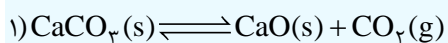
📌 نکته در نوشتن عبارت ثابت تعادل از نوشتن غلظت جامدها و مایع‌های خالص خودداری می‌کنیم.

📌 نکته برای به دست آوردن واحد ثابت تعادل می‌توانیم بجای غلظت‌ها، واحد مول بر لیتر قرار دهیم.



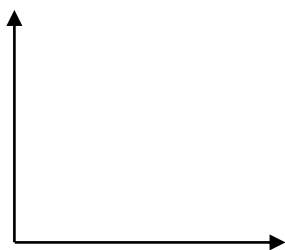


۲۹) ثابت تعادل واکنش‌های زیر را نوشته و واحد آن‌ها را بدست آورید.

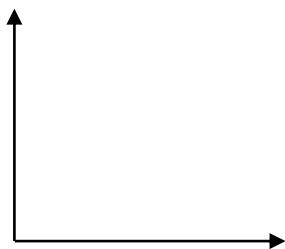


### تفسیر مقدار عددی ثابت تعادل

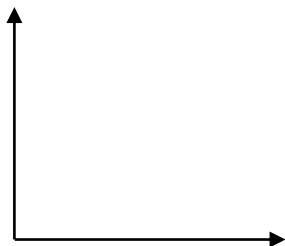
۱- اگر مقدار عددی ثابت تعادل بسیار کوچک باشد ( $K_a \leq 10^{-10}$ ):



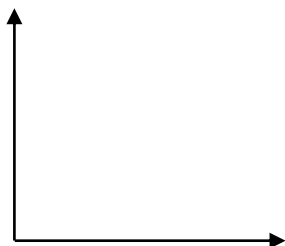
۲- اگر مقدار عددی ثابت تعادل بسیار بزرگ باشد ( $K_a \geq 10^{10}$ ):



۳- اگر مقدار عددی ثابت تعادل بزرگ باشد ( $10^{10} > K_a > 1$ ):



۴- اگر مقدار عددی ثابت تعادل کوچک باشد ( $10^{-10} < K_a < 1$ ):



۵- اگر مقدار عددی ثابت تعادل تقریباً یک باشد ( $K_a = 1$ ):



## مسائل ثابت تعادل

## تست

۳۰. اگر در تعادل گازی  $2A \rightleftharpoons 3B$  در یک سامانه بسته دولیتري، مقدار A و B به ترتیب برابر ۴٪ و ۱/۲ مول باشد، ثابت این تعادل در شرایط آزمایشگاه کدام است؟

۴/۵ (۴)

۵/۴ (۳)

۲/۴ (۲)

۴/۲ (۱)

## تست

۳۱. در تعادل گازی:  $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ ,  $K = 4 \times 10^2 \text{ mol.L}^{-1}$ ، اگر تعداد مول های  $SO_2$ ،  $O_2$  و  $SO_3$  در لحظه تعادل به ترتیب برابر ۲٪، ۲٪ و ۴٪ باشد، حجم ظرفی که واکنش درون آن انجام می‌شود برابر چند لیتر است؟

۱ (۴)

۴ (۳)

۳ (۲)

۲ (۱)

## تست

۳۲. در تعادل گازی:  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$  ثابت تعادل برابر ۹ می‌باشد. چنانچه در محفظه ای به حجم یک لیتر در دمای معین یک مول گاز CO با یک مول گاز  $H_2O$  واکنش دهند، غلظت تعادلی CO چند مول بر لیتر خواهد بود؟

۰/۶۵ (۴)

۰/۲۸ (۳)

۰/۷۵ (۲)

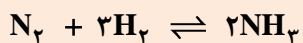
۰/۲۵ (۱)

	$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$			
غلظت اولیه				
تغییر غلظت				
غلظت تعادلی				



## تمرین

(۳۳) در ظرفی به حجم یک لیتر ۳ مول گاز نیتروژن و ۲ مول گاز هیدروژن وارد می‌کنیم. پس از برقراری تعادل مجموع تعداد مول‌های در حال تعادل برابر ۴ مول است. ثابت تعادل واکنش تجزیه آمونیاک را حساب کنید؟



## تمرین

(۳۴) در ظرفی به حجم ۲ لیتر مقدار ۱۰/۲ گرم آمونیوم هیدروژن سولفید در واکنش:  $\text{NH}_4\text{HS(s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{S(g)}$  وارد می‌شود و پس از تجزیه شدن ۲۰ درصد آن، واکنش به تعادل می‌رسد. ثابت تعادل این واکنش را محاسبه کنید. ( $\text{N} = 14, \text{H} = 1, \text{S} = 32; \text{g.mol}^{-1}$ )

## تست

(۳۵) X مول ماده A را در یک ظرف سربسته یک لیتری در دمای معین قرار می‌دهیم تا تعادل گازی:  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B} + 3\text{C}$  برقرار شود. هرگاه در حالت تعادل، تعداد مول‌های C برابر ۳/۰ مول و تعداد مول‌های A برابر ۲/۰ مول باشد، X کدام است؟

۰/۴ (۱)                      ۰/۲ (۲)                      ۰/۵ (۳)                      ۰/۳ (۴)

	$2\text{A} \rightleftharpoons \text{B} + 3\text{C}$		
غلظت اولیه			
تغییر غلظت			
غلظت تعادلی			



تست ✓

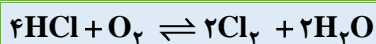
۳۶ مخلوطی از ۵ مول گاز HCl را با ۱/۱ مول گاز اکسیژن در ظرف سربسته دولیتری تا رسیدن به حالت تعادل گازی:  $4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  گرم می‌کنیم. اگر در حالت تعادل، ۸۰ درصد گاز HCl تجزیه شده باشد، ثابت این تعادل در شرایط آزمایشگاه کدام است؟

$$4/2 \times 10^{-2} (4)$$

$$3/2 \times 10^{-2} (3)$$

$$4 \times 10^{-2} (2)$$

$$3 \times 10^{-2} (1)$$



غلظت اولیه				
تغییر غلظت				
غلظت تعادلی				

### ثابت یونش اسید و باز

**ثابت یونش اسید ( $K_a$ ):** ثابت تعادل برای اسیدها به ثابت یونش اسید معروف است؛ که نسبت حاصل ضرب غلظت یون‌های

موجود در محلول را به غلظت تعادلی آن اسید نشان می‌دهد.

$$\text{HF(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq}) \quad K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

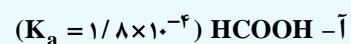
در دمای یکسان هرچه ثابت یونش یک اسید در دمای معین بزرگ‌تر باشد، آن اسید بیش‌تر یونیده شده است و غلظت یون‌های موجود در آن محلول بیش‌تر است.

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش	معادله یونش در آب
هیدرویدیک اسید	HI	بسیار بزرگ	$\text{HI(aq)} \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq})$
هیدروبرمیک اسید	HBr	بسیار بزرگ	$\text{HBr(aq)} \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq})$
هیدروکلریک اسید	HCl	بسیار بزرگ	$\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
سولفوریک اسید	$\text{H}_2\text{SO}_4$	بسیار بزرگ	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{HSO}_4^-(\text{aq})$
نیتریک اسید	$\text{HNO}_3$	بزرگ	$\text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$
هیدروفلوئوریک اسید	HF	$5/9 \times 10^{-4}$	$\text{HF(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq})$
نیترو اسید	$\text{HNO}_2$	$4/5 \times 10^{-4}$	$\text{HNO}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{NO}_2^-(\text{aq})$
فورمیک اسید	HCOOH	$1/8 \times 10^{-4}$	$\text{HCOOH(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{HCOO}^-(\text{aq})$
استیک اسید	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1/8 \times 10^{-5}$	$\text{CH}_3\text{COOH(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
هیدروسیانیک اسید	HCN	$4/9 \times 10^{-10}$	$\text{HCN(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CN}^-(\text{aq})$



تمرین

۳۷) معادله یونش هریک از اسیدهای زیر را بنویسید.



تمرین

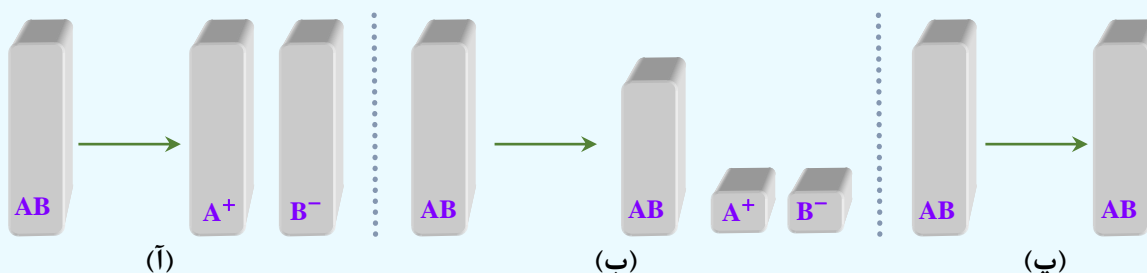
۳۸) درستی و نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

آ- در محلول ۰/۲ مولار  $\text{HBr}$  غلظت یون  $\text{Br}^-$  برابر ۰/۲ است.

ب- غلظت یون هیدرونیوم در محلول ۰/۱ مولار  $\text{HF}$  بیشتر از ۰/۱ مولار  $\text{HCN}$  است.

تمرین

۳۹) باتوجه به شکل‌های زیر به سؤالات پاسخ دهید.



آ- هریک از ترکیب‌های  $\text{HBr}$ ،  $\text{CH}_3\text{COOH}$  و  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  را به کدام شکل‌ها نسبت می‌دهید؟

ب- هریک از ثابت تعادل‌های زیر را به کدام شکل نسبت می‌دهید؟

$K_{a_1} = 10^{-8}$        $K_{a_2} = 10^{-3}$        $K_{a_3} = 10^{-3}$

پ- هریک از درجه یونش‌های زیر را به کدام شکل نسبت می‌دهید؟

$\alpha = 1$        $\alpha = 0$        $0 < \alpha < 1$



## تمرین ✓

۴۰) درستی یا نادرستی هریک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

آ- در محلول ۰/۰۵ مولار فرمیک اسید، غلظت یون هیدرونیوم برابر با ۰/۰۵ است.

ب- در محلول ۰/۰۵ مولار هیدرویدیک اسید، غلظت یون هیدرونیوم برابر با ۰/۰۵ است.

پ- در محلول ۰/۰۵ مولار هیدروسیانیک اسید، رابطه  $[H^+] = [CN^-]$  برقرار است.

ت- در محلول ۰/۰۵ مولار استیک اسید، رابطه  $[CH_3COOH] > [H^+]$  برقرار است.

ث- در محلول ۰/۰۵ مولار هیدرویدیک اسید، رابطه  $[HI] = [H^+]$  برقرار است.

ج- غلظت یون هیدرونیوم در محلول HCl، بیشتر از غلظت این یون در محلول HCN است.

چ- در محلول ۰/۰۵ مولار هیدروسیانیک اسید  $[HCN] = ۰/۰۵$  است.

ح- در محلول ۰/۰۵ مولار نیتریک اسید، غلظت یون هیدرونیوم بیشتر از محلول ۰/۰۵ مولار نیترو اسید است.

خ- در محلول استیک اسید غلظت یون هیدرونیوم بیشتر از غلظت آنیون آن است.

د- در محلول ۰/۰۵ مولار هیدروبرمیک اسید،  $[Br^-] = ۰/۰۵$  است.

حل سوالات  $K_a$ :

	$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$		
غلظت اولیه			
تغییر غلظت			
غلظت تعادلی			

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

## تمرین ✓

(۴۱) بوتانویک اسید دارای  $K_a = 3 \times 10^{-6}$  است. غلظت یون هیدرونیوم در محلول ۰/۳٪ مولار آن را محاسبه کنید؟

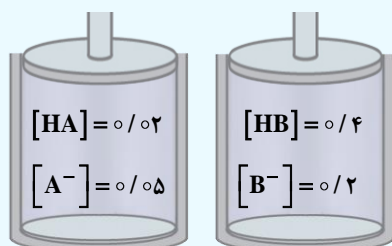
## تمرین ✓

(۴۲) درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.  
آ- در دمای یکسان غلظت یون هیدرونیوم در اسید قوی‌تر بیشتر است.

۲- در دمای یکسان درجه‌ی یونش اسید قوی‌تر بزرگ‌تر است.

## تمرین ✓

(۴۳) با توجه به شکل‌های زیر که غلظت تعادلی مواد در آن داده شده است، به سؤالات زیر پاسخ دهید.



آ- غلظت یون هیدرونیوم در کدام اسید بیش‌تر است؟  
ب- کدام اسید قوی‌تر است؟

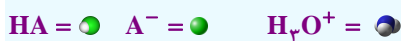


## تمرین ✓

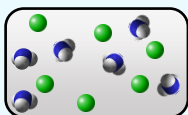
(۴۴) ۴/۶ گرم HA را در ۱۰۰ میلی لیتر آب حل می‌کنیم. اگر غلظت یون هیدرونیوم برابر با ۰/۲ مولار باشد. درجه یونش و ثابت یونش این اسید را محاسبه کنید. ( $H = 1, A = 45 : g.mol^{-1}$ )

## تمرین ✓

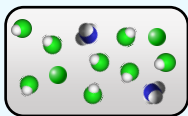
(۴۵) اگر هر گلوله به اندازه ۰/۱ مول ماده باشد و حجم ظرف‌ها یک لیتری باشد، ثابت یونش و درجه یونش اسید موجود در هر کدام از ظرف‌ها را محاسبه کنید.



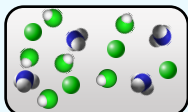
HX



HY



HZ



## تمرین ✓

(۴۶) ۰/۴ مول HA در ۲ لیتر آب حل شده است. اگر درصد یونش این اسید در شرایط آزمایش برابر با ۰/۳ باشد، به سؤالات زیر پاسخ دهید.  
آ- غلظت تعادلی HA را به طور دقیق محاسبه کنید.

ب- ثابت یونش این اسید تقریباً چه قدر است؟





## تمرین

(۴۷) اگر در محلول آمونیاک غلظت تعادلی آمونیاک ۰/۰۲ مولار باشد، با توجه به اینکه  $K_b = 1/8 \times 10^{-5}$  است، غلظت یون هیدروکسید چند مولار است؟

کمی ریاضیات:  $\log A^n = n \log A$      $\log(A \times B) = \log A + \log B$      $\log\left(\frac{A}{B}\right) = \log A - \log B$

$$\log 1 =$$

$$\log 2 =$$

$$\log 3 =$$

$$\log 5 =$$

## تمرین

(۴۸) عبارت‌های زیر را محاسبه کنید.

$$۱) \log 2 \times 10^{-5} =$$

$$۲) \log 8 \times 10^{-4} =$$

$$۳) \log 14 \times 10^{-2} =$$

$$۴) -\log(4 \times 10^{-3}) =$$

$$۵) -\log(5 \times 10^{-6}) =$$

$$۶) -\log(7 \times 10^{-2}) =$$

$$۷) -\log \sqrt{5 \times 10^{-10}} =$$

$$۸) 10^{-2/7} =$$

$$۹) 10^{-3/5} =$$

$$۱۰) 10^{-9/1} =$$



## مفهوم pH

مفهوم p چیست؟

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

همواره در هر محلول آبی در دمای ۲۵ درجه داریم:



افزایش اسید  
 $HCl$



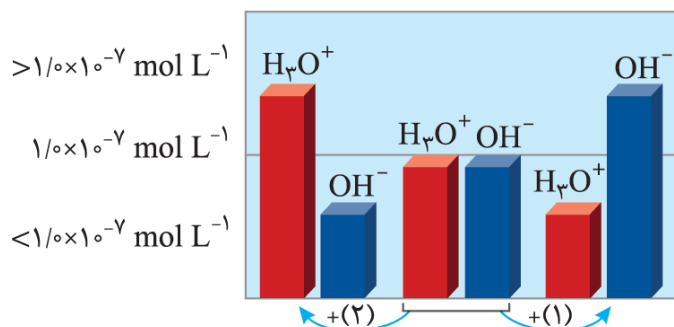
افزایش باز  
 $NaOH$



$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= 10^{-14} \\ [H^+] &> 10^{-7} \\ [OH^-] &< 10^{-7} \end{aligned}$$

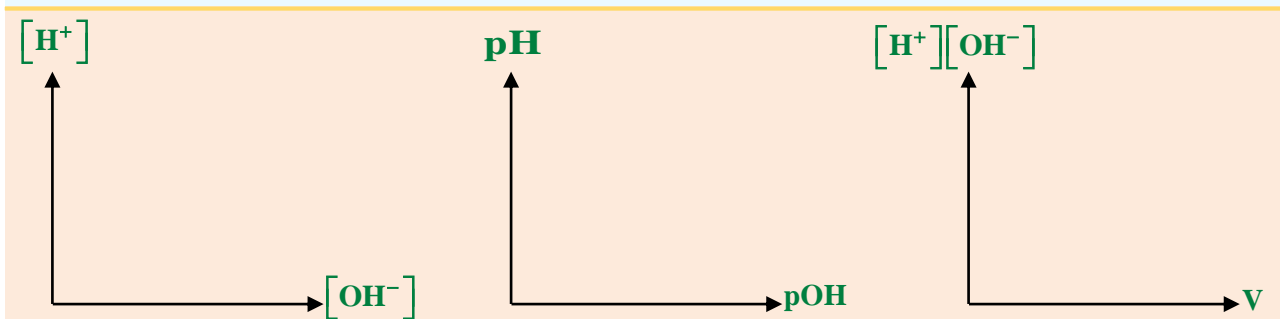
$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= 10^{-14} \\ [H^+] &= [OH^-] = 10^{-7} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= 10^{-14} \\ [H^+] &< 10^{-7} \\ [OH^-] &> 10^{-7} \end{aligned}$$



### تمرین

۴۹ نمودارهای زیر را در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد رسم کنید.





## مسایل pH

فرمول‌ها:

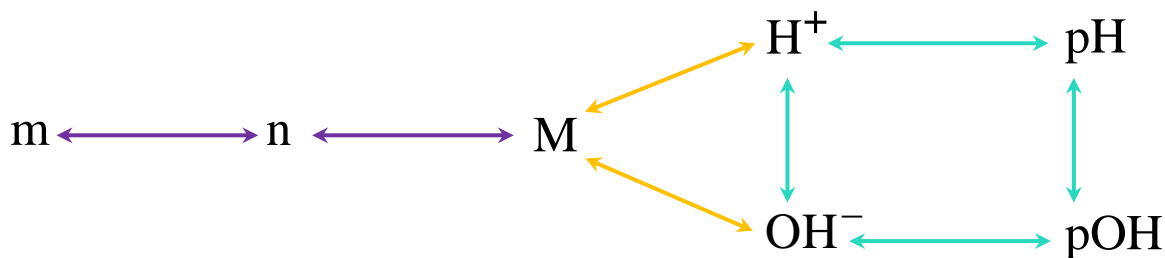
$$1) \text{pH} = -\log [\text{H}^+] \longrightarrow 1') [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

$$2) \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \longrightarrow 2') [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

$$3) [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \longrightarrow 3') \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$4) [\text{H}^+] = M.\alpha \quad 4') [\text{OH}^-] = M.\alpha.OH \quad \text{تعداد}$$

**دسته اول:** اطلاعات راجع به یک ماده است و خصوصیات آن ماده مورد سؤال قرار گرفته است. در این حالت باید از الگوی زیر استفاده کنیم:



### تست

۵۰ pH محلول  $8 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  هیدروسیانیک اسید با درصد یونش ۰/۰۲ کدام است؟

۵/۱ (۴)

۴/۸ (۳)

۳/۱ (۲)

۲/۸ (۱)

### تست

۵۱ اگر درجه یونش محلول آمونیاک ۰/۰۱ مولار ۰/۱ باشد، pH این محلول کدام است؟

۱۳ (۴)

۱۲ (۳)

۱۱ (۲)

۳ (۱)



## تمرین ✓

(۵۲) ۴ گرم هیدروفلوئوریک اسید در ۲۰ لیتر آب مقطر حل شده است. اگر درصد تفکیک یونی این اسید در شرایط آزمایش ۰/۲ باشد، pH این محلول چقدر است؟ ( $\text{HF} = ۲۰ : \text{g.mol}^{-1}$ )

## تمرین ✓

(۵۳) ۰/۰۰۸ گرم سود در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده است. pH این محلول چقدر است؟ ( $\text{NaOH} = ۴۰ : \text{g.mol}^{-1}$ )

## تست ✓

(۵۴) به تقریب چند گرم از باز ضعیف  $\text{BOH(s)}$  ( $M = ۸۰ : \text{g.mol}^{-1}$ ) با درصد تفکیک ۲٪ باید به ۲۵۰ mL آب اضافه شود تا محلولی با  $\text{pH} = ۱۱$  به دست آید؟ (ریاضی ۹۳)

۸ (۴)

۴ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

## تمرین ✓

(۵۵) در هر میلی لیتر از نیتریک اسید ۱/۲۶ میلی گرم نیتریک اسید حل شده است. pH این محلول چقدر است؟ ( $\text{HNO}_3 = ۶۳ : \text{g.mol}^{-1}$ )

تمرین ✓

۵۶ (۵٪) مول باریوم هیدروکسید را در ۲ لیتر آب مقطر حل می‌کنیم. pH این محلول چقدر میشود؟

تمرین ✓

۵۷ (۵٪) در ۲ لیتر محلول  $\text{HNO}_3$  با  $\text{pH} = 1/7$ ، چند گرم  $\text{HNO}_3$  حل شده است؟ ( $\text{HNO}_3 = 63 : \text{g.mol}^{-1}$ )

تست ✓

۵۸ (۵٪) اگر در محلول هیدروکلریک اسید، مولاریته یون هیدرونیوم  $4 \times 10^{-8}$  برابر مولاریته یون هیدروکسید باشد، pH این محلول کدام است؟ (یاضی ۹۲)

۳/۷(۴)

۳/۳(۳)

۲/۷(۲)

۲/۳(۱)

تمرین ✓

۵۹ (۵٪) در محلول HA، اگر غلظت یون  $\text{A}^-$  برابر با ۲٪ و مولار و درجه یونش اسید برابر ۱٪ باشد، pH این محلول چقدر است؟



تمرین ✓

۶۰) ۲/۸ لیتر گاز هیدروژن کلرید را در شرایط STP در ۵ لیتر آب حل کرده‌ایم. pH محلول به دست آمده چقدر است؟

تمرین ✓

۶۱) در محلولی از HA، ۵٪ مول HA در دو لیتر آب مقطر حل شده است. اگر در این محلول  $\text{pH} = 4/3$  باشد، درصد تفکیک یونی این اسید در این شرایط چقدر است؟

تمرین ✓

۶۲) ۱/۰۸ گرم دی نیتروژن پنتاکسید را در ۲۰ لیتر آب مقطر حل می‌کنیم. pH این محلول چه عددی خواهد شد؟  
( $\text{N} = 14$ ,  $\text{O} = 16: \text{g.mol}^{-1}$ )

تمرین ✓

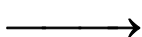
۶۳) ۰/۰۰۸ مول پتاسیم اکسید را در ۵ لیتر آب مقطر حل می‌کنیم. pH این محلول چه اندازه افزایش می‌یابد؟



**دسته دوم:** اگر در سؤال میزان ثابت یونش ( $K_b$  یا  $K_a$ ) داده یا خواسته شده بود می‌توانیم از روابط تعادل یا از روابط زیر استفاده کنیم.

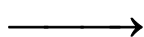
شرط بسیار مهم:  $\alpha < 0.05$  و یا  $K < 10^{-3}$

$$K_a = \frac{M\alpha^2}{1-\alpha}$$



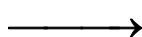
$$K_a = M\alpha^2$$

$$[H^+] = \sqrt{K_a M(1-\alpha)}$$



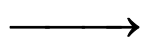
$$[H^+] = \sqrt{K_a M}$$

$$K_b = \frac{M\alpha^2}{1-\alpha}$$



$$K_b = M\alpha^2$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_b M(1-\alpha)}$$



$$[OH^-] = \sqrt{K_b M}$$

#### تست

۶۴ pH تقریبی محلول ۰/۱ مولار اسید ضعیف HA با  $K_a = 10^{-5}$  کدام است؟

۵ (۴)

۴ (۳)

۳ (۲)

۲ (۱)

#### تمرین

۶۵ در محلول فرمیک اسید، غلظت تعادلی فرمیک اسید برابر با ۰/۰۲ مولار است. اگر ثابت یونش این اسید برابر با  $10^{-4} \times 1/8$  باشد، pH این محلول چقدر است؟



## تمرین ✓

۶۶ در محلول ۰/۰۲ مولار استیک اسید، اگر  $K_a = 1/8 \times 10^{-5}$  باشد، pH این محلول چقدر است؟

## تست ✓

۶۷ اگر درصد یونش یک باز ضعیف در محلول یک مولار آن برابر ۱٪ باشد،  $pK_b$  این باز و pH تقریبی این محلول به ترتیب از چپ به راست کدام است؟

۴-۱۲ (۴)

۲-۱۰ (۳)

۲-۱۲ (۲)

۴-۱۰ (۱)

## تمرین ✓

۶۸ در محلول HA، غلظت تعادلی HA برابر با ۰/۴ مولار است. اگر  $K_a = 2 \times 10^{-2}$  باشد، pH این محلول چقدر است؟

## تمرین ✓

۶۹ در محلولی از HA،  $pH = 1/7$  می‌باشد. اگر  $K_a = 8 \times 10^{-3}$  باشد، غلظت تعادلی HA چند مولار است؟





### تمرین

۷۰) در محلولی از  $HA$ ،  $pH$  برابر با  $1/4$  می‌باشد. اگر  $K_a = 1/6 \times 10^{-1}$  باشد، درصد یونش این محلول چه قدر بوده است؟

### تست

۷۱)  $pH$  محلول  $0.2\%$  مولار اسید ضعیف  $HA$  که  $pK_a$  آن برابر یک است کدام است؟

- ۰/۷ (۱)      ۱ (۲)      ۱/۲۵ (۳)      ۵ (۴)

### تست

۷۲) بر اثر حل شدن چند مول اسید  $HA$  که  $K_a$  آن برابر یک است، در یک لیتر آب مقطر،  $pH$  محلول به صفر می‌رسد؟

- ۱ (۱)      ۲ (۲)      ۳ (۳)      ۴ (۴)



**دسته سوم:** اگر در صورت سؤال ۲ ماده با هم وارد واکنش شده باشند:

$$M_1 V_1 X_1 = M_2 V_2 X_2$$

**حالت ۱:** این دو ماده یکدیگر را خنثی کرده‌اند:

برای اسیدها: }  
 برای بازها: } X  
 برای نمک‌ها: }

**حالت ۲:** این دو ماده یکدیگر را خنثی نکرده‌اند:

$$\frac{M_1 V_1 X_1 - M_2 V_2 X_2}{V_1 + V_2}$$

$$\frac{M_1 V_1 X_1 + M_2 V_2 X_2}{V_1 + V_2}$$

#### تست

**(۷۳)** چند میلی‌لیتر محلول پتاسیم هیدروکسید با  $\text{pH} = ۱۳$  برای واکنش با ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۴ مولار سولفوریک اسید نیاز است؟

۲۵۰ (۴)

۲۰۰ (۳)

۱۰۰ (۲)

۵۰ (۱)

#### تست

**(۷۴)** اگر درصد یونش یک محلول اتانویک اسید برابر ۲ درصد و  $\text{pH}$  آن برابر ۲/۷ باشد، ۲۵ میلی‌لیتر از آن با چند میلی‌لیتر محلول ۰/۵ مولار آمونیاک واکنش می‌دهد؟

۵۰ (۴)

۲۵ (۳)

۲۰ (۲)

۱۵ (۱)



تمرین

(۷۵) ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول سود با  $\text{pH} = 12/3$  با ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{HNO}_3$  خنثی شده است.  $\text{pH}$  محلول  $\text{HNO}_3$  چقدر است؟

تمرین

(۷۶) ۸ گرم کلسیم کربنات با چند میلی‌لیتر محلول نیتریک اسید با  $\text{pH} = 3/4$  وارد واکنش می‌شود؟  
( $\text{Ca} = 40, \text{C} = 12, \text{O} = 16 : \text{g.mol}^{-1}$ )

تمرین

(۷۷) ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{HF}$  با  $\text{pH} = 3/3$  و درصد تفکیک یونی ۵/۰، با چند گرم سود وارد واکنش می‌شود؟  
( $\text{Na} = 23, \text{O} = 16, \text{H} = 1 : \text{g.mol}^{-1}$ )



## تمرین

۷۸) چند گرم سدیم هیدروژن کربنات می تواند با ۲۰۰ میلی لیتر محلول هیدروکلریک اسید با  $\text{pH} = 2/3$  وارد واکنش شود؟ ( $\text{O} = 16, \text{C} = 12, \text{Na} = 23, \text{H} = 1: \text{g.mol}^{-1}$ )

## تست

۷۹) ۱۰۰ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید با  $\text{pH} = 11$  با چند میلی گرم سدیم هیدروژن سولفات واکنش می دهد؟ ( $\text{Na} = 23, \text{O} = 16, \text{S} = 32, \text{H} = 1: \text{g.mol}^{-1}$ )

۴ (۴)

۱۲ (۳)

۷ (۲)

۶ (۱)

## تست

۸۰) اگر ۴۰ میلی لیتر محلول ۰/۲ مولار پتاسیم هیدروکسید با ۱۰ میلی لیتر محلول ۰/۶ مولار هیدروکلریک اسید مخلوط شود،  $\text{pH}$  محلول چقدر خواهد شد؟

۱۲/۴ (۴)

۱۲/۶ (۳)

۱/۶ (۲)

۱/۴ (۱)



### تمرین ✓

(۸۱) به ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول سود با  $\text{pH} = ۱۳$  مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = ۱$  اضافه می‌کنیم.  $\text{pH}$  محلول به چه عددی می‌رسد؟

### تمرین ✓

(۸۲) به ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = ۱$  مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = ۲$  را اضافه می‌کنیم.  $\text{pH}$  محلول به چه عددی می‌رسد؟

### تمرین ✓

(۸۳) به ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول سود با  $\text{pH} = ۱۳$  مقدار ۴٪ گرم سود اضافه می‌کنیم. اگر از تغییر حجم صرف‌نظر شود،  $\text{pH}$  محلول به چه عددی می‌رسد؟ ( $\text{NaOH} = ۴۰ : \text{g.mol}^{-1}$ )



## تست

۸۴) دو لیتر محلول هیدروکلریک اسید ۱٪ مولار، با افزودن چند گرم پتاسیم هیدروکسید ( $M = 59 \text{ g.mol}^{-1}$ ) به تقریب ۲ برابر می‌شود؟

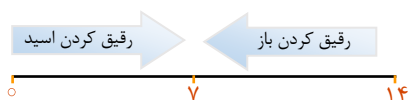
۱/۱۱(۴

۱(۳

۰/۵۵(۲

۰/۵(۱

## رقیق کردن اسید و باز قوی



اگر حجم محلول یک اسید قوی را با افزودن آب خالص  $X$  برابر کنیم، pH به اندازه  $\log X$  افزایش و اگر حجم محلول یک باز قوی را با افزودن آب خالص  $X$  برابر کنیم، pH به اندازه  $\log X$  کاهش می‌یابد.

$$\Delta \text{pH} = \log X$$

## تمرین

۸۵) اگر به ۲ میلی لیتر محلول HCl با  $\text{pH} = 1/5$ ، به مقدارهای زیر آب اضافه شود، pH محلول به چه عددی می‌رسد؟

۱) ۲mL

۲) ۱۹۸mL

۳) ۶mL

۳) ۱۵۸mL

## تمرین

۸۶) اگر به ۵ میلی لیتر محلول سود با  $\text{pH} = 13$ ، به مقدارهای زیر آب اضافه شود، pH محلول به چه عددی می‌رسد؟

۱) ۵mL

۲) ۱۵mL

۳) ۴۹۵mL



تمرین ✓

(۸۷) به ۴ میلی لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = 1$ ، چند میلی لیتر آب اضافه کنیم تا  $\text{pH}$  محلول به ۳ برسد؟

تمرین ✓

(۸۸) به ۳ میلی لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = 1$ ، چند میلی لیتر آب اضافه کنیم تا  $\text{pH}$  محلول به  $2/7$  برسد؟

تمرین ✓

(۸۹) به ۲۰ میلی لیتر آب مقطر چند میلی لیتر محلول  $\text{HCl}$  با  $\text{pH} = 0$ ، اضافه کنیم تا  $\text{pH}$  محلول به ۱ برسد؟



## آشنایی با الکتروشیمی

**الکتروشیمی:** شاخه‌ای از علم شیمی است که در بهبود خواص مواد و تأمین انرژی نقش بسزایی دارد.

**سلول گالوانی:** سلولی است که در آن طی یک واکنش خودبه‌خودی انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

**سلول الکترولیتی:** سلولی است که در آن یک واکنش غیرخودبه‌خودی به زور برق انجام می‌شود.

**عدد اکسایش:** با فرض یونی در نظر گرفتن تمام پیوندها بار تعلق یافته به هر اتم عدد اکسایش آن اتم است.



## تعیین عدد اکسایش

**بدون رسم ساختار الکترون - نقطه‌ای:** برای تعیین عدد اکسایش یک اتم باید قواعد زیر را به ترتیب رعایت کنیم:

(۱) عدد اکسایش عناصر در حالت آزاد برابر ..... است.

ترکیب	Na	N <sub>۲</sub>	P <sub>۴</sub>	Al
عدد اکسایش				

(۲) عدد اکسایش فلزات در ترکیب‌ها برابر ..... است.

ترکیب	NaF	HF	OF <sub>۲</sub>	F <sub>۲</sub>
عدد اکسایش F				

(۳) عدد اکسایش فلز در یک ترکیب، همواره ..... است.

ترکیب	NaHCO <sub>۳</sub>	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	Fe(OH) <sub>۲</sub>	Al
عدد اکسایش فلز				

(۴) عدد اکسایش یون‌های تک‌اتمی برابر ..... است.

ترکیب	F <sup>-</sup>	Mg <sup>۲+</sup>	Cu <sup>+</sup>	P <sup>۳-</sup>
عدد اکسایش				

(۵) اکسیژن دارای اعداد اکسایش متنوعی است:

آ- در اکسیدهای معمولی (O<sup>۲-</sup>)، مانند: H<sub>۲</sub>O، SO<sub>۲</sub> و ... برابر ..... است.

ب- در پراکسیدها (O<sub>۲</sub><sup>-</sup>)، مانند: Na<sub>۲</sub>O<sub>۲</sub>، H<sub>۲</sub>O<sub>۲</sub> و ... برابر ..... است.

پ- در سوپراکسیدها (O<sub>۲</sub><sup>-</sup>)، مانند: KO<sub>۲</sub> و ... برابر ..... است.





۶) عدد اکسایش هیدروژن

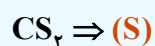
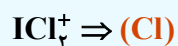
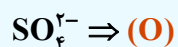
ترکیب	$H_2O$	$NaH$	$AlH_3$	$MgH_2$	$NaHCO_3$
عدد اکسایش هیدروژن					

۷) عدد اکسایش عنصری که در سمت راست یک ترکیب نوشته شده است، از فرمول زیر به دست می‌آید:

عدد اکسایش عنصر سمت راست یک ترکیب :

#### تمرین

۱) عدد اکسایش عناصر داخل پرانتز را محاسبه کنید.



۸) جمع جبری اعداد اکسایش یک ترکیب برابر با بار آن ترکیب است. از این روش برای به دست آوردن اعداد اکسایش عناصر مجهول استفاده می‌شود.

#### تمرین

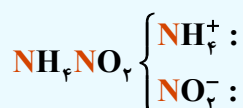
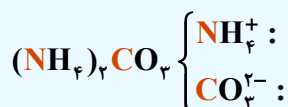
۲) عدد اکسایش عناصر مشخص شده را محاسبه کنید.



نکته) اگر ترکیب یونی بود، برای راحتی کار بهتر است کاتیون و آنیون را جدا کنید و سپس عدد اکسایش عنصر مجهول را محاسبه کنید.

#### تمرین

۳) عدد اکسایش عناصر مشخص شده را محاسبه کنید.





### تست

۴) عدد اکسایش فسفر در  $K_4P_2O_7$  و گوگرد در  $K_2S_2O_7$  به ترتیب کدام است؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید.)

(۱) +۴ ، +۶ (۲) +۵ ، +۶ (۳) +۵ ، +۷ (۴) +۶ ، +۷

### تمرین

۵) عدد اکسایش عنصرهایی که زیر آن‌ها خط کشیده شده را محاسبه کنید.

ترکیب	$LiNH_2$	$(NH_4)_2Cr_2O_7$	$Ca_3(PO_4)_2$	$Mn(HCO_3)_2$	$Na_3AlF_6$
عدد اکسایش					

### به وسیله رسم ساختار الکترون - نقطه‌ای

این روش به علت وقت‌گیر بودن فقط برای ترکیبات آلی و یا سؤالاتی که از خود این روش آمده است، توصیه می‌شود.

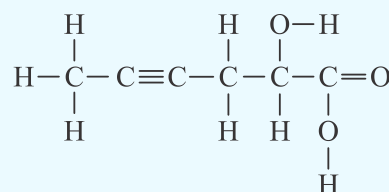
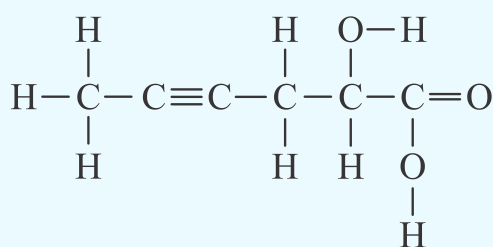
۱- ابتدا آرایش الکترون - نقطه‌ای را رسم می‌کنیم.

۲- هر پیوند کووالانسی از ۲ الکترون تشکیل شده است. اگر پیوندها را یونی فرض کنیم، هر دو الکترون پیوند به سمت عنصر الکترون‌گاتر می‌رود و هیچ الکترونی برای عنصری که الکترون‌گاتیوی کم‌تری دارد، باقی نمی‌ماند. در صورتی که الکترون‌گاتیوی دو اتم دقیقاً با هم برابر باشد، اتم‌ها دو الکترون را تقسیم می‌کنند و هر اتم یک الکترون برمی‌دارد. در این صورت عدد اکسایش اتم از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد اکسایش} = (\text{عدد یکان شماره‌ی گروه اتم}) - (\text{الکترون‌های متعلق به اتم})$$

### تمرین

۶) عدد اکسایش اتم‌های کربن را در هریک از ترکیب‌های زیر به دست آورید.



### تمرین

۷) عدد اکسایش همه اتم‌ها را در هریک از ترکیب‌های زیر به دست آورید.





## محدوده تغییرات عدد اکسایش:

۱- فلزها: بزرگ‌ترین عدد اکسایش:  $\overset{+2}{\text{عدد در کمان شماره ۲}}$

کوچک‌ترین عدد اکسایش: ۰

۲- نافلزها: بزرگ‌ترین عدد اکسایش:  $\overset{+5}{\text{عدد در کمان شماره ۲}}$

کوچک‌ترین عدد اکسایش:

۱۸ - شماره دوره

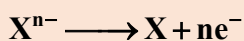
ترکیب	$\text{NH}_3$	$\text{N}_2$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$
عدد اکسایش N	-۳	۰	۳	۵

کوچک‌ترین

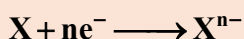
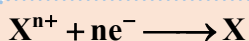
بزرگ‌ترین

## انجام واکنش با سفر الکترون

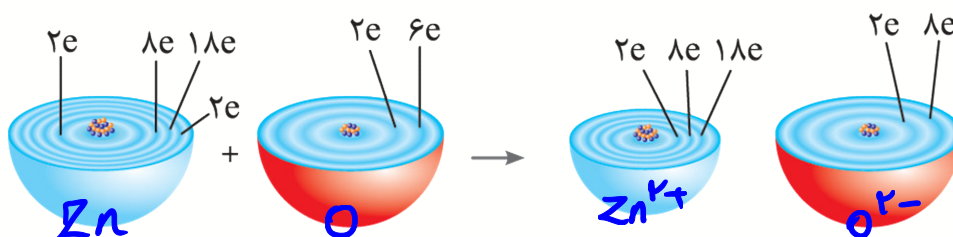
اکسایش: فرایندی است که طی آن یک گونه الکترون خود را از دست می‌دهد.



کاهش: فرایندی است که طی آن یک گونه الکترون می‌گیرد.



شکل زیر الگوی ساده‌ای از واکنش بین اتم‌های روی و اکسیژن را با ساختار لایه‌ای اتم نشان می‌دهد.



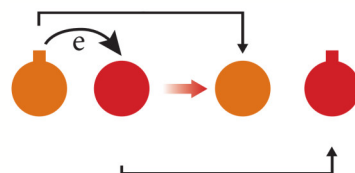
۱) اکسیژن نافلزی فعال است که با اغلب فلزها واکنش می‌دهد و آن‌ها را به اکسید فلز تبدیل می‌کند. در حالی که با برخی فلزها مانند طلا و پلاتین واکنش نمی‌دهد.

۲) اتم آبی رنگ ساختار اتم روی و اتم قرمز رنگ ساختار اتم اکسیژن را نشان می‌دهد.

۳) همان‌طور که در شکل مشخص است اتم اکسیژن الکترون گرفته و به آنیون تبدیل شده و اتم روی الکترون از دست داده و به کاتیون تبدیل شده است.



۴) نوشتن نیم‌واکنش‌ها، موازنه آن‌ها و به‌دست آوردن واکنش کلی:



۵) درمورد مواد موجود در واکنش:

روی:

اکسیژن:

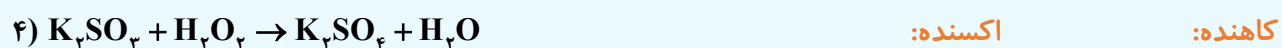
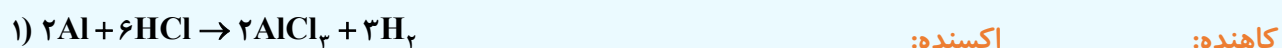
### انواع واکنش و تعداد الکترون مبادله شده

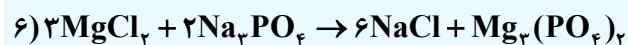
#### واکنش‌های اکسایش-کاهش

طی این واکنش‌ها حتما انتقال الکترون از گونه‌ای به گونه دیگر رخ داده است. برای تشخیص کفایت عدد اکسایش اتم‌ها را در مواد اولیه و فراورده مقایسه کنیم. اگر تغییر عدد اکسایش موجود بود، واکنش اکسایش-کاهش است. **نکته** اگر در واکنش عنصر به حالت آزاد داشتیم آن واکنش حتما اکسایش-کاهش است.

#### تمرین

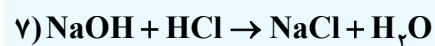
۸) واکنش‌های اکسایش - کاهش را مشخص کرده و در آن‌ها اکسنده و کاهنده را تعیین کنید.





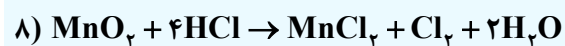
اکسنده:

کاهنده:



اکسنده:

کاهنده:



اکسنده:

کاهنده:

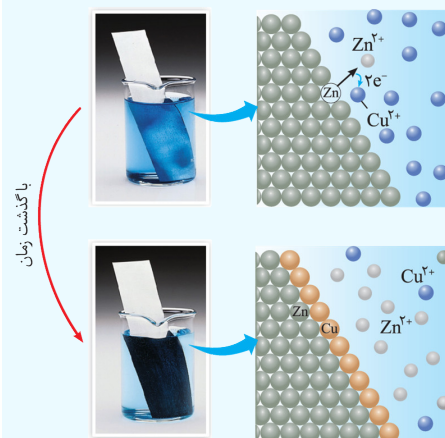


اکسنده:

کاهنده:

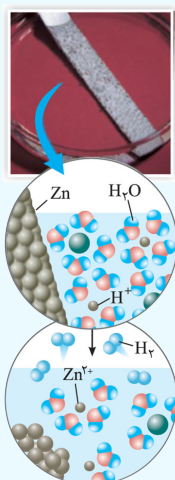
### تمرین

۹) شکل زیر واکنش تیغه روی و محلول مس (II) سولفات را نشان می‌دهد. نیم‌واکنش‌های آن را نوشته و سپس گونه اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.



### تمرین

۱۰) شکل مقابل واکنش فلز روی با هیدروکلریک اسید را نشان می‌دهد. نیم‌واکنش‌های آن را نوشته سپس گونه کاهنده و اکسنده را در آن مشخص کنید.





## تمرین

(۱۱) با توجه به واکنش محلول مس (II) سولفات و فلز روی، درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را مشخص کنید.

- آ- در این واکنش یونهای روی، اکسید شده و نقش کاهنده را دارند.  
 ب- در این واکنش اتمهای مس با گرفتن دو الکترون کاهش یافته‌اند و نقش اکسنده را دارند.  
 پ- در این واکنش گونه اکسنده با گرفتن الکترون از اتمهای روی کاهش می‌یابد.  
 ت- با کاهش یافتن گونه اکسنده از رنگ آبی محلول کاسته شده است.  
 ث- گونه اکسنده با گرفتن دو الکترون از گونه کاهنده، کاهش یافته و عدد اکسایش آن ۲- می‌شود.

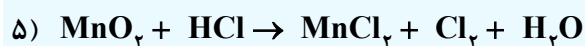
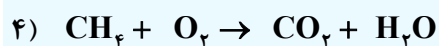
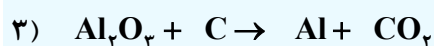
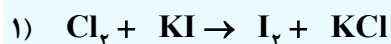
## تعداد الکترونهای مبادله شده

تعداد الکترونهای مبادله شده در یک واکنش برابر با تغییر عدد اکسایش اتم ضرب در تعداد آن اتم در واکنش موازنه شده است.

ضریب استوکیومتری  $\times$  اندیس اتم  $\times$  تغییر عدد اکسایش اتم = تعداد  $e^-$  مبادله شده

## تمرین

(۱۲) تعداد الکترونهای مبادله شده در واکنشهای زیر را به دست آورید.



## تمرین

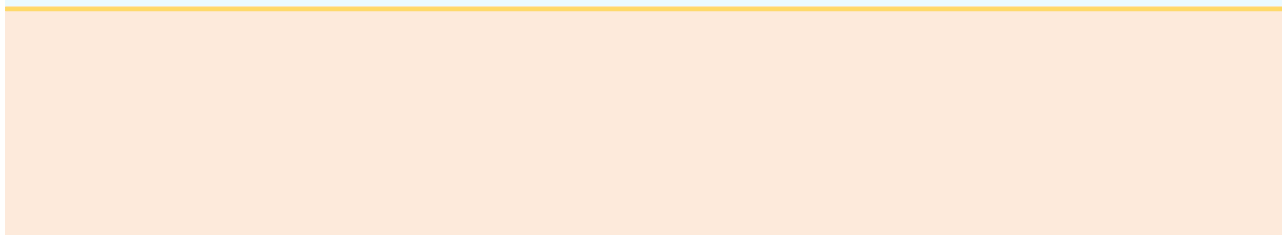
(C = ۱۲, H = ۱: g.mol<sup>-1</sup>)

(۱۳) در سوختن کامل ۶ گرم اتان چند مول الکترون مبادله می‌شود؟



## تمرین ✓

۱۴) در واکنش تیغه روی در محلول  $\text{CuSO}_4$  به ازای مبادله شدن  $10^3$  مول الکترون، چند گرم از جرم جامد کاسته می‌شود؟  
( $\text{Cu} = 64, \text{Zn} = 65$ ) (تمام مس بر روی تیغه روی می‌نشیند)



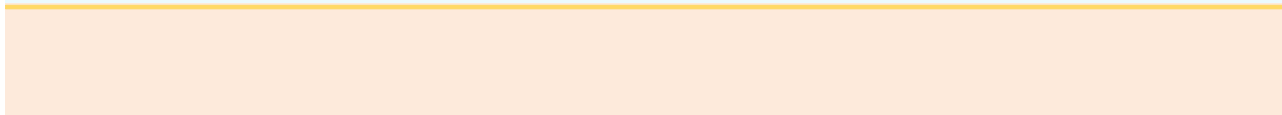
در برخی از واکنش‌های اکسایش و کاهش افزون بر داد و ستد الکترون، انرژی نیز آزاد می‌شود. جدول زیر داده‌هایی را پس از قراردادن برخی تیغه‌های فلزی درون محلول مس (II) سولفات در دمای  $20^\circ\text{C}$  درجه نشان می‌دهد. به نکات آن توجه کنید:



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

## تمرین ✓

۱۵) با گذاشتن تیغه روی در محلول  $\text{AgNO}_3$  دمای محیط افزایش می‌یابد. درستی یا نادرستی جملات را مشخص کنید.



- آ- با اکسایش اتم‌های روی و انتقال الکترون‌ها به گونه اکسند، دمای محلول افزایش می‌یابد.
- ب- کاتیون‌های نقره توسط گونه کاهنده کاهش یافته و آنیون نیترات اکسید می‌شود.
- پ- قدرت کاهندگی اتم‌های روی از اتم‌های نقره بیش‌تر است.
- ت- کاتیون‌های نقره از اتم‌های نقره پایدارترند و با گرفتن الکترون کاهش می‌یابند.
- ث- اتم نقره با گرفتن الکترون، اتم‌های روی را اکسید می‌کند و کاهش می‌یابد.
- ج- انتقال الکترون بین گونه کاهنده و گونه اکسند موجب پایداری بیشتر فراورده‌ها نسبت به واکنش‌دهنده‌ها می‌شود.
- چ- اتم روی کاهنده‌تر از اتم نقره است و می‌تواند کاتیون‌های نقره را به اتم‌های نقره بکاهد.





## تمرین

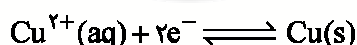
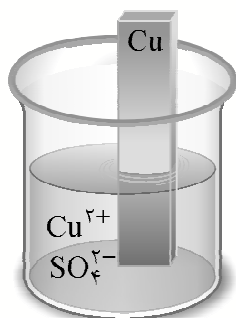
۱۶) اگر دمای محلول آبی رنگ  $\text{CuSO}_4$  بر اثر گذاشتن یک تیغه  $\text{Al}$  افزایش یابد، درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را نشان دهید.

- آ- افزایش دمای محلول نشانه‌ای از اکسایش آلومینیم و کاهش کاتیون‌های مس است.
- ب- بعد از گذشت مدتی از رنگ آبی محلول کاسته می‌شود.
- پ- اتم‌های آلومینیم نقش کاهنده و یون‌های موجود در محلول نقش اکسنده را دارند.
- ت- در این واکنش، کاتیون‌های آلومینیم پایدارتر از کاتیون‌های مس هستند.
- ث- قدرت کاهندگی آلومینیم از مس بیشتر است.
- ج- کاتیون‌های مس با کاهش یافتن و اتم‌های آلومینیم با اکسایش یافتن، پایدار می‌شوند و باعث بالا رفتن دمای محلول می‌شوند.

## سلول های گالوانی

برای ایجاد جریان الکتریکی باید الکترون‌ها را از یک مسیر معین عبور داد یا از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا نمود. اگر به جای داد و ستد مستقیم الکترون بین گونه‌های اکسایش و کاهش یافته در یک واکنش، بتوان الکترون‌ها را از طریق یک مدار بیرونی هدایت و جابه‌جا کرد آن‌گاه می‌توان بخشی از انرژی آزاد شده در واکنش اکسایش - کاهش را به شکل انرژی الکتریکی در دسترس تبدیل نمود.

**نیم سلول:** هر گاه تیغه‌ای از جنس فلز  $X$  را درون محلول  $X^{n+}$  قرار دهیم یک نیم سلول ساخته‌ایم.



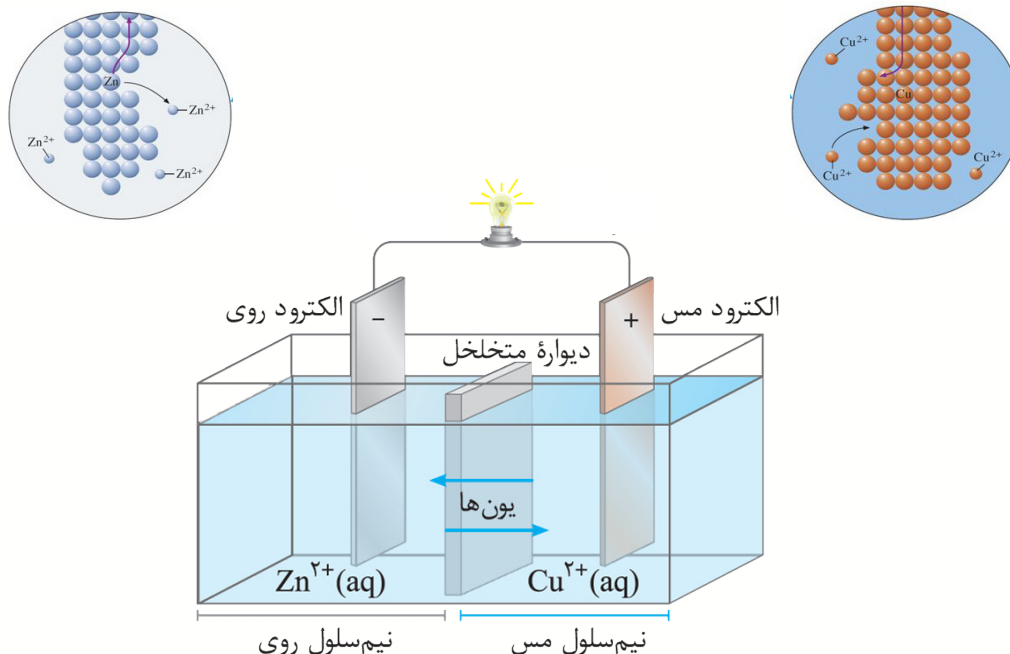
**سلول گالوانی:** دستگاهی است که می‌تواند بر اساس قدرت کاهندگی فلزها انرژی الکتریکی تولید کند. این سلول به دلیل تولید انرژی الکتریکی ویژگی‌های یک باتری را دارد.

اگر نیم سلول مس و نیم سلول روی را همانند شکل صفحه بعد به هم وصل کنیم، الکترون‌ها در مدار بیرونی جابه‌جا می‌شوند و جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. جریانی که سبب روشن شدن لامپ می‌شود. نتایج چنین پژوهش‌هایی منجر به ساخت سلول گالوانی شد.





شکل زیر نمای ذره‌ای از سلول گالوانی روی - مس (Zn - Cu) را نشان می‌دهد. به نکات آن دقت کنید:



- (۱) ابتدا یک نیم‌سلول مس را به یک نیم‌سلول روی متصل کرده‌ایم.
- (۲) با توجه به کاهندگی بیش‌تر روی نسبت به مس الکترون‌ها از سمت روی به سمت مس حرکت می‌کنند. بنابراین روی قطب منفی و مس قطب مثبت را تشکیل می‌دهد.
- (۳) با از دست دادن الکترون توسط اتم روی، نیم‌واکنش اکسایش و با گرفتن الکترون توسط یون‌های مس، نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد.
- (۴) **آند:** الکتروودی است که در آن نیم‌واکنش اکسایش رخ می‌دهد، در اینجا روی آند است.
- کاتد:** الکتروودی است که در آن نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد، در اینجا مس کاتد است.
- (۵) در سلول‌های گالوانی آند قطب منفی و کاتد قطب مثبت است.
- (۶) همواره جهت حرکت الکترون‌ها از سمت آند به سمت کاتد است.
- (۷) نیم‌واکنش اکسایش را نیم‌واکنش آندی و نیم‌واکنش کاهش را نیم‌واکنش کاتدی می‌نامند.
- (۸) انتظار می‌رود با ادامه روند واکنش به تدریج در محلول پیرامون الکتروود آند، غلظت کاتیون‌های روی از آنیون‌ها بیشتر شود و در محلول پیرامون الکتروود کاتد، غلظت آنیون‌ها از کاتیون‌های مس بیشتر شود. اما در عمل این اتفاق نمی‌افتد؛ زیرا زمانی واکنش اکسایش - کاهش ادامه پیدا می‌کند که هر دو ظرف از نظر بار الکتریکی خنثی بمانند. برای انجام این اتفاق، کاتیون‌ها از نیم‌سلول آند به سمت کاتد و آنیون‌ها از نیم‌سلول کاتد به سمت آند با گذر از دیواره متخلخل مهاجرت می‌کنند.

تمرین ۱۷

۱۷) با توجه به شکل زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.

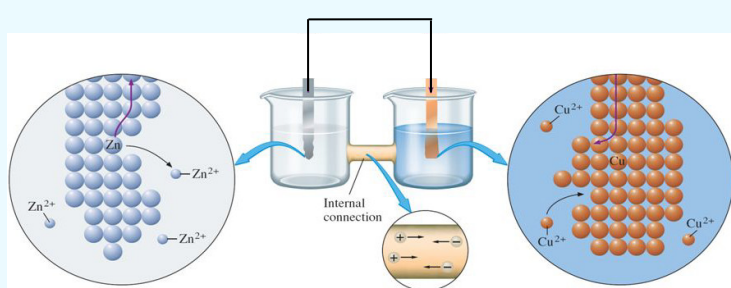
آ- نیم‌واکنش اکسایش، نیم‌واکنش کاهش و واکنش کلی را بنویسید.

ب- با گذشت زمان وزن تیغه Cu، وزن تیغه Zn و غلظت یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  و غلظت یون‌های  $\text{Zn}^{2+}$  چه تغییری می‌کنند؟

پ- آند، کاتد، قطب مثبت و قطب منفی را روی شکل مشخص کنید.

ت- جهت حرکت کاتیون‌ها و آنیون‌ها را روی شکل مشخص کنید.

ث- نمودار تغییر غلظت یون‌ها را برای این سلول گالوانی رسم کنید.



تمرین ۱۸

۱۸) با توجه به شکل زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.

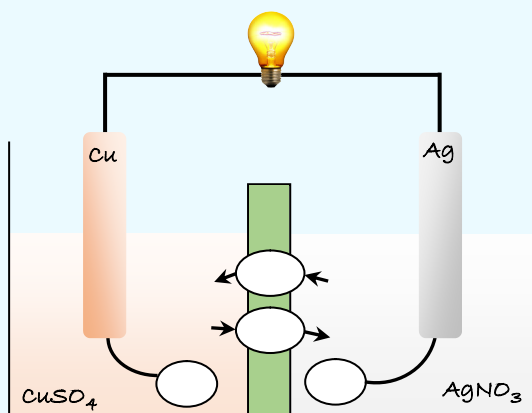
آ- نیم‌واکنش اکسایش، نیم‌واکنش کاهش و واکنش کلی را بنویسید.

ب- با گذشت زمان وزن تیغه Ag، وزن تیغه Cu و غلظت یون‌های  $\text{Ag}^+$  و غلظت یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  چه تغییری می‌کنند؟

پ- آند، کاتد، قطب مثبت و قطب منفی را روی شکل مشخص کنید.

ت- جهت حرکت کاتیون‌ها و آنیون‌ها را روی شکل مشخص کنید.

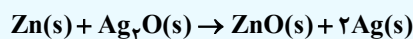
ث- نمودار تغییر غلظت یون‌ها را برای این سلول گالوانی رسم کنید.





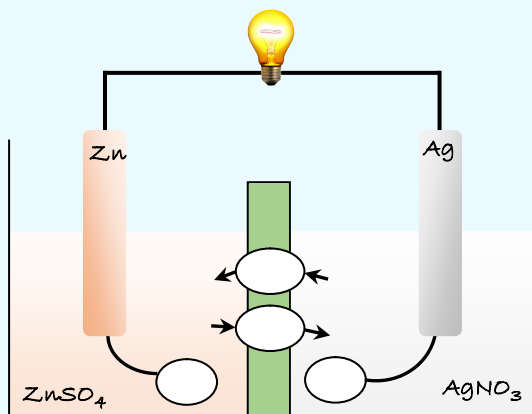
## تمرین

۱۹) در باتری دگمه‌ای که یک سلول گالوانی است، واکنش زیر انجام می‌شود. با توجه به واکنش، به سؤالات پاسخ دهید.



آ- آند، کاتد، قطب مثبت و قطب منفی را روی شکل مشخص کنید.

ب- نیم‌واکنش اکسایش و نیم‌واکنش کاهش را بنویسید.



پ- جهت حرکت الکترون‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌ها را روی شکل مشخص کنید.

## تمرین

۲۰) درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را در مورد سلول گالوانی Zn - Cu مشخص کنید.

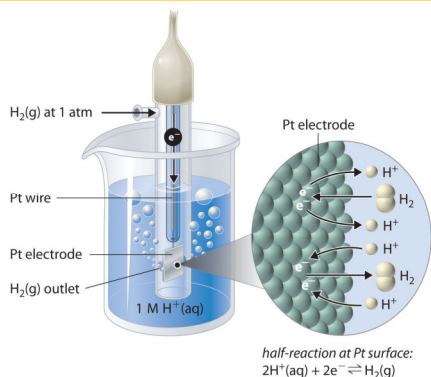
آ- الکترون‌های حاصل از اکسایش آند، توسط گونه کاهنده موجود در نیم‌سلول کاتد، مصرف می‌شوند.

ب- فراورده‌ی حاصل از نیم‌واکنش کاهش، اتم‌های مس هستند که در قطب منفی، بر روی الکتروود رسوب می‌کنند.

پ- جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی با جهت حرکت آنیون‌ها از دیواره متخلخل هم‌سو است.

ت- با گذشت زمان وزن تیغه‌ی کاتد افزایش و غلظت گونه‌ی کاهنده کاهش می‌یابد.

ث- وجود دیواره متخلخل باعث خنثی باقی ماندن بار الکتریکی الکترولیت‌ها می‌شود و این بدین معین است که غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در سلول ثابت باقی می‌ماند.



**نیروی الکتروموتوری:** ولتاژی که ولت سنج در سلول گالوانی نشان می‌دهد،

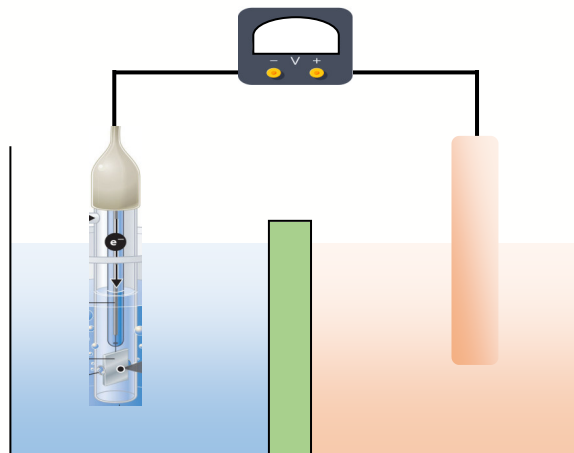
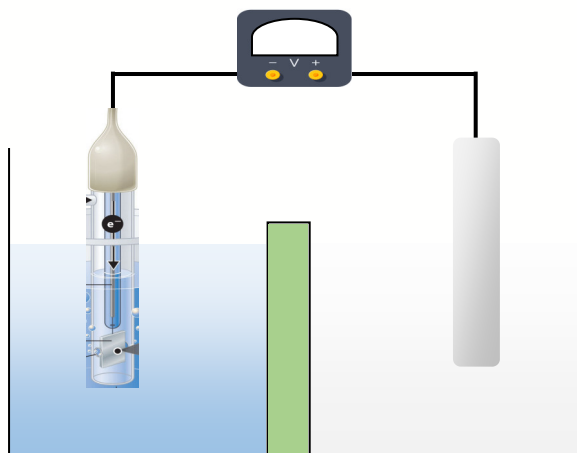
اختلاف پتانسیل میان دو نیم‌سلول است. این کمیت به نیروی الکتروموتوری معروف است و با  $emf$  نمایش داده می‌شود.

**نیم‌سلول استاندارد هیدروژن (SHE):** اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول

به‌طور جداگانه ممکن نیست و باید به‌طور نسبی اندازه‌گیری شود.

شیمی‌دان‌ها SHE را به‌عنوان مبنا انتخاب کردند و پتانسیل آن را برابر صفر در نظر گرفتند.

**پتانسیل استاندارد ( $E^\circ$ ):** اگر اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول نسبت به SHE در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار یک اتمسفر و غلظت یک مولار برای محلول الکترولیت‌ها انجام شود پتانسیل اندازه‌گیری شده را پتانسیل استاندارد نیم‌سلول می‌نامند و با  $E^\circ$  نمایش می‌دهند.



(۱) X به SHE الکترون می‌دهد:

(۲) X از SHE الکترون می‌گیرد:

**سری الکتروشیمیایی:** رتبه‌بندی فلزها به ترتیب کاهندگی آن‌ها در یک جدول، سری الکتروشیمیایی نامیده می‌شود.

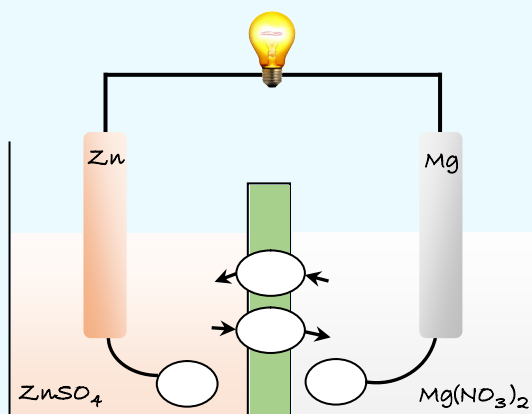
نیم‌واکنش کاهش				$E^\circ (\text{V})$
$\text{Au}^{3+}(\text{aq})$	$+ 3\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Au}(\text{s})$	$+1.50$
$\text{Pt}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Pt}(\text{s})$	$+1.20$
$\text{Ag}^+(\text{aq})$	$+ \text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Ag}(\text{s})$	$+0.80$
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Cu}(\text{s})$	$+0.34$
$2\text{H}^+(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{H}_2(\text{g})$	$0.00$
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Pb}(\text{s})$	$-0.12$
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Sn}(\text{s})$	$-0.13$
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Ni}(\text{s})$	$-0.25$
$\text{Co}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Co}(\text{s})$	$-0.28$
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Fe}(\text{s})$	$-0.44$
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Zn}(\text{s})$	$-0.76$
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Mn}(\text{s})$	$-1.18$
$\text{Al}^{3+}(\text{aq})$	$+ 3\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Al}(\text{s})$	$-1.66$
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$	$+ 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Mg}(\text{s})$	$-2.37$
$\text{Li}^+(\text{aq})$	$+ \text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{Li}(\text{s})$	$-3.04$



**محاسبه نیروی الکتروموتوری (emf):** گفتیم که در واقع همان اختلاف پتانسیل دو نیم‌سلول است که آن را با سلول  $E^\circ$  (emf) نشان می‌دهند و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

### تمرین

(۲۱) با توجه به شکل زیر، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.  $E^\circ(\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}) = -0.76 \text{ (V)}$ ,  $E^\circ(\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}) = -2.37 \text{ (V)}$ .



آ- آند، کاتد، قطب مثبت و قطب منفی را در شکل مشخص کنید.  
ب- نیم‌واکنش اکسایش، نیم‌واکنش کاهش و واکنش کلی را بنویسید.

پ- جهت حرکت الکترون‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌ها را مشخص کنید.

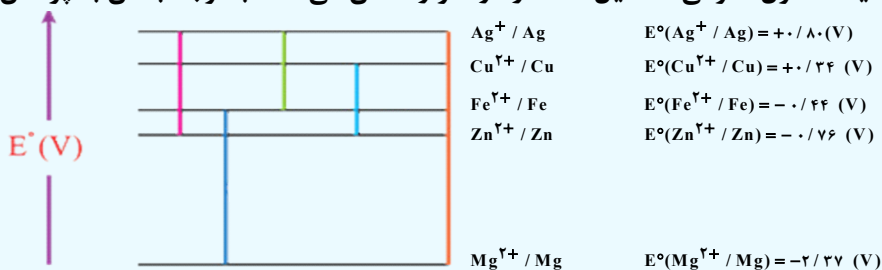
ت- با گذشت زمان وزن تیغه Mg، وزن تیغه Zn و غلظت یون‌های  $\text{Mg}^{2+}$  و غلظت یون‌های  $\text{Zn}^{2+}$  چه تغییری می‌کنند؟

ث- emf سلول را محاسبه کنید.

ج- اگر به جای تیغه‌ی روی از تیغه آهن استفاده کنیم، ولتاژ سلول چه تغییری می‌کند؟

### تمرین

(۲۲) در نمودار زیر هر خط عمودی، یک سلول گالوانی تشکیل شده از دو فلز را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.



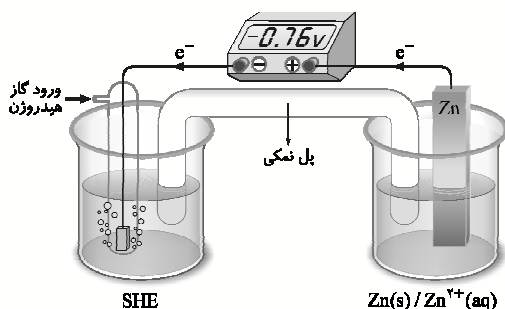
آ- با توجه به اطلاعات موجود در نمودار، برای ساختن سلول گالوانی با بیشترین ولتاژ، از کدام نیم‌سلول‌ها استفاده می‌کنید؟ مقدار emf آن را محاسبه کنید.

ب- با توجه به اطلاعات نمودار، مشخص کنید emf سلول Fe-Ag با emf سلول Mg-Zn چقدر اختلاف خواهد داشت؟

پ- emf سلولی که واکنش زیر در آن رخ داده است برابر با ۱/۵۶ ولت است.  $E^\circ$  نیم‌سلول A چقدر است؟ A کدام فلز نمودار بالاست؟  
$$\text{A(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{A}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$$



**نکته** اگر ولت‌سنج در یک پیل ولتایی عددی منفی را نشان داد، به این مفهوم نیست که سلول  $E^\circ$  منفی است؛ چون اگر سلول  $E^\circ$  منفی بود، دیگر واکنشی انجام نمی‌شد. علت این موضوع آن است که قطب‌های ولت‌سنج به صورت برعکس به قطب‌های پیل وصل شده‌اند. برای مثال به شکل روبه‌رو دقت کنید:



همان‌طور که می‌بینید، در این سلول Zn قطب منفی است و در حال الکترون‌دادن است اما به قطب مثبت ولت‌سنج وصل شده است، به همین علت عدد گزارش شده روی ولت‌سنج منفی است.

### تمرین

**۲۳** با توجه به جدول زیر، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

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

- آ- نسبت به A کاهنده قوی‌تری است.
- ب-  $C^{2+}$  نسبت به D کاهنده ضعیف‌تری است.
- پ- ضعیف‌ترین کاهنده در بین گونه‌های فوق  $D^{3+}$  است.
- ت- نسبت به D اکسندۀ تر است.
- ث- D می‌تواند  $C^{2+}$  را کاهش دهد.
- ج- ولتاژ سلول B-A نسبت به ولتاژ سلول  $C^{2+} - A$  کم‌تر است.

چ- در سلول D-B آنیون‌ها به سمت الکتروود D می‌روند.

- ح- A و B می‌توانند  $C^{2+}$  را اکسید کنند.
- خ- با ساختن سلول گالوانی از گونه‌های جدول، بیش‌ترین ولتاژ ممکن برابر ۲/۹۲ ولت خواهد بود.
- د-  $C^{2+}$ ، B و A می‌توانند  $D^{3+}$  را کاهش دهند.
- ذ- قوی‌ترین اکسندۀ  $A^+$  است.
- ر- در سلول D-B کاتیون‌ها به سمت الکتروود B حرکت می‌کنند.

- ز-  $C^{3+}$  می‌تواند B را اکسید کند.
- ژ-  $B^{2+}$  نسبت به  $C^{3+}$  اکسندۀ تر است.

### تست

**۲۴** ولتاژ سلول الکتروشیمیایی «آهن - قلع» برابر ۰/۳ و ولتاژ سلول الکتروشیمیایی «آهن - مس» برابر ۰/۹۸ ولت است. مقدار ولتاژ سلول الکتروشیمیایی «Sn-Cu» برابر کدام است؟

- (۱) ۰/۶۸ (۲) ۱/۲۸ (۳) ۰/۲۸ (۴) ۰/۸۶





### تست

۲۵) کدام عبارت درباره‌ی SHE نادرست است؟

- ۱) الکترولیت آن می‌تواند محلول ۲ مولار هیدروفلئوریک اسید با درجه‌ی یونش ۵٪ باشد.
- ۲) اگر با فلز مس در یک سلول بسته شود، نقش آند را ایفا کرده و تیغه‌ی پلاتینی نازک می‌شود.
- ۳) در تماس با نیم‌سلول روی، پس از مدتی pH الکترولیت آن افزایش می‌یابد.
- ۴) واکنش آن به صورت  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$  است.

### پیش‌بینی انجام‌پذیر و یا انجام‌ناپذیر بودن واکنش‌ها

به سه جمله زیر دقت کنید:

- ۱- در سری الکتروشیمیایی گونه سمت چپ بالاتر با گونه سمت راست پایین تر واکنش می‌دهد.
- ۲- اتم خنثی (فلز) و یک کاتیون به شرطی واکنش می‌دهند که اتم خنثی کاهنده‌تر باشد.
- ۳- نگهداری محلول‌ها (کاتیون نمک‌های محلول) در ظرفی امکان‌پذیر است که ظرف در سری الکتروشیمیایی بالاتر باشد (ظرف = اتم خنثی) در نتیجه قدرت کاهندگی کمتری داشته و با کاتیون‌های محلول وارد واکنش نمی‌شود.

### تست

۲۶) انجام‌پذیر و یا انجام‌ناپذیر بودن واکنش‌های زیر را مشخص کنید.

- ۱)  $Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Cu(s) + 2Ag^+(aq)$
- ۲)  $2Ag(s) + NiCl_2(aq) \rightarrow 2AgCl(aq) + Ni(s)$

### تمرین

۲۷) اگر قدرت کاهندگی فلز A از فلز B بیش‌تر باشد، کدام واکنش انجام‌پذیر است؟

- ۱)  $A^{2+} + B \rightarrow B^{2+} + A$
- ۲)  $A + B^{2+} \rightarrow A^{2+} + B$

### تمرین

۲۸) با توجه به اطلاعات زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.

$$E^\circ(Au^{3+}/Au) = +1/50 \text{ (V)}, \quad E^\circ(Cu^{2+}/Cu) = +0/34 \text{ (V)}$$

$$E^\circ(2H^+/H_2) = 0/00 \text{ (V)}, \quad E^\circ(Zn^{2+}/Zn) = -0/76 \text{ (V)}$$

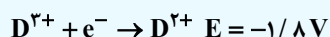
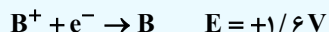
آ- محلول HCl با کدام یک از فلزهای بالا می‌تواند واکنش دهد؟

ب- ظرفی از جنس کدام یک از فلزهای بالا برای نگهداری محلول‌های اسیدی مناسب‌تر است؟ چرا؟



### تمرین

۲۹) با توجه به نیم‌واکنش‌های زیر و  $E^\circ$ های داده شده، درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را مشخص کنید.



آ- محلول  $HCl$  می‌تواند با فلز  $B$  واکنش دهد.

ب- فلز  $A$  می‌تواند با محلول هیدروکلریک اسید واکنش دهد و گاز هیدروژن تولید کند.

پ-  $D^{2+}$  می‌تواند با  $A$  واکنش دهد.

### تمرین

۳۰) با توجه به اطلاعات زیر درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.



آ- محلول مس ( $II$ ) سولفات را نمی‌توان در ظرف آهنی نگهداری کرد.

ب- محلول هیدروکلریک اسید را می‌توان در ظرفی از جنس طلا نگهداری کرد.

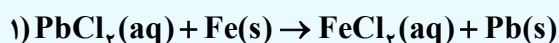
پ- محلول حاوی کاتیون‌های طلا را می‌توان در ظرفی به جنس هر یک از فلزات بالا نگهداری کرد.

ت- ریختن محلول نیتریک اسید در ظرفی از جنس روی، با آزاد شدن گاز هیدروژن همراه است.

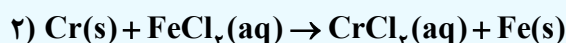
**نکته** چنانچه واکنشی انجام شده، گونه کاهنده سمت چپ از گونه کاهنده سمت راست قوی‌تر است. و گونه اکسنده سمت چپ نیز از گونه اکسنده سمت راست قوی‌تر است.

### تمرین

۳۱) با توجه به واکنش‌های انجام شده قدرت کاهندگی را مقایسه کنید.



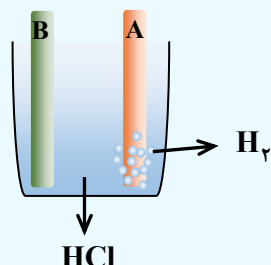
کاهندگی:



کاهندگی:

### تمرین

۳۲) با توجه به شکل زیر درستی یا نادرستی هر یک از عبارت‌ها را مشخص کنید.



آ-  $H_2$  نسبت به فلز  $B$ ، کاهنده قوی‌تری است.

ب-  $H^+$  به کاتیون فلز  $B$ ، اکسنده ضعیف‌تری است.

پ- فلز  $A$  نسبت به فلز  $B$ ، کاهنده ضعیف‌تری است.

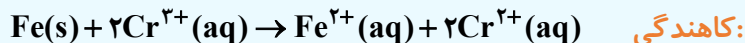
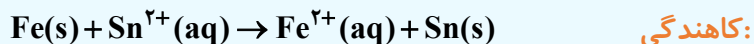
ت- کاتیون فلز  $A$  نسبت به  $H^+$  اکسنده قوی‌تری است.





## تمرین ✓

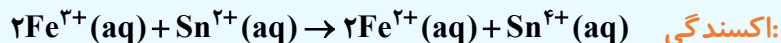
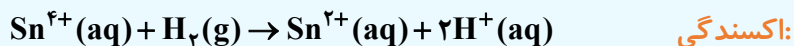
(۳۳) با توجه به واکنش‌های زیر که انجام شده‌اند، گونه‌های کاهنده را بر حسب کاهش قدرت مرتب کنید.



کاهندگی:

## تمرین ✓

(۳۴) با توجه به واکنش‌های زیر که انجام شده‌اند، قدرت اکسندگی کاتیون‌ها را به ترتیب افزایش مرتب کنید.

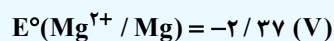
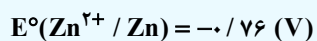
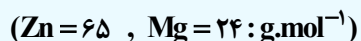


اکسندگی:

## چند مسئله برای سلول‌های گالوانی

## تمرین ✓

(۳۵) در سلول گالوانی روی - منیزیم به ازای خورده شدن ۱/۲ گرم از آن، چند گرم به جرم کاتد اضافه می‌شود؟



۱۳/۴

۶/۵(۳)

۱/۱۲۵(۲)

۳/۲۵(۱)



تمرین ۳۶

۳۶ اگر در سلول گالوانی  $\text{Al} - \text{H}_2$  در شرایط استاندارد، پس از مدتی  $5/4$  گرم از جرم آند کاهش یابد، چند مول الکترون بین دو نیم سلول، مبادله می شود؟  $E^\circ(\text{Al}^{3+} / \text{Al}) = -1/66 \text{ (V)}$  ( $\text{Al} = 27$ ,  $\text{H} = 1: \text{g.mol}^{-1}$ )

۲/۴(۴)

۱/۲(۳)

۳(۲)

۶(۱)

تمرین ۳۷

۳۷ در سلول  $\text{Zn} - \text{Cu}$  به ازای مبادله  $3/01 \times 10^{22}$  الکترون بین دو نیم سلول چند گرم به جرم کاتد اضافه می شود؟  
 $E^\circ(\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}) = -0/76 \text{ (V)}$      $E^\circ(\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}) = +0/34 \text{ (V)}$  ( $\text{Cu} = 64$ ,  $\text{Zn} = 65: \text{g.mol}^{-1}$ )

۱/۶(۴)

۱/۸(۳)

۱/۴(۲)

۱/۲(۱)

تمرین ۳۸

۳۸ در سلول گالوانی  $\text{Zn} - \text{H}_2$  الکترولیت نیم سلول کاتدی شامل ۵ لیتر هیدروکلریک اسید یک مولار می باشد. اگر پس از گذشت  $t$  ثانیه از شروع کار این سلول،  $6/02 \times 10^{23}$  الکترون در آن مبادله شود، در این مدت زمان چه مقدار بر جرم الکتروکاتدی افزوده می شود و غلظت الکترولیت کاتدی به چند مولار می رسد؟ ( $\text{H} = 1, \text{Zn} = 65: \text{g.mol}^{-1}$ )



## تمرین ✓

۳۹) ۳۲/۵ گرم از یک قطعه آلیاژ روی و مس را در مقدار کافی محلول ۴ مولار هیدروکلریک اسید قرار داده و گرم می‌کنیم تا واکنش کامل انجام گیرد. اگر در این فرایند، ۲/۲۴ لیتر گاز هیدروژن در شرایط استاندارد آزاد شده باشد، درصد جرمی مس در این آلیاژ کدام است؟ ( $\text{Cu} = 64, \text{Zn} = 65 : \text{g.mol}^{-1}$ )

۹۰(۴)

۸۰(۳)

۷۰(۲)

۶۰(۱)

📌 نکته لیتیم در میان فلزها کم‌ترین چگالی و منفی‌ترین  $E^\circ$  را دارد. این ویژگی باعث می‌شود بتوان با لیتیم باتری‌هایی سبک‌تر، کوچک‌تر و با توانایی ذخیره بیشتر انرژی تولید کرد.

### سلول سوختی منبعی برای تولید انرژی سبز

#### سوخت‌های فسیلی

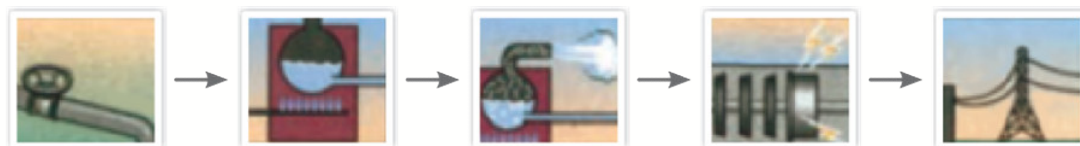
- (۱) مناسب‌ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها می‌باشد.
- (۲) استخراج بی‌رویه آن‌ها باعث شده تا ذخایر آن‌ها به سرعت کاهش یابد.
- (۳) گسترش روزافزون و آلودگی ناشی از مصرف آن‌ها جهان را با چالش روبه‌رو کرده است.

#### سلول سوختی:

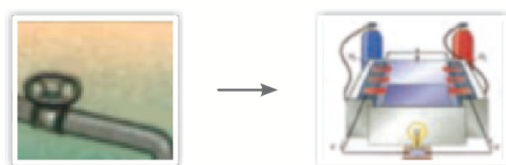
- (۱) نوعی سلول گالوانی است.
- (۲) برای گذر از تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست پیشنهاد می‌شود.
- (۳) کارایی بیشتری نسبت به سوخت فسیلی دارد.
- (۴) می‌تواند رد پای کربن دی اکسید را کاهش دهد.
- (۵) دوستدار محیط زیست است و منبع انرژی سبز به‌شمار می‌آید.



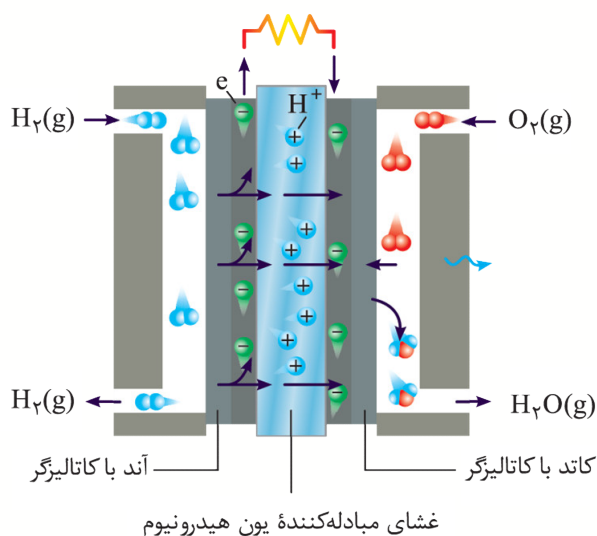
با توجه به شکل زیر که روش‌های مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است مشخص می‌شود که در روش سلول سوختی هم کارایی بالاتر است و هم اتلاف انرژی به شکل گرما کم‌تر می‌باشد.



انتقال برق      راه‌اندازی توربین      تولید بخار      سوزاندن سوخت      انتقال سوخت  
و تولید برق



انتقال سوخت      سلول سوختی و تولید برق



رایج‌ترین سلول سوختی، سلول هیدروژن - اکسیژن است. دستگاهی که در آن هیدروژن با اکسیژن به صورت کنترل شده واکنش می‌دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. به شکل آن دقت کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:

#### هر سلول سوختی دارای سه جزء اصلی است:

- ۱- غشاء
- ۲- الکترود آند
- ۳- الکترود کاتد

#### کاتد:

- ۱- قطب مثبت است.
- ۲- در کنار آن گاز اکسیژن وارد می‌شود.
- ۳- دارای کاتالیزگر است.
- ۴- اکسیژن در واکنش با سوخت یعنی همان هیدروژن کاهش می‌یابد.

#### آند:

- ۱- قطب منفی است.
- ۲- در کنار آن سوخت که همان گاز هیدروژن است وارد می‌شود.
- ۳- دارای کاتالیزگر است.
- ۴- هیدروژن پیوسته وارد شده و اکسایش می‌یابد و به این ترتیب یون هیدروژن را ایجاد می‌کند.

معادله کلی سلول به صورت  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  است.



**نکته** با اینکه سلول‌های سوختی برخلاف باتری‌ها، انرژی شیمیایی را ذخیره نمی‌کنند اما در آن‌ها نیز پیوسته سوخت در شرایط کنترل شده، مصرف و جریان الکتریکی برقرار می‌شود. یکی از چالش‌هایی که در کاربرد سلول‌های سوختی هیدروژن - اکسیژن خودنمایی می‌کند تأمین سوخت آن‌ها است.

#### تمرین

۴۰. درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را درباره سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن مشخص کنید.
- آ - غشای مبادله‌کننده دارای کاتالیزگرهایی است که به نیم‌واکنش‌های اکسایش-کاهش سرعت می‌بخشند.
  - ب - پروتون‌ها به سمت الکترودی که گاز اکسیژن به آن وارد می‌شود، در حرکت اند.
  - پ - حجم گاز مصرف شده در آند، دو برابر حجم گاز مصرف شده در کاتد است.
  - ت - جهت حرکت الکترون در مدار بیرونی به سمت الکترودی است که مولکول‌های آب خارج می‌شوند.
  - ث - پروتون‌های حاصل از اکسایش هیدروژن در آند، به سمت کاتد مهاجرت کرده و در آنجا کاهش می‌یابند.
  - ج - اکسیژن در کاتد کاهش می‌یابد و با ترکیب شدن با دو پروتون، یک مولکول آب تولید می‌شود.

#### تمرین

۴۱. اگر بدانیم در یک سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن تعداد  $2 / 408 \times 10^{22}$  الکترون مبادله شده است، در این سلول سوختی چند گرم هیدروژن اکسایش یافته است؟ ( $H = 1: g.mol^{-1}$ )
- $0.04(4)$                        $0.03(3)$                        $0.02(2)$                        $0.01(1)$

#### تمرین

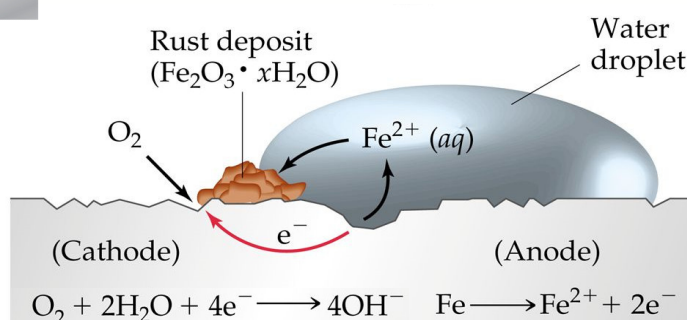
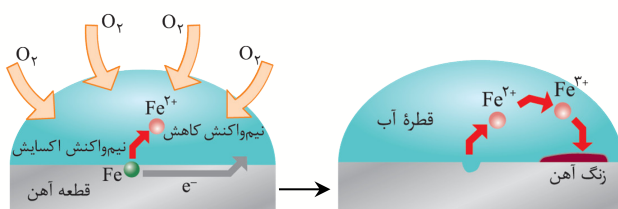
۴۲. اگر جرم گونه کاهش یافته در یک سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن برابر با  $1/92$  گرم باشد، چه تعداد الکترون در این سلول مبادله شده است؟ ( $O = 16, H = 1: g.mol^{-1}$ )

## خوردگی

**خوردگی:** به فرایند تردشدن، خرد شدن و فرو ریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش - کاهش خوردگی گفته می‌شود. زنگ زدن آهن، تیره شدن نقره و زنگار سبز بر سطح مس نمونه‌هایی از خوردگی هستند.

پتانسیل کاهشی اغلب فلزها منفی بوده اما پتانسیل کاهشی اکسیژن مثبت است. با این نکته درمی‌یابیم که اکسیژن به‌عنوان اکسنده تمایل دارد با گرفتن الکترون از فلزها آن‌ها را اکسید کند.

در شکل زیر زنگ زدن یک قطعه آهن در هوای مرطوب را می‌بینیم به نکات آن دقت کنید:



(۱) با توجه به مثبت بودن  $E^\circ$  اکسیژن، این نافلز در نقش اکسنده الکترون را از فلز می‌گیرد و خود به همراه رطوبت واکنش کاهش را انجام می‌دهد:



(۲) فلز آهن اکسید شده و الکترون‌های خود را از دست می‌دهد:



(۳) با توجه به این‌که فرآورده نهایی خوردگی زنگ آهن یا آهن (III) هیدروکسید است آهن (II) مجدداً اکسید شده و به آهن (III) تبدیل می‌شود:



(۴) یون آهن با یون هیدروکسید واکنش می‌دهد و زنگ آهن پدید می‌آید:



(۵) فرایند نهایی خوردگی آهن به‌شکل زیر است:

(۶) با توجه به این‌که اکسیژن در محیط اسیدی میزان  $E^\circ$  مثبت‌تری دارد، در محیط‌های اسیدی سرعت خوردگی افزایش می‌یابد.  
(۷) با توجه به این‌که  $E^\circ$  طلا از اکسیژن چه در حالت معمولی و چه در حالت اسیدی بزرگ‌تر است، طلا در هوای مرطوب و حتی محیط‌های اسیدی هم دچار خوردگی نمی‌شود.



## تمرین ۴۳

- ۴۳) با توجه به فرایند زنگ زدن آهن در هوای مرطوب، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات زیر را مشخص کنید.
- آ- در فرایند زنگ زدن آهن، باید اکسیژن و آب در تماس با آهن باشند.
  - ب- جهت حرکت الکترون‌ها در قطعه آهن با جهت حرکت کاتیون‌های آهن (II) در قطره آب، یکسان است.
  - پ- در نیم‌واکنش کاهش، الکترون‌ها در حضور رطوبت، به اکسیژن داده می‌شوند.
  - ت- pH محیط، در بخشی که الکترون‌های آهن، اتم‌های اکسیژن را می‌کاهند، بالا می‌رود.
  - ث- کاتیون‌ها و الکترون‌ها از طریق قطره آب، به سمت محل انجام نیم‌واکنش کاهش حرکت می‌کنند.
  - ج- خوردگی در محلی رخ می‌دهد که نیم‌واکنش اکسایش انجام می‌شود.

## فداکاری فلزها برای حفاظت آهن (حفاظت کاتدی)

ساده‌ترین راه برای جلوگیری از حفاظت آهن از خوردگی ایجاد یک پوشش محافظ است که از رسیدن اکسیژن و رطوبت به سطح آهن جلوگیری کند مانند زنگ زدن، قیراندود کردن و یا روکش دادن با یک فلز دیگر. هنگامی که دو فلز در هوای مرطوب با هم در تماس باشند، برای اکسایش یافتن با یکدیگر رقابت می‌کنند. بدیهی است فلز کاهنده‌تر (دارای  $E^\circ$  کم‌تر) در این رقابت برنده می‌شود. تصور کنید فلز روی (Zn) یا منیزیم (Mg) در هوای مرطوب با آهن تماس داشته باشند. با توجه به این‌که روی و منیزیم  $E^\circ$  کم‌تری از آهن دارند بی‌شک در این رقابت برنده شده و اکسید می‌شوند و با این فداکاری از اکسایش آهن جلوگیری می‌کنند.

Mg

Fe

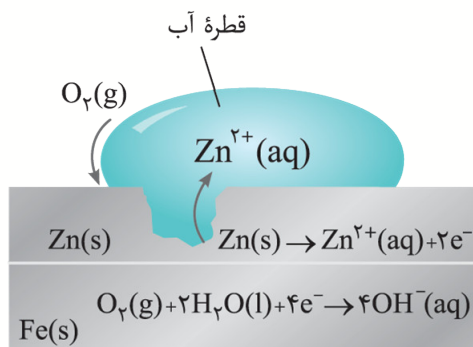
## تمرین ۴۴

۴۴) با توجه به  $E^\circ$  های داده شده، در صورت چسباندن قطعاتی از منیزیم بر روی لوله‌ی آهنی، در هوای مرطوب، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات زیر را مشخص کنید.  $E^\circ(\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}) = -2 / 27(\text{V})$      $E^\circ(\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = -0 / 44(\text{V})$

- آ- منیزیم در رقابت برای اکسید شدن از آهن برنده می‌شود.
- ب- منیزیم اکسایش می‌یابد و آهن کاهش می‌یابد.
- پ- پس از اکسایش کامل منیزیم، خوردگی آهن اتفاق خواهد افتاد.
- ت- الکترون‌های حاصل از اکسایش منیزیم توسط آهن مصرف می‌شوند.



## آهن سفید یا گالوانیزه:



(۱) به ورقه آهنی که با پوششی از فلز روی (Zn) پوشیده شده است

آهن گالوانیزه (آهن سفید) می‌گویند که در ساخت تانکر آب، کانال کولر و ... کاربرد دارد.

(۲) روی با پوشش مناسب از آهن به صورت فیزیکی محافظت می‌کند و

چون اکسید روی مانند اکسید آلومینیم متراکم و چسبنده است پس از مدتی سطح روی را فراگرفته و روی خورده نمی‌شود.

(۳) در صورتی که خراشی روی آهن گالوانیزه ایجاد شود، اکسیژن و رطوبت به سطح آهن می‌رسند ولی آهن خورده نمی‌شود چون  $\text{E}^\circ$  روی از آهن کمتر بوده و الکترون‌های خود را در اختیار اکسیژن قرار می‌دهد.

(۴) از آهن گالوانیزه نمی‌توان برای ساخت ظروف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کرد؛ زیرا در مواد غذایی اسیدهایی وجود دارند که با روی وارد واکنش می‌شوند و ماده غذایی فاسد می‌شود.

### تمرین

(۴۵) درباره آهن گالوانیزه، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

آ- در صورت خراشیدگی در حضور رطوبت، روی اکسایش یافته و از آهن محافظت می‌شود.

ب- با ایجاد خراش، الکترون‌های حاصل از اکسایش روی در حضور اکسیژن به اتم‌های آهن داده می‌شود.

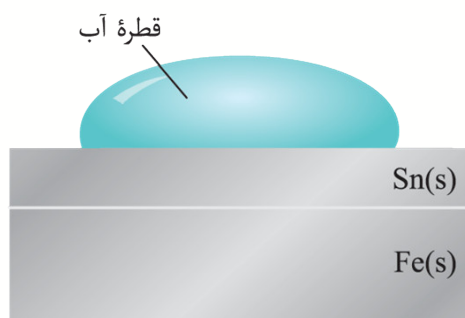
پ- در حضور رطوبت و ایجاد خراش، الکترون‌ها در سطح فلز روی به اکسیژن داده می‌شوند.

ت- در شرایط مناسب، نیم‌واکنش اکسایش در سطح فلز روی انجام می‌شوند.

ث- آهن گالوانیزه آلیاژی از آهن و روی است که از خوردگی آهن جلوگیری می‌کند.

ج- در صورت خراش کاتیون‌های آهن وارد قطره آب می‌شوند.

چ- از آهن گالوانیزه می‌توان برای نگهداری مواد غذایی استفاده کرد.



### حلبی:

(۱) ورقه آهنی که با لایه نازکی از فلز قلع (Sn) پوشیده شده باشد حلبی نام دارد که برای قوطی‌های کنسرو و روغن نباتی استفاده می‌شود.

(۲) قلع نیز با پوشش مناسب به صورت فیزیکی از رسیدن آب و اکسیژن به سطح آهن جلوگیری می‌کند و مانع خوردگی آهن می‌شود.

(۳) اگر خراشی در سطح حلبی اتفاق بیافتد با توجه به این که  $\text{E}^\circ$  آهن کمتر از قلع است، آهن از قلع محافظت کرده و الکترون خود را در اختیار اکسیژن قرار می‌دهد و به شدت خورده می‌شود.





## تمرین

- ۴۶) درباره حلبی، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های داده شده را مشخص کنید.
- آ- در صورت خراشیدگی در حضور رطوبت، قلع اکسایش یافته و از آهن محافظت می‌شود.
- ب- در صورت خراشیدگی، واکنش اکسایش انجام یافته، همانند واکنش اکسایش در تولید زنگ آهن است.
- پ- با خراشیدگی در حضور رطوبت، نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش در سطح فلز قلع انجام می‌شوند.
- ت- در صورت خراشیدگی حلبی، آهن موجود در حلبی زودتر و سریع‌تر از آهن خالص دچار خوردگی می‌شود.
- ث- برخلاف روی، قلع با مواد غذایی واکنش نمی‌دهد و قوطی‌های مواد غذایی از حلبی ساخته می‌شوند.
- ج- در اثر ایجاد خراش در حضور رطوبت کاتیون‌های قلع وارد محلول می‌شوند.

## تمرین

۴۷) با توجه به  $E^\circ$  های داده شده، درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های داده شده را مشخص کنید.

$$E^\circ(\text{Au}^{3+} / \text{Au}) = +1.50 \text{ (V)}$$

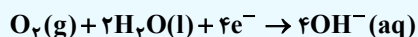
$$E^\circ(\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}) = +0.34 \text{ (V)}$$

$$E^\circ(\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}) = -0.14 \text{ (V)}$$

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

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

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

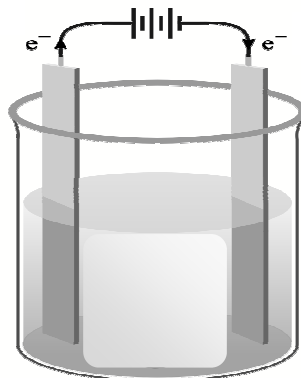


$$E^\circ = +0.40 \text{ V}$$

- آ- در صورت تماس قلع و روی در هوای مرطوب، قلع در رقابت برای از دست دادن الکترون برنده است.
- ب- در صورت تماس قلع و آهن در هوای مرطوب، قلع اکسید شده و از خوردگی آهن جلوگیری می‌شود.
- پ- در هوای مرطوب، تماس آهن با فلز منیزیم، از اکسایش و خوردگی آهن جلوگیری خواهد کرد.
- ت- در تماس مستقیم آهن و روی، روی دچار اکسایش شده و آهن محافظت می‌شود.
- ث- تماس آهن با روی در هوای مرطوب، فرایند خوردگی آهن را تسریع خواهد کرد.
- ج- در هوای مرطوب، تماس آهن با مس، موجب خوردگی سریع‌تر آهن خواهد شد.
- چ- در تماس مس و آهن در هوای مرطوب، آهن اکسایش یافته و الکترون‌های خود را در حضور اکسیژن به مس تحویل می‌دهد.
- ح- در تماس بین آهن و قلع در هوای مرطوب، الکترون‌های حاصل از اکسایش آهن، اتم‌های اکسیژن را می‌کاهند.
- خ- در صورت تماس آهن با قلع در هوای مرطوب، آهن از خوردگی محافظت خواهد شد.

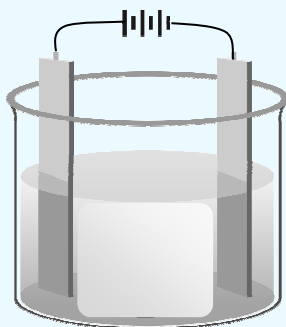
## سلول‌های الکترولیتی

**سلول‌های الکترولیتی:** سلول‌هایی هستند که در آن‌ها با اعمال یک ولتاژ بیرونی و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می‌توان یک واکنش شیمیایی را در خلاف جهت طبیعی پیش راند.



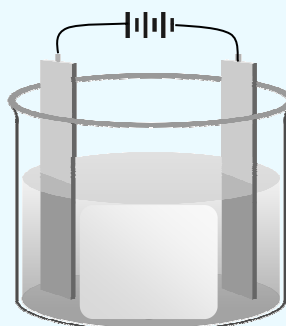
### تمرین

**(۴۸)** شکل زیر برقکافت  $\text{KBr}$  مذاب در یک سلول الکترولیتی را نشان می‌دهد. آند و کاتد، قطب مثبت و منفی سلول، جهت حرکت الکترون‌ها، جهت حرکت آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در آن نشان دهید و نیم‌واکنش آندی، نیم‌واکنش کاتدی و واکنش کلی سلول را بنویسید.



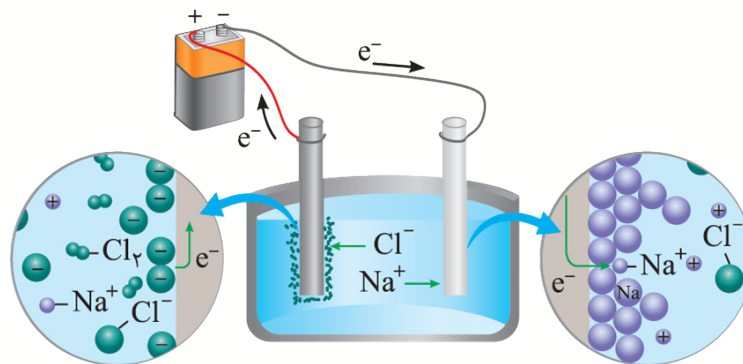
### تمرین

**(۴۹)** در برقکافت  $\text{PbI}_2$  مذاب در یک سلول الکترولیتی، آند و کاتد، قطب مثبت و منفی، جهت حرکت الکترون‌ها، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، را نشان دهید و نیم‌واکنش آندی، کاتدی و واکنش کلی سلول را بنویسید.



## برقکافت $\text{NaCl(l)}$ و تهیه فلز سدیم (سلول دانز)

فلز سدیم یک کاهنده قوی با  $E^\circ$  بسیار کم است که در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی‌شود و در ترکیب‌های طبیعی تنها به شکل یون سدیم وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که یون‌های سدیم بسیار پایدارتر از اتم‌های سدیم هستند. به همین دلیل برای تهیه فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد. شکل زیر تهیه فلز سدیم را از برقکافت سدیم کلرید مذاب در یک سلول الکترولیتی نشان می‌دهد. به شکل دقت کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:



(۱) سدیم کلرید خالص در  $801^\circ\text{C}$  درجه ذوب می‌شود. افزودن مقداری کلسیم کلرید به آن، دمای ذوب را تا حدود  $587^\circ\text{C}$  درجه پایین می‌آورد.

(۲) یون سدیم به سمت قطب منفی (کاتد) رفته و با گرفتن الکترون کاهش می‌یابد:

**کاتد - کاهش - قطب منفی**

(۳) یون کلرید به سمت قطب مثبت (آند) رفته و با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابد:

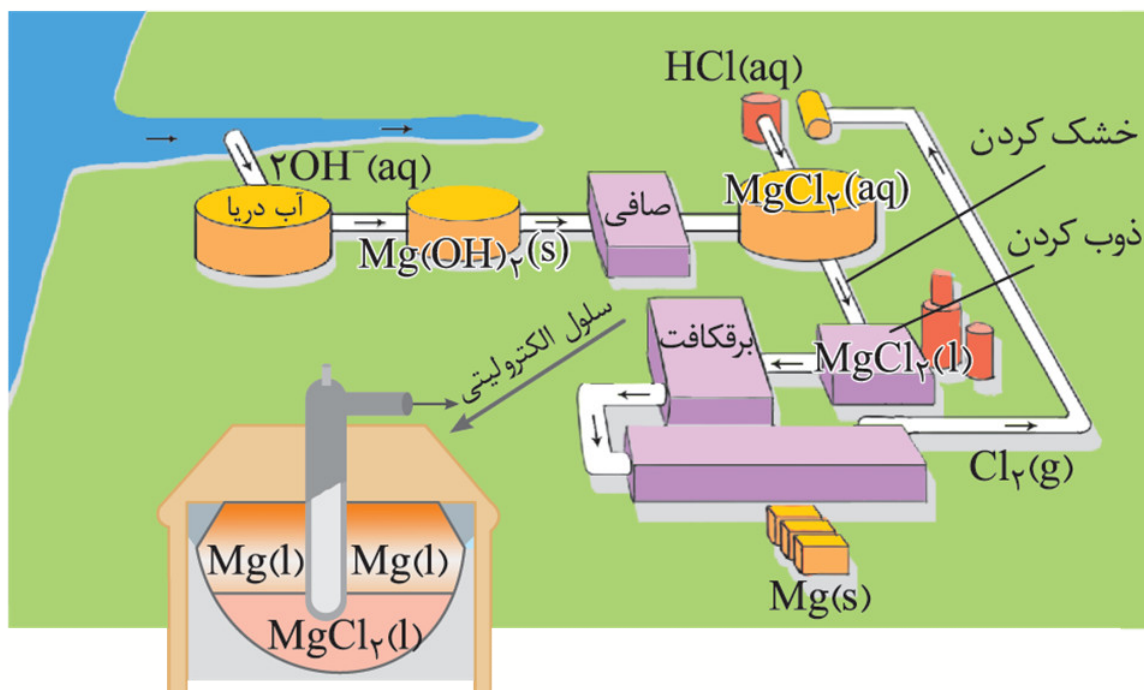
**آند - اکسایش - قطب مثبت**

(۴) واکنش کلی سلول دانز:

(۵) سلول دانز یک سلول الکترولیتی است که در صنعت برای تهیه فلز سدیم بکار می‌رود.

## برقکافت منیزیم کلرید مذاب و تهیه فلز منیزیم

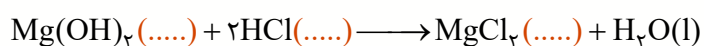
شکل زیر مراحل تهیه منیزیم از آب دریا را نشان می‌دهد. به شکل دقت کنید تا نکات را با هم بررسی کنیم:



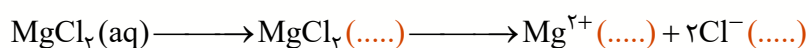
(۱) ابتدا یون  $Mg^{2+}(aq)$  محلول در آب دریا را با یون  $OH^{-}(aq)$  به صورت رسوب درمی‌آورند:



(۲) پس از جدا کردن  $Mg(OH)_2(s)$  و صاف کردن آن، این ماده جامد را با محلول هیدروکلریک اسید واکنش می‌دهند تا  $MgCl_2$  ایجاد شود.



(۳) پس از حرارت دادن ابتدا  $MgCl_2$  خشک شده و سپس با حرارت بیشتر  $MgCl_2$  به صورت مذاب درآمده و یون‌های  $Cl^{-}(l)$  و  $Mg^{2+}(l)$  ایجاد می‌شود:



(۴) پس از برقکافت  $MgCl_2(l)$  واکنش‌های آندی و کاتدی به صورت زیر انجام می‌شود:

**کاتد-کاهش - قطب منفی:**

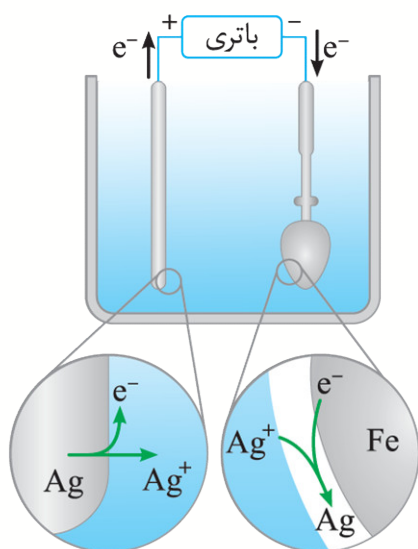
**آند-اکسایش - قطب مثبت:**

(۵) گاز کلر تولید شده پس از خشک کردن جمع‌آوری می‌شود و منیزیم هم پس از سرد شدن به صورت فلز منیزیم  $Mg(s)$  جمع‌آوری می‌شود.

## آبکاری

**آبکاری:** پوشاندن سطح یک فلز با لایه نازکی از فلزهای ارزشمند و مقاوم در برابر خوردگی، آبکاری نام دارد. این فرایند در سلول الکترولیتی انجام می‌شود.

در شکل زیر آبکاری یک قاشق فولادی را با فلز نقره می‌بینیم. به نکات آن دقت کنید:



(۱) برای آبکاری، قاشق (فلزی که قرار است پوشش روی آن بنشیند) را به قطب منفی باتری وصل می‌کنیم تا نقش کاتد را ایفا کند و نقره (فلزی که قرار است پوشش ایجاد کند) را به قطب مثبت باتری وصل می‌کنیم تا نقش آند بگیرد.

(۲) جسمی که مورد آبکاری قرار می‌گیرد حتماً باید رسانا باشد.

(۳) الکترولیت را از جنس محلول نمک فلز پوشاننده انتخاب می‌کنیم. در اینجا از محلول نقره نیترات استفاده شده است.

(۴) در آند یا قطب مثبت، فلز پوشاننده اکسایش یافته و به صورت یون وارد محلول می‌شود:

### آند-اکسایش-قطب مثبت:

(۵) در کاتد یا قطب منفی، یون‌های فلز پوشاننده الکترون گرفته و به صورت جامد روی جسم مورد نظر می‌نشیند:

### کاتد-کاهش-قطب منفی:

(۶) علت انتخاب الکترولیت از جنس محلولی از نمک نقره این است که قبل از رسیدن یون‌های نقره‌ای تولید شده در کاتد مولکول‌های آب الکترون‌های آند را دریافت نکنند و کاهش نیابند.



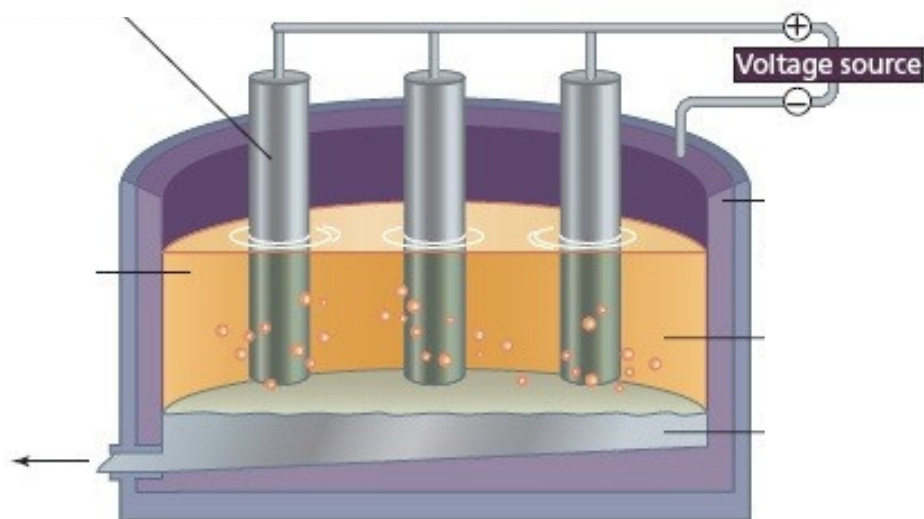
## فرآیند هال

قبلاً دیدیم که برخی از فلزها مانند آلومینیم با این که اکسایش می‌یابند اما خورده نمی‌شوند. از این فلزها برای ساخت وسایل گوناگونی استفاده می‌کند که برای مدت طولانی‌تری استحکام خود را حفظ می‌کنند.

**فرآیند هال:** رایج‌ترین روش برای برقکافت نمک‌های مذاب آلومینیم و به دست آوردن فلز آلومینیم، فرآیند هال است.

آلومینیم همانند دیگر فلزهای فعال در طبیعت به شکل ترکیب یافت می‌شود، از این رو این فلز را تنها می‌توان از برقکافت نمک‌های مذاب آن به دست آورد.

به شکل زیر توجه کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:



(۱) دیواره‌ها و کف ظرف نقش کاتد (قطب منفی) و میله‌ها نقش آند (قطب مثبت) را ایفا می‌کنند و هر دو از جنس گرافیت هستند.

(۲) یون‌های آلومینیم ( $Al^{3+}$ ) به سمت قطب منفی یا کاتد رفته و کاهش می‌یابد:

**کاتد-کاهش - قطب منفی:**

(۳) یون‌های اکسیژن به سمت قطب مثبت یا آند رفته و اکسایش پیدا می‌کند:

**آند-اکسایش - قطب مثبت:**

(۴) گاز اکسیژن به هنگام خارج شدن با گرافیت آند برخورد کرده و به دلیل دمای بالا با آن واکنش می‌دهد:

(۵) واکنش کلی سلول هال بصورت زیر خواهد بود:

(۶) چگالی بیشتر آلومینیم مذاب نسبت به  $Al_2O_3$  باعث می‌شود آلومینیم در کف ظرف جمع شده و از طریق دریچه‌ای خارج شود.

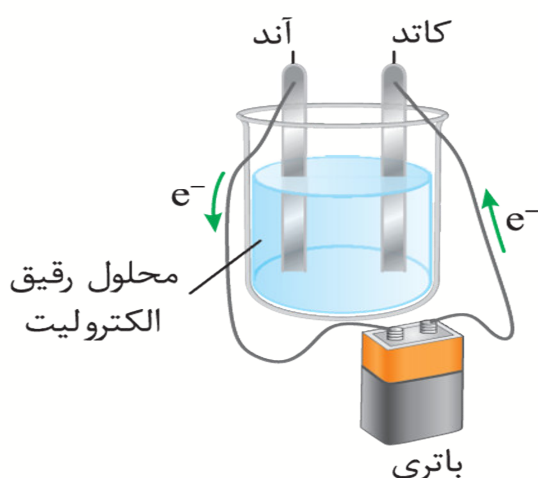
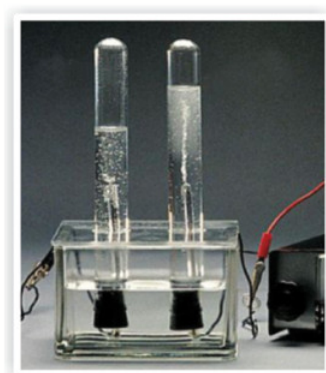




۷) فرآیند هال به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد از این رو با بازیافت فلز آلومینیم می‌توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدناپذیر طبیعت برخی هزینه‌های تولید این فلز را کاهش داد. برای نمونه تولید قوطی‌های آلومینیمی از قوطی‌های کهنه فقط به ۷ درصد از انرژی لازم برای تهیه همان تعداد قوطی از فرآیند هال نیاز دارد.

## برقکافت آب

برقکافت آب یکی از واکنش‌هایی است که در سلول‌های الکترولیتی انجام می‌شود. به شکل برقکافت آب دقت کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:

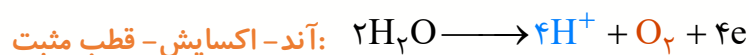


- ۱) آب خالص رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد از این رو برای برقکافت آن باید اندکی الکترولیت به آب افزود.
- ۲) هر دو الکترود کاتد و آند درون یک الکترولیت قرار دارند.
- ۳) الکترودها در این سلول‌ها بی‌اثر هستند، در واکنش شرکت نمی‌کنند و اغلب از جنس گرافیت انتخاب می‌شود.
- ۴) در این سلول‌ها کاتد را به قطب منفی باتری می‌بندیم و آند را به قطب مثبت آن وصل می‌کنیم.
- ۵) در کاتد یعنی قطب منفی نیم‌واکنش کاهش به شکل زیر انجام می‌شود:



**توجه** و اگر کاغذ pH را در اطراف کاتد در محلول فرو کنیم به رنگ آبی درخواهد آمد.

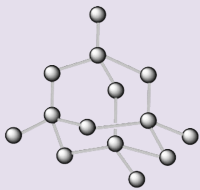
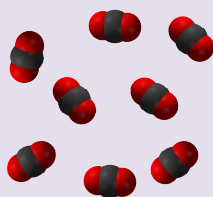
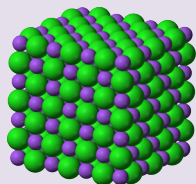
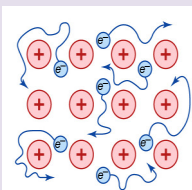
۶) در آند یعنی قطب مثبت نیم‌واکنش اکسایش به شکل زیر انجام می‌شود:



**توجه** اگر کاغذ pH را در اطراف آند در محلول فرو کنیم به رنگ قرمز درخواهد آمد.

۷) برای نوشتن معادله کلی باید نیم‌واکنش کاهش را در ۲ ضرب کنیم تا هنگام جمع دو نیم واکنش الکترون‌ها حذف شوند. واکنش کلی این سلول به صورت مقابل خواهد بود:

## انواع مواد از نظر ساختار

نوع ماده	واحد سازنده	شکل	نقطه جوش
جامد کووالانسی	اتم		
مواد مولکولی	مولکول		
جامد یونی	یون		
جامد فلزی	کاتیون فلز در دریای الکترون		

### مقایسه نقطه جوش

(۱) بین جامدهای کووالانسی:

(۲) بین جامدهای مولکولی:

(۳) بین جامدهای یونی:

(۴) بین جامدهای فلزی:





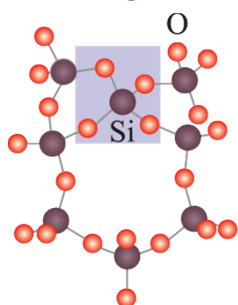
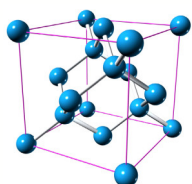
## جامدهای کووالانسی

- (۱) شامل شمار بسیار زیادی از اتم‌ها هستند که با پیوند اشتراکی به یکدیگر متصل شده‌اند.
- (۲) یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که عنصرهای اصلی سازنده جامدهای کووالانسی در طبیعت، کربن و سیلیسیم هستند.
- (کربن و سیلیسیم تا کنون به صورت یون تک اتمی در هیچ ترکیبی شناخته نشده‌اند.)
- (۳) دارای ساختار به هم پیوسته و گول‌آسا می‌باشند.
- (۴) سخت و دیرگداز هستند.
- (۵) برای ذوب و یا به جوش آوردن این ترکیب‌ها باید بر پیوند کووالانسی غلبه کنیم.

## معرفی چند جامد کووالانسی معروف

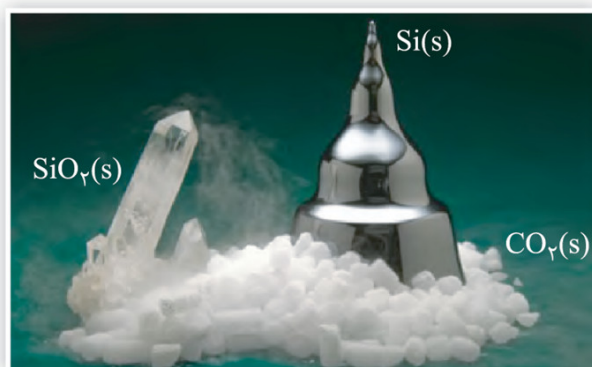
### سیلیسیم و سیلیس ( $Si$ , $SiO_2$ )

- (۱) سیلیسیم پس از اکسیژن فراوان‌ترین عنصر در پوسته‌ی جامد زمین است به طوری که ترکیب‌های گوناگون این دو عنصر بیش از ۹۰ درصد پوسته جامد زمین را تشکیل می‌دهند.
- (۲) سیلیسیم ( $Si$ ), شبه فلزی از گروه ۱۴ و دوره‌ی سوم جدول تناوبی است.



- (۳) سیلیس ( $SiO_2$ ) فراوان‌ترین اکسید در پوسته جامد زمین است.
- (۴) کوارتز از جمله نمونه‌های خالص و ماسه از جمله نمونه‌های ناخالص سیلیس هستند.
- (۵) سیلیس یک ترکیب کووالانسی است که شامل شمار بسیار زیادی از اتم‌های سیلیسیم و اکسیژن با پیوندهای اشتراکی  $Si-O-Si$  بوده و دارای ساختاری به هم پیوسته و گول‌آسا است.
- (۶) پخته شدن نان سنگک بر روی دانه‌های درشت سنگ را می‌توان نشانه‌ای از مقاومت گرمایی سیلیس دانست.

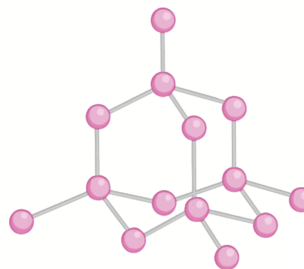
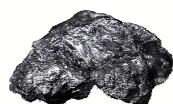
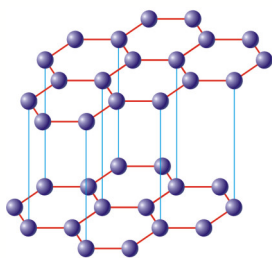
- (۷) اگر آنتالپی پیوند  $Si-O$  بیشتر از  $Si-Si$  بوده و ساختار  $Si(s)$  با  $SiO_2(s)$  مشابه باشد، سیلیسیم ترجیح می‌دهد با اکسیژن واکنش دهد و ساختار  $Si-O$  را بسازد، که پیوندی قوی‌تر و پایدارتر دارد. بنابراین سیلیسیم به حالت خالص یافت نمی‌شود و به طور عمده به صورت سیلیس وجود دارد.





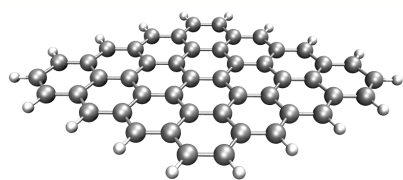
## الماس و گرافیت

در شکل‌های زیر ساختار گرافیت و الماس را می‌بینیم. به نکات آن‌ها دقت کنید:



- (۱) گرافیت و الماس از جمله دگرشکل‌های طبیعی کربن بوده که جزو جامدهای کووالانسی هستند.
- (۲) گرافیت یک جامد کووالانسی با چینش دو بُعدی اتم‌ها و الماس یک جامد کووالانسی با چینش سه بُعدی اتم‌ها را نشان می‌دهد.
- (۳) گرافیت ساختار لایه‌ای دارد؛ به همین علت وقتی در مغز مداد استفاده می‌شود، روی کاغذ اثر به جای می‌گذارد.
- (۴) به علت سخت بودن الماس از آن برای ساخت مته‌ها و ابزار برش شیشه استفاده می‌کنند.
- (۵) چون الماس متراکم‌تر است، چگالی بیشتری ( $3.51 \text{ g/cm}^3$ ) نسبت به گرافیت ( $2.27 \text{ g/cm}^3$ ) دارد.
- (۶) گرافیت رسانای جریان برق است در صورتی که الماس نارسانا می‌باشد.
- (۷) میانگین آنتالپی پیوند  $\text{C}-\text{C}$  برابر  $348 \text{ kJ.mol}^{-1}$  و میانگین آنتالپی پیوند  $\text{Si}-\text{Si}$  برابر  $226 \text{ kJ.mol}^{-1}$  است؛ پس اگر سیلیسیم ساختاری شبیه الماس داشته باشد، نقطه ذوب آن از الماس کم‌تر خواهد بود.

## گرافن



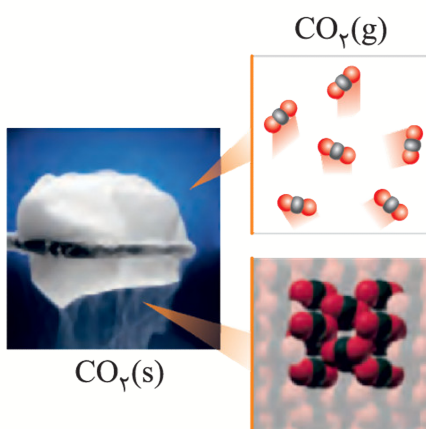
- (۱) تک لایه‌ای از گرافیت است.
- (۲) در آن اتم‌های کربن با پیوندهای اشتراکی حلقه‌های شش گوشه تشکیل داده‌اند.
- (۳) این ساختار (که شبیه کندوی زنبور عسل است) استحکام ویژه‌ای دارد؛ به طوری که مقاومت کششی آن حدود  $100$  برابر فولاد است.
- (۴) چون ضخامت آن به اندازه یک اتم کربن است، دو بُعدی، شفاف و انعطاف پذیر است.
- (۵) یک روش ساده برای تهیه گرافن استفاده از گرافیت و نوار چسب نازک برای جدا کردن لایه‌هایی از آن است.
- (۶) گرافن رسانای جریان الکتریسیته است.

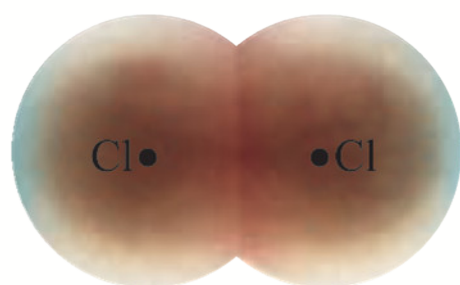
## تمرین

- ۱) درستی یا نادرستی هریک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.
- آ- آنتالپی پیوند C-C بیشتر از آنتالپی پیوند Si-Si است؛ در نتیجه دمای ذوب سیلیسیم کم‌تر از الماس است.
- ب- با اتصال نوک فلزی دو سیم رابط بر روی یک مستطیل حاوی لایه‌های گرافن لامپ روشن می‌شود.
- پ- گرافیت مانند الماس از شمار بسیار زیادی اتم‌های کربن که همگی با پیوند اشتراکی به هم متصل شده‌اند ساخته شده است.
- ت- گرافن یک گونه شیمیایی دوبعدی و انعطاف‌پذیر است که همانند گرافیت ظاهری کدر دارد.
- ث- سختی بیشتر الماس نسبت به سیلیسیم به خاطر کم‌تر بودن طول پیوند و بیشتر بودن تعداد پیوندهای C-C نسبت به Si-Si است.
- ج- در ساختار  $\text{SiO}_2$  تعداد پیوندهای هر اتم اکسیژن دو برابر سیلیسیم است.
- چ- تعداد اتم‌های کربن در یک نمونه یک مترمکعبی از گرافیت با همان اندازه الماس برابر است.
- ح- کربن و سیلیسیم، در برخی ترکیب‌ها با ایجاد یون‌های تک اتمی به آرایش هشتایی می‌رسند.
- خ- ترتیب سختی در سه جامد کووالانسی به صورت مقابل است: سیلیسیم > سیلیسیم کربید > الماس : سختی
- د- در جامدهای کووالانسی به جز گرافیت، هر اتم به ۴ اتم دیگر متصل است.

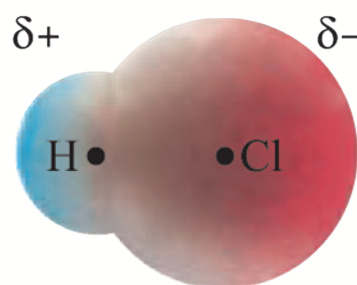
## مواد مولکولی

- ۱) مواد مولکولی در ساختار خود مولکول‌های مجزا دارند. همان طور که در شکل می‌بینید،  $\text{CO}_2$  چه در حالت گاز و چه حالت جامد، دارای مولکول‌های جدا از هم است.
- ۲) عنصرهای گروه‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ عمدتاً از اجزای اصلی سازنده مواد مولکولی هستند.
- ۳) بیشترین تعداد و تنوع را در میان انواع ترکیب‌ها دارا می‌باشند.
- ۴) تعیین نقطه جوش آن‌ها در فصل ۳ دهم بررسی شد.
- ۵) تعیین قطبیت آن‌ها در فصل ۳ دهم بررسی شد که در اینجا از نگاهی دیگر آن را مرور می‌کنیم.





مثبت



منفی

(آ) در مولکول ناجور هسته بالا احتمال حضور جفت الکترون پیوندی پیرامون هسته‌ی اتم کلر بیشتر بوده؛ زیرا خاصیت نافلزی آن بیشتر است، از این رو احتمال حضور الکترون‌های پیوندی روی هسته‌ها، یکسان و متقارن نیست.

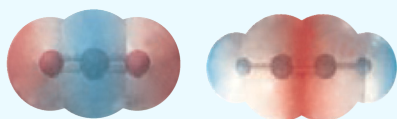
(ب) در مولکول‌های جور هسته احتمال حضور جفت الکترون پیوندی در فضای بین دو هسته بیشتر است، گویی بیشتر وقت خود را آن جا می‌گذرانند، از این رو احتمال حضور آن‌ها روی هسته‌ها، یکسان و متقارن است.

نام	فرمول شیمیایی	نقشه‌ی پتانسیل الکتروستاتیکی	( $\delta^-$ )	( $\delta^+$ )	توزیع بار	قطبیت
اتین	$C_2H_2$		کربن‌ها	هیدروژن‌ها	متقارن	ناقطبی
کربونیل سولفید	SCO		اکسیژن	کربن و گوگرد	نامتقارن	قطبی
کربن دی اکسید	$CO_2$		اکسیژن‌ها	کربن	متقارن	ناقطبی
گوگردی تری اکسید	$SO_3$		اکسیژن‌ها	گوگرد	متقارن	ناقطبی
آمونیاک	$NH_3$		نیتروژن	هیدروژن‌ها	نامتقارن	قطبی
کلروفرم	$CCl_3H$		کلرها	کربن و هیدروژن	نامتقارن	قطبی
کربن تتراکلرید	$CCl_4$		کلرها	کربن	متقارن	ناقطبی



## تمرین

۲) با توجه به شکل‌های زیر درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.



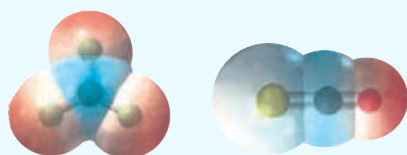
آ- هر دو مولکول ناقطبی‌اند؛ زیرا هیچ یک از اتم‌ها در لایه ظرفیت خود دارای جفت ناپیوندی نیستند.

ب- تراکم بیشتر بار الکتریکی منفی در هر دو مولکول، بر روی اتم‌های کربن است.

پ- هر دو مولکول خطی هستند؛ زیرا توزیع بار پیرامون اتم مرکزی هر دو مولکول الگوی یکسانی دارد.

## تمرین

۳) با توجه به شکل‌های زیر درستی و نادرستی عبارات‌های زیر را مشخص کنید.



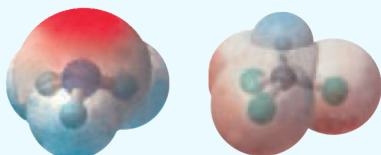
آ- گشتاور دوقطبی مولکول  $SO_3$  برخلاف کربونیل سولفید (SCO)، بزرگ‌تر از صفر است.

ب- مولکول گوگرد تری اکسید در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند؛ چون توزیع بار الکتریکی منفی پیرامون اتم‌های اکسیژن در آن متقارن است.

پ- در کربونیل سولفید تراکم بار منفی برخلاف گوگرد تری اکسید در اطراف اتم گوگرد بیش‌تر است.

## تمرین

۴) با توجه به شکل‌های زیر درستی یا نادرستی عبارات‌های زیر را مشخص کنید.



آ- اتم مرکزی مولکول کلروفرم برخلاف آمونیاک دارای جفت الکترون نبوده و به همین دلیل ناقطبی است.

ب- اتم مرکزی کلروفرم همانند آمونیاک دارای ۴ الکترون با  $I = 0$  می‌باشد.

پ- حالت فیزیکی هر دو ماده مایع است.

## تمرین

۵) با توجه به شکل‌های زیر درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.



آ- دی متیل اتر در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند.

ب- نقطه جوش دی متیل اتر بیشتر است.

پ- با توجه به این‌که هر دو گازی شکل هستند، پروپان زودتر مایع می‌شود.

ت- تعداد جفت الکترون پیوندی در پروپان بیشتر است.





## تمرین

۶) درستی یا نادرستی هر یک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

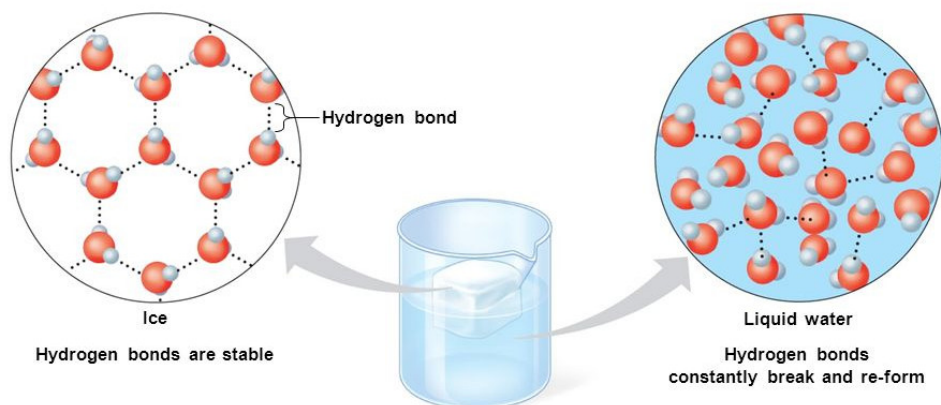
آ- مواد مولکولی عمدتاً از عناصر گروه‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ جدول ساخته شده‌اند و تنوع زیادی دارند.

ب- بالاتر بودن نقطه ذوب سیلیس نسبت به یخ خشک، به دلیل مستحکم‌تر بودن پیوند  $\text{Si-O}$  در سیلیس نسبت به پیوند  $\text{C=O}$  در یخ خشک است.

پ- فرمول مولکولی کربن دی اکسید  $\text{CO}_2(\text{g})$  و فرمول مولکولی سیلیس  $\text{SiO}_2(\text{s})$  است.

ت- مقایسه‌ای به صورت کوارتز  $< \text{CO}_2(\text{s}) <$  کلروفرم می‌تواند متعلق به ترتیب نقطه ذوب و جوش این مواد باشد.

## ساختار یخ



## تمرین

۷) درستی یا نادرستی هر یک از عبارتهای زیر را در مورد یخ مشخص کنید.

آ- مبنای تشکیل یخ حلقه‌های شش گوشه است.

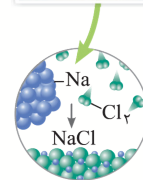
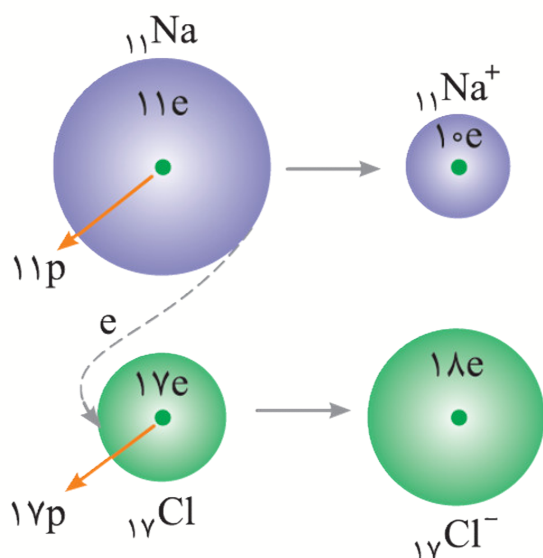
ب- هر اتم اکسیژن در آن با دو اتم هیدروژن پیوند هیدروژنی و با دو مولکول کناری پیوند کووالانسی دارد.

پ- چون مانند گرافیت ساختار شش گوشه دارد دمای ذوب آن را می‌توان با گرافیت مقایسه کرد.

ت- همانند همه مواد مولکولی شفاف است.

ث- می‌توان در مورد آن از واژه مولکول استفاده کرد.

## چینش زیبا، منظم و سه‌بعدی یون‌ها در جامد یونی



۱) فراورده واکنش یک فلز با یک نافلز است.

۲) در این واکنش اتم‌ها با یکدیگر الکترون دادوستد می‌کنند.

۳) اتم فلز، الکترون از دست می‌دهد و به کاتیون تبدیل می‌شود.

۴) اتم نافلز، الکترون می‌گیرد و به آنیون تبدیل می‌شود.

۵) میان یون‌های ناهمنام، نیروی جاذبه و میان یون‌های همنام، نیروی دافعه پدید می‌آید.

۶) نیروهای جاذبه و دافعه از همگی جهت‌ها وارد می‌شوند. به بیان دیگر این نیروها به شمار معینی از یون‌ها محدود نشده است بلکه میان همگی آن‌ها و در فاصله‌های گوناگون وارد می‌شود.

**مثال** از واکنش فلز سدیم با گاز کلر، جامد یونی سفید رنگی به جای می‌ماند که همان نمک خوراکی است. نور و گرمای زیاد آزاد شده در این واکنش نشان می‌دهد که این واکنش بسیار گرماده است.

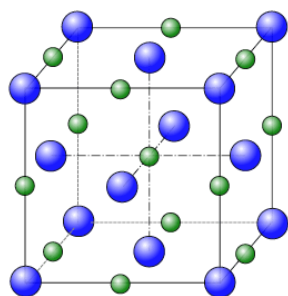
**نکته** وجود سدیم کلرید و دیگر جامدهای یونی در طبیعت نشان می‌دهد که نیروهای جاذبه میان یون‌های ناهمنام بر نیروهای دافعه میان یون‌های همنام غالب است، آن چنان که شمار بسیار زیادی از یون‌ها به سوی یکدیگر کشیده می‌شوند. چنین روندی، دلیل پدید آمدن آرایش منظمی از یون‌ها در سه بعد و تشکیل شبکه‌ی بلوری جامد یونی است.

**شبکه بلوری:** واژه شبکه بلور برای توصیف آرایش سه بعدی و منظم اتم‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها در حالت جامد به کار می‌رود.

**فرمول شیمیایی در ترکیب‌های یونی:** فرمول شیمیایی هر ترکیب یونی، ساده‌ترین نسبت کاتیون‌ها و آنیون‌های سازنده آن را نشان می‌دهد.



**عدد کوئوردیناسیون:** به شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهم‌نام موجود پیرامون هر یون در شبکه‌ی بلور، عدد کوئوردیناسیون می‌گویند. عدد کوئوردیناسیون هر یک از یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  در بلور سدیم کلرید با هم مساوی و برابر با ۶ است.



**نکته** هیچ‌گاه برای توصیف ترکیب‌های یونی در منابع علمی معتبر واژه‌هایی مانند مولکول و فرمول مولکولی را به کار نمی‌برند؛ زیرا در یک ترکیب یونی یک کاتیون و آنیون تشکیل یک مولکول را نمی‌دهند، بلکه شبکه‌ای از تعداد زیادی کاتیون و آنیون در آرایش‌های خاصی کنار یکدیگر قرار دارند.

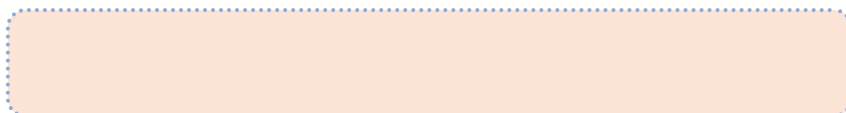
**نکته** نسبت عدد کوئوردیناسیون کاتیون به آنیون، عکس نسبت شمار آن‌ها در فرمول شیمیایی ترکیب است.

$$\frac{\text{تعداد آنیون}}{\text{عدد کوئوردیناسیون کاتیون}} = \frac{\text{تعداد کاتیون}}{\text{عدد کوئوردیناسیون آنیون}}$$

در سال دهم هم اشاره شد که وقتی اتمی تشکیل آنیون می‌دهد، شعاع آن بزرگ‌تر و وقتی اتمی تشکیل کاتیون می‌دهد، شعاع آن کوچک‌تر می‌شود. این موضوع را می‌توانید در جدول زیر ببینید.

گروه / دوره	۱۷	۱۶	۲	۱
دوم	<p>F</p> <p><math>1^-</math></p> <p>۷۱، ۱۳۳</p>	<p>O</p> <p><math>2^-</math></p> <p>۷۳، ۱۴۰</p>		<p>Li</p> <p><math>1^+</math></p> <p>۱۵۲، ۷۶</p>
سوم	<p>Cl</p> <p><math>1^-</math></p> <p>۹۹، ۱۸۱</p>	<p>S</p> <p><math>2^-</math></p> <p>۱۰۲، ۱۸۴</p>	<p>Mg</p> <p><math>2^+</math></p> <p>۱۶۰، ۷۲</p>	<p>Na</p> <p><math>1^+</math></p> <p>۱۸۶، ۱۰۲</p>

روند شعاع یونی:

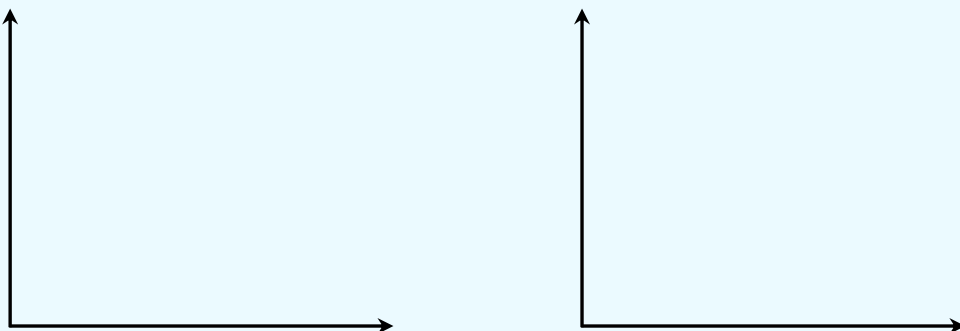






## تمرین

۸) نمودار روند کلی شعاع اتمی و یونی را رسم کنید.



## تمرین

۹) درستی یا نادرستی هر یک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

آ- یون‌های دارای بار منفی شعاع بزرگ‌تری از یون‌های دارای بار مثبت دارند.

ب- اگر عدد کوئوردیناسیون  $Mg^{2+}$  در  $MgF_2$  برابر ۶ باشد، عدد کوئوردیناسیون  $F^-$  برابر ۳ است.

پ- شعاع یونی  $Si^{4+}$  کوچکتر از  $Cl^-$  است.

## آنتالپی فروپاشی شبکه

**چگالی بار:** اگر هر یون را کره‌ای باردار در نظر بگیرید، چگالی بار هم ارز با نسبت بار به حجم آن است. نسبت ساده‌تری که می‌توان به کار برد، نسبت مقدار بار یون به شعاع است.

**توجه** از کمیت چگالی بار می‌توان برای مقایسه‌ی میزان برهم‌کنش میان یون‌ها استفاده کرد. به بیان دیگر هر چه چگالی بار آنیون و کاتیون بیش‌تر باشد، جاذبه‌ی یونی آن‌ها قوی‌تر خواهد بود.



## تمرین

۱۰) با توجه به جدول زیر درستی یا نادرستی هر یک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

کاتیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع	آنیون	شعاع (pm)	نسبت بار به شعاع
Na <sup>+</sup>	۱۰۲	$۹/۸۰ \times ۱۰^{-۳}$	F <sup>-</sup>	۱۳۳	$۷/۵ \times ۱۰^{-۳}$
K <sup>+</sup>	A	$۷/۲۴ \times ۱۰^{-۳}$	Cl <sup>-</sup>	C	$۵/۵۲ \times ۱۰^{-۳}$
Mg <sup>۲+</sup>	۷۲/۲۰	$۲/۷۷ \times ۱۰^{-۲}$	O <sup>۲-</sup>	۱۴۰	$۱/۴ \times ۱۰^{-۲}$
Ca <sup>۲+</sup>	۹۹	B	S <sup>۲-</sup>	۱۸۴	D

آ- مقدار A برابر با ۱۳۸  $\frac{۱}{۷/۲۴ \times ۱۰^{-۳}}$  است.

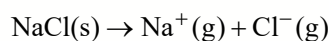
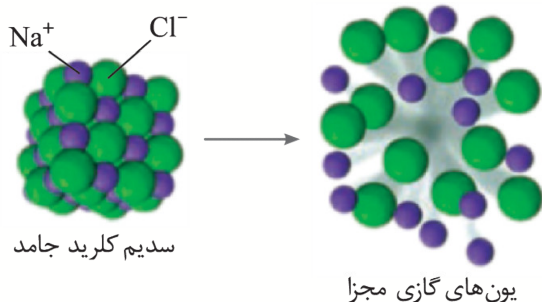
ب- چگالی بار کاتیون منیزیم از بقیه کاتیون‌های داده شده بیش‌تر است.

پ- مقدار B از D کوچک‌تر است.

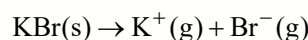
ت- برای KCl می‌توان پایین‌ترین نقطه ذوب را پیش‌بینی کرد.

ث- مقدار شعاع C از مقدار شعاع S<sup>۲-</sup> کوچک‌تر است.

**آنتالپی فروپاشی شبکه:** گرمای مصرف شده در فشار ثابت برای فروپاشی یک مول جامد یونی و تبدیل آن به یون‌های گازی سازنده آن را آنتالپی فروپاشی شبکه می‌گویند که با بار آنیون و کاتیون رابطه‌ی مستقیم و با شعاع آن‌ها رابطه‌ی عکس دارد.



$$\Delta H_{\text{فروپاشی}} (\text{NaCl, s}) = +787 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

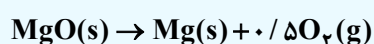


$$\Delta H_{\text{فروپاشی}} (\text{KBr, s}) = +689 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

هر چه چگالی بار یون‌های سازنده‌ی یک جامد یونی بیش‌تر باشد (بار بیش‌تر، شعاع کم‌تر)، آنتالپی فروپاشی آن جامد یونی عدد بزرگ‌تری خواهد بود.

## تمرین

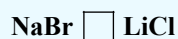
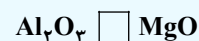
۱۱) کدام معادله مربوط به فروپاشی شبکه بلوری MgO است؟ توضیح دهید.





## مثال

۱۲) انرژی شبکه بلور ترکیب‌های زیر را مقایسه کنید.

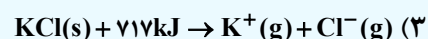
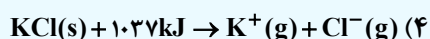
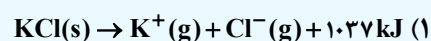
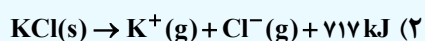


## تمرین

$$\Delta H_{\text{فروپاشی}}(\text{NaCl}, s) = +787 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

۱۳) با توجه به اطلاعات مقابل:

کدام یک از واکنش‌های داده شده، واکنش فروپاشی شبکه  $\text{KCl}(s)$  را به درستی نشان می‌دهد؟

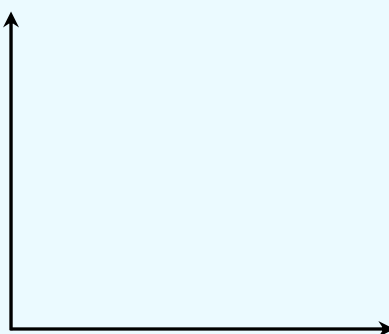
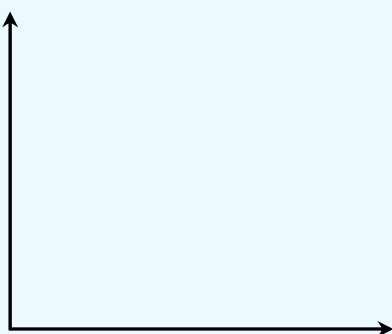


مقایسه آنتالپی فروپاشی چند ترکیب که باید حفظ باشیم:

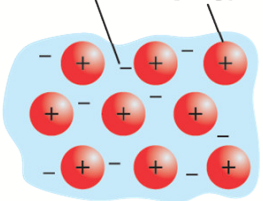


## تمرین

۱۴) نمودار آنتالپی فروپاشی هالیدهای یک فلز قلیایی و هالید فلزهای قلیایی را رسم کنید.



## جامد فلزی

کاتیون فلز  
دریای الکترونی

فلزها } رفتار فیزیکی: داشتن جلا، رسانایی الکتریکی، رسانایی گرمایی، شکل پذیری  
رفتار شیمیایی: واکنش پذیری، تنوع اعداد اکسایش (به جز فلزهای دسته ی S و ...).

## مدل دریای الکترون: بر اساس این مدل، ساختار

فلزها آرایش منظمی از کاتیون‌ها در سه بعد است که در فضای میان آن‌ها سست‌ترین الکترون‌های موجود در اتم، دریایی را ساخته‌اند و در آن آزادانه جابه‌جا می‌شوند.

در مدل دریای الکترون، الکترون‌های ظرفیتی (سست‌ترین الکترون‌ها) دریای الکترون را می‌سازند و مطابق این مدل نمی‌توان هر الکترون را متعلق به یک اتم معین دانست.

دریای الکترونی عاملی است که چیدمان کاتیون‌ها را در شبکه‌ی بلور حفظ می‌کند.

در شکل‌های بالا، شکل (۱) نشان دهنده‌ی چکش خواری و شکل (۲) نشان دهنده‌ی رسانایی الکتریکی فلزها است.

## تمرین

۱۵) درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

آ- دلیل حفظ چیدمان کاتیون‌ها در شبکه سه بعدی فلز، با وجود نیروی‌های دافعه الکتریکی آن‌ها نسبت به هم، وجود دریای الکترونی است.

ب- در شبکه بلوری جامدهای فلزی، الکترون‌ها و کاتیون‌ها پیوسته و آزادانه جابه‌جا می‌شوند.

پ- دلیل پایدار ماندن شبکه بلور فلزها، تعداد برابر کاتیون‌ها و الکترون‌ها در ساختار بلور آن‌هاست.

## تمرین

۱۶) درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را تعیین کنید.

آ- در صورت برخورد ضربه به فلزها و جابه‌جایی کاتیون‌ها، دریای الکترونی پیوستگی خود را حفظ می‌کند و شبکه بلور، دچار ترک خوردگی و شکستگی نمی‌شود.

ب- قابلیت ورقه شدن و مفتول شدن فلزها، به دلیل وجود دریای الکترونی یک پارچه در آن‌هاست.

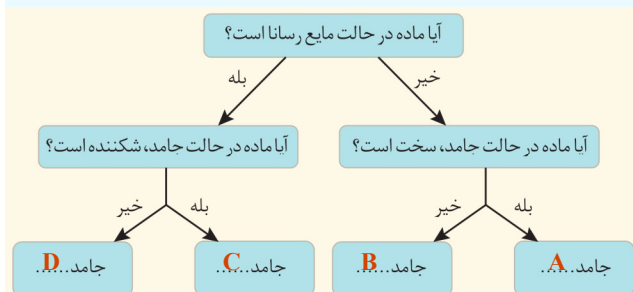
پ- فلزها رسانای جریان برق هستند و این به دلیل حرکت آزادانه ذرات باردار شبکه بلوری آن‌هاست.

ت- فلزها رسانای جریان الکتریکی هستند، زیرا می‌توانند تعداد زیادی الکترون را در دریای الکترونی خود جای دهند.



## تمرین ۱۷

۱۷) با توجه به نمودار زیر درستی یا نادرستی هر یک از عبارتها را مشخص کنید.



۱) مواد C نسبت به مواد B در گستره دمایی بیشتری به حالت مایع هستند.

۲) D می‌تواند تیتانیوم و B می‌تواند الماس باشد.

۳) تنوع و شمار مواد D بیشتر از مواد B است.

۴) اصلی‌ترین سازنده سنگ‌ها و فراوان‌ترین اکسید در پوسته جامد زمین متعلق به مواد A است.

## تمرین ۱۸

۱۸) جدول زیر درصد جرمی مواد سازنده نوعی خاک رس را نشان می‌دهد. درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را مشخص کنید.

ماده	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Au و دیگر مواد
درصد جرمی	۴۶/۲۰	۳۷/۷۴	۱۳/۳۲	۱/۲۴	۰/۹۶	۰/۴۴	۰/۱

آ- نام شیمیایی Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، SiO<sub>2</sub> و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، به ترتیب آهن (III) اکسید، سیلیسیم اکسید و آلومینیوم اکسید است.

ب- عامل رنگ قرمز در این نوع خاک رس وجود آهن (III) اکسید با فرمول مولکولی Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(s) است.

پ- مواد یونی بیشترین درصد جرمی را نسبت به سایر مواد، در این نمونه به خود اختصاص داده‌اند.

ت- هنگام پختن سفال از این نمونه خاک رس، درصد جرمی آب بیش‌ترین کاهش را خواهد داشت.

ث- عامل اصلی استحکام و سختی این نوع خاک، وجود ماده‌ای است که در ساختار سه بعدی آن تمام اتم‌ها با ۴ پیوند اشتراکی به هم متصل‌اند.

## تمرین ۱۹

۱۹) رسانایی مواد زیر را مشخص کنید.

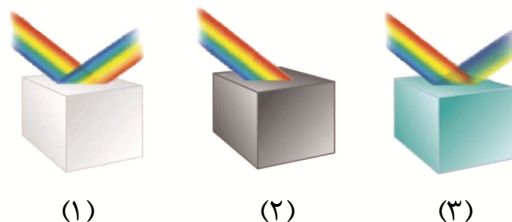
آ- گرافیت	ب- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	پ- Fe(s)	ت- SiC(l)
ث- C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(aq)	ج- U(s)	چ- HCl(aq)	ح- Pb(l)

طبیعت زیستگاهی برای ما و آزمایشگاهی بزرگ برای علوم تجربی است، که در آن رنگ و رنگ آمیزی یکی از خوشایندترین جلوه‌ها است.

به طور کلی احساس و درک رنگ به دلیل نورهایی است که از محیط پیرامون به چشم ما می‌رسد، در واقع این نورها همان پرتوهای الکترومغناطیسی بوده که طول موج آن‌ها در گستره ۴۰۰nm تا ۷۰۰nm است، چشم ما آن‌ها را می‌بیند و به آن‌ها پرتو مرئی می‌گوییم.

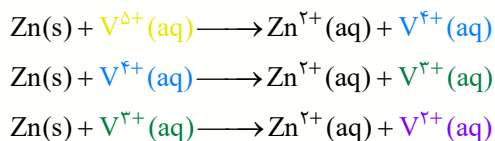


شکل زیر نشان می‌دهد که مواد رنگی بخشی از نور سفید تابیده شده را جذب و باقی مانده‌ی آن را عبور می‌دهند یا بازتاب می‌کنند. به نکات آن دقت کنید:



- (۱) اگر یک نمونه ماده همه‌ی طول موج‌های مرئی را بازتاب کند، به رنگ سفید دیده می‌شود.
- (۲) اگر یک نمونه ماده همه‌ی طول موج‌های مرئی را جذب کند، به رنگ مشکی دیده می‌شود.
- (۳) ماده هر رنگی را که عبور دهد یا بازتاب کند ما آن را به همان رنگ خواهیم دید.

**رنگدانه:** سازنده‌ی اصلی یک ماده‌ی رنگی که به آن رنگ می‌بخشد، رنگدانه نام دارد. برای نمونه  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{TiO}_2$  و دوده از جمله رنگدانه‌های معدنی هستند که به ترتیب رنگ‌های سفید، قرمز و سیاه ایجاد می‌کنند. در گذشته انسان، رنگدانه‌ها را از منابع طبیعی مانند گیاهان، جانوران و برخی کانی‌ها تهیه می‌کرد. **توجه** رنگ‌هایی که برای پوشش سطح استفاده می‌شوند، نوعی کلویید هستند که لایه نازکی روی سطح ایجاد می‌کنند تا افزون بر زیبایی، مانع خوردگی در برابر اکسیژن، رطوبت و مواد شیمیایی گردد. شکل‌های زیر پیشرفت واکنش فلز روی با محلول نمکی از وانادیم (V) را نشان می‌دهند. به نکات آن‌ها دقت کنید:



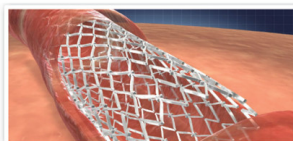
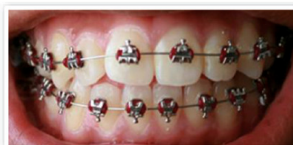
### تیتانیم، فلزی فراتر از انتظار

در میان عنصرهای دسته‌ی d از دوره‌ی چهارم جدول دوره‌ای، تیتانیم ( $_{22}\text{Ti}$ ) با ویژگی‌های باورنکردنی، فلزی فراتر از انتظار است. ماندگاری و استحکام مناسب از جمله این ویژگی‌ها است. جدول صفحه بعد برخی ویژگی‌های تیتانیم را در مقایسه با فولاد زنگ‌نزن نشان می‌دهد. به نکات آن دقت کنید:



فولاد	تیتانیوم	ماده ویژگی
۱۵۳۵	۱۶۶۷	نقطه ذوب (°C)
۷/۹۰	۴/۵۱	چگالی ( $\text{g.mL}^{-1}$ )
متوسط	ناچیز	واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا
ضعیف	عالی	مقاومت در برابر خوردگی
عالی	عالی	مقاومت در برابر سایش

- ۱) هنگامی که موتور جت کار می‌کند، همه‌ی اجزای سازنده (ثابت و متحرک) دمای بالایی دارند. تیتانیوم به علت نقطه‌ی ذوب بالاتر و چگالی کمتر از فولاد برای ساخت این موتورها استفاده می‌شود.
- ۲) امروزه در ساخت پروانه‌ی کشتی اقیانوس پیما، به جای فولاد از تیتانیوم استفاده می‌کنند؛ زیرا با وجود مقاومت هر دو در برابر سایش، واکنش تیتانیوم با ذره‌های موجود در آب دریا بسیار ناچیز است و در برابر خوردگی مقاوم‌تر است.
- ۳) ساخت بناهای هنرمندانه، زیبا و ماندگار مانند موزه گوگنهایم با پوشش بیرونی تیتانیوم، مقاومت زیادی را در برابر خوردگی سطح رویی بنا ایجاد می‌کند.
- ۴) آلیاژی از تیتانیوم و نیکل که نیتینول یا آلیاژ هوشمند نام دارد، در ساخت فراورده‌های صنعتی و پزشکی به کار می‌رود.







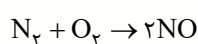
## آلاینده‌ها

## بررسی آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها

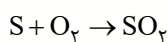
آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها عبارتند از:  $CO$  و  $SO_x$ ،  $NO$ ،  $C_xH_y$ . نحوه‌ی تولید هر کدام از این گازها به صورت زیر می‌باشد:

۱-  $C_xH_y$  سوختی است که حاصل از سوختن ناقص بنزین به صورت واکنش نداده و نسوخته وارد هوا کره می‌شود.

۲-  $N_2$  و  $O_2$  موجود در هوا در مجاورت گرمای بسیار زیاد موجود در موتور خودرو (که بیشتر از  $1000^\circ C$  درجه است) با هم واکنش می‌دهند و گاز  $NO$  را ایجاد می‌کنند:



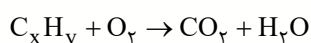
۳- به علت وجود ناخالصی گوگرد در سوخت‌ها، واکنش سوختن گوگرد اتفاق افتاده و  $SO_x$  وارد هوا کره می‌شود.



۴- سوختی که با مقدار ناکافی اکسیژن می‌سوزد و گاز  $CO$  تولید می‌کند و این گاز وارد هوا کره می‌شود. جدول زیر میزان آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها را به ازای طی یک کیلومتر نشان می‌دهد.

فرمول شیمیایی آلاینده	مقدار آلاینده به ازای طی یک کیلومتر (گرم)
$CO$	۵ / ۹۹
$C_xH_y$	۱ / ۶۷
$NO$	۱ / ۰۴

**توجه** گازهای فوق، آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها هستند و در حالت عادی بیشترین گازهایی که از اگزوز خودروها خارج می‌شوند،  $CO_2$  و  $H_2O$  حاصل از سوختن کامل سوخت می‌باشند.



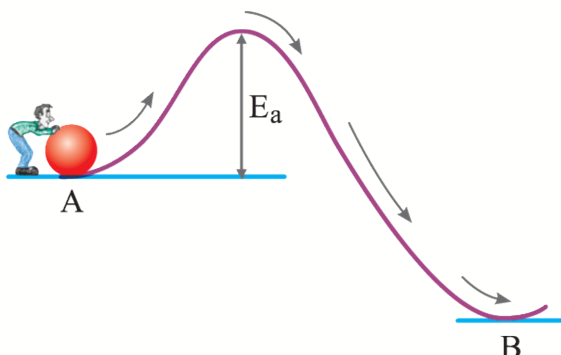
برای حل مسئله‌ی کاهش آلاینده‌ها در هوا کره باید با موارد زیر آشنا باشیم:

(۱) واکنش‌های شیمیایی (۲) رفتار آلاینده‌ها

(۳) انرژی فعال‌سازی (۴) نقش کاتالیزورها

## چرا واکنش‌ها با سرعت‌های متفاوت انجام می‌شوند؟

به شکل دقت کنید تا راجع به آن صحبت کنیم:





(۱) برای انتقال گلوله از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B شخص باید حداقل به اندازه‌ی  $E_a$  انرژی صرف کند، چرا که بعد از آن گلوله بر اثر نیروی گرانش روی سطح شیب دار به پایین سرازیر می‌شود. بدیهی است هر چه ارتفاع قله ( $E_a$ ) کمتر باشد، گلوله آسان‌تر و سریع‌تر به قله انتقال پیدا می‌کند. در واکنش‌های شیمیایی نیز شرایط مشابهی وجود دارد.

**انرژی فعال‌سازی:** مقدار انرژی لازم برای آغاز هر واکنش شیمیایی را انرژی فعال‌سازی واکنش می‌گویند.

(۲) انرژی فعال‌سازی را با  $E_a$  نمایش می‌دهند و با یکای کیلوژول گزارش می‌کنند.

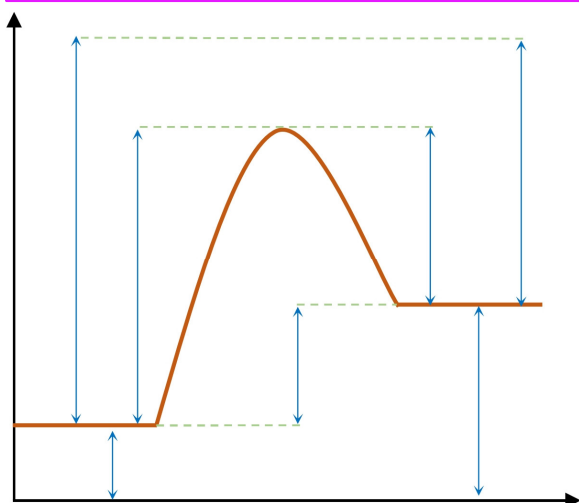
(۳) هنگامی که نوک کبریت روی سطح قوطی کبریت کشیده شود، گرما تولید می‌شود. این گرما انرژی فعال‌سازی واکنش شیمیایی انجام شده را تأمین می‌کند.

(۴) یکی از روش‌های تأمین انرژی فعال‌سازی، گرما دادن به واکنش‌دهنده‌ها است.

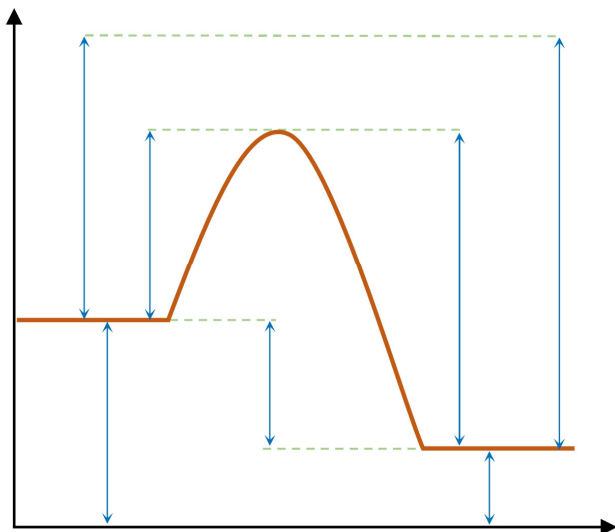
(۵) صرف‌نظر از این که واکنش گرماگیر یا گرماده باشد، برای آغاز به انرژی فعال‌سازی نیاز دارد.

### نمودارهای «انرژی - پیشرفت واکنش»

(۱) واکنش‌های گرماگیر:



(۲) واکنش‌های گرماده:

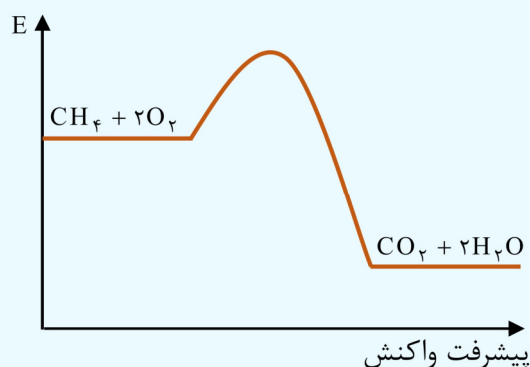


**نکته** هرچه انرژی فعال‌سازی بیشتر باشد سرعت واکنش کمتر خواهد بود.



### تمرین

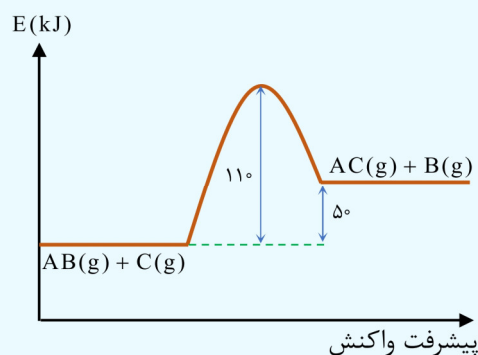
۱) با توجه به نمودار انرژی - پیشرفت واکنش سوختن متان، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.  
آ- واکنش سوختن متان، واکنشی گرما ده است و برای انجام شدن به انرژی نیاز ندارد.



ب- واکنش دهنده‌ها از فراورده‌ها پایدارتر هستند.  
پ- سطح انرژی واکنش دهنده‌ها بالاتر از فراورده‌ها است.  
ت- با گرما دادن به واکنش دهنده‌ها، انرژی فعال‌سازی واکنش کاهش یافته و واکنش آغاز می‌شود.  
ث- در حضور جرقه یا شعله، شمار ذره‌هایی از واکنش دهنده‌ها که در واحد زمان به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند، افزایش می‌یابد.

### تمرین

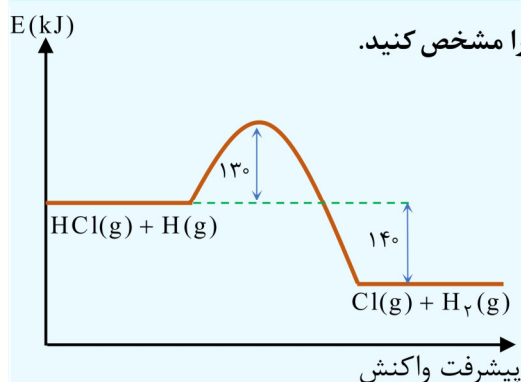
۲) با توجه به واکنش برگشت پذیر فرضی زیر، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.



آ- آنتالپی واکنش برگشت برابر با  $-50 \text{ kJ.mol}^{-1}$  است.  
ب- مجموع انرژی پیوند واکنش دهنده‌ها بیشتر از فراورده‌هاست.  
پ- انرژی پیوند AB برابر با  $-110 \text{ kJ.mol}^{-1}$  است.  
ت- سطح انرژی قله نمودار انرژی پیشرفت واکنش نسبت به فراورده‌ها ۶۰ kJ بیشتر است.

### تمرین

۳) با توجه به نمودار مقابل، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.



آ- انرژی پیوند  $\text{H}_2(\text{g})$  از  $140 \text{ kJ.mol}^{-1}$  بر مول بیشتر است.  
ب-  $\text{H}_2(\text{g})$  نسبت به  $\text{HCl}(\text{g})$  انرژی پیوند بیشتری دارد.  
پ- در واکنش فوق به ازای مصرف ۲ گرم  $\text{H}(\text{g})$  گرمی ۱۴۰ کیلوژول گرما آزاد می‌شود.  
ت- ناپایدارترین ذره در مسیر پیشرفت واکنش، از نظر سطح انرژی به واکنش دهنده‌ها نزدیک‌تر از فراورده‌ها است.

### تمرین

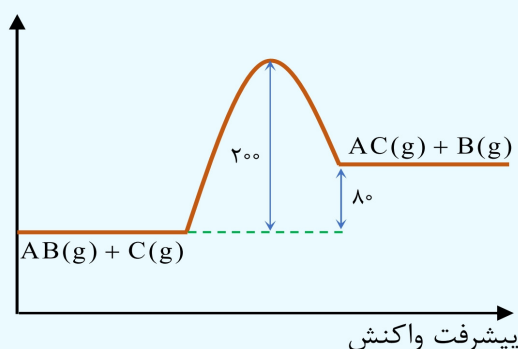
۴) با افزایش دمای یک واکنش معین، چه تعداد از موارد زیر افزایش می‌یابد؟

آ- انرژی واکنش دهنده‌ها  
ب- مقدار فراورده پس از پایان واکنش  
پ- گرمای مبادله شده واکنش  
ت- سرعت تولید فراورده‌ها  
ث- شمار ذره‌هایی که در واحد زمان می‌توانند از سد انرژی عبور کنند.



تست

۵) با توجه به نمودار مقابل، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.



آ- این نمودار متعلق به یک واکنش گرماگیر است.

ب- در شرایط یکسان سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیش‌تر است.

پ- تبدیل پیچیده‌ی فعال به فراورده‌ها گرماده است.

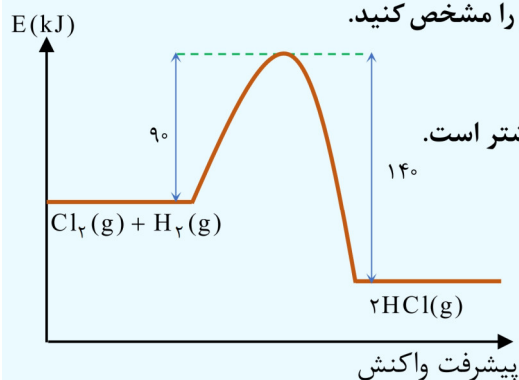
ت- مجموع انرژی پیوند فراورده‌ها کم‌تر از واکنش‌دهنده‌ها است.

ث- انرژی پیوند AB حتماً از  $200 \text{ kJ.mol}^{-1}$  بیش‌تر است.

ج-  $\Delta H$  واکنش برابر  $80 \text{ kJ.mol}^{-1}$  است.

تست

۶) با توجه به نمودار مقابل، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.



آ- با توجه به نمودار، این واکنش گرماده است.

ب- در شرایط یکسان سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیش‌تر است.

پ- مجموع انرژی پیوند  $\text{Cl}_2$  حتماً از  $90 \text{ kJ.mol}^{-1}$  بیش‌تر است.

ت- مجموع انرژی پیوند فراورده‌ها از مواد اولیه بیش‌تر است.

ث- برای تولید هر مول HCl مقدار  $50 \text{ kJ}$  گرما آزاد می‌شود.

ج- انرژی پیوند HCl حتماً از  $70 \text{ kJ.mol}^{-1}$  بیش‌تر است.

تست

۷) در واکنش گازی:  $A + 2BC \rightarrow 2B + AC_2$ ، برای تشکیل پیچیده‌ی فعال، مقدار  $90 \text{ kJ}$  گرما لازم است. اگر از تجزیه

پیچیده‌ی فعال  $100 \text{ kJ}$  گرما آزاد شود، انرژی پیوند  $A-C$ ، برابر چند کیلوژول بر مول است؟

( $B-C$  انرژی  $70 \text{ kJ.mol}^{-1}$ )

۷۰ (۴)

۶۵ (۳)

۵۵ (۲)

۳۰ (۱)

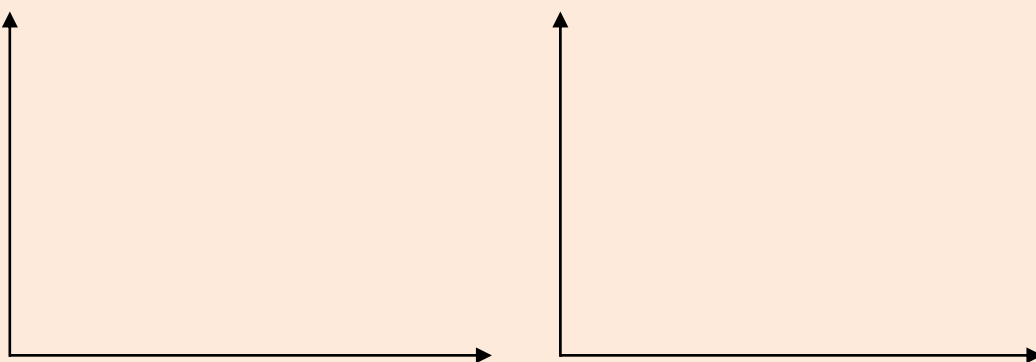




## تمرین

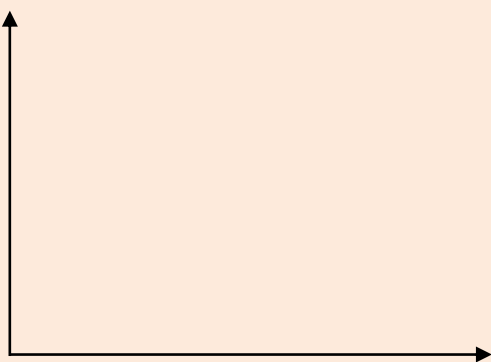
۸) با توجه به جدول زیر که مربوط به دو واکنش برگشت پذیر گازی در شرایط یکسان است، اگر بدانیم  $E_a$  برگشت واکنش (۲)،  $117 \text{ kJ}$  از  $E_a$  برگشت واکنش (۱) بیش تر است، آن گاه  $X$  برابر چه مقداری خواهد بود.

	معادله واکنش	آنتالپی واکنش (kJ)	$E_a$ واکنش ( $\text{kJ.mol}^{-1}$ )
واکنش ۱	$A \rightarrow B$	+۳۱	۴۵
واکنش ۲	$2C \rightarrow D$	-۴۱	X



## تمرین

۹) اگر در واکنش گازی  $H_2 + F_2 \rightarrow 2HF$ ، انرژی پیوند  $HF$ ،  $F_2$  و  $H_2$  به ترتیب  $568 \text{ kJ.mol}^{-1}$ ،  $157 \text{ kJ.mol}^{-1}$  و  $436 \text{ kJ.mol}^{-1}$  باشد و سطح انرژی فراورده‌ها از قله نمودار انرژی - پیشرفت واکنش  $989 \text{ kJ}$  کم تر باشد، انرژی فعال سازی ( $E_a$ ) واکنش چقدر است؟



## تست

۱۰) اگر در واکنش گازی  $AC + B \rightarrow AB + C$  انرژی پیوند  $AC$  برابر با  $320 \text{ kJ.mol}^{-1}$  باشد، کدام مقایسه درباره انرژی فعال سازی واکنش درست است؟

$$E_a = 640 \text{ (۴)}$$

$$E_a = 320 \text{ (۳)}$$

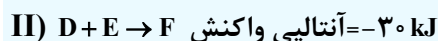
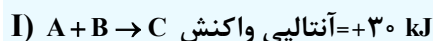
$$E_a = 124 \text{ (۲)}$$

$$E_a = 420 \text{ (۱)}$$



## تمرین

۱۱) با توجه به واکنش‌های برگشت پذیر داده شده، اگر تفاوت سطح انرژی فراورده‌ها با قله نمودار انرژی – پیشرفت در هر دو واکنش برابر باشد، درستی یا نادرستی هریک از نتیجه‌گیری‌های زیر را مشخص کنید.

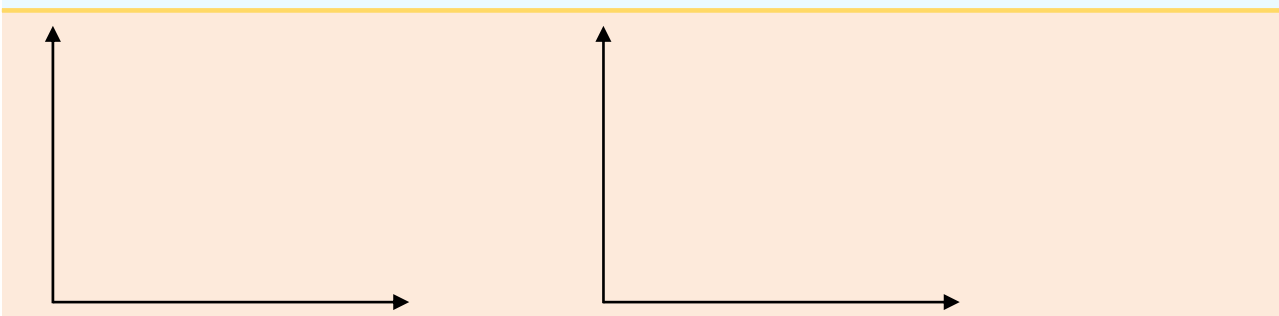


آ- انرژی فعال‌سازی واکنش (I) بیشتر از انرژی فعال‌سازی واکنش (II) است.

ب- در واکنش (I) برخلاف واکنش (II)، مجموع آنتالپی‌های پیوند فراورده‌ها، بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها است.

پ- انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (II)، دو برابر انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (I) است.

ت- انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (I)، ۶۰ کیلوژول بیشتر از انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (II) است.

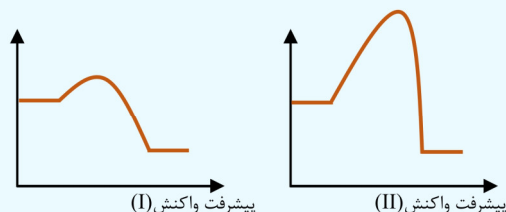


## تمرین

۱۲) گاز هیدروژن برخلاف فسفر سفید ( $P_4$ ) در هوا و دمای اتاق نمی‌سوزد. شکل زیر نمودار انرژی – پیشرفت این دو واکنش را نشان می‌دهد، با توجه به آن درستی یا نادرستی عبارت‌ها را مشخص کنید.

۱) نمودار (I) مربوط به سوختن فسفر سفید است.

۲) با ایجاد جرقه و دادن گرما به مخلوط واکنش (II)، واکنش آغاز می‌شود و نمودار انرژی – پیشرفت برای آن همانند نمودار واکنش (I) خواهد شد.



## تمرین

۱۳) با توجه به نمودارهای واکنش‌های برگشت پذیر زیر، درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

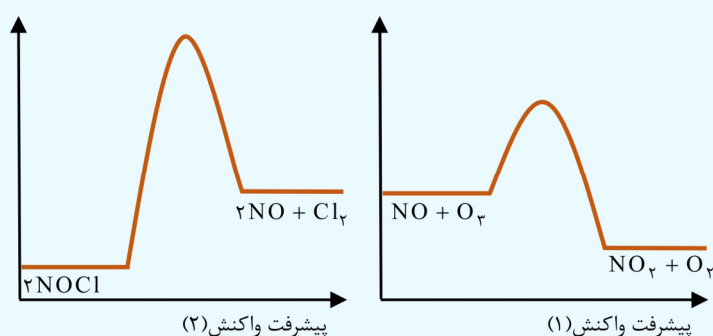
آ- پایداری فراورده‌های واکنش (۱) بیشتر از واکنش (۲) است.

ب- در شرایط یکسان واکنش (۱) با سرعت بیش‌تری در جهت رفت انجام می‌شود.

پ- بر خلاف واکنش (۲)، در واکنش (۱) مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها بیشتر از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها است.

ت- در واکنش (۲) تولید یک مول  $\text{NOCl(g)}$  از تجزیه یک مول از آن سریع‌تر است.

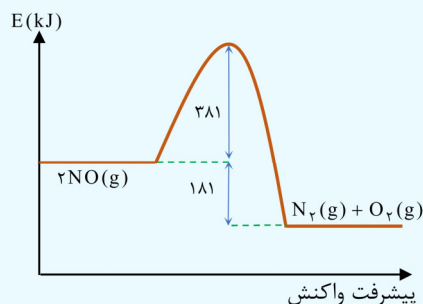
ث- در شرایط یکسان، مصرف یک مول  $\text{NO}$  در واکنش (۱)، از تولید دو مول  $\text{NO}$  در واکنش (۲) سریع‌تر است.





## تمرین

۱۴) درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را درباره واکنش برگشت پذیر داده شده مشخص کنید.



پیوند	آنتالپی پیوند kJ / mol
O = O	۴۹۵
N = O	۶۰۷
N ≡ N	?

آ- انرژی پیوند  $N_2$ ،  $293 \text{ kJ}$  از انرژی پیوند هریک از واکنش دهنده‌ها بیشتر است.

ب- این واکنش در هوا و دمای اتاق در جهت رفت و برگشت انجام نمی‌شود.

## تمرین

۱۵) درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

آ- در واکنش گرماگیر همواره انرژی فعال‌سازی واکنش بیشتر از انرژی مبادله شده در واکنش است.

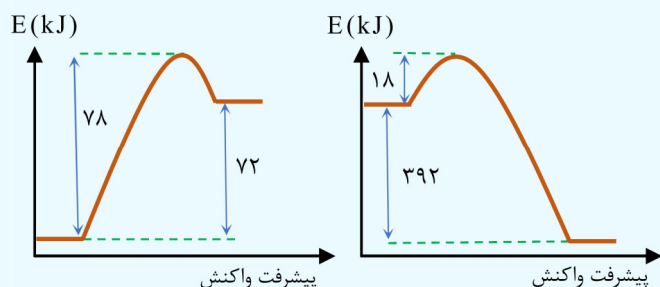
ب- هرچه  $E_a$  واکنش کمتر باشد، گرمای کمتری در اثر انجام واکنش با محیط پیرامون مبادله می‌شود.

پ- افزایش دما تأثیری بر اندازه‌ی انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها ندارد و مسیر واکنش را تغییر نمی‌دهد.

ت- مقدار آنتالپی هر واکنش با مقدار  $E_a$  آن واکنش رابطه عکس دارد.

## تست

۱۶) با توجه به نمودارهای زیر، کدام بیان نادرست است؟



۱) سرعت واکنش ۱، از سرعت واکنش ۲ کمتر است.

۲) تفاوت  $\Delta H$  دو واکنش برابر  $320$  کیلوژول است.

۳) در واکنش (۱)، انرژی فعال‌سازی آن در جهت رفت ۱۳ برابر آن در جهت برگشت است.

۴) واکنش (۲)، گرماده و انرژی فعال‌سازی آن در جهت برگشت برابر  $410$  کیلوژول است.

## تست

۱۷) کدام گزینه در مورد واکنش  $A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2AB, \Delta H = -30 \text{ kJ}$ ، نادرست است؟

۱) به ازای تولید هر مول  $AB$ ،  $15 \text{ kJ}$  انرژی آزاد می‌شود.

۲) میزان انرژی لازم برای شکستن ۱ مول پیوند  $A-A$  و ۱ مول پیوند  $B-B$  کمتر از انرژی لازم برای شکستن ۲ مول پیوند  $A-B$  است.

۳) اگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت را  $30$  فرض کنیم، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت باید برابر  $60$  باشد. در این حالت سرعت واکنش رفت ۲ برابر سرعت واکنش برگشت است.

۴) سطح انرژی پیچیده‌ی فعال به سطح انرژی واکنش دهنده‌ها نزدیک‌تر است.



## اثر کاتالیزگر روی سرعت واکنش‌های شیمیایی

برخی واکنش‌ها در صنعت فقط در دمای زیاد و فشار بالا انجام می‌شوند و تولید فراورده‌ها در آن‌ها صرفه‌ی اقتصادی ندارد؛ زیرا افزایش دما و فشار مستلزم صرف انرژی و افزایش هزینه‌ی واکنش است.

**کاتالیزگرها:** موادی هستند که در واکنش شرکت می‌کنند و سرعت واکنش شیمیایی را زیاد می‌کنند اما در پایان واکنش مصرف نشده باقی می‌مانند. از این رو، می‌توان آن‌ها را بارها و بارها به کار برد. هم چنین استفاده از کاتالیزگرها در صنایع گوناگون سبب کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود.

جدول زیر برخی داده‌ها برای واکنش میان گازهای هیدروژن و اکسیژن را در شرایط گوناگون نشان می‌دهد. به نکات آن دقت کنید:

شرایط آزمایش	دما (°C)	سرعت واکنش	آنتالپی واکنش (kJ)
بدون حضور کاتالیزگر	۲۵	ناچیز	-۵۷۲
ایجاد جرقه در مخلوط	۲۵	انفجاری	-۵۷۲
در حضور پودر روی	۲۵	سریع	-۵۷۲
در حضور توری پلاتینی	۲۵	انفجاری	-۵۷۲

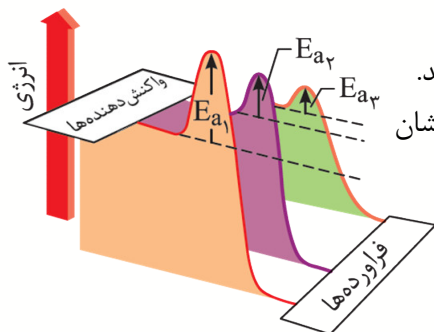
(۱) این واکنش به علت انرژی فعال‌سازی بسیار زیاد در دمای اتاق بدون حضور کاتالیزگر انجام نمی‌شود.

(۲) با ایجاد جرقه و تأمین انرژی فعال‌سازی، واکنش به صورت انفجاری انجام می‌شود.

(۳) توری پلاتینی نسبت به پودر روی کاتالیزگر بهتری برای انجام این واکنش است و انرژی فعال‌سازی را بیشتر کاهش می‌دهد، به همین دلیل سرعت واکنش بیشتر افزایش پیدا می‌کند.

(۴) با تأمین انرژی فعال‌سازی و یا اضافه کردن کاتالیزگر، آنتالپی واکنش تغییر نمی‌کند.

(۵) در شکل روبه‌رو نمودار انرژی - پیشرفت واکنش برای حالت‌های مختلف جدول نشان داده شده است.



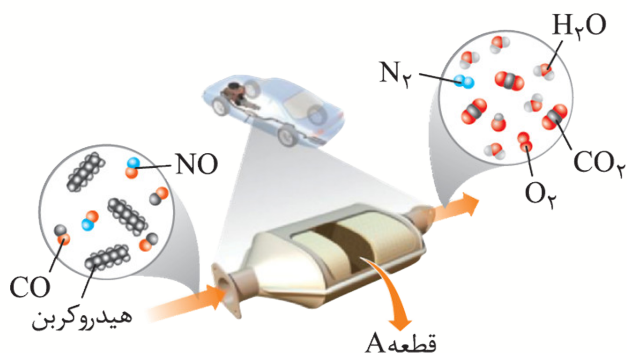
کاتالیزگر را می‌توان به تونلی در یک جاده‌ی کوهستانی تشبیه کرد. کاتالیزگر نیز با تغییر مسیر واکنش، انرژی فعال‌سازی را کاهش داده و سبب می‌شود واکنش‌دهنده‌ها سریع‌تر به فراورده‌ها تبدیل شوند.

انرژی فعال‌سازی را می‌توان با گرما تأمین کرد یا با کاتالیزگر کاهش داد تا سرعت واکنش افزایش یابد.



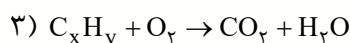
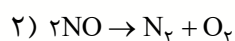
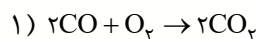
## مبدل‌های کاتالیستی

برای حذف آلاینده‌های موجود در آگزوز خودروها قطعه‌ای را در مسیر خروج گازها قرار می‌دهند. با توجه به شکل به نکات توجه کنید.



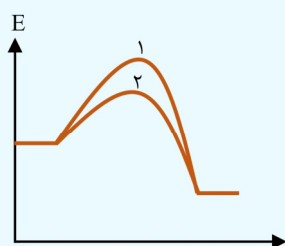
(۱) آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودروها گازهای  $\text{CO}$ ،  $\text{NO}$  و  $\text{C}_x\text{H}_y$  هستند.

(۲) هر کدام از آلاینده‌ها مطابق واکنش‌های زیر و ضمن عبور از قطعه‌ی A به گازهای کم‌ضررتر تبدیل می‌شوند.



مواردی که کاتالیزگر موجب تغییر آنها می‌شود	مواردی که کاتالیزگر روی آنها بی‌تاثیر است
$E_a$ رفت و برگشت را کاهش می‌دهد.	آنتالپی واکنش
سرعت واکنش رفت و برگشت را افزایش می‌دهد.	سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها
مسیر انجام واکنش را تغییر می‌دهد.	مقدار نهایی فراورده‌ها
نمودار انرژی - پیشرفت واکنش را تغییر می‌دهد.	نوع فراورده‌ها
زمان تولید فراورده را کاهش می‌دهد.	معادله کلی انجام واکنش
غلظت ذره‌هایی که در واحد زمان از سد انرژی عبور می‌کنند را افزایش می‌دهد.	

### تمرین



۱۸) با توجه به شکل زیر، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

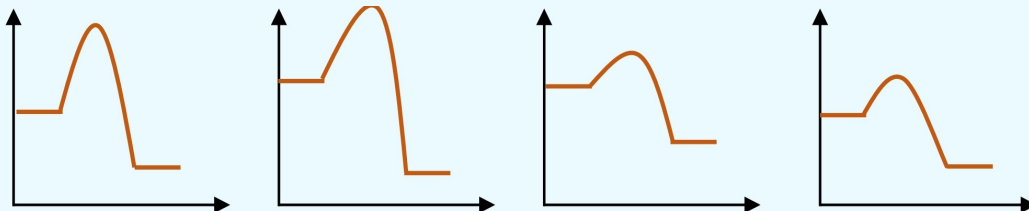
آ- سرعت واکنش در مسیر (۱) کم‌تر است.

ب- مسیر (۲) به استفاده از یک کاتالیزگر مربوط است.

پ- کاتالیزگر با کاهش  $E_a$  واکنش، آنتالپی واکنش را کاهش داده است.

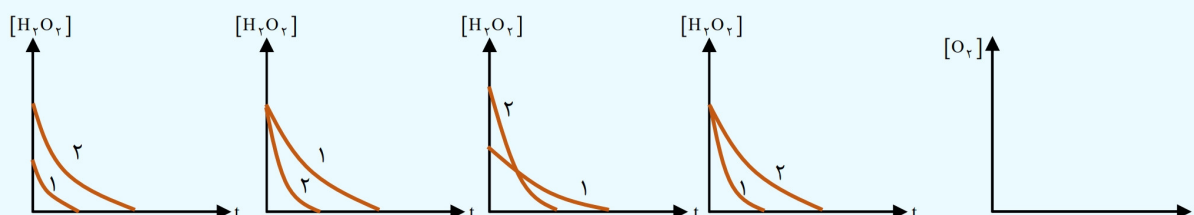
## تمرین

۱۹) با توجه به شکل‌های زیر، کدام دو نمودار مربوط به یک واکنش است و تفاوت آن‌ها تنها در استفاده از کاتالیزگر در یکی و استفاده نکردن از کاتالیزگر در دیگری است.



## تمرین

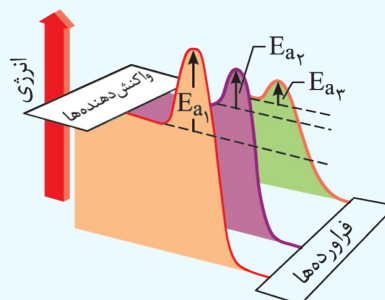
۲۰) واکنش تجزیه آب اکسیژنه ( $H_2O_2$ ) را در غیاب و در حضور کاتالیزگر  $I^-(aq)$  انجام داده ایم. کدام نمودار تغییر غلظت آب اکسیژنه در این دو آزمایش را به درستی نشان می‌دهد؟ (واکنش (۱) در غیاب کاتالیزگر و واکنش (۲) در حضور کاتالیزگر انجام شده است).



## تمرین

۲۱) جدول و نمودار زیر اطلاعاتی درباره واکنش گاز هیدروژن و اکسیژن در شرایط گوناگون را نمایش می‌دهد. جاهای خالی را در جدول پر کنید. سپس درستی یا نادرستی هر یک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

شرایط آزمایش	دما ( $^{\circ}C$ )	سرعت واکنش	آنتالپی واکنش (kJ)
(۱) بدون حضور کاتالیزگر	۲۵	ناچیز	-۵۷۲
(۲) ایجاد جرقه در مخلوط	۲۵	انفجار	-۵۷۲
(۳) در حضور پودر روی	۲۵	سریع	-۵۷۲
(۴) در حضور توری پلاتینی	۲۵	انفجار	-۵۷۲



آ- با ایجاد جرقه در مخلوط واکنش  $E_a$  واکنش کاهش یافته و با سرعتی انفجاری آغاز می‌شود.

ب- پودر روی در واکنش شرکت نکرده و تنها نقش کاتالیزگر را دارد.

پ- توری پلاتینی با تغییر مسیر واکنش، به واکنش سرعتی انفجاری بخشیده و آنتالپی واکنش را به شدت کاهش می‌دهد.

ت- با ایجاد جرقه و تولید گرما در مخلوط واکنش، مقدار آنتالپی واکنش منفی‌تر می‌شود.

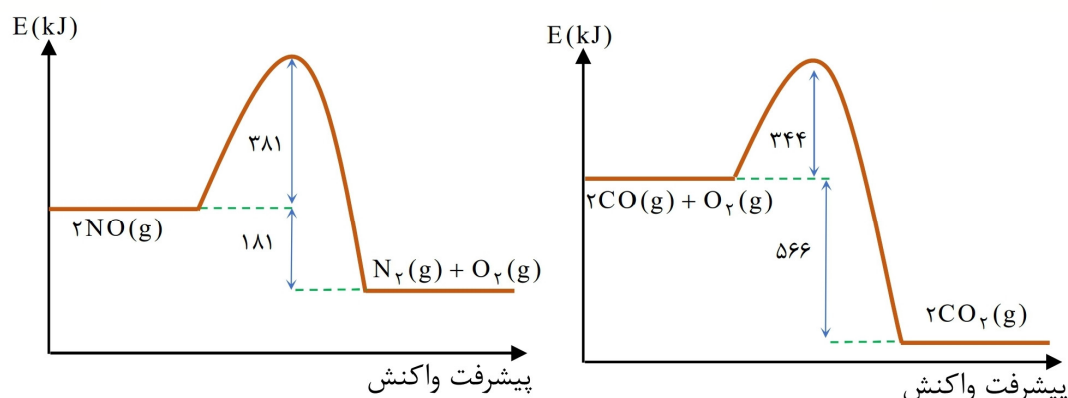
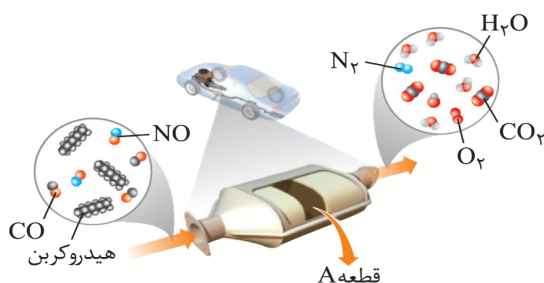
ث- واکنش هیدروژن با اکسیژن از نوع سوختن است و بسیار گرماده بنابراین در هر دمایی انجام می‌شود.

ج- نمودار (۳) مربوط به واکنش آزمایش شماره (۴) و (۲) می‌باشد.

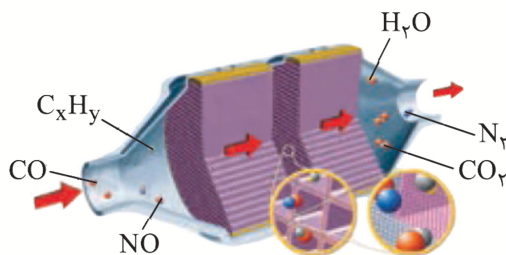
چ- نمودار (۱) مربوط به واکنش آزمایش شماره (۱) و (۲) می‌باشد.



با توجه به نمودارهای زیر که مربوط به ۲ تا از واکنش‌های انجام شده در قسمت A شکل زیر هستند، به نکات زیر دقت کنید.



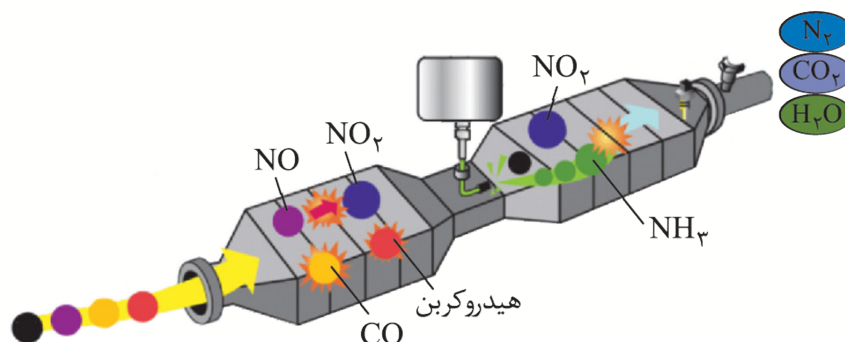
- (۱) با توجه به نمودارها درمی‌یابیم که واکنش تجزیه‌ی NO و سوختن CO هر دو گرماده هستند.
- (۲) انرژی فعال‌سازی واکنش تجزیه‌ی NO بیشتر است، به همین دلیل سرعت انجام واکنش آن کم‌تر است.
- (۳) قطعه‌ی A محتوی سه نوع کاتالیزگر است. در این قطعه فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) وجود دارند.
- (۴) هر کاتالیزگر به شمار محدودی از واکنش‌ها سرعت می‌بخشد، به همین دلیل در قطعه A از سه کاتالیزگر استفاده شده است.
- (۵) به قطعه‌ی A اصطلاحاً مبدل کاتالیستی می‌گویند. بر روی سطح این قطعه‌ی سرامیکی که به شکل توری به کار می‌رود، فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) نشاندگی شده است.
- (۶) برای افزایش کارایی مبدل کاتالیستی، گاهی سرامیک را به شکل مش (دانه‌های ریز در می‌آورند و کاتالیزگرها را روی سطح آن می‌نشانند).



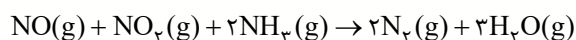
- (۷) با این که مبدل کاتالیستی برای مدت طولانی کار می‌کند اما پس از مدت معینی کارایی آن کاهش می‌یابد و دیگر قابل استفاده نیست.
- با وجود مبدل‌های کاتالیستی، در گازهای خروجی از اتومبیل‌ها به هنگام روشن و گرم شدن خودرو به ویژه در روزهای سرد زمستان، گازهای  $\text{C}_x\text{H}_y$ ، NO و CO بیشتری مشاهده می‌شود. علت این پدیده این است که کاتالیزگرها باید به دمای خاصی برسند تا کارایی خود را به نمایش بگذارند.

### خواص یک کاتالیزگر مناسب

- (۱) باید اختصاصی و انتخابی عمل کند.
  - (۲) در حضور آن نباید واکنش ناخواسته‌ی دیگری انجام شود.
  - (۳) باید پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشد.
- بررسی‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از این نوع مبدل‌ها نمی‌توان گازهای NO و NO<sub>۲</sub> خروجی از خودروهای دیزلی را به گاز نیتروژن تبدیل کرد. پژوهشگران برای خودروهای دیزلی طرح زیر را ایجاد کردند:



در این مبدل با ورود آمونیاک و انجام واکنش زیر، گازهای NO و NO<sub>۲</sub> به گاز N<sub>۲</sub> تبدیل شده و تا حدود زیادی از ورود گازهای NO و NO<sub>۲</sub> به هوا کره جلوگیری می‌شود.



### تمرین

**۲۲)** درباره مبدل‌های کاتالیستی درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

- آ- هر کاتالیزگر به طور انتخابی عمل می‌کند و به واکنش مشخصی سرعت می‌بخشد.
- ب- وجود Pb در بنزین می‌تواند کارایی فلزات Pt، Pd و Ru را به عنوان کاتالیزگر کاهش داده و یا کارکرد آن‌ها را متوقف کند.
- پ- هیدروکربن‌های نسوخته با فرمول کلی C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>، در مبدل کاتالیستی به کربن مونوکسید و آب تبدیل می‌شوند.
- ت- استفاده از سرامیک‌های به شکل مش (دانه)‌های ریز به جای توری، سطح تماس آلاینده‌ها با کاتالیزورها را بالا برده و به واکنش‌ها سرعت می‌بخشد.
- ث- این مبدل‌ها طوری طراحی شده‌اند که آلاینده‌ها حتی در دماهای پایین به سرعت حذف می‌شوند.



## آمونیاک و بهره‌وری در کشاورزی

غذا محور رشد و سلامتی و یکی از ضرورت‌های ادامه‌ی زندگی است.

دو عاملی که تأمین غذا را به یکی از چالش‌های زندگی تبدیل کرده عبارتند از:

(۱) محدودیت منابع غذایی

(۲) روند رو به افزایش جمعیت

بهترین راه برای حل چالش تأمین غذا، افزایش بهره‌وری در تولید فراورده‌های کشاورزی است. در این راستا شناسایی، تولید و افزودن کودهای شیمیایی مناسب به خاک راهگشا هستند.

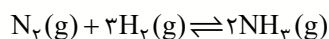
گیاهان با جوی سرشار از گاز نیتروژن احاطه شده‌اند اما نمی‌توانند این عنصر ضروری برای رشد خود را به طور مستقیم از هوا جذب کنند. از این رو باید نیتروژن را به شکل ترکیب‌های نیتروژن دار از جمله آمونیاک و اوره به خاک افزود.

### دو جمله‌ی مهم:

(۱) در برخی کشورها برای افزایش بازده فراورده‌های کشاورزی، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی به طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

(۲) گیاهان برای رشد افزون بر کربن دی اکسید و آب به عنصرهایی مانند S، N، P، K و... نیاز دارند.

### همه چیز درباره واکنش تعادلی تولید گاز آمونیاک



(۱) ثابت تعادل این واکنش به صورت  $K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$  می‌باشد.

(۲) در دمای اتاق، واکنش میان گازهای نیتروژن و هیدروژن حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه پیش نمی‌رود.

(۳) این واکنش برگشت پذیر است و در شرایط مناسب به تعادل می‌رسد. تعادلی که در دمای معین، شامل مخلوطی از گازهای واکنش دهنده و فراورده با غلظت ثابت است.

(۴) هر چه میزان پیشرفت واکنش بیشتر باشد، درصد بیشتری از واکنش دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند.

(۵) هابر سرانجام توانست شرایط بهینه برای این واکنش را بیابد که عبارت بود از دمای  $450^\circ C$ ، فشار  $200 \text{ atm}$  و کاتالیزگر آهن (Fe(s)).

### یادآوری:

برای واکنش تعادلی  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$  عبارت ثابت تعادل به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

(۱) در این رابطه غلظت تعادلی مواد قرار داده می‌شود.

(۲) غلظت جامد (s) و مایع خالص (l) در این رابطه گذاشته نمی‌شود.

(۳) تنها عاملی که می‌تواند ثابت تعادل را برای یک واکنش تغییر دهد دما است.

(۴) هرچه K بزرگتر باشد، مقدار قابل توجهی از واکنش دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل شده‌اند و میزان پیشرفت واکنش زیاد است.

(۵) یکای K برای هر واکنش متفاوت است و K می‌تواند یکا نداشته باشد.





### اصل لوشاتلیه (اثر غلظت)

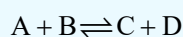
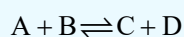
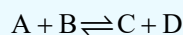
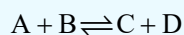
«چنان چه عاملی موجب بر هم زدن حالت تعادلی یک سامانه شود، سامانه در جهتی جابه‌جا می‌شود که با عامل مزاحم مقابله کرده و تا آن جا که امکان دارد اثر آن را برطرف کند. به این ترتیب در سامانه‌ی یادشده یک تعادل جدید برقرار می‌شود.»

مطابق اصل لوشاتلیه، هرچه اضافه است باید مصرف شود و هر چه کمبود است باید جبران گردد. مطابق این اصل، تعادل‌ها سعی می‌کنند در جهتی جابه‌جا شوند که تغییر تحمیل شده را از بین ببرند ولی معمولاً نمی‌توانند اثر تغییر تحمیل شده را به طور کامل از بین ببرند و آن اثر به نحوی خود را در تعادل نشان می‌دهد.

اگر غلظت ماده‌ای را کم یا زیاد کنیم تعادل در جهتی می‌رود که تا جای امکان این تغییر غلظت را جبران کند.

#### تمرین

(۲۳) در تعادل‌های زیر با تغییرهای انجام شده تعادل در کدام جهت حرکت می‌کند؟



📌 **نکته** کم یا زیاد شدن غلظت مواد در یک واکنش تعادلی، هیچ تأثیری بر روی ثابت تعادل ندارد. از آنجایی که غلظت مواد (s) و (l) مقداری ثابت است، تغییر مقدار این مواد باعث جابه‌جایی تعادل نمی‌شود.

#### تمرین

(۲۴) جدول‌های زیر را کامل کنید.

	$A \rightleftharpoons B$		$A \rightleftharpoons B$
تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$	تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$
تغییر (افزایش A)	$\rightleftharpoons$	تغییر (افزایش B)	$\rightleftharpoons$
تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$	تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$

	$A \rightleftharpoons B$		$A \rightleftharpoons B$
تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$	تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$
تغییر (کاهش A)	$\rightleftharpoons$	تغییر (کاهش B)	$\rightleftharpoons$
تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$	تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$





## تمرین ✓

(۲۴) در تعادل گازی  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$  مقداری  $\text{SO}_2$  در حجم و دمای ثابت به تعادل اضافه می‌کنیم. هر یک از موارد

زیر چه تغییری می‌کنند؟

آ- جهت جابه‌جایی تعادل:

ب-  $K$ :

پ- (در تعادل جدید)  $[\text{SO}_2]$ :

$[\text{O}_2]$ :

$[\text{SO}_2]$ :

ت- (در لحظه تغییر) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

ث- (در تعادل جدید) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

## تمرین ✓

(۲۵) در تعادل گازی  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$  مقداری  $\text{SO}_2$  در حجم و دمای ثابت از تعادل خارج می‌کنیم. هر یک از موارد

زیر چه تغییری می‌کنند؟

آ- جهت جابه‌جایی تعادل:

ب-  $K$ :

پ- (در تعادل جدید)  $[\text{SO}_2]$ :

$[\text{O}_2]$ :

$[\text{SO}_2]$ :

ت- (در لحظه تغییر) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

ث- (در تعادل جدید) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

## تمرین ✓

(۲۶) در تعادل گازی  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$  مقداری  $\text{O}_2$  در حجم و دمای ثابت به تعادل اضافه می‌کنیم. هر یک از موارد زیر

چه تغییری می‌کنند؟

آ- جهت جابه‌جایی تعادل:

ب-  $K$ :

پ- (در تعادل جدید)  $[\text{SO}_2]$ :

$[\text{O}_2]$ :

$[\text{SO}_2]$ :

ت- (در لحظه تغییر) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

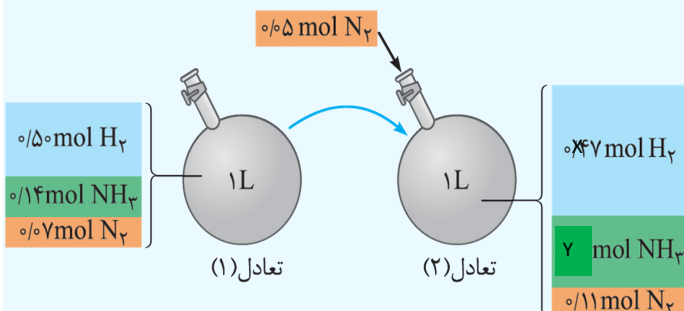
ث- (در تعادل جدید) سرعت واکنش رفت:

سرعت واکنش برگشت:

## تمرین

۲۷) شکل زیر افزودن مقداری نیتروژن را به سامانه تعادلی  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  که در حجم ثابت یک لیتر و دمای  $200^\circ$  درجه سانتی‌گراد برقرار است را نشان می‌دهد. با توجه به آن درستی یا نادرستی هر یک از عبارات زیر را مشخص کنید.

آ- مقدار  $K$  را در تعادل (۱) محاسبه کنید.



ب- مقدار  $K$  را در تعادل (۲) محاسبه کنید.

ت- مقدار  $X$  و  $Y$  را محاسبه کنید.

## تمرین

۲۸) برای تعادل فرضی  $2D(g) + C(g) \rightleftharpoons 2A(g) + B(g)$  در حجم و دمای ثابت، درستی یا نادرستی هریک از عبارات زیر را مشخص کنید.

آ- با افزایش غلظت  $A$ ، واکنش در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود و سرعت واکنش رفت کاهش می‌یابد.

ب- با کاهش غلظت  $C$  و  $D$ ، در تعادل جدید، سرعت واکنش رفت کم‌تر از سرعت واکنش برگشت است.

پ- با نصف شدن مقدار  $D$ ، شمار مولکول‌های موجود در ظرف در تعادل جدید کاهش می‌یابد.

## تمرین

۲۹) در تعادل گازی  $A \rightleftharpoons B$  مقدار  $1/75$  مول  $A$  و  $7$  مول  $B$  در ظرفی به حجم یک لیتر به حالت تعادل قرار دارد. اگر به تعادل  $2$  مول  $B$  اضافه کنیم، غلظت  $A$  و  $B$  را در تعادل جدید محاسبه کنید؟



## تمرین

- ۳۰ در تعادل  $2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$ ، با افزایش مقداری گاز NO، در دمای ثابت، کدام عبارت(های) زیر درست هستند؟
- آ- در تعادل جدید، غلظت  $O_2$  و  $NO_2$  کمتر از تعادل اولیه است.
- ب- ثابت تعادل جدید با ثابت تعادل اولیه برابر است.
- پ- غلظت  $NO$  و  $NO_2$  در تعادل جدید بیشتر از تعادل اولیه است.

## تغییر غلظت در تعادل‌های محلول در آب

- با اضافه شدن یک ماده به تعادل، ابتدا ماده مورد نظر را یونیزه می‌کنیم سپس دو حالت زیر را بررسی می‌کنیم:
- (۱) ماده مورد نظر با تعادل اولیه دارای یون مشترک باشد، که در این صورت غلظت یون مورد نظر افزایش یافته و با توجه به اصل لوشاتلیه شروع به بررسی می‌کنیم.
- (۲) اگر دارای یون مشترک نباشد، به شرطی بین یون‌های ناهم نام واکنش رخ می‌دهد که ایجاد رسوب، آب یا گاز نماید، در این صورت یون مورد نظر از تعادل خارج می‌شود و با توجه به اصل لوشاتلیه شروع به بررسی می‌کنیم.

## تمرین

- ۳۱ تعادل  $CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$ ، در دمای ثابت برقرار است، به تعادل مقداری  $NaOH(s)$  اضافه می‌کنیم، درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.
- آ- تعادل در جهت رفت جابه جا می‌شود.
- ب- پس از برقراری تعادل جدید، pH محلول کاهش می‌یابد.
- پ- درجه یونش اسید افزایش می‌یابد.
- ت- تعداد مول بیشتری از استیک اسید تفکیک شده و K تعادل افزایش می‌یابد.

## تمرین

- ۳۲ تیغه‌ای از جنس مس را در محلولی از نقره نیترات قرار داده‌ایم و تعادل زیر در آن برقرار است، درستی یا نادرستی هریک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید.
- $Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$
- آ- افزودن مقداری نمک طعام، تعادل را در جهت برگشت جابه جا می‌کند.
- ب- افزودن مقداری نمک نقره نیترات جامد به آن، بر رنگ آبی محلول می‌افزاید.
- پ- با افزودن مقداری نمک محلول  $CuCl_2(s)$ ، تعادل در جهت برگشت پیشرفت می‌کند و غلظت  $[Cu^{2+}]$  افزایش می‌یابد.



## اصل لوشاتیله (اثر فشار)

### ۱- تغییر فشار در یک سامانه تعادلی، با کاهش یا افزایش حجم

- (۱) زمانی فشار بر یک واکنش تعادلی مؤثر است که در آن واکنش تعادلی، حداقل یک ماده گازی وجود داشته باشد.
- (۲) اگر تعداد مول‌های گازی در سمت راست (فرآورده‌ها) و چپ (مواد اولیه) یک واکنش تعادلی یکسان باشند، تغییرات فشار بر تعادل هیچ تأثیری ندارد.
- (۳) در یک سامانه‌ی تعادلی، افزایش فشار (کاهش حجم) باعث می‌شود تعادل به سمتی جابه‌جا شود که تعداد مول‌های گازی در آن کمتر است.
- (۴) در یک سامانه‌ی تعادلی، کاهش فشار (افزایش حجم) باعث می‌شود تعادل به سمتی جابه‌جا شود که تعداد مول‌های گازی در آن بیشتر است.
- نکته** تغییرات فشار (تغییرات حجم) در یک سامانه‌ی تعادلی هیچ تأثیری روی ثابت تعادل (K) ندارند.

### تمرین

۳۳ جدول‌های زیر را کامل کنید.

	$2A \rightleftharpoons B$		$2A \rightleftharpoons B$
تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$	تعادل اولیه	$\rightleftharpoons$
تغییر (افزایش فشار)	$\rightleftharpoons$	تغییر (کاهش فشار)	$\rightleftharpoons$
تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$	تعادل نهایی	$\rightleftharpoons$

### تمرین

۳۴ در تعادل گازی  $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$  در دمای ثابت حجم را افزایش می‌دهیم. جای خالی هر عبارت را پر کنید.

- آ- تعادل در لحظه تغییر در جهت ..... جابه‌جا می‌شود.
- ب- در لحظه تغییر سرعت رفت ..... و برگشت ..... می‌شود.
- پ- در تعادل جدید غلظت  $SO_2$  ..... ،  $O_2$  ..... و  $SO_3$  ..... می‌یابد.
- ت- در لحظه تغییر غلظت  $SO_2$  ..... ،  $O_2$  ..... و  $SO_3$  ..... می‌یابد.
- ث- در تعادل جدید مقدار  $SO_2$  ..... ،  $O_2$  ..... و  $SO_3$  ..... می‌شود.
- ج- در تعادل جدید تعداد کل ذرات درون تعادل ..... می‌شود.
- چ- ثابت تعادل ..... .



تمرین

- ۳۵ در تعادل گازی  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  در دمای ثابت حجم را کاهش می‌دهیم. جای خالی هر عبارت را پر کنید.
- آ- تعادل در لحظه تغییر در جهت ..... جابه‌جا می‌شود.
- ب- در لحظه تغییر سرعت رفت ..... و برگشت ..... می‌شود.
- پ- در تعادل جدید غلظت  $NH_3$  ..... ،  $N_2$  ..... و  $H_2$  ..... می‌یابد.
- ت- در لحظه تغییر غلظت  $NH_3$  ..... ،  $N_2$  ..... و  $H_2$  ..... می‌یابد.
- ث- در تعادل جدید مقدار  $NH_3$  ..... ،  $N_2$  ..... و  $H_2$  ..... می‌شود.
- ج- در تعادل جدید تعداد کل ذرات درون تعادل ..... می‌شود.
- چ- ثابت تعادل ..... .

تمرین

- ۳۶ در تعادل  $Fe_3O_4(s) + 4H_2(g) \rightleftharpoons 3Fe(s) + 4H_2O(g)$  در دمای ثابت فشار را افزایش می‌دهیم. جای خالی هر عبارت را پر کنید.
- آ- تعادل در لحظه تغییر در جهت ..... جابه‌جا می‌شود.
- ب- در لحظه تغییر سرعت رفت ..... و برگشت ..... می‌شود.
- پ- در تعادل جدید غلظت  $Fe$  ..... ،  $H_2O$  ..... و  $H_2$  ..... و  $Fe_3O_4$  ..... می‌یابد.
- ت- در لحظه تغییر غلظت  $Fe$  ..... ،  $H_2O$  ..... و  $H_2$  ..... و  $Fe_3O_4$  ..... می‌یابد.
- ث- در تعادل جدید مقدار  $Fe$  ..... ،  $H_2O$  ..... و  $H_2$  ..... و  $Fe_3O_4$  ..... می‌یابد.
- ج- در تعادل جدید تعداد کل ذرات درون تعادل ..... می‌شود.
- چ- ثابت تعادل ..... .

۱- تغییر فشار در یک سامانه تعادلی، با کاهش یا افزایش گاز نجیب

در حجم ثابت:

در فشار ثابت:



## اصل لوشاتیلر (اثر دما)

دما افزون بر جابه‌جا کردن تعادل، توانایی تغییر  $K$  را نیز دارد. در واقع هنگامی که دمای یک سامانه تغییر می‌کند، پس از رسیدن به تعادل جدید افزون بر تغییر غلظت مواد شرکت کننده،  $K$  نیز تغییر می‌کند. جالب این که اثر تغییر دما بر تعادل‌های گوناگون متفاوت است و به گرماگیر یا گرماده بودن آن‌ها بستگی دارد.

### در واکنش‌های گرماگیر:



### در واکنش‌های گرماده:



جدول زیر اثر دما را بر ثابت تعادل واکنش  $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$  نشان می‌دهد. به نکات آن دقت کنید:

دما (°C)	۲۵	۲۲۵	۴۳۵
K	$2/5 \times 10^{-25}$	$4 \times 10^{-11}$	$4 \times 10^{-5}$

(۱) ثابت تعادل این واکنش به شکل  $K = \frac{[SO_2]^2 [O_2]}{[SO_3]^2}$  می‌باشد.

(۲) با توجه به این که با افزایش دما ثابت تعادل افزایش می‌یابد، نتیجه می‌گیریم با افزایش دما تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود. به همین دلیل واکنش گرماگیر بوده و  $\Delta H > 0$  می‌باشد.

(۳) هرچه ثابت تعادل بیشتر باشد، به این معنی است که واکنش دارای پیشرفت بیشتری است، بنابراین با افزایش دما این واکنش پیشرفت بیشتری خواهد داشت.

(۴) هنگامی که دمای یک سامانه تعادلی افزایش می‌یابد، واکنش در جهت مصرف گرما پیش می‌رود. اگر این واکنش گرماگیر باشد مقدار مواد اولیه در سامانه کاهش و فرآورده افزایش یافته و به همین دلیل ثابت تعادل بزرگتر خواهد شد.

**تعیین گرماده یا گرماگیر بودن در واکنش‌های تعادلی:**



## تمرین ✓

۳۷ در تعادل گازی  $2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$  در حجم ثابت دما را افزایش می‌دهیم، جای خالی را در هر یک از عبارات‌های زیر پر کنید.

- آ- تعادل در لحظه تغییر در جهت ..... جابه‌جا می‌شود.  
 ب- در لحظه تغییر سرعت رفت ..... و برگشت ..... می‌شود.  
 پ- در تعادل جدید غلظت  $\text{NH}_3$  ..... ،  $\text{N}_2$  ..... و  $\text{H}_2$  ..... می‌یابد.  
 ت- در تعادل جدید مقدار  $\text{NH}_3$  ..... ،  $\text{N}_2$  ..... و  $\text{H}_2$  ..... می‌یابد.  
 ث- در تعادل جدید تعداد کل ذرات درون تعادل ..... می‌شود.  
 ج- در تعادل جدید فشار سامانه ..... می‌شود.  
 چ- ثابت تعادل ..... .

## تمرین ✓

۳۸ در تعادل گازی  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ، در حجم ثابت دما را کاهش می‌دهیم، جای خالی را هر یک از عبارات‌های زیر را پر کنید.

- آ- تعادل در لحظه تغییر در جهت ..... جابه‌جا می‌شود.  
 ب- در لحظه تغییر سرعت رفت ..... و برگشت ..... می‌شود.  
 پ- در تعادل جدید غلظت  $\text{NO}_2$  ..... ،  $\text{N}_2\text{O}_4$  ..... می‌یابد.  
 ت- در تعادل جدید مقدار  $\text{NO}_2$  ..... ،  $\text{N}_2\text{O}_4$  ..... می‌یابد.  
 ث- در تعادل جدید تعداد کل ذرات درون تعادل ..... می‌شود.  
 ج- در تعادل جدید فشار سامانه ..... می‌شود.  
 چ- در تعادل جدید رنگ سامانه ..... می‌شود.  
 ح- ثابت تعادل ..... .

## تمرین ✓

۳۹ واکنش تعادلی  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\text{g}) + \text{Q}$ ، در ظرفی در بسته برقرار است، درستی یا نادرستی هریک از عبارات‌های زیر را مشخص کنید.

- آ- با کاهش دمای ظرف واکنش، تعداد مول  $\text{HBr}$  موجود در سامانه تعادلی افزایش می‌یابد.  
 ب- ثابت تعادل واکنش با افزایش دما، کاهش می‌یابد.  
 پ- در صورت تغییر دما نسبت غلظت مولی فراورده‌ها به غلظت مولی واکنش‌دهنده‌ها ثابت می‌ماند.  
 ت- با افزایش دما، فشار سامانه ثابت باقی می‌ماند.



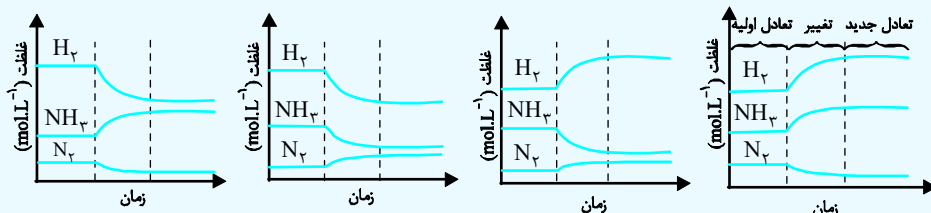


## تمرین

- ۴۰ در تعادل گازی  $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ ، درصد مولی A در دماهای ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۵ و ۴۰ درصد است. درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.
- آ- مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها کم‌تر است.
- ب- با افزایش دما، به دلیل کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد.
- پ- مقدار ثابت تعادل آن در دمای ۳۰۰ درجه برابر ۱/۵ است.
- ت- پس از افزایش دما از ۲۰۰ درجه به ۳۰۰ درجه، پس از جابه‌جایی تعادل دما دوباره به ۲۰۰ درجه می‌رسد.
- ث- سطح انرژی قله نمودار انرژی - پیشرفت واکنش به سطح انرژی فراورده‌ها نزدیک‌تر است.

## تمرین

- ۴۱ در تعادل گازی  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ ، با افزایش دما، نمودار تغییرات غلظت مواد موجود در تعادل به چه صورت خواهد بود؟



## تمرین

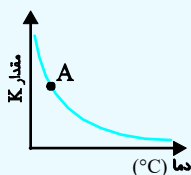
- ۴۲ با توجه به داده‌های جدول، که به واکنش تعادلی گازی  $2SO_3 \rightleftharpoons 2SO_2 + O_2$  در ظرفی در بسته مربوط است، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.

دما °C	K
۲۵	$2/5 \times 10^{-25}$
۲۲۵	$4 \times 10^{-11}$
۴۳۵	$4 \times 10^{-5}$

- آ- با کاهش دما، تعداد مول گوگرد تری اکسید افزایش می‌یابد.
- ب- میزان پیشرفت واکنش در دمای ۲۲۵°C بیشتر از دمای ۲۵°C است.
- پ- مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها در آن، نسبت به فراورده‌ها بیشتر است.

## تمرین

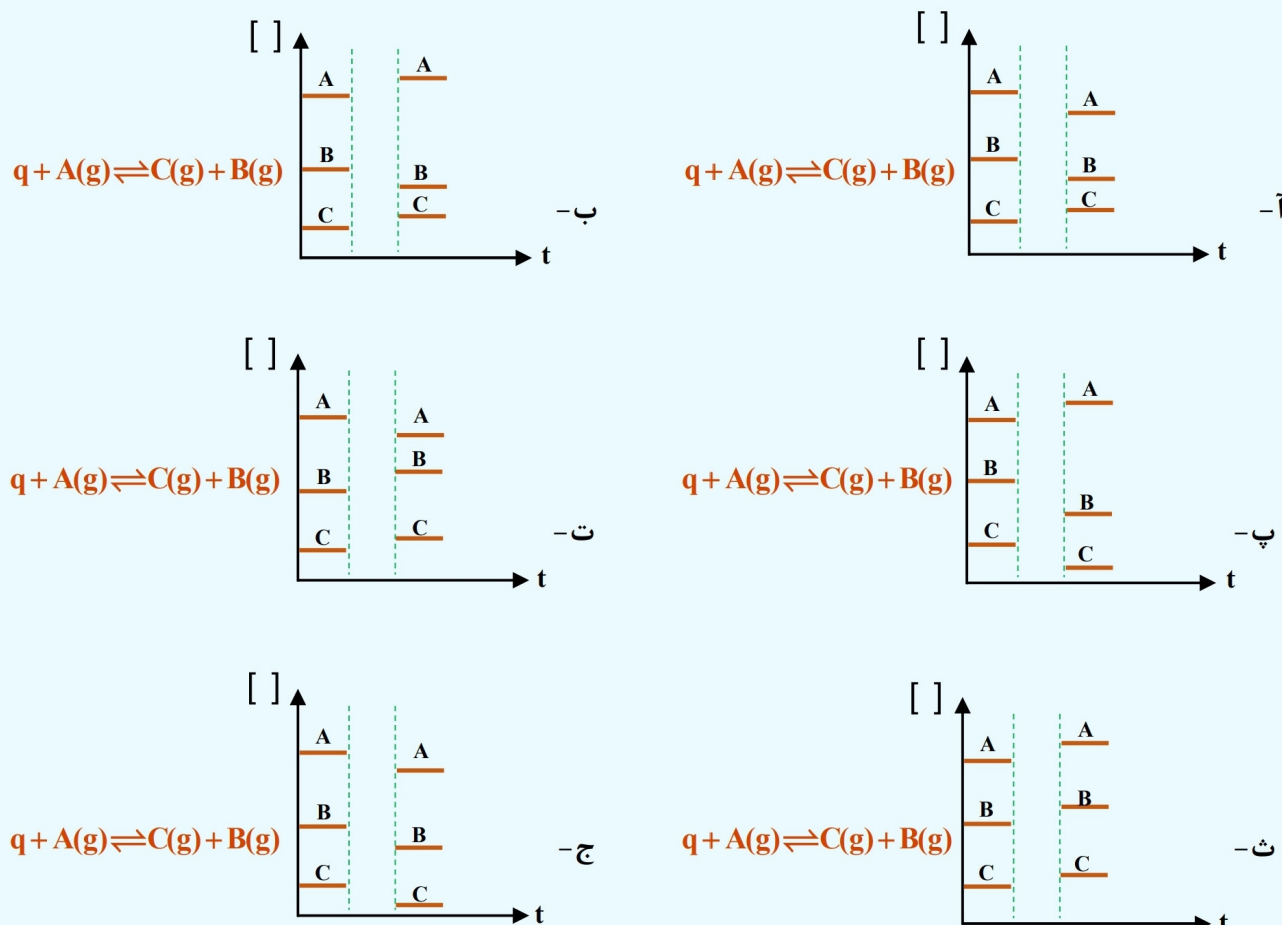
- ۴۳ با توجه به نمودار زیر که تغییرات مقدار ثابت تعادل یک تعادل فرضی به صورت  $2x(g) \rightleftharpoons y(g)$  را با تغییر دما نشان می‌دهد، درستی یا نادرستی هریک از عبارتهای زیر را مشخص کنید.
- آ- در دماهای بالا واکنش پیشرفت کم‌تری دارد.
- ب- با افزایش دما، تعداد ذرات موجود در ظرف کاهش می‌یابد.
- پ- واکنش در جهت برگشت گرماده است.





تمرین ✓

۴۴) در تعادل گازی  $Q + A(g) \rightleftharpoons C(g) + B(g)$ ، با تحمیل چه تغییر یا تغییراتی، نمودار مربوطه به صورت داده شده خواهد بود؟



کارهای هابر روی واکنش تهیه آمونیاک

- ۱) او می‌دانست که با افزایش دما و تامین انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش افزایش خواهد یافت.
  - ۲) او هر چه دما را بالا می‌برد، واکنش با سرعت بیشتری انجام می‌شد اما با پیشرفت کمی به تعادل می‌رسید و درصد مولی آمونیاک در مخلوط کاهش می‌یافت.
  - ۳) او با استفاده از کاتالیزگر توانست واکنش را در دماهای پایین‌تر با سرعت مناسب انجام دهد.
  - ۴) او برای افزایش درصد مولی آمونیاک از افزایش فشار بر سامانه بهره برد.
  - ۵) در شرایط بهینه برای تولید آمونیاک، تنها ۲۸ درصد مولی مخلوط را آمونیاک تشکیل می‌دهد.
  - ۶) هابر در پایان برای جداسازی آمونیاک از مخلوط واکنش، از تفاوت آشکار در نقطه جوش آمونیاک با دو گاز دیگر استفاده کرد.
- شکل زیر شمایی از فناوری تولید آمونیاک به روش هابر را نشان می‌دهد. به نکات آن دقت کنید:

