خیلی سبز ۳۶۰



شیمی ۱۲

درسنامه خلاصه فصل به فصل

فصل ۱ و ۲

رشتهٔ تجربی

SanjeshCloud

شوینده‌ها و بهداشت

شوینده‌ها: موادی برای زدودن آلودگی‌ها، میکروب‌ها و سایر عوامل بیماری‌زا هستند. سبب افزایش سطح بهداشت جامعه و شاخص امید به زندگی می‌شوند و براساس خواص اسیدی و بازی عمل می‌کنند. صابون‌ها از جمله شوینده‌ها هستند که از گذشته مورد استفاده بوده‌اند.

پاک‌کردن لکه‌ها

شبیه، شبیه را در خود حل می‌کند.

- شباهت از نظر قطبی‌بودن یا ناقطبی‌بودن
- شباهت از نظر نوع جاذبه‌های بین مولکولی
- مواد قطبی در حلال‌های قطبی مثل آب به خوبی حل می‌شوند.
- مواد ناقطبی در حلال‌های ناقطبی مثل هگزان حل می‌شوند.

لکه‌ها و کثیفی‌های روی اجسام **یا قطبی‌اند** مانند: عسل، شکر، اوره، آب‌قند، چای‌شیرین، آبلیمو، اتیلن گلیکول و ... **یا ناقطبی‌اند** مانند: بنزین، روغن زیتون، سایر روغن‌ها، چربی‌ها، وازلین و ...

شرط انحلال و پاک‌کنندگی: باید ذره‌های سازندهٔ حل‌شونده (مثل لکه‌ها) با مولکول‌های حلال (مثل آب)، جاذبه‌های مناسب برقرار کنند؛ در غیر این صورت، ذره‌های حل‌شونده در کنار هم باقی مانده و در حلال پخش و پراکنده نشده و از سطح اجسام جدا نمی‌شوند.

مواد قطبی (محلول در آب)	مواد ناقطبی (محلول در هگزان (C_6H_{14}))
شکر یا ساکارز ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	هیدروکربن‌ها (C_xH_y) مانند: بنزین (C_8H_{18})[1]، وازلین ($C_{25}H_{52}$) و ...
متانول (CH_3OH)،	هالوژن‌ها (F_2, Cl_2, Br_2, I_2)
اتانول (C_2H_5OH)،	اکسیژن (O_2)،
استون ($CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$)	کربن دی‌اکسید (CO_2)
اسیدها مانند: HCl، CH_3COOH و ...	چربی‌ها و روغن‌ها از جمله: روغن زیتون ($C_{57}H_{104}O_6$)
اتیلن گلیکول (ضدیخ) ($HOCH_2CH_2OH$)	
اوره ($NH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}NH_2$)	
عسل	

۱- بنزین مخلوطی از چندتا هیدروکربن مختلف (با تعداد کربن‌های ۵ تا ۱۲) است که به طور میانگین فرمول مولکولی اون رو C_8H_{18} در نظر می‌گیریم.

SanjeshCloud

نکته: برخی از نمک‌ها مثل: $NaCl$، $MgCl_2$، Na_3PO_4، NH_4NO_3، $KMnO_4$ و ... با برقراری جاذبهٔ یون ـ دوقطبی در آب به خوبی حل می‌شوند.

نکته: اتیلن گلیکول، استیک اسید، شکر، اوره و عسل با مولکول‌های آب پیوندهای هیدروژنی برقرار کرده و به خوبی در آن حل می‌شوند. در ساختار مولکول‌های اتیلن گلیکول، استیک اسید، شکر و عسل همانند آب، پیوندهای $O-H$ و در ساختار مولکول‌های اوره پیوندهای $N-H$ وجود دارد.

صابون

■ صابون ماده‌ای است که دارای دو بخش قطبی و ناقطبی است؛ بنابراین هم در آب حل می‌شود و هم در چربی. شکل زیر ساختار یک مولکول صابون جامد را نشان می‌دهد:



■ صابون‌ها ۱- نمک اسیدهای چرب هستند و ۲- فرمول همگانی $RCOONa$ دارند که در آن R یک زنجیر هیدروکربنی بلند است. ۳- خاصیت بازی دارند ($pH > 7$).

■ صابون‌ها ۲ نوع جامد و مایع دارند؛ در صابون‌های مایع به جای Na از یون‌های K^+ یا NH_4^+ استفاده شده است.

■ صابون‌های مایع از واکنش میان چربی‌ها با پتاسیم هیدروکسید یا آمونیوم هیدروکسید به دست می‌آیند.

دو روش تهیهٔ صابون جامد

۱- گرمادادن مخلوط چربی یا روغن با سدیم هیدروکسید:

آب + صابون جامد ← سدیم هیدروکسید + چربی یا روغن

معادلهٔ کلی:

$$R-COOH + NaOH \rightarrow RCOONa + H_2O$$

۲- آبکافت استرها در محیط بازی:

الکل + صابون جامد ← سدیم هیدروکسید + استر

معادلهٔ کلی:

$$RCOOR' + NaOH \rightarrow RCOONa + R'OH$$

یادآوری: $R-$ نماد زنجیرهای هیدروکربنی است.

چربی‌ها، مخلوطی از اسیدهای چرب و استرهای بلندزنجیر (با جرم مولی زیاد) هستند. هم منشأ گیاهی دارند و هم منشأ جانوری؛ مانند: روغن زیتون، نارگیل، دنبهٔ گوسفند و پیهٔ گاو

SanjeshCloud

اسیدهای چرب، کربوکسیلیک اسیدهایی با زنجیر بلند کربنی هستند. در آب حل نمی‌شوند، چون بخش ناقطبی مولکول آن‌ها بر بخش قطبی آن‌ها غلبه دارد.

مخلوط‌ها

اغلب موادی که در زندگی روزانه با آن‌ها سروکار داریم، از مخلوط دو یا چند ماده تشکیل شده‌اند؛ مانند: آب دریا، هوا، انواع رنگ‌ها، نوشیدنی‌ها، شوینده‌ها، داروها و ...

تعریف: مخلوط‌ها به موادی گفته می‌شوند که ذره‌های سازندهٔ آن‌ها یکسان نباشند. مخلوط‌ها خواص و انواع متفاوتی دارند که شامل محلول‌ها، کلوئیدها و سوسپانسیون‌ها می‌شوند.

انواع مخلوط‌ها
- همگن ← محلول مانند: آب‌نمک
- ناهمگن
  - کلوئید مانند: آب و روغن و صابون
  - سوسپانسیون مانند: شیر منیزی، شربت خاکشیر

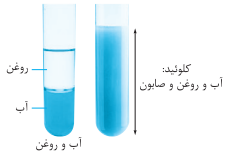
محلول‌ها

مهم‌ترین ویژگی‌ها: همگن هستند. پایدار هستند و به مرور زمان ته‌نشین نمی‌شوند. مسیر عبور نور در آن‌ها دیده نمی‌شود. (نور را پخش نمی‌کنند.) ذره‌های سازندهٔ آن‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها هستند. یون‌ها و یا مولکول‌ها در یک حلال، حل شده است.

مثال: شکر در آب، نمک در آب، هوای پاک، آب دریا، عسل در آب، کات کبود در آب، گلاب، سرم فیزیولوژی و ...

کلوئیدها

مهم‌ترین ویژگی‌ها: ناهمگن هستند. پایدار هستند (همانند محلول‌ها)، نور را پخش می‌کنند. ذره‌های سازندهٔ آن‌ها، توده‌های مولکولی یا یونی هستند. توده‌های مولکولی یا یونی در یک حلال (پخش‌کننده)، پخش‌شده‌اند.



مثال: سرامیک‌ها، چسب‌ها، رنگ‌های پوششی، مخلوط چربی و آب و صابون، مخلوط پاک‌کننده‌های غیرصابونی، آب و روغن و ...

سوسپانسیون‌ها

مهم‌ترین ویژگی‌ها: ناهمگن هستند (همانند کلوئیدها). ناپایدار هستند و پس از مدتی ته‌نشین می‌شوند. قدرت پخش نور آن‌ها از کلوئیدها بیشتر است؛ زیرا اندازهٔ ذرات آن‌ها درشت‌تر از کلوئیدها است. ذره‌های سازندهٔ آن‌ها، ذره‌های ریز ماده هستند. ذره‌های ریز ماده در یک حلال (پخش‌کننده)، پخش شده‌اند.

مثال: شربت معده (شیر منیزی)، آب گل‌آلود، خاکشیر در آب و ...

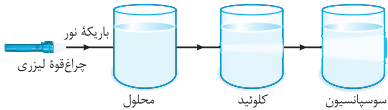
SanjeshCloud

نکته: رفتار کلوئیدها را می‌توان رفتاری بین سوسپانسیون و محلول‌ها در نظر گرفت.

- اندازهٔ ذره‌های سازندهٔ انواع مخلوط‌ها به صورت زیر است:

محلول < کلوئید < سوسپانسیون :اندازهٔ ذره‌های سازنده

- به علت درشت‌بودن اندازهٔ ذره‌های سازندهٔ سوسپانسیون‌ها و کلوئیدها، نور در این مواد پخش می‌شود به طوری که مسیر عبور نور در آن‌ها دیده می‌شود.

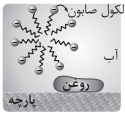


محلول < کلوئید < سوسپانسیون :میزان پخش نور

نکته: مخلوط آب و روغن یک مخلوط ناپایدار است اما به کمک صابون به یک کلوئید پایدار تبدیل می‌شوند.

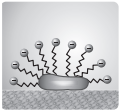
مراحل پاک‌شدن یک لکهٔ چربی توسط صابون:

مرحلهٔ (۱): صابون در آب به دو بخش کاتیونی (Na^+ یا K^+ یا NH_4^+ و آنیونی ($R-CO_2^-$) تفکیک شده و در آب پخش می‌شود. در واقع جزء کاتیونی صابون جدا شده و جزء آنیونی آن به کمک بخش باردار خود با مولکول‌های آب جاذبهٔ یون ـ دوقطبی برقرار می‌کند (شکل ۱)

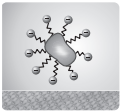


(۱)

مرحلهٔ (۲): بخش کاتیونی صابون در آب حل شده اما بخش آنیونی آن از طرف گروه قطبی CO_2^- با مولکول‌های آب و از طرف گروه آلکیل (بخش ناقطبی خود) ($R-$) با مولکول‌های چربی جاذبهٔ واندروالسی برقرار می‌کند. (شکل ۲)


(۲)

مرحلهٔ (۳): لکه‌های چربی به گروه R صابون چسبیده و توسط انتهای باردار صابون یعنی گروه CO_2^- در آب پراکنده می‌شوند. مولکول‌های صابون مانند پلی مابین مولکول‌های آب از یک طرف و مولکول‌های چربی از طرف دیگر قرار گرفته و به این روش لکه‌های چربی توسط بخش آنیونی صابون از سطح پارچه جدا و در آب شناور می‌شوند. (شکل ۳)


(۳)

نکته: بخش آنیونی صابون (یعنی گروه CO_2^-) از طریق برقراری جاذبه با مولکول‌های آب، سبب پراکنده‌شدن چربی‌ها در آب می‌شود.

عوامل مؤثر بر قدرت پاک‌کنندگی صابون

- قدرت پاک‌کنندگی صابون به عوامل زیر بستگی دارد: ۱- نوع پارچه ۲- نوع آب ۳- دمای آب ۴- مقدار صابون ۵- نوع صابون

SanjeshCloud

■ صابونی که کف بیشتری تولید می‌کند و مقدار بیشتری از چربی و آلاینده‌ها را می‌زداید، قدرت پاک‌کنندگی بیشتری دارد.

صابون و آب سخت: قدرت پاک‌کنندگی صابون در آب دریا و مناطق کویری کم‌تر از آب چشمه‌ها است، زیرا آب شور دریاها و مناطق کویری دارای مقادیر چشمگیری از یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) است. از واکنش این کاتیون‌ها با صابون، رسوب‌هایی به شکل لکه‌های سفید بر جای می‌ماند. تشکیل این رسوب‌ها سبب کاهش مقدار ذره‌های صابون در آب شده و از کف‌کردن و پاک‌کنندگی صابون می‌کاهد.

$$2RCOONa(aq)+MgCl_2(aq) \rightarrow (RCOO)_2Mg(s)+2NaCl(aq)$$

$$2RCOONa(aq)+CaCl_2(aq) \rightarrow (RCOO)_2Ca(s)+2NaCl(aq)$$

تعریف: آب سخت به آبی گفته می‌شود که مقادیر چشمگیری از یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) دارد. مانند آب شور دریا و آب‌های مناطق کویری.

در جست‌وجوی پاک‌کننده‌های جدید

پاک‌کننده‌های غیرصابونی

تعریف: پاک‌کننده‌هایی با ساختار شبیه صابون ولی با قدرت پاک‌کنندگی بیشتر از آن که به جای گروه کربوکسیلات ($-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^-$) صابون، دارای گروه سولفونات ($-SO_3^-$) هستند.

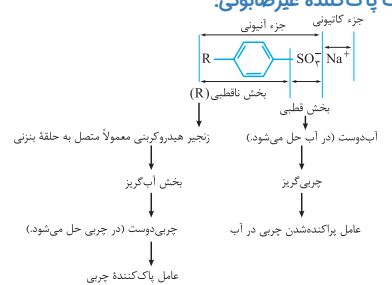
■ پاک‌کننده‌های غیرصابونی را از بنزن و دیگر مواد اولیه در صنایع پتروشیمی به دست می‌آورند.

■ ساختار یک پاک‌کنندهٔ صابونی و یک پاک‌کنندهٔ غیرصابونی با هم مقایسه شده‌اند:

پاک‌کنندهٔ صابونی (صابون جامد):



ساختار یک پاک‌کنندهٔ غیرصابونی:



SanjeshCloud

نکته برتری مهم پاک‌کننده‌های غیرصابونی بر صابون‌ها، قدرت پاک‌کنندگی بهتر آن‌ها در آب‌های سخت است. پاک‌کننده‌های غیرصابونی، قدرت پاک‌کنندگی خود را در آب‌های سخت حفظ می‌کنند. زیرا گروه سولفونات ($-SO_3^-$) برخلاف گروه کربوکسیلات ($-CO_2^-$) با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{+} ترکیب‌های انحلال‌پذیر در آب تشکیل می‌دهند و مانع از تشکیل رسوب می‌شوند:

ترکیب‌های محلول در آب $\rightarrow$ پاک‌کننده‌های غیرصابونی $+ Ca^{2+}, Mg^{2+}$

در جدول زیر، برخی ویژگی‌های پاک‌کننده‌های صابونی و غیرصابونی با هم مقایسه شده‌اند:

ویژگی‌ها	پاک‌کننده‌های صابونی (جامد)	پاک‌کننده‌های غیرصابونی
فرمول همگانی	$(RCOO^-Na^+)\ RCO_2^-Na^+$	$R-C_6H_4-SO_3^-Na^+$
قدرت پاک‌کنندگی در آب سخت	کم‌تر (به خوبی کف نمی‌کنند.)	بیشتر (به خوبی کف می‌کنند.)
منشأ تولید	روغن‌های گیاهی و جانوری به همراه سدیم هیدروکسید	بنزن و دیگر مواد اولیه در صنایع پتروشیمی
خصلت محلول آبی	بازی $(pH > 7)$	بازی $(pH > 7)$

صابون طبیعی (سنتی)

- از جوشاندن پیهٔ گوسفند و سود سوزآور ($NaOH$) در دیگ‌های بزرگ با آب تهیه می‌شود.

صابون سنتی $\xrightarrow{\text{گرما}}$ پیهٔ گوسفند $+ NaOH$

- افزودنی شیمیایی ندارد و به دلیل خاصیت بازی مناسب برای موهای چرب استفاده می‌شود.
- از نوعی صابون سنتی در تنور نان سنگک برای چرب‌کردن سطح سنگ‌ها استفاده می‌شود.

صابون‌های خاص

- برای افزودن خواص ویژهٔ دارویی و یا پاک‌کنندگی صابون‌ها، می‌توان مواد خاصی به آن‌ها افزود که در جدول زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

SanjeshCloud

نوع افزودنی به صابون	نام صابون	کاربرد ویژهٔ صابون علاوه بر پاک‌کنندگی
گوگرد	صابون گوگرددار	از بین بردن جوش صورت و قارچ‌های پوستی
کلر	صابون کلردار	ضدعفونی‌کنندگی ـ میکروب‌کشی
نمک‌های فسفات	صابون فسفات‌دار	۱-جلوگیری از تشکیل رسوب صابون با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} و جلوگیری از ایجاد لکه روی لباس‌ها ۲-حفظ قدرت پاک‌کنندگی در آب‌های سخت

■ برای جلوگیری از عوارض جانبی و حفظ سلامت بدن و محیط زیست، بهتر است از شوینده‌های ملایم و طبیعی‌تر استفاده کرد.

پاک‌کننده‌های خورنده

انواع پاک‌کننده (با توجه به کتاب درسی)

- پاک‌کننده‌های صابونی
  - جامد ← مثال: صابون جامد، صابون سنتی (طبیعی)
  - مایع ← مثال: مایع دستشویی (صابون مایع)
- پاک‌کننده‌های غیرصابونی ← مثال: مایع ظرفشویی، پودر لباسشویی و ...
- پاک‌کننده‌های خورنده
  - اسیدی ← مانند: جوهرنمک، آبلیمو و ...
  - بازی ← مانند: مایع سفیدکننده، محلول لوله‌باز کن، محلول شیشه‌پاک کن و ...

اساس عملکرد پاک‌کننده‌ها: ۱- براساس برهم‌کنش میان ذره‌ها؛ مانند: صابون و پاک‌کننده‌های غیرصابونی ۲- براساس برهم‌کنش میان ذره‌ها + واکنش شیمیایی با آلاینده‌ها؛ مانند: جوهرنمک (HCl)، سدیم هیدروکسید ($NaOH$)، سفیدکننده‌ها و ...

ویژگی‌های پاک‌کننده‌های خورنده:

۱- پاک‌کننده‌های خورنده افزون بر برهم‌کنش میان ذره‌ها، با آلاینده‌ها واکنش شیمیایی نیز می‌دهند و آن‌ها را به فراورده‌هایی تبدیل می‌کنند که با آب شسته شوند. ۲- پاک‌کننده‌های خورنده از نظر شیمیایی فعال هستند و به دلیل خاصیت خورندگی نباید با پوست تماس داشته باشند. ۳- از پاک‌کننده‌های خورنده برای زدودن رسوب تشکیل‌شده بر روی دیوارهٔ کتری، لوله‌ها، آب‌راه‌ها و دیگ‌های بخار که با صابون و پاک‌کننده‌های غیرصابونی پاک نمی‌شوند، استفاده می‌شوند.

SanjeshCloud

در جدول زیر چند نمونه از پاک‌کننده‌های خورنده و خاصیت محلول آن‌ها نشان داده شده است:

پاک‌کنندهٔ خورنده	خاصیت محلول	گسترهٔ pH محلول	رنگ کاغذ pH
محلول جوهرنمک (HCl)	اسیدی	$pH < ۷$	قرمز
محلول سرکه ($CH_۳COOH$)	اسیدی	$pH < ۷$	قرمز
محلول سود سوزآور ($NaOH$)	بازی	$pH > ۷$	آبی
محلول پتاس سوزآور (KOH)	بازی	$pH > ۷$	آبی
مخلوط آلومینیم و سدیم هیدروکسید ($Al + NaOH$)	بازی	$pH > ۷$	آبی

مخلوط سدیم هیدروکسید و پودر آلومینیم

- نوعی پاک‌کننده است که به شکل پودر عرضه می‌شود و شامل مخلوطی از Al و NaOH است.
- برای زدودن رسوب‌ها و چربی‌های تجمع‌یافته در مسیر لوله‌ها در برخی وسایل و دستگاه‌های صنعتی استفاده می‌شود.
- در واکنش با آب علاوه بر گاز هیدروژن، فراورده‌های دیگری نیز تولید می‌کند.
- واکنش آن با آب فرایندی گرماده است. ($\Delta H < ۰$)
- تولید گاز هیدروژن در واکنش آن با آب و گرماده‌بودن این فرایند قدرت پاک‌کنندگی مخلوط را افزایش می‌دهد.
- معادلهٔ نوشتاری واکنش مخلوط سدیم هیدروکسید و پودر آلومینیم با آب به صورت زیر است:

گرما + فراورده‌های دیگر + گاز هیدروژن ← آب + مخلوط آلومینیم و سدیم هیدروکسید

کاغذ pH

کاغذ pH ابزاری است که برای شناسایی میزان خصلت اسیدی و بازی محلول‌ها به کار می‌رود.

کاغذ pH در محلول‌های گوناگون رنگ‌های متفاوتی دارد که به طور کلی در جدول زیر ارائه شده‌اند:

خصلت محلول	اسیدی	خنثی	بازی
رنگ کاغذ pH	طیف‌های قرمز، نارنجی و زرد	سبز	طیف‌های آبی، نیلی و بنفش

SanjeshCloud

اسیدها و بازها

شواهد تاریخی نشان می‌دهند که پیش از آن‌که ساختار اسیدها و بازها شناخته شوند، شیمی‌دان‌ها:

۱- با ویژگی‌های اسیدها و بازها آشنا بوده‌اند.

۲- با برخی واکنش‌های اسید و باز آشنا بوده‌اند.

برخی ویژگی‌های اسیدها و بازها در زندگی

۱- اسیدها با اغلب فلزها واکنش داده و گاز هیدروژن آزاد می‌کنند.

مثال: $2HCl(aq) + Zn(s) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

۲- اسیدها و بازها در تماس با پوست به آن آسیب می‌رسانند.

- اسیدها در تماس با پوست ایجاد سوزش می‌کنند. (مانند سوزش معده در ناحیهٔ سینه بر اثر برگشت محتویات اسیدی معده به لولهٔ مری)
- بازها در تماس با پوست، همانند صابون، احساس لیزی ایجاد کرده و به آن آسیب وارد می‌کنند.

۳- اغلب میوه‌ها (میوه‌های ترش) دارای اسید هستند.

- هیدروکلریک اسید (HCl) در شیرهٔ معده وجود دارد.

دو نقش مهم HCl در بدن: ۱- با فعال‌کردن آنزیم‌ها سبب هضم سریع‌تر غذا در معده می‌شود. ۲- جانداران ذره‌بینی موجود در غذا را از بین می‌برد.

نظریهٔ اسید و باز آرنیوس

آرنیوس برای اولین بار یک تعریف علمی از اسیدها و بازها ارائه کرد؛ او بر روی رسانایی الکتریکی محلول‌های آبی کار می‌کرد و دریافت که محلول اسیدها و بازها رسانای جریان الکتریکی هستند و میزان رسانایی الکتریکی محلول اسیدها و بازها یکسان نیست.

بر طبق نظریهٔ آرنیوس:

اسید: ماده‌ای که در آب حل می‌شود ← یون‌های هیدروژن (H^+) تولید می‌کند ← سبب افزایش غلظت یون‌های H^+ در محلول می‌شود ← رنگ کاغذ pH را قرمز می‌کند. **مثال:** $HCl(g) \xrightarrow{H_2O} H^+(aq) + Cl^-(aq)$

باز: ماده‌ای که در آب حل می‌شود ← یون‌های هیدروکسید (OH^-) آب را افزایش می‌دهد ← سبب افزایش غلظت یون‌های OH^- می‌شود ← رنگ کاغذ pH را آبی می‌کند. **مثال:** $NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + OH^-(aq)$

نکته: یون‌های H^+ در محلول‌های آبی با مولکول‌های آب پیوند داده و به یون‌های هیدرونیوم (H_3O^+) تبدیل می‌شوند:

$$\underset{\text{حاصل از اسید}}{H^+(aq)} + H_2O(l) \rightarrow \underset{\text{یون هیدرونیوم}}{H_3O^+(aq)}$$

SanjeshCloud

انواع محلول‌های آبی در دمای ۲۵°C

۱) اگر $[H^+] > [OH^-]$ ⟸ محلول اسیدی است ⟸ $pH < ۷$

۲) اگر $[H^+] < [OH^-]$ ⟸ محلول بازی است ⟸ $pH > ۷$

۳) اگر $[H^+] = [OH^-]$ ⟸ محلول خنثی است ⟸ $pH = ۷$

نکته: هر چه $[H^+]$ بیشتر باشد ⟵ محلول اسیدی‌تر و خورنده‌تر است.

هر چه $[OH^-]$ بیشتر باشد ⟵ محلول بازی‌تر و خورنده‌تر است.

اکسیدهای اسیدی و بازی

- اکسیدهای نافلزی که در آب حل می‌شوند ⟵ خصلت اسیدی دارند ⟵ اسید آرنیوس‌اند ⟵ اکسید اسیدی گفته می‌شوند.
  مانند: $CO_۲, SO_۲, SO_۳, P_۴O_{۱۰}, \ldots$
- اکسیدهای فلزی که در آب حل می‌شوند ⟵ خصلت بازی دارند ⟵ باز آرنیوس‌اند ⟵ اکسید بازی گفته می‌شوند. مانند:
  $Li_۲O, Na_۲O, CaO, BaO, \ldots$

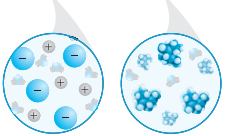
رسانایی الکتریکی محلول‌ها و قدرت اسیدی

- خوراکی‌ها، شوینده‌ها، داروها، مواد آرایشی و بهداشتی شامل مقادیر متفاوتی از یون هیدرونیوم $(H^+(aq))$ هستند.
- غلظت یون هیدرونیوم بر روی ماندگاری مواد و در نتیجه سلامتی تأثیر شایانی دارد. به عنوان مثال، شیر سالم با افزایش غلظت یون H^+، ترش شده و قابل نوشیدن نیست.

انواع رساناهای الکتریکی

- **رسانای الکترونی:** رسانایی توسط الکترون‌ها انجام می‌شود.
  مانند: فلزها و گرافیت (مغز مداد)
- **رسانای یونی:** رسانایی توسط انتقال یون‌ها انجام می‌شود.
  مانند: محلول نمک در آب و محلول‌های اسیدی و بازی

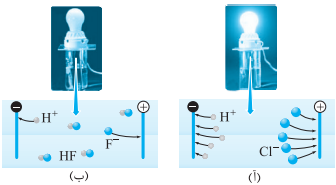
یادآوری: رسانایی الکتریکی یک محلول به دلیل وجود یون‌ها و حرکت آن‌ها است. (شکل روبه‌رو)



مقایسهٔ رسانایی الکتریکی محلول‌های آبی سدیم کلرید و شکر

SanjeshCloud

■ رسانایی الکتریکی محلول‌های الکترولیت یکسان نیست. در شکل زیر رسانایی الکتریکی محلول ۰/۱ مولار دو اسید HCl و HF با هم مقایسه شده است.



نکته: برای مقایسهٔ رسانایی الکتریکی محلول‌های مختلف، باید مجموع غلظت یون‌های موجود در محلول آن‌ها را با هم مقایسه کنیم. به عنوان نمونه در مورد محلول‌های سدیم هیدروکسید، آلومینیم نیترات و باریم کلرید در دمای یکسان و غلظت ۱ مولار خواهیم داشت:

$$\underset{۱\ mol.L^{-۱}}{Al(NO_۳)_۳(s)} \rightarrow \underbrace{Al^{۳+}(aq) + ۳NO_۳^-(aq)}_{۴\times۱=۴\ mol.L^{-۱}}$$

$$\underset{۱\ mol.L^{-۱}}{NaOH(s)} \rightarrow \underbrace{Na^+(aq) + OH^-(aq)}_{۲\times۱=۲\ mol.L^{-۱}}$$

$$\underset{۱\ mol.L^{-۱}}{BaCl_۲(s)} \rightarrow \underbrace{Ba^{۲+}(aq) + ۲Cl^-(aq)}_{۳\times۱=۳\ mol.L^{-۱}}$$

رسانایی الکتریکی: $Al(NO_۳)_۳ > BaCl_۲ > NaOH$

مجموع غلظت یون‌ها: $Al(NO_۳)_۳ > BaCl_۲ > NaOH \Rightarrow$

انواع مواد از نظر رسانایی الکتریکی

- **مواد الکترولیت:** موادی مانند **NaCl**، اسیدها و بازها که پس از انحلال در آب، محلول آن‌ها رسانای جریان برق است، مواد الکترولیت و محلول آن‌ها را محلول الکترولیت می‌گویند.
- **مواد غیرالکترولیت:** موادی مانند شکر و اتانول که انحلال آن‌ها در آب به شکل مولکولی است، غیرالکترولیت و به محلول آن‌ها، محلول غیرالکترولیت گفته می‌شود.

فرایند یونش

■ **یونش:** به فرایندی که در آن یک ترکیب مولکولی (خنثی) در آب به یون‌های مثبت و منفی تبدیل می‌شود، گفته می‌شود.

مثال:

۱) $HI(g) \xrightarrow{H_۲O} H^+(aq) + I^-(aq)$

۲) $HCl(g) \xrightarrow{H_۲O} H^+(aq) + Cl^-(aq)$

■ **تفکیک یونی:** به فرایند تبدیل یک ترکیب یونی توسط آب به یون‌های سازنده، تفکیک یونی می‌گویند.

SanjeshCloud

مثال:

۱) $NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + OH^-(aq)$

۲) $NaCl(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

■ شیمی‌دان‌ها، برای بیان میزان یونش اسیدها، از کمیت‌هایی به نام درجهٔ یونش (α) و درصد یونش (α٪) استفاده می‌کنند که رابطهٔ آن‌ها به صورت مقابل است:

$$\text{درجهٔ یونش}(\alpha) = \frac{\text{شمار یا غلظت مولکول‌های یونیده‌شده}}{\text{شمار یا غلظت کل مولکول‌های حل‌شده}}$$

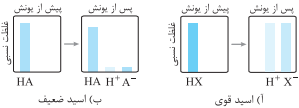
$$\Rightarrow \text{درصد یونش}(\alpha٪) = \text{درجهٔ یونش}(\alpha) \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد یونش}(\alpha٪) = \frac{\text{شمار یا غلظت مولکول‌های یونیده‌شده}}{\text{شمار یا غلظت کل مولکول‌های حل‌شده}} \times ۱۰۰$$

اسیدهای قوی و ضعیف

■ اسیدها بر مبنای میزان یونش در آب به دو دستهٔ قوی و ضعیف تقسیم می‌شوند. اسیدهای قوی بر اثر حل‌شدن در آب به طور کامل یونش می‌یابند در حالی که اسیدهای ضعیف در آب به طور جزئی یونش می‌یابند.

شکل‌های زیر یونش کامل یک اسید قوی و یونش جزئی یک اسید ضعیف را نشان می‌دهند.



جدول زیر اسیدهای قوی و ضعیف را در غلظت و دمای یکسان با هم مقایسه کرده است:

ویژگی‌ها / قدرت اسید	اسیدهای قوی	اسیدهای ضعیف
رسانایی الکتریکی محلول	بیشتر	کم‌تر
شمار یون‌های موجود در محلول	بیشتر	کم‌تر
غلظت H^+ محلول	زیاد	اندک
میزان یونش در آب و درجهٔ یونش	به طور کامل ($\alpha \simeq ۱$)	به طور جزئی ($۰ < \alpha < ۱$)
مولکول‌های یونیده‌نشدهٔ اسید در محلول	تقریباً ندارند.	زیاد دارند.
نمونه‌ها	$HI, HBr, HCl, H_2SO_4, HNO_3$	$HF, HNO_2, HCOOH, CH_3COOH, H_2CO_3, HCN$
معادلهٔ یونش اسید در آب	برگشت‌ناپذیر (یک‌طرفه و کامل)	برگشت‌پذیر (دوطرفه و تعادلی)

SanjeshCloud

مثال: اگر در محلول هیدروفلوئوریک اسید (HF)، از هر ۲۰۰۰ مولکول حل‌شده در دمای $25\ ^\circ C$، تعداد ۱۹۵۰ مولکول یونیده نشود، درجه و درصد یونش این اسید به ترتیب کدام‌اند؟

۱) ۰/۰۲۵ و ۲۵ ۲) ۰/۰۲۵ و ۲/۵

۳) ۰/۰۱۲ و ۱/۲ ۴) ۰/۰۱۲ و ۱۲

پاسخ: گزینهٔ «۲»

$$\text{درجهٔ یونش}(\alpha) = \frac{\text{شمار مولکول‌های یونیده‌شده}}{\text{شمار کل مولکول‌های حل‌شده}}$$

$$= \frac{(۲۰۰۰ - ۱۹۵۰)}{۲۰۰۰} = \frac{۵۰}{۲۰۰۰} = ۰/۰۲۵$$

$$٪\alpha = ۰/۰۲۵ \times ۱۰۰ = ٪۲/۵$$

مثال: اگر درصد یونش اسید ضعیف HF برابر ۱٪ و غلظت مولار یون هیدرونیوم در محلولی از آن برابر 10^{-4} مولار باشد، غلظت اسید HF چند مول بر لیتر است؟

۱) ۰/۰۵ ۲) ۰/۰۱

۳) ۰/۵ ۴) ۰/۱

پاسخ: گزینهٔ «۲» یون‌های H^+ از یونش HF به دست می‌آیند؛ بنابراین غلظت آن با غلظت مولی اسید یونیده‌شده برابر است.

$$HF(aq) \xrightleftharpoons{H_2O} H^+(aq) + F^-(aq)$$

$$٪\alpha = \frac{\text{غلظت مولی مولکول‌های یونیده‌شده}}{\text{غلظت مولی اسید}} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۱ = \frac{10^{-4}}{[HF]} \times ۱۰۰$$

$$\Rightarrow [HF] = \frac{۱۰۰ \times 10^{-4}}{۱} = ۰/۰۱\ mol.L^{-1}$$

■ جدول زیر معادلهٔ یونش برخی اسیدها و بازهای معروف در آب را نشان می‌دهد.

نام و فرمول شیمیایی حل‌شده در آب	خاصیت محلول (قدرت و محدودهٔ [pH])	معادلهٔ یونش در آب (واکنش با آب)
هیدروژن کلرید (HCl)	اسید قوی ($pH < ۷$)	$HCl(g) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$
هیدروژن یدید (HI)	اسید قوی ($pH < ۷$)	$HI(g) \rightarrow H^+(aq) + I^-(aq)$

SanjeshCloud

نام و فرمول شیمیایی حل‌شده در آب	خاصیت محلول (قدرت و محدودهٔ pH)	معادلهٔ یونش در آب (واکنش با آب)
هیدروژن فلوئورید (HF)	اسید ضعیف ($pH < 7$)	$HF(g) \rightleftharpoons H^+(aq) + F^-(aq)$
دی‌نیتروژن پنتااکسید (N_2O_5)	اسید قوی ($pH < 7$)	$N_2O_5(g) + H_2O(l) \rightarrow 2H^+(aq) + 2NO_3^-(aq)$
سدیم هیدروکسید ($NaOH$)	باز قوی ($pH > 7$)	$NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + OH^-(aq)$
باریم هیدروکسید ($Ba(OH)_2$)	باز قوی ($pH > 7$)	$Ba(OH)_2(s) \xrightarrow{H_2O} Ba^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$
سدیم اکسید (Na_2O)	باز قوی ($pH > 7$)	$Na_2O(s) + H_2O(l) \rightarrow 2Na^+(aq) + 2OH^-(aq)$
لیتیم اکسید (Li_2O)	باز قوی ($pH > 7$)	$Li_2O(s) + H_2O(l) \rightarrow 2Li^+(aq) + 2OH^-(aq)$
باریم اکسید (BaO)	باز قوی ($pH > 7$)	$BaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ba^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$
کلسیم اکسید (CaO)	باز قوی ($pH > 7$)	$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

نکتهٔ مهم: گاز گوگرد تری‌اکسید (SO_3) در آب حل شده و با مولکول‌های آب به صورت زیر واکنش داده و به سولفوریک اسید تبدیل می‌شود:

$$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

سولفوریک اسید حاصل بلافاصله به طور کامل یونش یافته و یون‌های H^+ و HSO_4^- را تولید می‌کند:

$$H_2SO_4(aq) \rightarrow H^+(aq) + HSO_4^-(aq)$$

SanjeshCloud

آنیون هیدروژن سولفات (HSO_4^-) حاصل‌شده، خود یک اسید ضعیف است، به همین دلیل طبق معادلهٔ زیر در مرحلهٔ بعدی به طور جزئی یونیده می‌شود:

$$HSO_4^-(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

نکته هر چه $[H^+]$ در محلول بیشتر باشد، آن محلول اسیدی‌تر و هر چه $[OH^-]$ در محلولی بیشتر باشد، آن محلول بازی‌تر است و اگر در محلولی $[OH^-] = [H^+]$ باشد، آن محلول خنثی است. $(pH = 7)$

اسیدهای تک‌پروتون‌دار

- به اسیدی که هر مولکول آن در آب تنها می‌تواند یک یون هیدرونیوم تولید کند، اسید تک‌پروتون‌دار گفته می‌شود.

مانند: HF، HI، HCl، HBr، HCN و HNO_3 و ...

- کربوکسیلیک اسیدها (RCOOH) از جمله اسیدهای ضعیف هستند$(0 < \alpha < 1)$، که فقط هیدروژن موجود در گروه عاملی کربوکسیل (—COOH) آن‌ها می‌تواند به صورت یون هیدرونیوم وارد محلول شود. بنابراین کربوکسیلیک اسیدهای یک‌عاملی جزء اسیدهای تک‌پروتون‌دار دسته‌بندی می‌شوند.

مثال

$$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$$

اتانوئیک اسید

ثابت تعادل و قدرت اسیدی

واکنش‌های برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر

واکنش‌ها به دو دستهٔ برگشت‌ناپذیر (یک‌طرفه و کامل) و برگشت‌پذیر (دوطرفه و تعادلی) دسته‌بندی می‌شوند که در جدول زیر مقایسه شده‌اند:

واکنش‌های برگشت‌ناپذیر	واکنش‌های برگشت‌پذیر
یک یا همهٔ واکنش‌دهنده‌ها به طور کامل به فراورده تبدیل می‌شوند. (دست‌کم، یک واکنش‌دهنده به‌طور کامل مصرف می‌شود)	هیچ‌کدام از واکنش‌دهنده‌ها به طور کامل به فراورده‌ها تبدیل نمی‌شود.
در شرایط مناسب فقط واکنش رفت ($A \rightarrow B$) انجام می‌شود.	در شرایط مناسب واکنش رفت و برگشت هم‌زمان ($A \rightleftharpoons B$) انجام می‌شوند.
معمولاً در پایان واکنش، فقط فراورده‌ها وجود دارند.	در پایان واکنش، فراورده‌ها و بخشی از واکنش‌دهنده‌ها وجود دارند.

واکنش‌های تعادلی

به یک واکنش برگشت‌پذیر که در آن سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر باشد، واکنش تعادلی گفته می‌شود.

SanjeshCloud

ویژگی‌های یک سامانهٔ (واکنش) تعادلی $(A \rightleftharpoons B)$ در زمان تعادل:

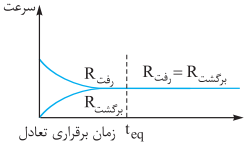
سرعت واکنش رفت با برگشت برابر است. ($R_{\text{برگشت}} = R_{\text{رفت}}$). واکنش در هر دو جهت (رفت و برگشت) هم‌زمان و پیوسته در حال انجام است. مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ثابت است. غلظت همهٔ مواد ثابت است. (چه واکنش‌دهنده‌ها و چه فراورده‌ها) سرعت تولید هر گونه در واکنش تعادلی، با سرعت مصرف آن گونه برابر است. دارای یک ثابت تعادل (K) است که ویژهٔ همان واکنش بوده و مقدار آن فقط به دما بستگی دارد.

نکته مهم‌ترین ویژگی سامانه‌های تعادلی و شرط اساسی برقراری تعادل‌ها، برابربودن سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت است.

$$A \underset{\bar{R}_2}{\overset{\bar{R}_1}{\rightleftharpoons}} B \text{ و } R_1 = R_2 \Rightarrow \text{برقراری تعادل}$$

نمودار سرعت واکنش‌های تعادلی

فرض می‌کنیم در ابتدا فقط واکنش‌دهنده‌ها در ظرف واکنش وجود داشته باشند؛ بنابراین در آغاز، سرعت رفت بیشتر است و سرعت برگشت برابر صفر است. پس از مدتی با تولید فراورده‌ها سرعت واکنش برگشت نیز افزایش می‌یابد. در لحظهٔ تعادل سرعت واکنش‌های رفت با برگشت برابر می‌شود. نمودار سرعت در این سامانهٔ تعادلی به صورت مقابل است:



ثابت یونش اسیدها (K_a)

برای واکنش تعادلی یونش اسید ضعیف HA، معادله و عبارت ثابت تعادل به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq) \qquad K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

تعریف (K_a) : نسبت حاصل‌ضرب غلظت تعادلی یون‌های موجود در محلول به غلظت تعادلی آن اسید را ثابت یونش اسیدی (K_a) می‌گویند.

نکته ثابت یونش اسیدها با نماد K_a نشان داده می‌شود و یکای آن برحسب $mol.L^{-1}$ است.

ثابت یونش یک اسید (K_a) : بیانی از میزان پیشرفت فرایند یونش تا رسیدن به حالت تعادل است. در دما و غلظت یکسان، هر چه بزرگ‌تر باشد، آن اسید بیشتر یونیده شده و غلظت یون H^+ در آن بیشتر است. در دما و غلظت یکسان هر چه بزرگ‌تر باشد، آن اسید قوی‌تر است. (K_a بزرگ‌تر ← اسید قوی‌تر) در دمای یکسان هر چه بزرگ‌تر باشد، رسانایی الکتریکی محلول بیشتر است. مقدار K در دمای ثابت برای هر تعادل ثابت است.

SanjeshCloud

مقایسهٔ قدرت اسیدها:

- قدرت برخی اسیدها برحسب مقدار K_a در دمای اتاق به صورت زیر است:

قدرت اسیدی (مقدار K_a):

$$HI > HBr > HCl > H_2SO_4 > HNO_3 > HF > HNO_2 > HCOOH > CH_3COOH > H_2CO_3 > HCN$$

- در دمای ثابت و غلظت یکسان، سرعت واکنش با فلزها در اسیدهای قوی بیشتر از اسیدهای ضعیف است. به عنوان مثال:

سرعت واکنش در دما و غلظت یکسان: $(HCl + Mg) > (HF + Mg) > (HCN + Mg)$

نکته باران اسیدی شامل سولفوریک اسید (H_2SO_4) و نیتریک اسید (HNO_3) است، در حالی که باران معمولی شامل کربنیک اسید (H_2CO_3) است. غلظت یون هیدرونیوم در انواع باران‌ها متفاوت است. در شرایط یکسان:

باران معمولی < باران اسیدی : $[H^+]$

ثابت یونش برخی اسیدها در دمای اتاق

جدول زیر، ثابت یونش معروف‌ترین اسیدهای قوی و ضعیف و معادلهٔ یونش آن‌ها را نشان می‌دهد:

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش	معادلهٔ یونش در آب
هیدرویدیک اسید	HI	بسیار بزرگ	$HI(aq) \rightarrow H^+(aq) + I^-(aq)$
هیدروبرمیک اسید	HBr	بسیار بزرگ	$HBr(aq) \rightarrow H^+(aq) + Br^-(aq)$
هیدروکلریک اسید	HCl	بسیار بزرگ	$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$
سولفوریک اسید	H_2SO_4	بسیار بزرگ	$H_2SO_4(aq) \rightarrow H^+(aq) + HSO_4^-(aq)$
نیتریک اسید	HNO_3	بزرگ	$HNO_3(aq) \rightarrow H^+(aq) + NO_3^-(aq)$

SanjeshCloud

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش	معادلهٔ یونش در آب
فلوئوریک اسید	HF	$۵/۹\times۱۰^{-۴}$	$HF(aq) \rightleftharpoons H^+(aq)+F^-(aq)$
نیترو اسید	$HNO_۲$	$۴/۵\times۱۰^{-۴}$	$HNO_۲(aq) \rightleftharpoons H^+(aq)+NO_۲^-(aq)$
فورمیک اسید	$HCOOH$	$۱/۸\times۱۰^{-۴}$	$HCOOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq)+HCOO^-(aq)$
استیک اسید	$CH_۳COOH$	$۱/۸\times۱۰^{-۵}$	$CH_۳COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq)+CH_۳COO^-(aq)$
هیدروسیانیک اسید	HCN	$۴/۹\times۱۰^{-۱۰}$	$HCN(aq) \rightleftharpoons H^+(aq)+CN^-(aq)$

pH، مقیاسی برای تعیین میزان اسیدی‌بودن

با توجه به این‌که غلظت H^+ در محلول‌های آبی معمولاً عددی بسیار کوچک است، به جای گزارش غلظت H^+ از pH استفاده می‌شود.

تعریف: pH مقیاسی برای تعیین میزان اسیدی‌بودن محلول‌ها است که طبق قرارداد در دمای $۲۵\ ^\circ C$ معمولاً عددی در گسترهٔ صفر تا ۱۴ را در بر می‌گیرد:

$$pH=-\log[H^+] \Rightarrow [H^+]=۱۰^{-pH}$$

مثال: غلظت یون هیدرونیوم در محلولی با $pH=۴/۷$ کدام است؟

۱) ۲×۱۰^{-۴} ۲) ۳×۱۰^{-۴}

۳) ۲×۱۰^{-۵} ۴) ۳×۱۰^{-۵}

پاسخ: گزینهٔ «۳»

$$pH=۴/۷ \Rightarrow [H^+]=۱۰^{-pH}=۱۰^{-۴/۷}=۱۰^{+۰/۳}\times۱۰^{-۵}$$
$$=۲\times۱۰^{-۵}\ mol.L^{-۱}$$

- مقدار pH یک محلول در دمای اتاق به غلظت یون H^+ در محلول بستگی دارد. به طور کلی در محلول‌های اسیدی $\Leftarrow pH<۷$، خنثی $\Leftarrow pH=۷$، بازی $\Leftarrow pH>۷$

SanjeshCloud

■ در تمام محلول‌های اسیدی، بازی و خنثی همواره مقادیری از یون‌های H^+ و OH^- وجود دارد، به طوری که می‌توان گفت حتی در محلول‌های اسیدی قوی مقدار ناچیزی یون OH^- و در محلول‌های بازی قوی نیز مقدار ناچیزی یون هیدرونیوم وجود دارد.

■ هر اندازه غلظت یکی از یون‌های هیدرونیوم یا هیدروکسید در محلولی بیشتر شود، به همان نسبت از دیگری کاسته خواهد شد تا همواره حاصل‌ضرب غلظت این یون‌ها در دمای اتاق برابر 10^{-14} شود:

در دمای $25\ ^\circ C$: $[H^+].[OH^-] = 10^{-14}$

نکته: هر چه pH کوچک‌تر باشد، محلول خاصیت اسیدی بیشتر و هر چه pH بزرگ‌تر باشد، محلول خاصیت بازی بیشتری دارد.

حاصل‌ضرب یون‌های آب

■ تجربه نشان می‌دهد در دمای اتاق، حتی آب خالص دارای مقادیری از یون‌های H^+ و OH^- است. یون‌های H^+ و OH^- در آب خالص، براساس معادلهٔ برگشت‌پذیر روبه‌رو می‌شوند: $H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$

تجربه نشان داده است که در دمای اتاق، حاصل‌ضرب یون‌های حاصل از تفکیک آب برابر 10^{-14} است:

$$[H^+][OH^-] = 1\times10^{-14}\ mol^2.L^{-2}$$

می‌توان از رابطهٔ بالا برای محاسبهٔ غلظت هر یک از یون‌های H^+ و OH^- در انواع محلول‌های اسیدی، بازی و خنثی بهره گرفت:

$$[OH^-] = \frac{1\times10^{-14}}{[H^+]} \quad , \quad [H^+] = \frac{1\times10^{-14}}{[OH^-]}$$

مثال: افزودن مقداری اسید به آب خالص در دمای اتاق، غلظت یون هیدرونیوم را به 10^{-4} مول بر لیتر می‌رساند. در محلول حاصل، غلظت یون هیدروکسید چند برابر غلظت یون هیدرونیوم در آب خالص است؟

۱) 10^{3} ۲) 10^{-3}

۳) 10^{6} ۴) 10^{-6}

پاسخ: گزینهٔ «۲»

$$[H^+]_{\text{محلول}} = 10^{-4}\ mol.L^{-1} \Rightarrow [OH^-]_{\text{محلول}} = \frac{1\times10^{-14}}{10^{-4}}$$

$$= 1\times10^{-10}\ mol.L^{-1}$$

غلظت یون هیدرونیوم در آب خالص برابر 10^{-7} است؛ بنابراین:

$$\frac{[OH^-]_{\text{محلول}}}{[H^+]_{\text{آب خالص}}} = \frac{1\times10^{-10}}{10^{-7}} = 10^{-3}$$

بازها محلول‌هایی با $7 < pH < 14$

- موادی مانند سود سوزآور (NaOH) و پتاس سوزآور (KOH) بازهایی بسیار قوی و از جمله مواد خورنده به شمار می‌روند.
- بازها نیز همانند اسیدها ثابت یونش دارند که آن را با K_b نشان می‌دهند. مقدار K_b نیز همانند K_a به دمای محلول بستگی دارد.
- به معادلهٔ یونش یک باز قوی و یک باز ضعیف توجه کنید:

$$KOH(s) \xrightarrow{H_2O} K^+(aq) + OH^-(aq)\ ,\ K_b = \text{بسیار بزرگ}$$

$$NH_4OH(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)\ ,\ K_b = \text{کوچک}$$

انحلال آمونیاک در آب

- آمونیاک (NH_3) به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی در آب، به طور عمده به شکل مولکولی حل می‌شود و از این رو می‌توان برای آن فرمول $NH_4OH(aq)$ را در نظر گرفت که در این صورت به آن آمونیوم هیدروکسید نیز گفته می‌شود.
- آمونیاک به طور جزئی در آب یونیده می‌شود و یک سامانهٔ تعادلی به وجود می‌آورد.

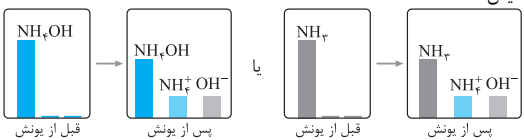
$$NH_4OH(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

$$K_b(NH_4OH) = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_4OH]}$$

یا

$$K_b(NH_3) = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

نمودار یونش جزئی آمونیاک در آب را می‌توان به صورت یکی از شکل‌های زیر نمایش داد:



قبل از یونش — پس از یونش — قبل از یونش — پس از یونش

بازهای قوی و ضعیف

توجه: محلول NH_4OH را می‌توان معادل $NH_3(aq)$ در نظر گرفت. به عبارتی $NH_3(aq) \equiv NH_4OH(aq)$.

SanjeshCloud

■ در دما و غلظت یکسان هر چه K_b برای یک باز بزرگ‌تر باشد، می‌توان گفت: ۱- آن باز قوی‌تر است. ۲- غلظت یون هیدروکسید (OH^-) در محلول آن بیشتر است. ۳- رسانایی الکتریکی محلول آن بیشتر است. ۴- pH محلول آن بزرگ‌تر و به ۱۴ نزدیک‌تر است. ۵- درجهٔ یونش و درصد یونش آن بیشتر است. ۶- خاصیت خورندگی آن بالاتر است.

دسته‌بندی بازها با توجه به مقدار K_b آن‌ها

- بازهای قوی
  - مثال: هیدروکسیدهای گروه ۱ از جمله **NaOH، KOH** و ... هم‌چنین برخی هیدروکسیدهای گروه ۲ مثل $Ba(OH)_2$ و $Ca(OH)_2$.
  - به‌طور کامل یونیده می‌شوند. $(\alpha \simeq 1)$
  - مقدار K_b آن‌ها بسیار بزرگ است.
- بازهای ضعیف
  - مثال: محلول آمونیاک (NH_3) که به عنوان شیشه‌پاک‌کن نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.
  - به طور جزئی یونیده می‌شوند. $(0 < \alpha < 1)$
  - مقدار K_b آن‌ها کوچک است.

شوینده‌های خورنده چگونه عمل می‌کنند؟

خنثی‌شدن اسید و باز

■ اسیدها و بازها با هم واکنش می‌دهند. در واکنش بین HCl و NaOH، اگر غلظت یون H^+ در محلول HCl با غلظت یون OH^- در محلول NaOH برابر باشد، یکدیگر را خنثی کرده و محلولی خنثی با $pH = 7$ تشکیل می‌دهند:

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow H_2O(l) + Na^+(aq) + Cl^-(aq)$$

در واکنش بین HCl و NaOH، یون‌های Na^+ و Cl^- در واکنش خنثی‌شدن اسید و باز شرکت نمی‌کنند و دست‌نخورده باقی می‌مانند.

تعریف: به ترکیب‌شدن یون‌های $H^+(aq)$ اسید و $OH^-(aq)$ باز، که منجر به تولید مولکول آب (H_2O) می‌شود، واکنش **خنثی‌شدن اسید و باز** گفته می‌شود.

$$\underset{\text{از اسید}}{H^+(aq)} + \underset{\text{از باز}}{OH^-(aq)} \rightarrow H_2O(l)$$

■ در واکنش خنثی‌شدن اسید و باز، علاوه بر تشکیل آب، یون‌های موجود در محلول نیز نمکی را تشکیل می‌دهند که معمولاً در آب محلول است.

آب + نمک ⟵ باز + اسید

SanjeshCloud

مثال: $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

برخی کاربردهای واکنش خنثی‌شدن اسید و باز: ۱) پاک‌کردن لکه‌ها از محیط توسط شوینده‌های خورنده ۲) بازکردن مجاری لوله‌های مسدودشدهٔ حاوی رسوبات کربناتی (آهکی و گچی) ۳) بازکردن مجاری لوله‌های فاضلاب‌ها حاوی چربی‌ها و سایر رسوبات مواد غذایی ۴) خنثی‌کردن اسید اضافی معده و کاهش درد آن و درمان ترشی دهان توسط ضداسیدهایی مثل منیزیم هیدروکسید، جوش‌شیرین و ... .

عملکرد شوینده‌های خورنده

■ واکنش خنثی‌شدن اسید و باز، مبنایی برای عملکرد شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها است.

۱- می‌توان مسیر لوله‌ای که با **اسیدهای چرب** مسدود شده را با محلول غلیظ یک باز قوی مانند سدیم هیدروکسید (لوله‌بازکن) باز کرد، معادلهٔ واکنش انجام‌شده به صورت زیر است:

$$\underset{\text{اسید چرب}}{RCOOH(s)} + \underset{\substack{\text{سدیم هیدروکسید}\\ \text{(پاک‌کنندهٔ خورنده)}}}{NaOH(aq)} \rightarrow \underset{\substack{\text{نمک اسید چرب (صابون)}\\ \text{(پاک‌کنندهٔ صابونی)}}}{RCOONa(aq)} + H_2O(l)$$

نکته: فراوردهٔ حاصل از واکنش فوق، خود نوعی پاک‌کننده (صابون) است که در آب پخش می‌شود و می‌تواند چربی‌های اضافی را بزداید.

۲- برای بازکردن لوله‌ها و مجاری مسدودشده توسط **رسوب‌هایی با خاصیت بازی** (مانند رسوب‌های کربناتی)، می‌توان از محلول غلیظ هیدروکلریک اسید نیز استفاده کرد. در این فرایند، اسید با رسوب‌ها واکنش داده و فراورده‌های محلول در آب یا گازی‌شکل تولید می‌کند و سبب جرم‌گیری لوله‌ها و مجاری می‌شود.

رسوب‌های کربناتی + هیدروکلریک اسید غلیظ $\rightarrow$
فراورده‌های گازی‌شکل و یا محلول در آب

مثال:

$$2HCl(aq) + \underset{\text{کلسیم کربنات}}{CaCO_3(s)} \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

■ به طور کلی، شوینده‌های خورنده از جمله لوله‌بازکن‌ها مانند جوهرنمک (HCl) و سود سوزآور ($NaOH$)، رسوب‌ها، لکه‌ها و کثیفی‌های محیط (مجاری لوله‌ها) را به مواد محلول در آب و یا مواد گازی‌شکل تبدیل کرده و بدین شکل سبب پاک‌شدن محیط و جرم‌گیری لوله‌ها می‌شوند.

۲ نکته در مورد شوینده‌های بازی: ۱- برای افزایش قدرت پاک‌کردن چربی‌ها، به شوینده‌ها، مقداری جوش‌شیرین ($NaHCO_3$) می‌افزایند، زیرا این ترکیب خاصیت بازی داشته، با چربی‌ها وارد واکنش شده و ضمن حل کردن آن‌ها سبب تولید پاک‌کننده‌های صابونی نیز می‌شود. ۲- در برخی شیشه‌پاک‌کن‌ها از محلول آمونیاک به عنوان یک باز ضعیف برای پاک‌کردن لکه‌های روی شیشه‌ها استفاده می‌شود.

SanjeshCloud

اسید معده

در بدن انسان بالغ، روزانه ۲ تا ۳ لیتر شیرهٔ معده تولید می‌شود که غلظت یون هیدرونیم در آن حدود $0/03\ mol.L^{-1}$ است.

شیرهٔ معده دارای HCl است که افزایش بیش از حد آن، سبب درد، التهاب و گاهی خونریزی معده می‌شود.

اسید معده (HCl) سبب کاهش pH محیط و اسیدی‌شدن و ترش‌کردن معده و دهان می‌شود.

مصرف غذاها و داروهای اسیدی سبب تشدید بیماری‌های معده می‌شوند.

ضداسیدها با خاصیت بازی سبب خنثی‌کردن بخشی از اسید معده و افزایش pH محیط می‌شوند و برای درمان سوزش و زخم معده و کاهش درد آن استفاده می‌شوند.

■ جدول زیر فرمول و نام مادهٔ مؤثر چند ضداسید را نشان می‌دهد:

فرمول مادهٔ مؤثر ضداسید	$Mg(OH)_2$	$Al(OH)_3$	$NaHCO_3$
نام شیمیایی ترکیب	منیزیم هیدروکسید	آلومینیم هیدروکسید	سدیم هیدروژن‌کربنات (جوش‌شیرین)

داروهای ضداسید شامل یک یا چند ترکیب بازی هستند که در هنگام مصرف با اسید معده (HCl) طی واکنش خنثی‌شدن، سبب کاهش درد معده می‌شوند. به عنوان نمونه:

$$2HCl(aq) + Mg(OH)_2(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + 2H_2O(l)$$

اسید معده

فصل دوم

الکتروشیمی

■ رعدوبرق (آذرخش): از جمله پدیده‌های طبیعی است که از ماهیت الکتریکی ماده سرچشمه گرفته و در آن بخشی از انرژی این پدیده به صورت انرژی الکتریکی بین دو ابر باردار یا بین ابر و زمین جاری می‌شود.

■ از جمله فناوری‌هایی که از طریق الکتروشیمی سبب **افزایش سطح رفاه و آسایش جامعه** شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- ساخت انواع باتری‌ها ۲- ساخت لوله‌های فلزی انتقال آب ۳- ساخت قوطی‌های محتوی مواد غذایی ۴- ساخت لوازم آشپزی که در برابر خوردگی مقاوم هستند و مانع از آلودگی آب و مواد غذایی می‌شوند. ۵- کسب اطمینان از کیفیت تولید فراورده‌های دارویی، بهداشتی، غذایی و ...

SanjeshCloud

انجام واکنش با سفر الکترون

یکی از راه‌های بهره‌گیری از انرژی شیمیایی ذخیره‌شده در فلزها، **اتصال آن‌ها** در **شرایط مناسب** به یکدیگر است؛ مانند **باتری لیمویی** که در آن دو تیغه از جنس مس و روی در محیط اسیدی عصارهٔ لیمو (الکترولیت)، در شرایط مناسب به کمک یک مدار به هم متصل شده و یک لامپ LED را روشن می‌کند.



نیم‌واکنش‌های اکسایش ـ کاهش:

■ تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی شیمیایی و برعکس از طریق واکنش‌های **اکسایش ـ کاهش** رخ می‌دهد.

تعریف: به واکنشی که با دادوستد الکترون بین دو گونه اکسنده و کاهنده انجام می‌شوند، واکنش اکسایش ـ کاهش گفته می‌شود.

در هر واکنش اکسایش ـ کاهش، گونه‌های شیمیایی، الکترون **دادوستد** می‌کنند، به طوری که:

در نیم‌واکنش اکسایش؛ یک گونه **با از دست دادن الکترون**، اکسایش می‌یابد.

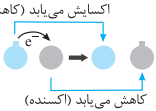
مثال: $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

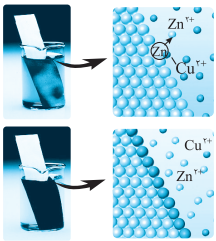
در نیم‌واکنش کاهش؛ یک گونه **با گرفتن الکترون**، کاهش می‌یابد.

مثال: $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$

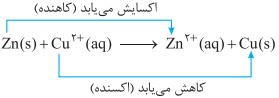
■ در یک واکنش اکسایش ـ کاهش، به گونه‌ای که اکسایش می‌یابد، **کاهنده** و به گونه‌ای که کاهش می‌یابد، **اکسنده** می‌گویند. (نقش و عمل برعکس هم هستند.)

مثال: بررسی واکنش تیغهٔ روی با محلول مس (II) سولفات





هرگاه تیغه‌ای از فلز روی (Zn) درون محلول مس (II) سولفات آبی‌رنگ قرار گیرد، در اثر واکنش شیمیایی زیر، به تدریج از شدت رنگ محلول کاسته می‌شود و فلز مس روی تیغهٔ Zn رسوب می‌کند:



SanjeshCloud

اکسنده: ماده‌ای که با گرفتن الکترون، خودش کاهش یافته و سبب اکسایش گونهٔ دیگر می‌شود. در مثال بالا کاتیون Cu^{2+} با گرفتن ۲ الکترون از اتم Zn، خودش کاهش یافته و سبب اکسایش اتم Zn می‌شود؛ بنابراین Cu^{2+} اکسنده است.

کاهنده: ماده‌ای که با از دست دادن الکترون، خودش اکسایش یافته و سبب کاهش گونهٔ دیگر می‌شود. هر یک از اتم‌های **Zn** با دادن ۲ الکترون به هر یک از یون‌های Cu^{2+}، خودشان اکسایش یافته و سبب کاهش یون‌های Cu^{2+} شده‌اند.

نیم‌واکنش‌های واکنش Zn ـ Cu تیغهٔ روی با محلول مس (II) سولفات

نیم‌واکنش اکسایش: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq)+2e^-$

نیم‌واکنش کاهش: $Cu^{2+}(aq)+2e^- \rightarrow Cu(s)$

واکنش کلی: $Zn(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq)+Cu(s)$

نکته: **اغلب فلزها** کاهنده و **اغلب نافلزها** اکسنده هستند. فلزها اغلب در واکنش با نافلزها یک یا چند الکترون خود را به نافلزها داده و ضمن اکسیدشدن به کاتیون تبدیل می‌شوند. نافلزها نیز تمایل دارند با گرفتن یک یا چند الکترون از فلزها، کاهش یافته و به آنیون تبدیل شوند.

مثال:

$$4Na(s)+O_2(g) \xrightarrow{4e^-} 2Na_2O(s)$$

نیم‌واکنش اکسایش: $4\times(Na(s) \rightarrow Na^+(s)+1e^-)$

نیم‌واکنش کاهش: $O_2(g)+4e^- \rightarrow 2O^{2-}(s)$

توجه: با توجه به این‌که ضریب الکترون در نیم‌واکنش کاهش عدد ۴ است، نیم‌واکنش اکسایش روی را در عدد ۴ ضرب می‌کنیم تا ضرایب الکترون‌ها برابر شده و موازنهٔ واکنش به درستی انجام شود.

توجه: در چند صفحهٔ بعدی با روش موازنه‌کردن واکنش‌های اکسایش ـ کاهش آشنا می‌شوید.

نکته: در هر واکنش شیمیایی اکسایش ـ کاهش:

در گونهٔ کاهش‌یافته (اکسنده): الکترون کسب می‌شود. **در گونهٔ اکسایش‌یافته** (کاهنده): الکترون از دست داده می‌شود.

اکسایش ⇔ از دست دادن الکترون ⇔ افزایش بار الکتریکی (مثبت‌تر شدن)

مثال: $Na(s) \rightarrow Na^+(aq)+1e^-$

کاهش ⇔ گرفتن الکترون ⇔ کاهش بار الکتریکی (منفی‌تر شدن)

SanjeshCloud

مثال:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$$

تشخیص گونه‌های اکسنده و کاهنده:

برای تشخیص عوامل اکسنده و کاهنده و هم‌چنین نوشتن نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش در یک واکنش، باید به تغییر بار الکتریکی گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش توجه کرد. به مثال‌های زیر توجه کنید:

مثال ۱، واکنش بین تیغهٔ آلومینیم و محلول حاوی کاتیون‌های Cu^{2+}:

نیم‌واکنش‌های موازنه‌شدهٔ واکنش عبارت‌اند از:

نیم‌واکنش اکسایش: $2 \times (Al(s) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3e^-)$

نیم‌واکنش کاهش: $3 \times (Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s))$

افزایش بار الکتریکی از صفر به ۳+ ⟸ اکسایش (کاهنده)

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

کاهش بار الکتریکی از ۲+ به صفر ⟸ کاهش (اکسنده)

نکته، در این واکنش $6e^-$ بین دو اتم Al و سه کاتیون Cu^{2+} مبادله شده است. به عبارتی: ۲ اتم Al در مجموع تعداد ۶ الکترون به ۳ کاتیون Cu^{2+} داده‌اند.

یادآوری، در نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش معادلهٔ قبل، به منظور موازنهٔ الکترون‌ها و هم‌ضریب شدن آن‌ها، معادلهٔ اول را در عدد ۲ و معادلهٔ دوم را در عدد ۳ ضرب کرده‌ایم.

مثال ۲، واکنش بین کاتیون‌های Cr^{3+} و Fe^{2+}:

نیم‌واکنش‌ها در واکنش فوق عبارت‌اند از:

نیم‌واکنش کاهش: $2 \times (Cr^{3+}(aq) + 1e^- \rightarrow Cr^{2+}(aq))$

نیم‌واکنش اکسایش: $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$

کاهش بار الکتریکی از ۳+ به ۲+ ⟸ کاهش (اکسنده)

$$2Cr^{3+}(aq) + Fe(s) \longrightarrow 2Cr^{2+}(aq) + Fe^{2+}(aq)$$

افزایش بار الکتریکی از صفر به ۲+ ⟸ اکسایش (کاهنده)

نکته، در این واکنش به ازای هر اتم آهن و دو اتم کروم، $2e^-$ مبادله شده است. یعنی یک اتم **Fe** در مجموع با دادن دو الکترون به دو کاتیون Cr^{3+} سبب کاهش آن شده‌اند.

جاری‌شدن انرژی با سفر الکترون

برخی واکنش‌های اکسایش ـ کاهش به طور طبیعی انجام می‌شوند. در این دسته از واکنش‌ها، افزون بر دادوستد الکترون، مقداری انرژی نیز به شکل گرما، نور، صوت و یا الکتریسیته با محیط مبادله می‌شود.

SanjeshCloud

مثال ۱: در گذشته از واکنش سوختن منیزیم برای منبع نور در عکاسی استفاده می‌شد.

اکسایش (تغییر بار از صفر به +۲)

$$۲Mg(s) + O_۲(g) \longrightarrow ۲MgO(s) + \text{گرما و نور}$$

کاهش (تغییر بار از صفر به −۲)

نیم‌واکنش‌های سوختن منیزیم در اکسیژن خالص عبارت‌اند از:

فلز منیزیم اکسایش یافته است. نیم‌واکنش اکسایش آن:

$$۲\times(Mg(s) \rightarrow Mg^{۲+}(s) + ۲e^-)$$

مولکول اکسیژن کاهش یافته است. نیم‌واکنش کاهش آن:

$$O_۲(g) + ۴e^- \rightarrow ۲O^{۲-}(s)$$

یادآوری: در این واکنش، فلز منیزیم به عنوان عامل کاهنده و مولکول‌های اکسیژن $(O_۲)$ به عنوان عامل اکسنده، ایفای نقش می‌کنند.

مثال ۲: از واکنش میان فلزهایی مانند روی، آهن، آلومینیم و ... با محلول مس (II) سولفات، مقداری انرژی به شکل **گرما** آزاد می‌شود و سبب افزایش دمای محلول می‌شود.

$$۲Al(s) + ۳Cu^{۲+}(aq) \rightarrow ۲Al^{۳+}(aq) + ۳Cu(s) + \text{گرما}$$

نکته: گرمای آزادشده در واکنش، سبب افزایش دمای محلول می‌شود. به عبارت دیگر تغییر دمای محلول، نشانهٔ آزادشدن گرما و انجام واکنش شیمیایی است. در این واکنش رنگ آبی محلول به مرور زمان از بین می‌رود که نشانهٔ کاهش کاتیون‌های $Cu^{۲+}$ و تبدیل آن‌ها به اتم‌های قرمزرنگ Cu است.





مقایسهٔ قدرت کاهندگی فلزها

تمایل فلزها برای از دست دادن الکترون (اکسایش‌یافتن) در محلول‌های آبی یکسان نیست؛ بنابراین فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند.

در شرایط یکسان، هر چه گرمای آزادشده از یک واکنش بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ تمایل بیشتر گونه‌ها برای انجام واکنش اکسایش ـ کاهش است. به عنوان مثال، تغییر دمای واکنش روی با محلول مس (II) بیشتر از واکنش آهن با محلول مس (II) است که نشان می‌دهد تمایل فلز روی برای از دست دادن الکترون، بیشتر از فلز آهن است.

واکنش‌پذیری و تمایل برای اکسایش (کاهندگی): $Zn > Fe > Cu$

- تغییر دمای مخلوط چند تیغهٔ فلزی با محلول ۱ مولار مس (II) سولفات در دمای ۲۰ °C، در جدول زیر با هم مقایسه شده‌اند.

SanjeshCloud

نام فلز	معادلهٔ واکنش	دمای مخلوط پس از مدتی	تغییر دمای مخلوط	قدرت کاهندگی (تمایل برای اکسایش)
آهن	$Fe(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq)+Cu(s)$	۲۳ °C	$\Delta T = ۳\ ^\circ C$	Fe > Cu
طلا	$Au(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow$ ✗ انجام نمی‌شود.	۲۰ °C	$\Delta T = ۰\ ^\circ C$	Cu > Au
روی	$Zn(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq)+Cu(s)$	۲۶ °C	$\Delta T = ۶\ ^\circ C$	Zn > Cu
مس	$Cu(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow$ ✗	۲۰ °C	$\Delta T = ۰\ ^\circ C$	Cu = Cu
آلومینیم	$۲Al(s)+۳Cu^{2+}(aq) \rightarrow ۲Al^{3+}(aq)+۳Cu(s)$	۳۰ °C	$\Delta T = ۱۰\ ^\circ C$	Al > Cu
لیتیم	$۲Li(s)+Cu^{2+}(aq) \rightarrow ۲Li^{+}(aq)+Cu(s)$	۳۴ °C	$\Delta T = ۱۴\ ^\circ C$	Li > Cu

نتیجهٔ کلی، با توجه به تغییر دمای محلول‌ها می‌توان نوشت:

قدرت کاهندگی (تمایل برای اکسایش):

$Li > Al > Zn > Fe > Cu > Au$

انجام طبیعی یک واکنش

با قراردادن یک تیغهٔ فلزی درون هر محلولی نباید انتظار انجام یک واکنش طبیعی اکسایش ـ کاهش را داشت.

اگر تیغهٔ یک فلز را درون محلول کاتیون فلز دیگری قرار دهیم به شرطی واکنش انجام می‌شود که قدرت کاهندگی تیغهٔ فلزی از فلز مربوط به کاتیون محلول بیشتر باشد. به عنوان مثال چون کاهندگی فلز آهن نسبت به مس بیشتر است، تیغهٔ آهنی با محلول Cu^{2+} واکنش می‌دهد اما فلز مس با محلول Fe^{2+} واکنش نمی‌دهد؛ یعنی:

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

۲) $Cu(s) + Fe^{2+}(aq) \rightarrow$ ✗ واکنش نمی‌دهد.

نکتهٔ مهم: مقایسهٔ قدرت اکسندگی کاتیون‌های فلزی برعکس مقایسهٔ قدرت کاهندگی اتم‌های فلزی است.

هر چه قدرت کاهندگی یک فلز بیشتر باشد، برعکس تمایل کاتیون آن برای کاهش‌یافتن (گرفتن الکترون) کم‌تر است. به عنوان مثال:

قدرت کاهندگی: $Li > Al > Zn > Fe > Cu > Au$

تمایل برای کاهش (اکسندگی): $Li^{+} < Al^{3+} < Zn^{2+} < Fe^{2+} < Cu^{2+} < Au^{3+}$

موازنهٔ واکنش‌های اکسایش ـ کاهش

برای موازنهٔ واکنش‌های اکسایش یا کاهش می‌توانیم مراحل زیر را به ترتیب انجام دهیم:

۱- **موازنهٔ اتم‌ها در هر نیم‌واکنش:** ابتدا به روش وارسی تعداد اتم‌های نیم‌واکنش را موازنه می‌کنیم. مثلاً در سوختن منیزیم داریم:

نیم‌واکنش اکسایش: $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(s)$

نیم‌واکنش کاهش: $O_2(g) \rightarrow 2O^{2-}(s)$

۲- **موازنهٔ بارهای الکتریکی در هر نیم‌واکنش:** پس از موازنهٔ اتم‌ها، باید بارهای الکتریکی نیز موازنه شوند. برای این کار به طرفی که مثبت‌تر است به تعداد نیاز، الکترون می‌دهیم:

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

$O_2(g) + 4e^{-} \rightarrow 2O^{2-}(s)$

۳- **هم‌ضریب کردن الکترون‌ها در نیم‌واکنش‌ها:** نیم‌واکنش(ها) را در عدد مناسب ضرب می‌کنیم تا تعداد الکترون‌ها در دو نیم‌واکنش برابر شود و با هم حذف شوند.

$\xrightarrow{\times 2} (Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(s) + 2e^{-})$

$(O_2(g) + 4e^{-} \rightarrow 2O^{2-}(s))$

SanjeshCloud

۴- **جمع‌کردن نیم‌واکنش‌ها**: برای به دست آوردن واکنش کلی، نیم‌واکنش‌ها را با هم جمع می‌کنیم تا الکترون‌ها از بین بروند:

$$2Mg(s) \rightarrow 2Mg^{2+}(s) + 4e^-$$
$$+ \quad O_2(g) + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}(s)$$
$$2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow \underbrace{2Mg^{2+}(s) + 2O^{2-}(s)}_{2MgO(s)}$$

واکنش کلی: $2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$

واکنش‌های شیمیایی و سفر هدایت‌شدهٔ الکترون‌ها

■ با ایجاد شرایط مناسب می‌توان واکنش‌های اکسایش ـ کاهش را به گونه‌ای انجام داد تا به جای تولید گرما، از الکترون‌های دادوستد شده برای ایجاد **جریان الکتریسیته** استفاده کرد.

سلول‌های گالوانی

تعریف: سلول گالوانی، دستگاهی است که می‌تواند **براساس** قدرت کاهندگی فلزها (رقابت برای اکسایش‌یافتن)، انرژی الکتریکی تولید کند.

■ شیمی‌دان‌ها برای تولید جریان الکتریسیته از واکنش‌های اکسایش ـ کاهش، **سلول گالوانی** را طراحی کردند.

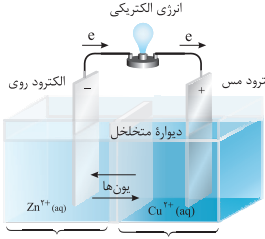
■ می‌توان **بخشی** از انرژی آزادشده در واکنش اکسایش ـ کاهش را به شکل **انرژی الکتریکی** در دسترس تبدیل کرد و یک نوع باتری تهیه کرد. برای این کار کافی است به جای دادوستد مستقیم الکترون‌ها، بین گونه‌های اکسایش و کاهش یافته، الکترون‌ها را از طریق یک مدار بیرونی هدایت و جابه‌جا کرد.

نکته: در سلول‌های گالوانی: انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

مفهوم نیم‌سلول:

هر سلول گالوانی از دو نیم‌سلول تشکیل شده است.

نیم‌سلول: هرگاه یک تیغهٔ فلزی را درون محلول دارای کاتیون آن فلز قرار دهیم یک نیم‌سلول تشکیل می‌شود. هر سلول گالوانی از دو نیم‌سلول آندی و کاتدی تشکیل شده است.



SanjeshCloud

به شکل سلول گالوانی **Zn ـ Cu** و نیم‌سلول‌های آن توجه کنید:

نیم‌سلول‌های سلول گالوانی **Zn ـ Cu** عبارت‌اند از:

نیم‌سلول آندی: در آن اتم‌های فلز روی **اکسایش** می‌یابند و به کاتیون‌های Zn^{2+} تبدیل می‌شوند: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

تعریف: نیم‌سلولی که در آن نیم‌واکنش اکسایش رخ می‌دهد، نیم‌سلول آندی گفته می‌شود.

نیم‌سلول کاتدی: در آن کاتیون‌های Cu^{2+}، **کاهش** می‌یابند و به اتم‌های **Cu** تبدیل می‌شوند: $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

تعریف: نیم‌سلولی که در آن نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد، نیم‌سلول کاتدی گفته می‌شود.

چند نکتهٔ مهم در مورد سلول‌های گالوانی:

۱- نیم‌واکنش اکسایش در **آند** و نیم‌واکنش کاهش در **کاتد** رخ می‌دهد.

۲- الکترود آند قطب منفی و الکترود کاتد، قطب مثبت سلول را تشکیل می‌دهد.

۳- در مدار بیرونی، حرکت الکترون‌ها از آند به سمت کاتد انجام شده و سبب روشن‌شدن لامپ می‌شوند.

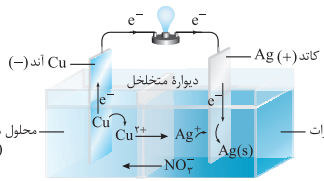
۴- با کارکردن سلول، از جرم تیغهٔ آندی (**Zn**) کاسته و بر جرم تیغهٔ کاتدی (**Cu**) افزوده می‌شود (آند لاغر و کاتد چاق می‌شود).

۵- در مدار درونی (محلول‌ها) کاتیون‌ها به سمت کاتد و آنیون‌ها به سمت آند حرکت می‌کنند.

۶- دیوارهٔ متخلخل با اجازهٔ عبور یون‌ها، به خنثی‌ماندن محلول‌ها کمک می‌کند.

سلول گالوانی مس ـ نقره

شکل زیر سلول گالوانی مس ـ نقره (Cu ـ Ag) را نشان می‌دهد. با دقت به شکل نگاه کنید و مسیر حرکت الکترون‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌ها را دنبال کنید:



نیم‌واکنش آندی (اکسایش): $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

نیم‌واکنش کاتدی (کاهش): $2 \times (Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s))$

واکنش کلی سلول: $Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

SanjeshCloud

چند نکته در مورد سلول گالوانی $Cu - Ag$ (با کارکردن سلول):

الکترود **Cu** نقش آند و الکترود **Ag** نقش کاتد را ایفا می‌کند.

اتم‌های Cu اکسایش و یون‌های Ag^+ کاهش می‌یابند.

الکترود Cu قطب منفی (−) و الکترود Ag قطب مثبت (+) سلول را تشکیل می‌دهد.

جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی از الکترود مس (آند) به سمت الکترود نقره (کاتد) است.

آنیون‌های NO_3^- با عبور از دیوارهٔ متخلخل، از نیم‌سلول کاتدی به سمت نیم‌سلول آندی حرکت می‌کنند.

کاتیون‌های Cu^{2+} با گذر از دیوارهٔ متخلخل از نیم‌سلول آندی به نیم‌سلول کاتدی مهاجرت می‌کنند.

با انجام واکنش به مرور زمان از جرم تیغهٔ مسی (آند) کاسته و بر جرم تیغهٔ نقره‌ای (کاتد) افزوده می‌شود.

دیوارهٔ متخلخل سلول‌های گالوانی:

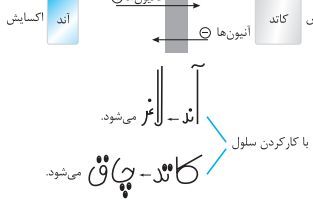
اگر در سلول‌های گالوانی، دیوارهٔ متخلخل وجود نداشته باشد، بعد از مدت کوتاهی جریان برق در مدار بیرونی قطع و لامپ خاموش می‌شود، زیرا برای ادامهٔ واکنش لازم است محلول‌های الکترولیت در آند و کاتد خنثی بمانند. بنابراین:

۱- آنیون‌ها از دیوارهٔ متخلخل عبور کرده و به محلول نیم‌سلول آندی مهاجرت می‌کنند. ۲- کاتیون‌ها از دیوارهٔ متخلخل عبور کرده و به سمت محلول نیم‌سلول کاتدی مهاجرت می‌کنند.

به طور کلی سه نقش دیوارهٔ متخلخل در سلول‌های گالوانی عبارت‌اند از:

۱- جلوگیری از مخلوط‌شدن مستقیم الکترولیت‌های آندی و کاتدی ۲- اجازهٔ مهاجرت یون‌های دو محلول برای خنثی‌کردن بار الکتریکی آن‌ها و ادامهٔ کارکردن سلول ۳- کامل‌کردن مدار الکتریکی به منظور تولید جریان برق

سلول گالوانی در یک شکل ساده:



SanjeshCloud

نیروی الکتروموتوری (emf یا E°)

هر سلول گالوانی ولتاژ مشخصی دارد و این ولتاژ ناشی از اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نیم‌سلول است.

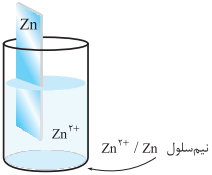
با این‌که هر سلول گالوانی **ولتاژ معینی** دارد اما تغییر در هر یک از اجزای سلول می‌تواند ولتاژ سلول را **تغییر دهد**؛ به عنوان مثال تغییر در غلظت محلول‌ها، تغییر در جنس الکترودها سبب تغییر ولتاژ (کاهش یا افزایش ولتاژ) سلول‌های گالوانی می‌شود.

تعریف: به اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نیم‌سلول، **نیروی الکتروموتوری** سلول گفته می‌شود.

■ نیروی الکتروموتوری با نماد **emf** و یا $E^\circ_{\text{سلول}}$ نشان داده می‌شود.

پتانسیل نیم‌سلول

یادآوری: هرگاه یک رسانای الکترونی (فلزی) در تماس با یک رسانای یونی (محلول الکترولیت دارای کاتیون‌های آن فلز) قرار گیرد، مجموعهٔ حاصل را نیم‌سلول می‌گویند.



مثل نیم‌سلول روی:

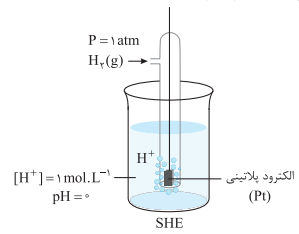
در نیم‌سلول‌ها، میان تیغه و محلول الکترولیت یک اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید که در واقع یک اختلاف ولتاژ است.

تعریف: اختلاف پتانسیل الکتریکی بین تیغه و محلول دارای کاتیون آن تیغه را **پتانسیل نیم‌سلول** می‌گویند.

■ اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول، به طور جداگانه ممکن نیست و باید **به طور نسبی** اندازه‌گیری شود. شیمی‌دان‌ها برای حل این مشکل نیم‌سلول استاندارد هیدروژن (**SHE**) را به عنوان مبنا انتخاب کردند و مقدار پتانسیل آن را برابر صفر در نظر گرفتند.

الکترود استاندارد هیدروژن (SHE)

به ساختار و ویژگی‌های مهم نیم‌سلول **SHE** در شکل و جدول زیر توجه کنید:



SanjeshCloud

محلول الکترولیت	اسید قوی با غلظت ۱ مولار
غلظت یون H^+	$1\ mol.L^{-1}$
pH محلول	۰
فشار گاز هیدروژن	$1\ atm = 760\ mmHg$
نیم‌واکنش تعادلی	$2H^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g)$
مقدار پتانسیل استاندارد قراردادی	۰/۰۰ V
دمای اندازه‌گیری	۲۵ °C

نکته: بنا به قرارداد، پتانسیل نیم‌سلول SHE برابر ۰/۰۰ ولت در نظر گرفته می‌شود.

سری الکتروشیمیایی

از وصل‌کردن هر نیم‌سلول استاندارد از عنصرها (محلول ۱ مولار در فشار ۱ atm و دمای $25^\circ C$) به نیم‌سلول **SHE** می‌توان یک سلول گالوانی استاندارد را تشکیل داد و بدین روش پتانسیل استاندارد نسبی بسیاری از نیم‌سلول‌ها را اندازه گرفت. از آن‌جایی که E° را برای **SHE** برابر صفر فرض کرده‌اند، ولتاژ هر سلول گالوانی که یک نیم‌سلول آن **SHE** باشد را می‌توان به نیم‌سلول متصل‌شده به **SHE** نسبت داد و آن را با نماد E° نشان داد.

مفهوم E°: عددی برحسب ولت است که میزان تمایل نسبی یک گونه را برای کاهش‌یافتن در برابر هیدروژن (**SHE**)، نشان می‌دهد.

نکتهٔ طلایی: E° **بزرگ‌تر (مثبت‌تر) ⟵ تمایل برای کاهش بیشتر ⟵ اکسندهٔ قوی‌تر**

بنا به قرارداد پتانسیل الکترودی استاندارد ($E^\circ_{\text{کاهش}}$) را به صورت پتانسیل نیم‌واکنش کاهشی گونه‌ها در نظر می‌گیریم، به این صورت که در هر نیم‌واکنش، الکترون‌ها در سمت چپ و گونهٔ کاهنده (دارای بار الکتریکی کم‌تر) در سمت راست معادله نوشته می‌شود.

مثال: کاهنده (دارای بار الکتریکی کم‌تر)

$$\text{گونهٔ کاهنده} \xrightarrow{\text{کاهش می‌یابد.}} \text{گونهٔ اکسنده} + n\bar{e} \quad , \quad E^\circ(V)$$

نکته: مقدار E° نیم‌سلول‌ها، در دما و فشار یکسان و محلول‌هایی با غلظت ۱ مولار اندازه‌گیری می‌شود.

SanjeshCloud

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

■ رتبه‌بندی فلزها به ترتیب **کاهش** E° آن‌ها در یک جدول، **سری الکتروشیمیایی** نامیده می‌شود.

پنج نکته در مورد سری الکتروشیمیایی: ۱- در سری الکتروشیمیایی، عنصرهایی با E° بزرگ‌تر (مثبت‌تر) در بالای جدول و عنصرهایی با E° کم‌تر (منفی‌تر) در پایین قرار می‌گیرند. ۲- در سری الکتروشیمیایی، تمام گونه‌های با E° مثبت، بالاتر از نیم‌سلول SHE (هیدروژن) و تمام گونه‌های با E° منفی، پایین‌تر از SHE قرار می‌گیرند. ۳- عنصرهایی که E° منفی دارند، قدرت کاهندگی بیشتری نسبت به H_2 دارند و عنصرهایی که E° مثبت دارند قدرت کاهندگی کم‌تری از H_2 دارند. ۴- در سری الکتروشیمیایی، گونه‌های سمت چپ نیم‌واکنش‌ها، برای کاهش‌یافتن (اکسنده‌بودن) و گونه‌های سمت راست نیم‌واکنش‌ها برای اکسایش‌یافتن (کاهنده‌بودن) در رقابت هستند. ۵- هر یک از نیم‌واکنش‌های جدول E°، بسته به شرایط انجام واکنش کلی، می‌تواند در جهت رفت یا برگشت انجام شوند.

مفهوم علامت E°

$E^\circ > 0$: فلزهایی که E° **مثبت** دارند، نشان‌دهندهٔ **تمایل بیشتر** کاتیون آن‌ها برای **کاهش‌یافتن** در برابر H^+ است؛ مانند: Cu^{2+}، Ag^+، Au^{3+} و ...

SanjeshCloud

$E^\circ < 0$: فلزهایی که E° **منفی** دارند کاتیون آن‌ها در برابر H^+ **تمایل کم‌تری** برای **کاهش‌یافتن** دارند و در برابر هیدروژن، **اکسایش** می‌یابند.

خلاصه این‌که فلزهای با:

- $E^\circ > 0 \Leftarrow$ در برابر **SHE** (هیدروژن) کاهش می‌یابند. (کاتیون آن فلز، اکسنده‌تر از H^+ است.)
- $E^\circ < 0 \Leftarrow$ از **SHE** (هیدروژن) کاهنده‌تر هستند. (فلز خنثای آن، کاهنده‌تر از H_2 است.)

نکتهٔ مهم: فلزهایی که E° منفی دارند، با محلول ۱ مولار هیدروکلریک اسید (HCl) (الکترولیت SHE)، وارد واکنش می‌شوند، بنابراین نمی‌توان محلول HCl را درون ظرف‌هایی نگه‌داری کرد که فلز سازندهٔ آن‌ها، E° منفی دارد. در عوض می‌توان محلول ۱ مولار HCl را درون ظروف فلزی با E° مثبت، مانند مس (Cu)، نقره (Ag)، پلاتین (Pt) و طلا (Au) نگه‌داری کرد.

برخی کاربردهای E° و سری الکتروشیمیایی

در این قسمت با ۴ کاربرد مهم سری الکتروشیمیایی آشنا می‌شوید که پرسش‌های زیادی از آن‌ها در امتحانات گوناگون و کنکور سراسری مطرح خواهد شد.

۱. مقایسهٔ قدرت اکسندگی و کاهندگی گونه‌ها:

در رقابت‌های الکترونی، گونه‌ای (کاتیونی) که E° بزرگ‌تری (مثبت‌تری) دارد، راحت‌تر کاهش یافته و اکسندهٔ قوی‌تری است. به عنوان مثال و با توجه به E° های داده‌شده می‌توان نوشت:

قدرت اکسندگی: $Ag^+ > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mg^{2+}$

E°: $+0/80 > +0/34 > -0/76 > -2/37$

هم‌چنین می‌توان گفت، فلز (اتم خنثی) با E° کم‌تر (منفی‌تر)، راحت‌تر اکسایش می‌یابد و کاهندهٔ قوی‌تری می‌باشد.

مثال:

قدرت کاهندگی: $Mg > Zn > Cu > Ag$

E°: $-2/37 > -0/76 > +0/34 > +0/80$

۲. تشخیص قطب‌های کاتد و آند سلول‌های گالوانی:

فلز با E° کم‌تر (منفی‌تر)، راحت‌تر اکسایش یافته و قطب آند (−) سلول را تشکیل می‌دهد. به عبارتی می‌توان گفت فلز با E° بزرگ‌تر (مثبت‌تر) قطب کاتد (+) سلول را تشکیل می‌دهد.

SanjeshCloud

مثال: با توجه به نیم‌واکنش‌های زیر، در سلول گالوانی Ag — Fe، کدام فلز قطب آند را تشکیل می‌دهد؟

$$Ag^{+}(aq) + 1e^{-} \rightarrow Ag(s) \quad , \quad E^{\circ} = 0/80\ V$$
$$Fe^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Fe(s) \quad , \quad E^{\circ} = -0/44\ V$$

پاسخ: مقدار E° آهن کم‌تر از نقره است، بنابراین الکترود آهن، قطب منفی سلول را تشکیل می‌دهد.

۳. محاسبهٔ emf سلول‌های گالوانی:

با داشتن E° نیم‌سلول‌ها و به کمک رابطهٔ زیر می‌توان emf یا E° سلول‌ها را محاسبه کرد.

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

مثال: مقدار emf سلول گالوانی تشکیل‌شده از الکترودهای نقره و منیزیم را محاسبه کنید.

$$(E^{\circ}(Ag^{+}/Ag) = 0/80\ V \ , \ E^{\circ}(Mg^{2+}/Mg) = -2/37\ V)$$

پاسخ:

$$emf = E^{\circ}_{\text{کاتد}} - E^{\circ}_{\text{آند}} = E^{\circ}_{\text{نقره}} - E^{\circ}_{\text{منیزیم}} = 0/80 - (-2/37)$$
$$\Rightarrow emf = 3/17\ V$$

هشدار: emf سلول‌های گالوانی همواره عددی مثبت است. در صورتی که مقدار emf را برای یک سلول گالوانی، عددی منفی به دست آوردید، در انتخاب کاتد و آند دچار خطا شده‌اید.

نکته: هر چه اختلاف E° بین دو فلز بیشتر باشد، در شرایط یکسان، اختلاف پتانسیل سلول گالوانی حاصل از آن‌ها ولتاژ بیشتری تولید خواهد کرد و emf بزرگ‌تری خواهد داشت.

مثال: در شرایط یکسان، emf کدام سلول گالوانی ولتاژ بیشتری دارد؟

$$E^{\circ}(V): Ag = 0/80\ ,\ Cu = 0/34\ ,\ Mg = -2/37\ ,\ Li = -3/05$$

۱) سلول Li ـ Mg
۲) سلول Li ـ Ag
۳) سلول Ag ـ Cu
۴) سلول Cu ـ Mg

پاسخ: گزینهٔ «۲» زیرا تفاوت E° آن‌ها بیشتر است.

$$E^{\circ}_{\text{سلول}} = E^{\circ}_{Ag} - E^{\circ}_{Li} = 0/80 - (-3/05) = +3/85\ V$$

SanjeshCloud

۴. پیش‌بینی انجام‌پذیری یک واکنش شیمیایی:

برای تشخیص این‌که آیا یک واکنش شیمیایی به طور طبیعی و به شکل نوشته‌شده، انجام‌پذیر است یا خیر، می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد:

$$E^\circ_{\text{واکنش}} = E^\circ_{(\text{عنصر کاهش‌یافته})} - E^\circ_{(\text{عنصر اکسایش‌یافته})}$$

در این روش، ابتدا باید طبق معادلهٔ داده‌شده، تشخیص داد که کدام عنصر کاهش یافته و کدام‌یک اکسایش، سپس به کمک رابطهٔ فوق، مقدار $E^\circ_{\text{واکنش}}$ را محاسبه کرد. چنانچه برای واکنش داده‌شده، علامت $E^\circ_{\text{واکنش}}$ مثبت باشد آن واکنش انجام‌پذیر و اگر علامت $E^\circ_{\text{واکنش}}$ منفی باشد، واکنش در جهت نوشته‌شده انجام نمی‌شود اما عکس آن، انجام‌پذیر است.

مثال: کدام‌یک از واکنش‌های داده‌شده، در جهت نوشته‌شده به طور طبیعی انجام‌پذیرند؟

۱) $Cu(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + H_2(g)$

۲) $Zn(s) + Mg^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Mg(s)$

۳) $Zn(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

$(E^\circ(Cu^{2+}/Cu) = +0/34 , E^\circ(Ag^+/Ag) = +0/80 , E^\circ(Zn^{2+}/Zn)$
$= -0/76 , E^\circ(Mg^{2+}/Mg) = -2/37)$

پاسخ: ابتدا برای هر واکنشی، گونه‌های کاهش‌یافته و اکسایش‌یافته را مشخص می‌کنیم. سپس $E^\circ_{\text{واکنش}}$ را محاسبه کرده، چنان‌چه $E^\circ_{\text{واکنش}}$ عددی مثبت به دست آید، واکنش به طور طبیعی انجام‌پذیر است.

۱) $Cu(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + H_2(g)$

(اکسایش‌یافته: $Cu(s)$ ، کاهش‌یافته: $H^+(aq)$)

$$E^\circ_{\text{واکنش}} = E^\circ_{(\text{کاهش‌یافته})} - E^\circ_{(\text{اکسایش‌یافته})} = 0 - (+0/34) = -0/34$$

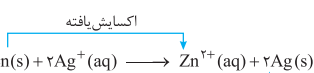
$\Rightarrow E^\circ_{\text{واکنش}} < 0 \Rightarrow$ انجام‌پذیر نیست.

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

(اکسایش‌یافته: $Zn(s)$ ، کاهش‌یافته: $Mg^{2+}(aq)$)

$$E^\circ_{\text{واکنش}} = E^\circ_{(\text{کاهش‌یافته})} - E^\circ_{(\text{اکسایش‌یافته})} = -2/37 - (-0/76) = -1/61$$

$\Rightarrow E^\circ_{\text{واکنش}} < 0 \Rightarrow$ انجام‌پذیر نیست.

۳) 

$$E^\circ_{\text{واکنش}} = E^\circ_{\text{(کاهش‌یافته)}} - E^\circ_{\text{(اکسایش‌یافته)}} = -0/76 - (+0/80) = +0/047$$

$\Rightarrow E^\circ_{\text{واکنش}} > 0 \Rightarrow$ انجام‌پذیر است.

روش‌های سریع‌تر تشخیص انجام‌پذیر بودن یک واکنش:

بدون محاسبهٔ $E^\circ_{\text{واکنش}}$ نیز می‌توان تشخیص داد که یک واکنش آیا در جهت طبیعی و در جهت نوشته‌شده انجام‌پذیر است یا خیر؟ برای این کار می‌توان به یکی از روش‌های زیر عمل کرد.

۱- گونهٔ کاهش‌یافته E° بزرگ‌تر دارد.

اگر طبق یک معادله، گونه‌ای که کاهش یافته است، دارای E° بزرگ‌تر (مثبت‌تر) باشد، آن واکنش به طور طبیعی انجام می‌شود.

مثال: کدام واکنش زیر، به طور طبیعی انجام‌پذیر است؟ چرا؟

۱) $Cu^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Cu(s) + Mg^{2+}(aq)$

۲) $Zn(aq) + Mg^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Mg(s)$

$$\begin{cases} Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s) \ , \ E^\circ = +0/34\ V \\ Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s) \ , \ E^\circ = -0/76\ V \\ Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s) \ , \ E^\circ = -2/37\ V \end{cases}$$

پاسخ: واکنش ۱: طبق معادلهٔ واکنش، Cu^{2+} کاهش یافته است. چون E° آن بیشتر از Mg است، پس راحت‌تر از Mg کاهش یافته (اکسندهٔ قوی‌تر است)، بنابراین واکنش به طور طبیعی انجام می‌شود.

واکنش ۲: طبق معادلهٔ واکنش، Mg^{2+} کاهش یافته است. چون E° آن کم‌تر از Zn است، پس نمی‌تواند سبب اکسایش Zn شود (Zn اکسندهٔ قوی‌تر است)، بنابراین واکنش انجام نمی‌شود (عکس آن انجام می‌شود).

۲- کاتیون بالای سری با اتم فلزی (خنثی) پایین سری واکنش می‌دهد.

اگر عنصرها را برحسب E° از بیشتر به کم‌تر مرتب کنیم سری الکتروشیمیایی را در اختیار داشته باشیم، می‌توانیم به راحتی تشخیص دهیم که آیا واکنش داده شده، به طور طبیعی انجام‌پذیر است یا خیر؟ برای این کار کافی است بدانیم که کاتیون بالاتر سری مثل Au^{3+} و Ag^+ با اتم‌های خنثی فلزهای پایین‌تر سری، مانند Zn و Al واکنش می‌دهند.

SanjeshCloud

به شکل زیر توجه کنید:

نیم‌واکنش	$E^\circ(v)$
$Au^{3+}(aq)+3e^- \longrightarrow Au(s)$	$+1/50$
$Pt^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Pt(s)$	$+1/20$
$Cu^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Cu(s)$	$+0/34$
$2H^+(aq)+2e^- \longrightarrow H_2(g)$	$0/00$
$Al^{3+}(aq)+3e^- \longrightarrow Al(s)$	$-1/66$
$Mg^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Mg(s)$	$-2/37$

انجام‌پذیر است.

طبق شکل بالا و در راستای علامت پیکان رسم‌شده، واکنش‌های زیر به طور طبیعی انجام‌پذیر هستند:

$Au^{3+}(aq)+Pt(s)$ $Au^{3+}(aq)+Cu(s)$ $Au^{3+}(aq)+H_2(g)$

$Au^{3+}(aq)+Al(s)$ $Au^{3+}(aq)+Mg(s)$

$Pt^{2+}(aq)+Cu(s)$ $Pt^{2+}(aq)+Al(s)$ $Pt^{2+}(aq)+H_2(g)$

$Pt^{2+}(aq)+Mg(s)$

$Cu^{2+}(aq)+H_2(g)$ $Cu^{2+}(aq)+Al(s)$ $Cu^{2+}(aq)+Mg(s)$

$H^+(aq)+Al(s)$ $H^+(aq)+Mg(s)$ $Al^{3+}(aq)+Mg(s)$

می‌توان گفت Au^{3+} با همهٔ فلزهای سری از جمله **Pt**، **Cu**، **Al**، **Mg** و ... واکنش می‌دهد. هم‌چنین می‌توان گفت فلز **Mg(s)** با همهٔ کاتیون‌های سری بالا واکنش می‌دهد.

مثال: با توجه به E° های داده‌شده، چند مورد از واکنش‌های داده‌شده به طور طبیعی انجام می‌شوند؟

$$\begin{cases} Cu^{2+}(aq)+2e^- \rightleftharpoons Cu(s)\ ,\ E^\circ=+0/34\ V \\ Zn^{2+}(aq)+2e^- \rightleftharpoons Zn(s)\ ,\ E^\circ=-0/76\ V \\ Mg^{2+}(aq)+2e^- \rightleftharpoons Mg(s)\ ,\ E^\circ=-2/38\ V \end{cases}$$

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

ب) $Mg^{2+}(aq)+Zn(s) \rightarrow Mg(s)+Zn^{2+}(aq)$

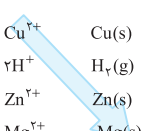
پ) $Cu(s)+2H^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq)+H_2(g)$

ت) $Zn(s)+2H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq)+H_2(g)$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

SanjeshCloud

پاسخ: گزینهٔ «۲» ابتدا گونه‌ها را برحسب E° از بیشتر به کم‌تر مرتب می‌کنیم (در متن سؤال نیم‌واکنش‌ها برحسب کاهش E° مرتب شده‌اند، فقط نیم‌واکنش H^+ را اضافه می‌کنیم.)



بررسی موارد:

آ) انجام‌پذیر است. زیرا Cu^{2+} (کاتیون بالاتر) با $Mg(s)$ (فلز پایین‌تر) واکنش داده است.

ب) انجام‌پذیر نیست. زیرا Mg^{2+} (کاتیون پایین‌تر) با $Zn(s)$ (فلز بالاتر) واکنش نمی‌دهد.

پ) انجام‌پذیر نیست. زیرا H^+ (کاتیون پایین‌تر) با $Cu(s)$ (فلز بالاتر) واکنش نمی‌دهد.

ت) انجام‌پذیر است. زیرا H^+ (کاتیون بالاتر) با $Zn(s)$ (فلز پایین‌تر) واکنش می‌دهد.

لیتیم فلزی ارزشمند برای ذخیرهٔ انرژی الکتریکی

- **باتری:** یکی از فراورده‌های مهم صنعتی است که در **محل مورد نیاز** با انجام واکنش‌های شیمیایی، **جریان الکتریسیته** تولید می‌کنند.

ویژگی‌های مهم باتری: تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی در محل مورد نیاز.

برخی کاربردهای انوع باتری‌ها: تأمین انرژی الکتریکی برای تنظیم‌کنندهٔ ضربان قلب، سمعک، تلفن همراه، اندام مصنوعی، دوربین دیجیتال، رایانهٔ قابل حمل، خودروی الکتریکی و ...

وجه اشتراک باتری‌ها: باتری‌ها در شکل، اندازه و کارایی با یکدیگر تفاوت آشکاری دارند، اما در همهٔ آن‌ها **یک وجه اشتراک** وجود دارد.

با انجام‌شدن نیم‌واکنش‌های آندی و کاتدی، جریان الکتریکی در مدار بیرونی برقرار می‌شود.

- در فناوری باتری‌های جدید، فلز لیتیم (**Li**) نقش پررنگی دارد.
- فلز لیتیم به دلایل زیر فلز ارزشمندی برای ساخت باتری و ذخیرهٔ انرژی الکتریکی است:

۱- لیتیم **کم‌ترین چگالی** در بین فلزها را دارد که این ویژگی برای ساخت باتری‌های سبک و کوچک بسیار مناسب است.

۲- لیتیم کم‌ترین مقدار E° را دارد که در ساخت باتری‌ها، قابلیت تولید ولتاژ بیشتری به آن می‌دهد.

نیم‌واکنش کاهشی استاندارد لیتیم به صورت روبه‌رو است:

$$Li^+(aq) + 1e^- \rightarrow Li(s)\ ,\ E^\circ = -3/05\ V$$

SanjeshCloud

هشدار: باتری‌های دگمه‌ای، باتری‌های تلفن همراه، باتری‌های رایانه‌های قابل حمل از جمله باتری‌های لیتیمی پرکاربرد هستند.

هشدار: باتری‌های لیتیمی به علت همراه‌داشتن مواد شیمیایی سمی گوناگون، برای محیط زیست آلوده کننده هستند که بهتر است پس از مصرف به جای رهاکردن در طبیعت، بازیافت شوند.

به طور کلی ویژگی‌های شاخص باتری‌ها را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- واکنش‌های الکتروشیمیایی (اکسایش ـ کاهش) در آن‌ها رخ می‌دهد.
- گونه‌ای اکسایش و گونه‌ای دیگر کاهش می‌یابد.
- دادوستد الکترون‌ها بین دو گونه انجام می‌شود.
- **بخشی** از انرژی شیمیایی مواد به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.
- هر باتری، ساختاری مناسب برای کاربردی معین دارد (شکل و اندازه و کارایی متفاوت دارند).
- با انجام نیم‌واکنش‌های آندی (اکسایش) و کاتدی (کاهش)، جریان الکتریکی در مدار بیرونی برقرار می‌شود.

باتری لیمویی رو یادتونه؟! نیم‌واکنش‌های اکسایش ـ کاهش در باتری لیمویی به صورت زیر هستند:

در آند (نیم‌واکنش اکسایش Zn):

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

در کاتد و در سطح مس (نیم‌واکنش کاهش یون‌های H^+):

$$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$$

در عصارهٔ لیمو

واکنش کلی باتری لیمویی (میان فلز Zn و یون‌های H^+):

$$Zn(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g) + \text{انرژی الکتریکی}$$

سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

- **سلول سوختی:** نوعی سلول **گالوانی** است که به منظور تولید جریان برق، از یک **سوخت** گازی، مانند H_2 و ... استفاده می‌کنند.
- با این‌که **سوخت‌های فسیلی** مناسب‌ترین سوخت حال حاضر برای خودروها و نیروگاه‌ها به شمار می‌آیند اما ضرورت یافتن **جایگزین** مناسب برای آن‌ها احساس شده است.

چهار دلیل یافتن جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی عبارت‌اند از:

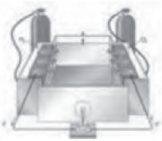
۱- کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی ۲- گسترش آلودگی روزافزون ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی ۳- افزایش دمای کرهٔ زمین در پی افزایش ردپای کربن دی‌اکسید ۴- افزایش بازده استفاده از انرژی ذخیره‌ای در سوخت‌های فسیلی

SanjeshCloud

■سوزاندن گاز هیدروژن در موتور درون‌سوز بازدهی نزدیک به ۲۰٪ دارد؛ در حالی که اکسایش آن در سلول سوختی بازده را تا سه برابر (حدود ۶۰٪) افزایش می‌دهد.

برخی از ویژگی‌های سلول‌های سوختی:

■نوعی سلول گالوانی هستند. ■انرژی شیمیایی حاصل از اکسایش سوخت را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. ■آلودگی هوا را کاهش می‌دهند. ■ردپای کربن دی‌اکسید را کاهش می‌دهند. ■کارایی بیشتری نسبت به استفاده از سوخت‌ها به شکل سوخت‌های فسیلی دارند. ■اتلاف انرژی کم و بازده نسبتاً بالایی دارند. ■منبعی برای تولید انرژی سبز هستند (دوستدار محیط زیست‌اند). ■تأمین سوخت آن‌ها یکی از چالش‌ها در استفاده از سلول‌های سوختی است.


سلول سوختی و تولید برق

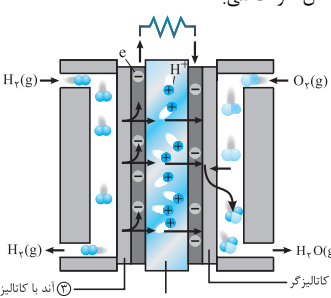
سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن

رایج‌ترین سلول سوختی، سلول هیدروژن ـ اکسیژن است.

■سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن سه جزء اصلی دارد که شامل یک **غشا، الکترود آند و الکترود کاتد** است و در شکل مقابل مشخص شده‌اند.

■نقش غشا در سلول سوختی $H_2 - O_2$ تبادل یون H^+ (یون هیدرونیوم) بین دو نیم‌سلول آند و کاتد است.

■در سلول سوختی $H_2 - O_2$، آند و کاتد دارای **کاتالیزگرهایی** هستند که به نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش سرعت می‌بخشند.



مهم‌ترین ویژگی‌های سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن عبارت‌اند از: ۱- گاز هیدروژن با گاز اکسیژن به صورت کنترل‌شده واکنش می‌دهد. ۲- بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. ۳- گاز هیدروژن به عنوان سوخت، پیوسته وارد سلول می‌شود و اکسایش می‌یابد. f هیدروژن (H_2) کاهنده است.

SanjeshCloud

۴- گاز اکسیژن در واکنش با سوخت (گاز هیدروژن) کاهش می‌یابد. ← گاز اکسیژن (O_2) اکسنده است. ۵- همهٔ گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش، مولکول‌های خنثی (H_2 ، O_2 و H_2O) هستند. ۶- شمار الکترون‌های ظرفیت اتم‌ها در واکنش تغییر نمی‌کند.

نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن:

نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن عبارت‌اند از:

نیم‌واکنش اکسایش H_2:

$$2\times(H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq)+2e^-) \qquad E^\circ = 0/0\,V$$

نیم‌واکنش کاهش O_2:

$$O_2(g)+4H^+(aq)+4e^- \rightarrow 2H_2O(g) \qquad E^\circ = 1/2\,V$$

واکنش کلی سلول: $2H_2(g)+O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$

emf سلول سوختی H_2-O_2 به صورت روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$E^\circ_{\text{سلول}} = E^\circ_{\text{کاتد}} - E^\circ_{\text{آند}} = 1/2-0 = 1/2\,V$$

نکته: یکی از مشکلات حال حاضر سلول سوختی H_2-O_2، خطر انفجار مخزن گاز هیدروژن است.

روش‌های تعیین عدد اکسایش

عدد اکسایش: مفهومی است که به کمک تغییرات آن می‌توان یک عنصر اکسنده یا کاهنده را در واکنش‌های اکسایش ـ کاهش مشخص کرد.

برای تعیین عدد اکسایش عنصرها، می‌توان به دو روش اقدام نمود: ۱- به کمک ساختار لوویس ۲- به کمک فرمول شیمیایی

تعیین عدد اکسایش از روی ساختار لوویس

تعریف: با یونی فرض‌کردن تمام پیوندها و نسبت‌دادن الکترون‌های پیوندی به اتم با خصلت نافلزی بیشتر، تفاوت شمار الکترون‌های ظرفیتی هر اتم با الکترون‌های نسبت داده شده به آن در یک ترکیب را **عدد اکسایش** می‌گویند. به عبارتی می‌توان نوشت:

عدد اکسایش اتم در ترکیب	=	شمار الکترون‌های ظرفیتی اتم	−	شمار الکترون‌های نسبت داده شده به اتم

قواعدی برای نسبت‌دادن الکترون‌ها به هر اتم در ترکیب‌ها

برای محاسبهٔ الکترون‌های نسبت داده‌شده به هر اتم در ترکیب‌ها، پس از رسم ساختار لوویس آن، از قواعد زیر استفاده می‌شود:

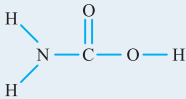
۱- جفت الکترون‌های پیوندی بین دو اتم مشابه (مثل $X-X$)، را بین آن دو اتم **تقسیم** می‌کنیم.

SanjeshCloud

۲- جفت الکترون‌های پیوندی بین دو اتم متفاوت (مثل $X - Y$) را به اتم با خصلت **نافلزی بیشتر** نسبت می‌دهیم.

۳- جفت الکترون‌های **ناپیوندی** روی هر اتم را به همان اتم نسبت می‌دهیم.

مثال: در ترکیب زیر، عدد اکسایش کدام اتم از همه کم‌تر است؟

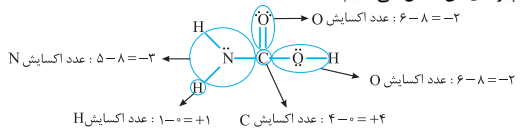


۱) هیدروژن ۲) نیتروژن

۳) کربن

۴) اکسیژن

پاسخ: گزینهٔ «۲» ابتدا ساختار لوویس ترکیب را با قراردادن جفت‌الکترون‌های ناپیوندی آن کامل می‌کنیم:



نکته: اغلب **فلزهای واسطه** و **نافلزها**، عددهای اکسایش **گوناگونی** در ترکیب‌های خود دارند. به عنوان نمونه عدد اکسایش آهن در $FeCl_2$ و $FeCl_3$ به ترتیب ۲+ و ۳+ و عدد اکسایش گوگرد در Na_2S و SO_2 به ترتیب ۲− و ۶+ است.

تعیین عدد اکسایش از روی فرمول شیمیایی

چند قاعده برای تعیین عدد اکسایش از روی فرمول شیمیایی:

۱- عدد اتمی همهٔ عنصرها در حالت آزاد مانند **Zn**، **Na** ،O_2 و ... برابر صفر است.

۲- عدد اکسایش عنصرهای گروه ۱ و ۲ و اتم **Al** در ترکیب‌ها به ترتیب، ۱+، ۲+ و ۳+ است.

۳- عدد اکسایش عنصرها در **یون‌های تک‌اتمی** برابر با بار یون است. مثال $Fe^{3+} = +3$، $F^- = -1$

۴- عدد اکسایش **هیدروژن** و **اکسیژن** در ترکیب‌ها اغلب برابر ۱+ و ۲− است. H و O دارای عددهای اکسایش دیگری نیز هستند. به عنوان مثال؛ عدد اکسایش **H** در ترکیب با فلزهای گروه ۱ و ۲ برابر ۱− و عدد اکسایش **O** در OF_2، برابر ۲+ است. هم‌چنین عدد اکسایش اکسیژن در مولکول **HOF** برابر صفر است.

۵- عدد اکسایش **فلوئور** (F) در ترکیب‌ها همواره ۱− است. (عدد اکسایش فلوئور به حالت آزاد برابر با صفر است.)

۶- در ترکیب‌ها، عدد اکسایش هالوژن‌ها معمولاً ۱− است. مانند: $FeCl_2$، **HCl**، $MgCl_2$ و ...

۷- **هالوژن‌ها** در ترکیب با عنصرهایی با خصلت **نافلزی بیشتر** از آن‌ها، می‌توانند عددهای اکسایش مثبت، مثل: ۱+، ۳+، ۵+ و ۷+ داشته باشند.

SanjeshCloud

۸- **مجموع عدد اکسایش** اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ یک گونه برابر با بار الکتریکی آن گونه است.

مثال: $H_2SO_4 \Rightarrow 2H+S+4O=0 \qquad NO_3^- \Rightarrow N+3O=-1$

مثال: عدد اکسایش اتم مشخص‌شده در هر یک از گونه‌های زیر را مشخص کنید.

$\underline{Cr}_2O_7^{2-} - \underline{N}H_4^+ - K\underline{Mn}O_4 - \underline{S}F_6$

پاسخ:

$SF_6 \Rightarrow 1S+6F=0 \Rightarrow S+6(-1)=0 \Rightarrow \boxed{S=+6}$

$KMnO_4 \Rightarrow 1K+1Mn+4O=0 \Rightarrow 1(+1)+1Mn+4(-2)=0$

$\Rightarrow \boxed{Mn=+7}$

$NH_4^+ \Rightarrow 1N+4H=+1 \Rightarrow 1(N)+4(+1)=+1 \Rightarrow \boxed{N=-3}$

$Cr_2O_7^{2-} \Rightarrow 2Cr+7O=-2 \Rightarrow 2Cr+7(-2)=-2$

$\Rightarrow 2Cr=+12 \Rightarrow \boxed{Cr=+6}$

دو کاربرد عدد اکسایش

۱- تعیین گونه‌های اکسنده و کاهنده در واکنش‌ها:

می‌توان از تغییر عدد اکسایش یک اتم در معادله‌های اکسایش ـ کاهش، گونه‌های کاهنده و اکسنده را مشخص کرد. برای این کار، کافی است تغییر عدد اکسایش گونه‌ها در سمت چپ و سمت راست معادله را تعیین و با هم مقایسه کرد.

چنان‌چه عدد اکسایش گونه‌ای افزایش یافته باشد ⇐ آن گونه اکسایش یافته است ⇐ کاهنده است.

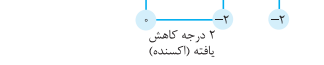
اگر عدد اکسایش گونه‌ای کاهش یافته باشد ⇐ آن گونه کاهش یافته است ⇐ اکسنده است.

مثال: در واکنش زیر گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

$CH_4(g)+2O_2(g) \rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g)$

پاسخ: عدد اکسایش اتم کربن از ۴− به ۴+ افزایش یافته ⇐ اکسایش یافته ⇐ کاهنده است.

عدد اکسایش اتم‌های O از ۰ به ۲− کاهش یافته ⇐ کاهش یافته ⇐ اکسنده است.

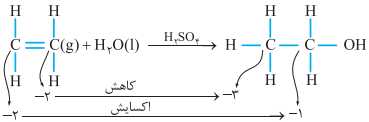


SanjeshCloud

۲ـ تشخیص معادلهٔ واکنش‌های اکسایش ـ کاهش (معادله‌های الکترونی)

برای تشخیص یک معادلهٔ اکسایش ـ کاهش می‌توان به یکی از روش‌های زیر اقدام کرد:

۱ـ عدد اکسایش گونه یا گونه‌هایی در یک معادلهٔ اکسایش ـ کاهش، تغییر می‌کند. مثل واکنش تهیهٔ اتانول از اتن و آب که در شیمی یازدهم با آن آشنا شدید:



همان‌طور که در این معادله می‌بینید، عدد اکسایش کربن‌های شرکت‌کننده در پیوند دوگانه تغییر یافته است. از این‌رو معادلهٔ یادشده، یک معادلهٔ اکسایش ـ کاهش (الکترونی) به شمار می‌رود.

۲ـ دست‌کم در یکی از طرفین معادلهٔ واکنش، فرمول شیمیایی یک یا چند ماده به حالت عنصر آزاد (غیرترکیبی) وجود دارد. مثل: $O_۲$ ، $N_۲$ ، $H_۲$ ، **Na** ، **Al** ، $Cl_۲$ ، $F_۲$ ، $O_۳$ ، **S** ، $P_۴$ ، $I_۲$ ، $Br_۲$ و ...

مثال: کدام‌یک از معادله‌های زیر، جزء واکنش‌های اکسایش ـ کاهش به شمار می‌روند؟

۱) $Mg(s) + ۲HCl(aq) \rightarrow MgCl_۲(aq) + H_۲(g)$

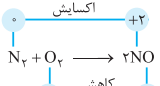
۲) $N_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲NO(g)$

۳) $KOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow KCl(aq) + H_۲O$

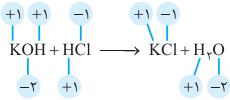
پاسخ: واکنش (۱)؛ چون عدد اکسایش گونه‌ها تغییر کرده است، بنابراین یک واکنش اکسایش ـ کاهش است.



واکنش (۲) نیز یک واکنش اکسایش ـ کاهش به شمار می‌رود. زیرا در سمت چپ معادله، دو گونهٔ عنصری $N_۲$ و $O_۲$ دارد.



واکنش (۳) اکسایش ـ کاهش نیست و جزء واکنش‌های خنثی‌شدن اسید و باز است زیرا عدد اکسایش هیچ‌یک از گونه‌های آن تغییر نکرده است.



SanjeshCloud

برقکافت آب، راهی برای تولید گاز هیدروژن

انواع سلول‌های الکتروشیمیایی

همان‌طور که می‌دانید، در سلول‌های گالوانی با انجام یک واکنش الکتروشیمیایی طبیعی، انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. سلول‌های الکترولیتی دسته‌ای از سلول‌های الکتروشیمیایی هستند که در آن‌ها به کمک انرژی الکتریکی، می‌توان یک واکنش اکسایش ـ کاهش را در خلاف جهت طبیعی انجام داد. از این‌رو سلول‌های الکتروشیمیایی را می‌توان در دو دستهٔ **گالوانی و الکترولیتی** تقسیم‌بندی کرد.

جدول زیر انواع سلول‌های الکتروشیمیایی را با هم مقایسه کرده است:

سلول‌های گالوانی	سلول‌های الکترولیتی
معمولاً از دو نیم‌سلول مستقل تشکیل شده است.	معمولاً از یک سلول واحد تشکیل شده است.
انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند.	انرژی الکتریکی را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند.
واکنش اکسایش ـ کاهش بدون نیاز به منبع انرژی به طور طبیعی و خودبه‌خودی انجام می‌شود.	واکنش اکسایش ـ کاهش به کمک یک منبع انرژی (باتری)، در خلاف جهت طبیعی انجام می‌شود.
انرژی الکتریکی تولید می‌کند.	از باتری، انرژی الکتریکی دریافت و آن را مصرف می‌کند.
کاتد قطب (+) و آند قطب (−) است.	کاتد قطب (−) و آند قطب (+) است.
الکترولیت‌ها، حاوی کاتیون‌هایی از جنس الکترودها هستند.	الکترولیت، یک محلول یونی یا یک ترکیب یونی مذاب است.
مثال: باتری‌های لیتیمی، سلول‌های سوختی و سلول‌های تشکیل‌شده در فرایند خوردگی فلزها (آهن گالوانیزه و حلبی)	**مثال**: سلول برقکافت (مثل سلول دانز)، سلول آبکاری (مثل آبکاری با نقره)، سلول استخراج فلزها (مثل فرایند هال)

ویژگی‌های مشترک سلول‌های گالوانی و الکترولیتی

در همهٔ انواع سلول‌های الکتروشیمیایی اعم از سلول‌های گالوانی و الکترولیتی سه پدیدهٔ زیر به طور مشابه انجام می‌شوند:

۱- اکسایش در آند و کاهش در کاتد رخ می‌دهد. ۲- در مدار بیرونی جهت حرکت الکترون‌ها از آند به سمت کاتد است. ۳- در محلول‌ها، کاتیون‌ها به سمت کاتد و آنیون‌ها به سمت آند حرکت می‌کنند.

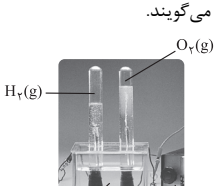
SanjeshCloud

برقکافت آب

برقکافت یک واکنش الکتروشیمیایی است که در آن به کمک جریان مستقیم برق می‌توان یک ترکیب را به عنصرهای سازنده‌اش تجزیه کرد.

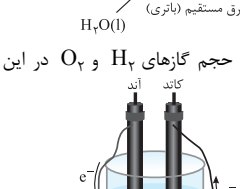
تعریف: به طور معمول، تجزیهٔ یک ترکیب شیمیایی به عنصرهای سازنده‌اش توسط یک سلول الکترولیتی را **برقکافت** می‌گویند.

مثال:



$$2H_2O(l) \xrightarrow{\text{برقکافت}} 2H_2(g) + O_2(g)$$

توجه: به رابطهٔ بین ضرایب استوکیومتری و حجم گازهای H_2 و O_2 در این معادله و شکل دستگاه توجه کنید.



■ **آب خالص**، رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد، از این‌رو برای برقکافت آن باید اندکی **الکترولیت** (مثل **NaCl**) به آب افزود.

■ **نیم‌واکنش‌ها و واکنش اکسایش ـ کاهش برقکافت آب:**

نیم‌واکنش اکسایش (موازنه‌شده) در آند:

$$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + \underbrace{4H^+(aq)}_{\text{اسیدی}} + 4e^-$$

نیم‌واکنش کاهش (موازنه‌شده) در کاتد:

$$2 \times (2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + \underbrace{2OH^-(aq)}_{\text{بازی}})$$

واکنش کلی برقکافت آب:

$$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 2H_2(g)$$

یادآوری: در راستای موازنه‌کردن، نیم‌واکنش کاهش در عدد ۲ ضرب شده تا پس از برابرشدن ضریب الکترون‌های دو نیم‌واکنش، الکترون‌ها با هم حذف شوند.

چند نکته در مورد برقکافت آب:

■ از الکترودهای گرافیتی درون یک الکترولیت (آب + اندکی نمک) استفاده می‌شود. الکترودهای گرافیت در واکنش برقکافت آب شرکت نمی‌کنند.

SanjeshCloud

■ **محصول** نیم‌واکنش **آندی**، گاز اکسیژن است. ■ **محصول** نیم‌واکنش **کاتدی**، گاز هیدروژن است. ■ **رنگ کاغذ pH** در محلول پیرامون آند، سرخ و پیرامون کاتد، آبی می‌شود زیرا در آند یون‌های H^+ و در کاتد یون‌های OH^- تولید می‌شود. ■ به علت نارسانابودن آب از لحاظ الکتریکی، برقکافت آب خالص بسیار کند است. از این‌رو با افزودن اندکی الکترولیت مانند **NaCl**، سرعت آن را افزایش می‌دهند.

جمع‌بندی برقکافت آب:

■ در آند ← تولید گاز O_2 و یون‌های H^+ ← اسیدی‌شدن محیط ← کاغذ **pH** به رنگ قرمز درمی‌آید $(pH < 7)$.

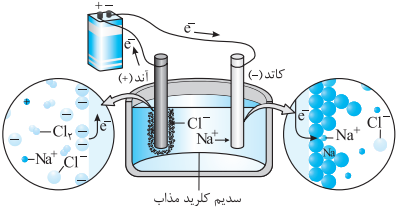
■ در کاتد ← تولید گاز H_2 و یون‌های OH^- ← بازی‌شدن محیط ← کاغذ **pH** به رنگ آبی درمی‌آید $(pH > 7)$.

برقکافت سدیم کلرید مذاب و منیزیم کلرید

برقکافت سدیم کلرید مذاب و تهیهٔ فلز سدیم

■ فلز سدیم یک **کاهندهٔ قوی** است که در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی‌شود. سدیم در طبیعت به شکل **یون‌های** Na^+ بسیار **پایدارتر** از اتم‌های خنثای سدیم است. از این‌رو برای تهیهٔ فلز سدیم از ترکیب‌هایش باید **انرژی زیادی** مصرف کرد.

■ در صنعت برای **تهیهٔ فلز سدیم**، از برقکافت سدیم کلرید مذاب استفاده می‌شود. مانند شکل روبه‌رو:



در سلول برقکافت سدیم کلرید مذاب

- **محصول کاتدی** فلز مذاب سدیم **(Na (l))** است.
- **محصول آندی** گاز کلر $(Cl_2(g))$ است.
- **در کاتد** یون‌های Na^+ از باتری الکترون گرفته و کاهش می‌یابند.
- **در آند** یون‌های Cl^- به آند (قطب + باتری) الکترون داده و اکسایش می‌یابند.

نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی برقکافت سدیم کلرید مذاب عبارت‌اند از:

نیم‌واکنش اکسایش در آند: $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

نیم‌واکنش کاهش در کاتد: $2 \times (Na^+(l) + 1e^- \rightarrow Na(l))$

واکنش کلی: $2NaCl(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2Na(l)$

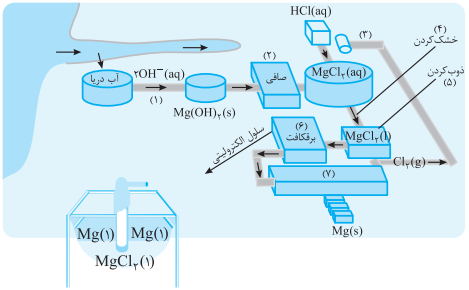
SanjeshCloud

■ **سدیم کلرید خالص** در $801\,^{\circ}C$ ذوب می‌شود که از نظر **مصرف انرژی** به‌صرفه نیست. از این‌رو مقداری **کلسیم کلرید** ($CaCl_2$) به آن می‌افزایند که با این کار، دمای ذوب مخلوط را تا حدود $587\,^{\circ}C$ **پایین می‌آورند.**

برقکافت منیزیم کلرید مذاب

از آن‌جا که دیگر فلزهای فعال نیز کاهنده‌های قوی به شمار می‌روند، باید آن‌ها را همانند سدیم از برقکافت نمک مذاب آن‌ها تهیه کرد. برای نمونه، فلز منیزیم را در صنعت از برقکافت منیزیم کلرید مذاب تهیه می‌کنند. منبع اولیهٔ منیزیم کلرید در طبیعت، آب دریا است که در آن، منیزیم به شکل یون‌های Mg^{2+} به وفور یافت می‌شود.

■ شکل زیر مراحل تهیهٔ فلز منیزیم را از آب دریا نشان می‌دهد.



مراحل تهیهٔ منیزیم از آب دریا که در شکل نیز شماره‌گذاری شده‌اند، به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱- افزودن یک محلول بازی برای جداکردن یون‌های Mg^{2+} از محلول آب دریا:

$$\underset{\text{در آب دریا}}{Mg^{2+}(aq)} + 2OH^-(aq) \rightarrow Mg(OH)_2(s)$$

۲- عبوردادن از صافی برای جداکردن منیزیم هیدروکسید جامد

۳- افزودن محلول HCl برای حل‌کردن یون‌های Mg^{2+} در محلول آبی جدید:

$$Mg(OH)_2(s) + HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2O(l)$$

۴- خشک‌کردن و تبخیر آب محلول که در آن نمک جامد $MgCl_2$ حاصل می‌شود:

$$MgCl_2(aq) \xrightarrow{\text{تبخیر آب}} MgCl_2(s)$$

۵- ذوب‌کردن $MgCl_2$ به کمک گرما برای فراهم‌کردن شرایط انجام برقکافت در مرحلهٔ بعد:

$$MgCl_2(s) \xrightarrow{\text{گرما}} MgCl_2(l)$$

SanjeshCloud

۶- برقکافت منیزیم کلرید مذاب در یک سلول الکترولیتی، برای تولید فلز منیزیم که به همراه آن گاز کلر نیز تولید می‌شود:

$$MgCl_2(l) \xrightarrow{\text{برقکافت}} Mg(l) + Cl_2(g)$$

۷- سردکردن و انجماد منیزیم مایع و تولید قطعات فلز منیزیم:

$$Mg(l) \xrightarrow{\text{کاهش دما}} Mg(s)$$

نکته: نیم‌واکنش‌ها و واکنش‌های اکسایش ـ کاهش **برقکافت منیزیم کلرید** مذاب عبارت‌اند از:

نیم‌واکنش کاهش در کاتد: $Mg^{2+}(l) + 2e^- \rightarrow Mg(l)$

نیم‌واکنش اکسایش در آند: $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

واکنش کلی: $MgCl_2(l) \rightarrow \underbrace{Mg(l)}_{\text{محصول کاتدی}} + \underbrace{Cl_2(g)}_{\text{محصول آندی}}$

جمع‌بندی برقکافت منیزیم کلرید مذاب:

- **محصول کاتدی:** فلز منیزیم مذاب $(Mg(l))$
- **محصول آندی:** گاز کلر $(Cl_2(g))$
- **گونهٔ اکسنده** (کاهش‌یافته) ← یون‌های منیزیم (Mg^{2+})
- **گونهٔ کاهنده** (اکسایش‌یافته) $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ یون‌های کلرید (Cl^-)

خوردگی

خوردگی، یک واکنش اکسایش ـ کاهش ناخواسته است. هنگامی که فلزها در معرض هوا قرار می‌گیرند، اغلب با اکسیژن وارد واکنش شده، اکسایش یافته و به شکل اکسید درمی‌آیند.

رفتار فلزها در برابر اکسیژن

۱- برخی از فلزها با اکسیژن **واکنش نمی‌دهند؛** مانند فلزهای نجیب از جمله پلاتین، طلا و پالادیم ۲- برخی فلزها با اکسیژن در واکنش اکسایش ـ کاهش شرکت کرده، اکسایش یافته و **اکسیدهای مقاوم** تشکیل می‌دهند؛ مانند آلومینیم، روی، کروم و ... که پس از تشکیل یک لایهٔ مقاوم از اکسید فلز، از ادامهٔ اکسایش لایهٔ زیرین فلز جلوگیری می‌شود. ۳- برخی فلزها با اکسیژن طی واکنش اکسایش ـ کاهش دچار **خوردگی** می‌شوند و به مرور از بین می‌روند؛ مثل آهن، منیزیم و ...

برخی فرایندهای اکسایش ـ کاهش ناخواسته عبارت‌اند از:

۱- تیره‌وکدرشدن نقره $\underbrace{4Ag(s)}_{\text{نقره‌ای}} + O_2(g) \rightarrow \underbrace{2Ag_2O(s)}_{\text{تیره}}$ ← واکنش کلی

SanjeshCloud

۲- ایجاد زنگار سبزرنگ بر سطح فلز مس

$$\underset{\text{قرمز}}{2Cu(s)} + O_2(g) \xrightarrow{\text{واکنش کلی}} \underset{\text{زنگار سبزرنگ}}{2CuO(s)}$$

۳- زنگ‌زدن آهن در هوای مرطوب (خوردگی)

$$4Fe(s) + 3O_2(g) + 6H_2O(l) \xrightarrow{\text{واکنش کلی}} \underset{\text{زنگار قهوه‌ای رنگ}}{4Fe(OH)_3(s)}$$

تعریف: خوردگی به فرایند تردشدن، خردشدن و فروریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش ـ کاهش گفته می‌شود.

عوامل مؤثر بر خوردگی فلزها

- حضور اکسیژن یا هوا در تماس با فلز (عامل ضروری)
- حضور آب یا رطوبت در تماس با فلز (عامل ضروری)
- مجاورت با محیط اسیدی (بر سرعت خوردگی فلزها می‌افزاید.)
- حضور یون‌ها (بر سرعت خوردگی فلزها می‌افزاید.)

آهن و دیگر فلزها چگونه دچار خوردگی می‌شوند؟

وقتی یک قطعهٔ آهنی یا فلزی که معمولاً E° منفی دارد در تماس با آب‌وهوا قرار می‌گیرد، نوعی سلول الکتروشیمیایی گالوانی تشکیل می‌شود که به طور طبیعی منجر به اکسایش و یا خوردگی فلز می‌شود. در این فرایند از زیبایی و استحکام فلز کاسته می‌شود.

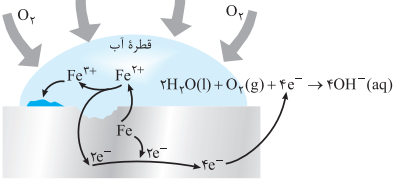
دلیل علمی ⟵ پتانسیل کاهشی (E°) اغلب فلزها منفی، اما پتانسیل کاهشی اکسیژن مثبت است؛ بنابراین اکسیژن به عنوان عامل اکسنده تمایل دارد با گرفتن الکترون از فلزها، آن‌ها را اکسید کند.

نیم‌واکنش‌های خوردگی آهن:

شکل زیر زنگ‌زدن (خوردگی) آهن که یک واکنش اکسایش ـ کاهش در هوای مرطوب را نشان می‌دهد:

مراحل اکسایش آهن تا تبدیل‌شدن به زنگار را می‌توان به ترتیب زیر معرفی کرد:

۱- اکسایش اتم‌های آهن در (جایی که در تماس با آب یک محلول الکترولیت قرار می‌گیرند.)



SanjeshCloud

نیم‌واکنش‌های اکسایش آهن در دو مرحله عبارت‌اند از:

مرحلهٔ ۱: هر اتم Fe با ۲ درجه اکسایش به یون‌های Fe^{2+} تبدیل می‌شود:

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

مرحلهٔ ۲: هر کاتیون Fe^{2+} در مرحلهٔ بعدی، یک الکترون از دست داده و به Fe^{3+} تبدیل می‌شود:

$$Fe^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + 1e^-$$

نیم‌واکنش کلی اکسایش اتم‌های آهن در دو مرحله:

$$1)\ Fe(s) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + 3e^-$$

۲- کاهش گاز اکسیژن به کمک الکترون‌های حاصل از اکسایش آهن و در حضور آب: نیم‌واکنش کاهش O_2 در حضور مولکول‌های آب:

$$2)\ O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$

۳- واکنش کلی از جمع معادله‌های (۱) که در عدد ۴ ضرب شده و معادلهٔ (۲) که در عدد ۳ ضرب شده، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$4Fe(s) \rightarrow 4Fe^{3+}(aq) + 12e^-$$

$$3O_2(g) + 6H_2O(l) + 12e^- \rightarrow 12OH^-(aq)$$

$$4Fe(s) + 3O_2(g) + 6H_2O(l) \rightarrow 4Fe^{3+}(aq) + 12OH^-(aq)$$

نکته: یون‌های Fe^{3+} و OH^- در برخورد با هم به صورت $Fe(OH)_3$ رسوب می‌کنند که فراوردهٔ نهایی زنگ‌زدن آهن است.

$$Fe^{3+}(aq) + OH^-(aq) \rightarrow \underset{\text{زنگار قهوه‌ای رنگ}}{Fe(OH)_3(s)}$$

نکته: آهن در محیط‌های اسیدی (دارای یون H^+) با سرعت بیشتری دچار خوردگی می‌شود، زیرا E° کاهشی اکسیژن و قدرت اکسندگی آن در محیط اسیدی بیشتر از محیط خنثی است. از این رو در محیط‌های اسیدی O_2 تمایل بیشتری برای اکسایش **Fe** دارد.

$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)\ ,\ E^\circ = 1/23\ V$$

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)\ ,\ E^\circ = 0/40\ V$$

چرا طلا تسلیم اکسیژن نمی‌شود؟!

فلزهای نجیب از جمله طلا، در برابر از دست دادن الکترون و اکسایش‌یافتن مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند، به طوری که با گذشت زمان، در هوای مرطوب و حتی در اعماق دریا هم‌چنان درخشان باقی می‌مانند. علت این مقاومت، بیشتربودن E° کاهشی **Au** در برابر O_2 است؛ از این رو طلا در محیط مرطوب و حتی در محیط اسیدی با اکسیژن واکنش نمی‌دهد و اکسید نمی‌شود. اگر به مقادیر E° نیم‌واکنش‌های زیر توجه کنید، علت مقاومت طلا در برابر خوردگی آشکار خواهد شد:

SanjeshCloud

$$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)\ ,\ E^\circ = +1/50\ V$$

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)\ ,\ E^\circ = 0/40\ V$$

$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)\ ,\ E^\circ = 1/23\ V$$

فداکاری فلزها برای حفاظت آهن

فداکاری فلزها برای حفاظت آهن

برای جلوگیری از خوردگی آهن دو رویکرد کلی وجود دارد. این دو رویکرد کلی در جدول زیر با هم مقایسه شده‌اند:

رویکرد پوشش محافظ (روش فیزیکی)	رویکرد حفاظت کاتدی (روش الکتروشیمیایی)
مانند: زنگ‌زدن، قیراندود کردن، روکش کردن و تولید حلبی	مانند: گالوانیزه کردن، محافظت با منیزیم، روی و ...
پوشش محافظ به طور کامل نمی‌تواند از خوردگی فلز جلوگیری کند، زیرا به تدریج رطوبت و اکسیژن به درون فلز نفوذ کرده و خوردگی آغاز می‌شود.	در این روش، دو فلز برای اکسایش‌یافتن با یکدیگر رقابت می‌کنند. فلزی که نسبت به آهن E° کم‌تری دارد، اکسایش یافته و مانع از اکسایش آهن (فلز با E° بزرگ‌تر) می‌شود.

نکته: گالوانیزه کردن آهن، به هر دو روش فیزیکی (روکش کردن) و الکتروشیمیایی (حفاظت کاتدی) از خوردگی آهن جلوگیری می‌کند.

حفاظت فلز به کمک فلز دیگر:

تعریف: فرایند حفاظت از یک فلز معین، با استفاده از فلزهای کاهنده‌تر (E° کم‌تر) را **حفاظت کاتدی** می‌گویند.

در روش **حفاظت کاتدی**، اگر دو فلز متفاوت در هوای مرطوب در تماس با هم قرار گیرند، یک سلول **گالوانی** تشکیل داده، فلزی که E° **کوچک‌تری** نسبت به دیگری دارد، تمایل بیشتری به **اکسیدشدن** دارد، بنابراین فلز با E° کوچک‌تر، فدای فلز دیگر شده و در نهایت فلز با E° **بزرگ‌تر، از خوردگی نجات می‌یابد.**

در روش حفاظت کاتدی
- فلز با E° کم‌تر ← آند است ← **خورده می‌شود** (اکسایش می‌یابد).
- فلز با E° بیشتر ← از خوردگی **نجات می‌یابد.**
- اکسیژن (O_2) ← کاهش می‌یابد و به یون‌های OH^- تبدیل می‌شود.

SanjeshCloud

آهن گالوانیزه:

در صنعت، ورقه‌های آهنی را با پوششی از فلز روی تهیه می‌کنند تا از خوردگی بگریزند و برای ساخت تانکر آب، کانال کولر و ... به کار می‌گیرند.

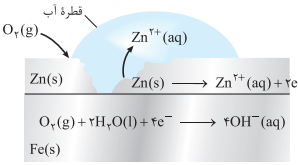
تعریف: آهن با روکش روی را گالوانیزه (آهن سفید) می‌گویند.

گالوانیزه (آهن سفید)

- فداکاری فلز روی برای حفاظت از آهن را نشان می‌دهد.
- هم روشی فیزیکی (روکش محافظ) و هم روشی الکتروشیمیایی (حفاظت کاتدی) برای حفاظت از آهن است.
- در حضور رطوبت و اکسیژن نوعی سلول گالوانی تشکیل می‌شود.
- با ایجاد خراش در آن، فلز روی اکسید شده و اکسایش می‌یابد.
- آهن از خوردگی نجات می‌یابد. (به دلیل داشتن E° بزرگ‌تر نسبت به روی)
- از گالوانیزه نمی‌توان برای ساخت ظروف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کرد، چون فلزهای روی و آهن موجود در آن با اسید مواد غذایی وارد واکنش می‌شود.

نمایشی از رقابت آهن و روی در آهن گالوانیزه:

شکل روبه‌رو، آهن گالوانیزه را نشان می‌دهد که بر اثر ایجاد خراشی در سطح آن، یک سلول گالوانی را تشکیل داده است.



در گالوانیزه کدام فلز برندهٔ اکسایش است؟

در آهن گالوانیزه برای اکسایش‌یافتن میان دو فلز آهن و روی رقابت وجود دارد. این‌که کدام فلز در این رقابت برندهٔ اکسایش است را باید در مقدار E° آن‌ها دنبال کرد. مقدار E° این فلزها و نیم‌واکنش کاهش آن‌ها به صورت زیر است:

$$\begin{cases} Zn(s) \xrightarrow{\checkmark} Zn^{2+}(aq) + 2e^- & E^\circ = -0/76\ V \\ Fe(s) \xrightarrow{\times} Fe^{2+}(aq) + 2e^- & E^\circ = -0/44\ V \end{cases}$$

در میدان رقابت برای اکسایش‌یافتن، فلز Zn برنده شده و آهن از اکسایش و خوردگی نجات می‌یابد.

نیم‌واکنش اکسایش فلز روی:

$$\xrightarrow{\times 2 \text{ برابر شده}} 2Zn(s) \rightarrow 2Zn^{2+}(aq) + \cancel{4e^-}$$

SanjeshCloud

نیم‌واکنش کاهش مولکول‌های اکسیژن در حضور آب:

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$

واکنش کلی سلول گالوانی حاصل از خراشیده‌شدن گالوانیزه:

$$2Zn(s) + O_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow \underbrace{2Zn^{2+}(aq) + 4OH^-(aq)}_{2Zn(OH)_2(s)}$$

حلبی:

تعریف: برای تولید حلبی، ورقه‌های آهنی را با لایهٔ نازکی از فلز قلع می‌پوشانند و از آن برای ساختن قوطی‌های کنسرو، قوطی‌های روغن نباتی و ... استفاده می‌کنند.

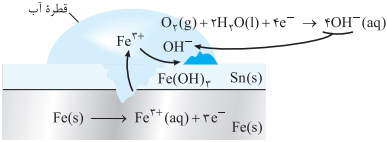
تعریف: آهن با روکش قلع را حلبی می‌گویند.

تولید حلبی روشی **فیزیکی** برای محافظت از فلز آهن توسط فلز قلع (تا قبل از ایجاد خراش روی آن) است.

خراش در حلبی

- بر اثر ایجاد خراش در سطح آن، نوعی سلول **گالوانی** تشکیل می‌شود.
- در هنگام خراشیده‌شدن، فلز آهن به علت E° کم‌تر دچار اکسایش و خوردگی می‌شود.
- فلز قلع به علت E° بزرگ‌تر از خوردگی نجات می‌یابد.
- قوطی‌های از جنس حلبی در اثر خراش زودتر و آسان‌تر دچار خوردگی می‌شوند.

■ شکل زیر، تشکیل **سلول گالوانی** پس از خراشیدگی حلبی را نشان می‌دهد:



در حلبی کدام نیم‌واکنش اکسایش، برندهٔ رقابت است؟

$$\begin{cases} Sn(s) \xrightarrow{\times} Sn^{2+}(aq) + 2e^- & E^\circ = -0/14\ V \\ Fe(s) \xrightarrow{\checkmark} Fe^{2+}(aq) + 2e^- & E^\circ = -0/44\ V \end{cases}$$

در میدان رقابت، برای اکسایش‌یافتن بین Fe و Sn، فلز Fe به علت E° کوچک‌تر دچار اکسایش می‌شود در حالی که فلز Sn نجات می‌یابد.

نیم‌واکنش نهایی اکسایش فلز آهن در حلبی:

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

SanjeshCloud

نیم‌واکنش کاهش اکسیژن در حلبی:

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$

نکته: ۱) نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی در **حلبی دقیقاً** همان نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی در **خوردگی آهن** است. ۲) نیم‌واکنش کاهش در خوردگی آهن، خراشیدگی گالوانیزه و خراشیدگی حلبی مشابه است:

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$

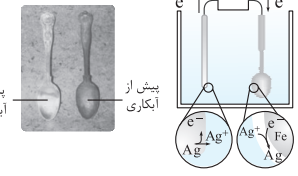
آبکاری

تعریف: پوشاندن سطح یک فلز با لایهٔ نازکی از فلزهای ارزشمند و مقاوم در برابر خوردگی را **آبکاری** می‌گویند.

آبکاری فرایندی است که در یک سلول **الکترولیتی** انجام می‌شود.

در آبکاری: ■ یک واکنش اکسایش ـ کاهش با حضور یک فلز ارزشمند مثل طلا، نقره و ... انجام می‌شود. ■ انرژی الکتریکی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود. ■ توسط اعمال نیروی برق (باتری)، یک واکنش الکتروشیمیایی (اکسایش ـ کاهش) در خلاف جهت طبیعی انجام می‌شود. ■ جسمی که قرار است روی آن روکش قرار بگیرد، حتماً باید رسانای جریان الکتریسیته باشد. ■ جسمی که قرار است روکش بگیرد (مثل قاشق آهنی) را به قطب منفی باتری (کاتد) وصل می‌کنند. ■ محلول الکترولیت باید حاوی کاتیون‌های فلزی باشد که به عنوان روکش استفاده می‌شود. ■ یک فلز در آند (قطب مثبت) اکسایش و همان فلز در کاتد (قطب منفی) کاهش می‌یابد. ■ از جرم آند کاسته و به جرم کاتد افزوده می‌شود.

آبکاری با نقره:



نیم‌واکنش اکسایش فلز نقره (Ag) در آند:

$$\underset{\text{آندی}}{Ag(s)} \rightarrow Ag^+(aq) + 1e^-$$

نیم‌واکنش کاهش کاتیون‌های نقره (Ag^+) در کاتد:

$$Ag^+(aq) + 1e^- \rightarrow \underset{\text{کاتدی}}{Ag(s)}$$

SanjeshCloud

واکنش کلی سلول آبکاری نقره:

$$\underset{\text{آندی}}{Ag(s)} \rightarrow \underset{\text{کاتدی}}{Ag(s)}$$

در فرایند کلی آبکاری با نقره، مقداری نقره از الکترود آند جدا شده و پس از ورود به محلول در نهایت روی قاشق آهنی در الکترود کاتدی می‌نشیند.

فرایند هال: استخراج آلومینیم

آلومینیم از جمله فلزهای فعال است که در طبیعت به شکل ترکیب یافت می‌شود. آلومینیم با این‌که با اکسیژن واکنش می‌دهد اما به دلیل تشکیل لایهٔ مقاوم اکسید آن (Al_2O_3)، دچار خوردگی نمی‌شود.

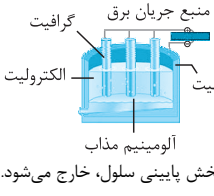
آلومینیم ۱) دارای E° منفی ($-1/66\ V$) است؛ از این رو فلزی فعال است. ۲) به سرعت در هوا اکسایش می‌یابد و به Al_2O_3 تبدیل می‌شود. ۳) با تشکیل لایهٔ چسبنده و متراکم Al_2O_3 در سطح فلز، مانع ادامهٔ اکسایش خود می‌شود. ۴) استحکام بالای آن سبب شده برای ساخت وسایل گوناگون از جمله لوازم خانگی، بدنهٔ هواپیما، کشتی و ... استفاده شود.

استخراج آلومینیم از طبیعت: در شیمی دهم خواندید که سنگ معدن آلومینیم، در طبیعت **بوکسیت** (Al_2O_3 ناخالص) است. فلز Al تنها از برقکافت نمک‌های مذاب آن به دست می‌آید. رایج‌ترین روش استخراج آلومینیم، **فرایند هال** است. فرایندی که در آن، از برقکافت آلومینیم اکسید، فلز آلومینیم استخراج می‌شود.

معادلهٔ کلی استخراج Al در فرایند هال:

$$2Al_2O_3(s) + 3C(s) \rightarrow 4Al(l) + 3CO_2(g)$$

جمع‌بندی فرایند هال: ۱) از یک سلول الکترولیتی استفاده می‌شود که در آن به کمک منبع انرژی برق مستقیم یک واکنش اکسایش ـ کاهش انجام می‌شود. ۲) آند و کاتد هر دو از جنس **گرافیت** هستند (الکترودهای بی‌اثر).





فلز آلومینیم مذاب از بخش پایینی سلول، خارج می‌شود.

۳) محصول کاتدی، فلز Al است که به صورت آلومینیم مذاب از دستگاه خارج می‌شود. ۴) محصول آندی، گاز CO_2 است. این گاز از واکنش میان اکسیژن حاصل از برقکافت Al_2O_3 با کربن موجود در الکترود گرافیتی آند به وجود می‌آید. ۵) به کمک انرژی برق، Al_2O_3 برقکافت شده و فلز **Al** استخراج می‌شوند.

توجه: به علت مصرف زیاد انرژی الکتریکی فرایند هال، هزینهٔ بالایی دارد؛ به همین دلیل، بازیافت آلومینیم سبب کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی می‌شود.

SanjeshCloud

خیلی سبز ۳۶۰



شیمی ۱۲

درسنامه خلاصه فصل به فصل
فصل ۳ و ۴

رشتهٔ تجربی

SanjeshCloud

درصد جرمی

تعریف: درصد جرمی یک ماده در هر نمونه، جرمی از آن ماده برحسب گرم است که در صد گرم از نمونه وجود دارد.

درصد جرمی را در واقع می‌توان نوعی درصد خلوص دانست؛ بنابراین برای محاسبهٔ آن، همانند درصد خلوص می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد.

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم مادهٔ مورد نظر}}{\text{جرم کل نمونهٔ موجود}} \times ۱۰۰$$

$$\text{جرم مادهٔ مورد نظر در نمونه} \Rightarrow \text{جرم کل نمونهٔ موجود} \times \frac{\text{درصد جرمی}}{۱۰۰}$$

مثال ۱: در ۲ کیلوگرم سنگ هالیت مقدار ۲۰۰ گرم ناخالصی گزارش شده است. درصد خلوص (جرمی) سدیم کلرید در این کانه را به دست آورید؟

پاسخ: در رابطهٔ درصد جرمی باید جرم مادهٔ خالص و جرم نمونه برحسب یک نوع یکای جرم باشند؛ پس: $۲\ \text{kg} = ۲۰۰۰\ \text{g}$

$$\text{درصد خلوص (درصد جرمی) NaCl} = \frac{\text{جرم خالص NaCl}}{\text{جرم سنگ هالیت}} \times ۱۰۰ = \frac{۱۸۰۰\ \text{g}}{۲۰۰۰\ \text{g}} \times ۱۰۰ = ٪۹۰$$

مثال ۲: درصد جرمی سیلیس در یک نمونه خاک رس ۳۰٪ گزارش شده است از هر تن این نمونه خاک، چند کیلوگرم سیلیس قابل استخراج است؟ بازده درصدی فرایندهای استخراج سیلیس را ۶۰٪ در نظر بگیرید.

پاسخ: یک تن خاک رس معادل ۱۰۰۰ کیلوگرم است؛

$$\underset{\text{نظری}}{?\text{kg}\ SiO_۲} = ۱۰۰۰\ \text{kg خاک} \times \frac{۳۰}{۱۰۰} = ۳۰۰\ \text{kg}\ SiO_۲$$

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۶۰ = \frac{\text{عملی kg}\ SiO_۲}{۳۰۰\ \text{kg}\ SiO_۲} \times ۱۰۰$$

$$\Rightarrow \text{مقدار عملی} = ۳۰۰ \times \frac{۶۰}{۱۰۰} = ۱۸۰\ \text{kg}\ SiO_۲$$

مثال ۳: درصد جرمی سدیم در ترکیب سدیم فسفات را محاسبه کنید.

$$(\mathbf{P = ۳۱, Na = ۲۳, O = ۱۶ : g.mol^{-۱}})$$

پاسخ: فرمول شیمیایی سدیم فسفات به صورت $Na_۳PO_۴$ است. در هر مول آن، ۳ مول سدیم وجود دارد؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$\text{درصد Na} = \frac{۳\text{Na}}{۳\text{Na} + \text{P} + ۴\text{O}} \times ۱۰۰ = \frac{(۳ \times ۲۳)\ \text{g}}{(۱۶۴)\ \text{g}} \times ۱۰۰ = ٪۴۲/۰۷$$

SanjeshCloud

مثال ۴: اگر از تجزیهٔ گرمایی کامل ۲۰۰ g کلسیم کربنات، مقدار ۶ / ۳۳ لیتر گاز کربن دی‌اکسید در شرایط STP تولید شده باشد، درصد جرمی کلسیم کربنات در نمونهٔ به کار رفته را محاسبه کنید؟ $(Ca = 40 , O = 16 , C = 12 : g.mol^{-1})$

پاسخ: معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش عبارت است از:

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$$

ابتدا مقدار گرم کلسیم کربنات لازم برای تولید ۶ / ۳۳ لیتر کربن دی‌اکسید در شرایط STP را محاسبه می‌کنیم:

$$?g\ CaCO_3 = 33/6\ L\ CO_2 \times \frac{1\ mol\ CO_2}{22/4\ L\ CO_2} \times \frac{1\ mol\ CaCO_3}{1\ mol\ CO_2}$$

$$\times \frac{100\ g\ CaCO_3}{1\ mol\ CaCO_3} = 150\ g\ CaCO_3$$

حالا می‌توان درصد جرمی نمونه را به دست آورد:

$$\text{درصد جرمی کلسیم کربنات} = \frac{\text{جرم } CaCO_3\ g}{\text{کل نمونه } g} \times 100 = \frac{150\ g}{200\ g} \times 100 = ٪75$$

انواع جامدها

شیمی‌دان‌ها، انواع جامدها را در چهار نوع مولکولی، کووالانسی، یونی و فلزی دسته‌بندی کرده‌اند.

جدول زیر برخی ویژگی‌های مهم انواع جامدها را نشان می‌دهد:

نوع جامد	ویژگی
مولکولی	**ذره‌های سازنده:** مولکول‌های مجزا/ **نیروهای بین ذره‌ها:** وان‌دروالسی یا هیدروژنی/ **دمای ذوب:** پایین/ **رسانایی:** نارسانای جریان الکتریکی
کووالانسی	**ذره‌های سازنده:** اتم‌ها با شبکه‌های غول‌آسا/ **نیروهای بین ذره‌ها:** پیوندهای اشتراکی (کووالانسی)/ **دمای ذوب:** بسیار بالا / **رسانایی:** نارسانای جریان الکتریکی (به‌جز گرافیت) / **سختی:** بالا (به‌جز گرافیت)
یونی	**ذره‌های سازنده:** کاتیون‌ها و آنیون‌ها (یون‌ها)/ **نیروهای بین ذره‌ها:** پیوند یونی در همهٔ جهت‌ها/ سخت اما شکننده در برابر ضربه/ **دمای ذوب و جوش:** بالا/ **رسانایی:** در حالت مذاب یا محلول رسانای جریان الکتریکی ولی در حالت جامد نارسانای برق
فلزی	**ذره‌های سازنده:** کاتیون‌های فلزی ثابت در دریایی از الکترون‌های آزاد/ **نیروهای بین ذره‌ها:** جاذبه‌های یون ـ الکترون/ **دمای ذوب و جوش:** اغلب بالا/ **رسانایی:** همواره رسانای جریان الکتریکی هستند./ **مقاومت:** چکش‌خور و شکل‌پذیر

SanjeshCloud

نکته: از جامدهای کووالانسی، فقط گرافیت رسانای جریان الکتریکی است. گرافیت به دلیل داشتن ساختار لایه‌ای، ماده‌ای نرم به شمار می‌رود.

سیلیس؛ زیبا، سخت و ماندگار

- **ترکیب‌های گوناگون** دو عنصر O و Si (سیلیس) بیش از ۹۰٪ پوستهٔ جامد زمین را تشکیل می‌دهند.
- **سیلیسیم (Si)** پس از اکسیژن، **فراوان‌ترین** عنصر در **پوستهٔ جامد** زمین است.

ویژگی‌های سیلیس (SiO_2):

- فراوان‌ترین اکسید در پوستهٔ جامد زمین است.
- اتم‌های Si و O با پیوندهای اشتراکی Si — O — Si به هم متصل شده‌اند.
- واحدهای مجزا SiO_2 ندارد، بلکه ساختاری پیوسته و شبکه‌ای غول‌آسا دارد (دارای مولکول نیست).
- نمونهٔ خالص SiO_2، **کوارتز** نام دارد. ماسه از نمونه‌های ناخالص SiO_2 است.
- جزء جامدهای کووالانسی است.
- دیرگداز است و سختی بالایی دارد.

یادآوری: جامدهای کووالانسی به موادی گفته می‌شوند که بین تمام اتم‌های آن‌ها، پیوند اشتراکی (کووالانسی) وجود دارد.

نکته: پخته‌شدن نان سنگک بر روی دانه‌های درشت شن را می‌توان نشانه‌ای از **مقاومت گرمایی سیلیس** دانست.

مقایسهٔ Si و C

سیلیسیم و کربن دو عنصر از گروه ۱۴ جدول دوره‌ای هستند که در ساختار جامدهای کووالانسی شرکت می‌کنند.

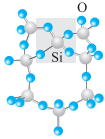
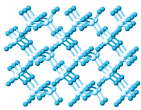
در جدول زیر دو عنصر Si و C با هم مقایسه شده‌اند:

نام عنصر / ویژگی	کربن (C)	سیلیسیم (Si)
عدد اتمی	۶	۱۴
شمارهٔ گروه در جدول دوره‌ای	۱۴	۱۴
مدل الکترون ـ نقطه‌ای	·Ċ· (۴ الکترون ظرفیتی دارد.)	·Ṡi· (۴ الکترون ظرفیتی دارد.)
خصلت	نافلز	شبه‌فلز
تمایل به تشکیل یون پایدار	ندارد	ندارد
اکسیدها	CO_2 (کربن دی‌اکسید) CO (کربن مونواکسید)	SiO_2 (سیلیس)

SanjeshCloud

CO_2 یک جامد مولکولی اما SiO_2 یک جامد کووالانسی است. این دو ماده شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با همدیگر دارند.

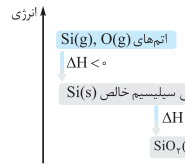
تفاوت‌ها و شباهت‌های CO_2 و SiO_2 در جدول زیر ارائه شده است:

ویژگی / نوع اکسید	کربن دی‌اکسید (CO_2)	سیلیس (SiO_2)
نوع جامد	مادهٔ (جامد) مولکولی (یخ خشک $CO_2(s)$)	جامد کووالانسی
ساختار	خطی سه‌اتمی 	شبکهٔ به هم پیوسته و غول‌آسا 
درجهٔ سختی	پایین	جامد با سختی بالا (استحکام بالا)
دمای ذوب و جوش	پایین (در دما و فشار اتاق گاز است.)	بالا (در دما و فشار اتاق جامد است.)
ذره‌های سازنده	مولکول‌های مجزا CO_2 	ساختاری به هم پیوسته و غول‌آسا از پل‌های $Si — O — Si$ 
نیروی بین ذره‌ها	جاذبه‌های وان‌دروالسی	پیوندهای اشتراکی (کووالانسی)

نکته: از آن‌جا که پایداری SiO_2 از Si خالص بیشتر است، سیلیسیم در طبیعت به حالت خالص یافت نمی‌شود، بلکه به طور عمده به شکل **سیلیس** (SiO_2) یافت می‌شود.

SanjeshCloud

به نمودار مقابل دقت کنید: این نمودار نشان می‌دهد که پایداری SiO_2 در طبیعت بیشتر از Si است:



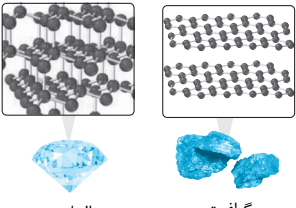
ساینده‌ای ارزان با نام سیلیسیم کربید (SiC)

۱) جزء جامدهای کووالانسی است. ۲) ساختاری شبیه الماس دارد. (شبکهٔ غول‌آسا و به هم پیوسته) ۳) شامل شمار بسیار زیادی از اتم‌های سیلیسیم و کربن با پیوندهای اشتراکی Si — C است. ۴) سختی و دمای ذوب آن از الماس کم‌تر ولی از سیلیسیم بیشتر است. ۵) به عنوان یک سایندهٔ ارزان‌قیمت در تهیهٔ سنباده استفاده می‌شود.

دگرشکل‌های کربن

الماس و گرافیت

گرافیت و الماس از جمله دگرشکل‌های **طبیعی** کربن به شمار می‌روند. جدول زیر ساختار این دو ماده را نشان می‌دهد:



در جدول زیر، ویژگی‌های الماس و گرافیت با هم مقایسه شده است:

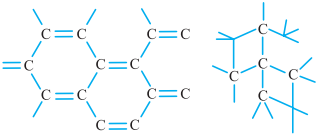
ویژگی	گرافیت	الماس
نوع ساختار	لایه‌لایه، غول‌آسا متشکل از حلقه‌های شش‌گوشهٔ کربنی	شبکه‌ای غول‌آسا
نوع جامد	جامد کووالانسی	جامد کووالانسی
چینش اتم‌ها	چینش دوبعدی اتم‌های کربن و تشکیل صفحات غول‌آسا	چینش سه‌بعدی اتم‌های کربن و تشکیل یک شبکهٔ سه‌بعدی غول‌آسا
چگالی	$2/27\ g.cm^{-3}$ (کم‌تر از الماس)	$3/51\ g.cm^{-3}$ بسیار بالا و بیشتر از گرافیت
سختی	بسیار کم (نرم) (به دلیل نیروی ضعیف بین لایه‌ها)	بسیار سخت (سخت‌ترین مادهٔ طبیعت)

SanjeshCloud

ویژگی	گرافیت	الماس
ذره‌های سازنده	اتم‌های کربن	اتم‌های کربن
نیروی بین ذره‌ها	پیوندهای اشتراکی: میان اتم‌های درون هر لایه نیروی وان‌دروالسی: بین لایه‌ها	پیوندهای اشتراکی: میان تمام اتم‌ها
برخی کاربردها	مغز مداد	ساخت مته‌ها و ابزار برش شیشه، جواهرات

نکته در الماس، هر اتم کربن با **۴ پیوند** اشتراکی یگانه به **چهار اتم** کربن دیگر متصل است اما در گرافیت هر اتم کربن با **۴ پیوند** (۲ پیوند یگانه و یک پیوند دوگانه) به **۳ اتم کربن** دیگر متصل است.

در شکل‌های زیر، به تعداد پیوندهای اشتراکی هر اتم کربن و تعداد اتم‌های متصل به هر کربن در الماس و گرافیت، دقت کنید:



گرافیت الماس

نکته با توجه به میانگین آنتالپی پیوندهای C — C ، Si — Si و C — Si که در جدول زیر آمده است، می‌توان نوشت:

نوع پیوند	C — C	Si — C	Si — Si
میانگین آنتالپی پیوند $(kJ.mol^{-1})$	۳۴۸	۳۱۸	۲۲۶

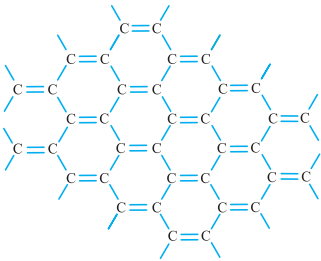
میانگین آنتالپی و استحکام پیوند: C — C > Si — C > Si — Si

در سیلیسیم در سیلیسیم کربید در الماس

$\Rightarrow$ سیلیسیم خالص < سیلیسیم کربید < الماس :سختی و دمای ذوب

گرافن، گونه‌ای به ضخامت یک اتم

ساختار گرافن



«ساختار تک‌لایه‌ای گرافن»

گرافن، تک لایه‌ای از گرافیت است که در آن اتم‌های کربن با پیوندهای اشتراکی حلقه‌های شش‌گوشه به **ضخامت یک اتم کربن** تشکیل داده‌اند.

نکته در ساختار گرافن، هر اتم کربن با **۴** پیوند اشتراکی به **۳** اتم کربن دیگر متصل شده است.

SanjeshCloud

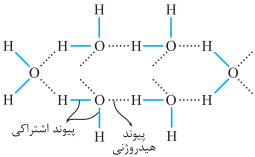
ویژگی‌های گرافن: ۱) در ساختار گرافن هر شش اتم کربن یک شش‌گوشه تشکیل داده‌اند و از اتصال این شش‌گوشه‌ها، ساختاری لایه‌ای شبیه کندوی زنبور عسل پدید آمده است. ۲) گرافن یک جامد کووالانسی دوبعدی به ضخامت یک اتم کربن است، به همین دلیل برخلاف گرافیت، ساختاری شفاف و انعطاف‌پذیر دارد. ۳) با وجود ضخامت نانومتری گرافن، ساختار آن استحکام ویژه‌ای دارد، به طوری که مقاومت کششی آن حدود ۱۰۰ برابر فولاد است. ۴) گرافن رسانای جریان الکتریسیته است.

تهیهٔ گرافن: یک روش تهیهٔ گرافن، استفاده از گرد گرافیت و نوارچسب نازک برای جداکردن لایه‌هایی نازک با ضخامتی در حد نانومتر از گرافن است.

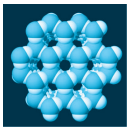
سازه‌های یخی، زیبا و سخت اما زودگذار

ساختار یخ و سایر مواد مولکولی

یخ ظاهری شبیه به سیلیس دارد به طوری که سازه‌های یخی شفاف بوده و هنر به کار رفته در آن‌ها، خود جلوه‌گر زیبایی است. این زیبایی خود، مدیون آرایش سه‌بعدی و منظم مولکول‌های H_2O در ساختار یخ است.



«ساختار یخ»



مولکول‌های H_2O در ساختار یخ، با تشکیل حلقه‌های شش‌گوشه، شبکه‌ای همانند کندوی زنبور عسل با استحکام ویژه پدید می‌آورند.

مقایسهٔ ساختار یخ و سیلیس

در جدول زیر، سیلیس به عنوان یک جامد **کووالانسی** با یخ به عنوان یک جامد **مولکولی** با هم مقایسه شده‌اند:

ماده / ویژگی	سیلیس ($SiO_2(s)$)	یخ ($H_2O(s)$)
نوع جامد	جامد کووالانسی	جامد مولکولی
واحدهای سازنده	پل‌های $-Si-O-Si-$	مولکول‌های H_2O
واحدهای مجزا (مولکول)	مولکول ندارد (شبکهٔ غول‌آسا و پیوسته دارد.)	مولکول دارد (مولکول‌های H_2O)

SanjeshCloud

ماده / ویژگی	سیلیس ($SiO_2(s)$)	یخ ($H_2O(s)$)
نیروهای نگه‌دارنده ساختار	پیوندهای اشتراکی: میان همهٔ اتم‌ها	پیوندهای اشتراکی: درون مولکول پیوندهای هیدروژنی: میان مولکول‌ها
دمای ذوب	بسیار بالا ($1710\ ^\circ C$) (دیرگداز)	پایین ($0\ ^\circ C$) (زودگداز)
استحکام	استحکام زیاد	استحکام کم
سختی	سختی بالا	سختی پایین
ساختار بلور	آرایش منظم و سه‌بعدی اتم‌ها دارای شش‌گوشه‌هایی همانند کندوی زنبور عسل	آرایش منظم و سه‌بعدی مولکول‌ها دارای شش‌گوشه‌هایی همانند کندوی زنبور عسل

نکته: استفاده از واژهٔ مولکول، فرمول مولکولی، جرم مولکولی و نیروهای بین‌مولکولی فقط برای مواد مولکولی مجاز است اما استفادهٔ این واژه‌ها برای جامدهای کووالانسی، یونی و فلزی مجاز نیست.

- در ساختار یک جامد کووالانسی (مانند سیلیس) در مقایسه با یک جامد مولکولی (مانند یخ)، میان همهٔ اتم‌ها پیوندهای اشتراکی وجود دارد، به همین دلیل چنین موادی دمای ذوب بالایی دارند و دیرگداز هستند.

تعریف: ۱) مواد مولکولی به موادی گفته می‌شود که واحدهای سازندهٔ آن‌ها مولکول‌ها هستند. (مانند: یخ، ید و ...) **۲) مولکول** واحدهای مجزایی شامل دو یا چند اتم با پیوندهای اشتراکی بوده و نقش کلیدی در تعیین خواص و رفتار مواد مولکولی دارند.

رفتارهای مواد مولکولی:

۱- رفتار فیزیکی: به نوع و قدرت نیروهای بین‌مولکولی آن‌ها بستگی دارد؛ برخی رفتارهای فیزیکی مواد عبارت‌اند از: آنتالپی تبخیر، نقطهٔ جوش، دمای ذوب، و ...

۲- رفتار شیمیایی: به طور عمده به پیوندهای اشتراکی و جفت‌الکترون‌های ناپیوندی موجود در مولکول آن‌ها بستگی دارد، مانند: واکنش‌پذیری شیمیایی، خصلت نافلزی، آنتالپی پیوند، آنتالپی سوختن و ...

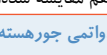
SanjeshCloud

نکته: ۱) ترکیب‌هایی که در دما و فشار اتاق به حالت مایع هستند، جزء مواد مولکولی به شمار می‌روند. ۲) اغلب ترکیب‌های آلی، جزء مواد مولکولی هستند.

رفتار مولکول‌ها و توزیع الکترون‌ها

مولکول‌های دواتمی

ساده‌ترین مولکول، مولکول‌های دواتمی هستند که در دو دستهٔ جورهسته و ناجورهسته در جدول زیر با هم مقایسه شده‌اند:

نوع مولکول / ویژگی	دواتمی جورهسته (اتم‌های یکسان)	دواتمی ناجورهسته (اتم‌های غیریکسان)
نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی		
نمونه‌ها	N_2 ، O_2 ، F_2 و ... Cl_2 ، I_2 ، H_2	HF، NO، CO و ...
اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ مولکول	دو اتم یکسان (جورهسته)	دو اتم متفاوت (ناجورهسته)
بیشترین احتمال حضور الکترون‌های پیوندی	فضای بین دو هسته	پیرامون هستهٔ اتم با خاصیت نافلزی بیشتر
چگونگی توزیع الکترون‌ها در مولکول	متقارن (یکسان و یکنواخت)	نامتقارن (غیریکسان و غیریکنواخت)
گشتاور دوقطبی	$\mu = 0$	$\mu > 0$
قطبیت مولکول	ناقطبی	قطبی
جهت‌گیری در میدان الکتریکی	ندارند	دارند

نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی

توزیع جفت‌الکترون‌های پیوندی و ناپیوندی در هر مولکول نقش مهمی در تعیین رفتار آن به‌ویژه در میدان الکتریکی دارد به طوری که اگر این توزیع در مولکول یکنواخت و متقارن باشد، مولکول ناقطبی بوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند.

- نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی برای نمایش احتمال حضور الکترون‌ها در مولکول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی، به اتمی که تراکم بار الکتریکی روی آن بیشتر است، بار جزئی منفی ($-\delta$) نسبت داده می‌شود و آن را با رنگ قرمز نشان می‌دهند. در نقشهٔ الکتروستاتیکی به اتم دیگر نیز بار جزئی مثبت ($+\delta$) نسبت و با رنگ آبی نمایش داده می‌شود.

SanjeshCloud

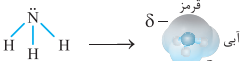
نکته: احتمال حضور جفت‌الکترون‌های پیوندی، پیرامون هستهٔ اتم با خصلت **نافلزی بیشتر**، بالاتر است.

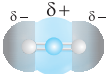
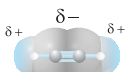
یادآوری: ۱- خصلت نافلزی در جدول دوره‌ای از چپ به راست افزایش می‌یابد.
۲- در گروه‌های نافلزی، خصلت نافلزی از بالا به پایین کاهش می‌یابد.

■ نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی یک مولکول، در واقع **روشی تجربی** برای تشخیص قطبیت مولکول‌ها است.

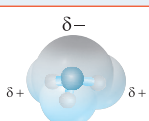
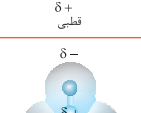
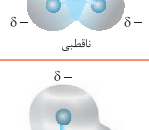
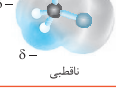
جدول زیر نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی چند مولکول را با هم مقایسه کرده است:

نکته: وجود جفت الکترون‌های ناپیوندی روی اتم مرکزی مولکول‌های چندتایی، می‌تواند تقارن و توزیع یکنواخت بارهای الکتریکی در این مولکول‌ها را به هم بزند. به عنوان نمونه وجود جفت الکترون روی اتم N در مولکول آمونیاک سبب قطبی‌شدن این مولکول می‌شود.



نام مولکول	فرمول مولکولی	شکل مولکول	نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی
فلوئور	F_2	خطی دواتمی	 ناقطبی
هیدروژن فلوئورید	HF	خطی دواتمی	 قطبی
کربن دی‌اکسید	CO_2	خطی سه‌اتمی	 ناقطبی
کربونیل سولفید	SCO	خطی سه‌اتمی	 قطبی
اتین	C_2H_2	خطی چهاراتمی	 ناقطبی
آب	H_2O	خمیده (V شکل)	 قطبی

SanjeshCloud

نام مولکول	فرمول مولکولی	شکل مولکول	نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی
آمونیاک	NH_3	هرم با قاعدهٔ سه‌ضلعی (هرمی)	
گوگرد تری‌اکسید	SO_3	سه‌ضلعی مسطح	
کربن تتراکلرید	CCl_4	چهاروجهی منتظم	
کلروفرم	$CHCl_3$	چهاروجهی نامنتظم	

به طور کلی مولکول‌های قطبی و ناقطبی را می‌توان به صورت زیر با هم مقایسه نمود:

قطبیت مولکول	توزیع الکترون‌ها در مولکول	گشتاور دوقطبی
ناقطبی	یکنواخت (متقارن)	$(\mu = 0)$
قطبی	غیریکنواخت (نامتقارن)	$(\mu > 0)$

همان‌طور که در نقشه‌های پتانسیل الکتروستاتیکی دیده می‌شود، برای قطبی‌بودن یک مولکول یکی از دو شرط زیر لازم است:

۱- تراکم بار الکتریکی روی یک اتم بیشتر باشد.

۲- بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی، به صورتی **نامتقارن** و **غیریکنواخت** توزیع شده باشد.

تشخیص مولکول‌های قطبی از ناقطبی

راهنمایی‌های زیر به شما در تشخیص شمار زیادی از مولکول‌های قطبی و ناقطبی، کمک می‌کند:

SanjeshCloud

۱- **مولکول‌های دواتمی** تشکیل‌شده از اتم‌های یکسان (جورهسته)، **ناقطبی‌اند**. مانند: H_2 ، O_2 ، N_2 ، I_2 ، Cl_2 ، F_2 ، Br_2 و ...

۲- **مولکول‌های دواتمی** تشکیل‌شده از اتم‌های متفاوت (ناجورهسته)، **قطبی‌اند**. مانند: HF، HI، HCl، HBr، NO و ...

۳- مولکول‌هایی که روی اتم مرکزی خود، الکترون **ناپیوندی** دارند. **قطبی‌اند**. مانند: $\ddot{O}F_2$ ، PCl_3 ، SO_2 ، NH_3 ، $H_2\ddot{O}$ و ...

۴- مولکول‌هایی که دارای ساختار خمیده (Vشکل) یا **هرمی** هستند، **قطبی‌اند**. مانند: آب ()، آمونیاک () و ...

هنرنمایی شاره (سیال)های مولکولی و یونی برای تولید برق

انرژی رایگان

دانشمندان برای استفادهٔ بهینه از انرژی خدادادی و رایگان خورشید به دنبال فناوری‌هایی هستند که بتوانند بخشی از آن را ذخیره نموده و به شکل انرژی الکتریکی وارد چرخهٔ مصرف نمایند.

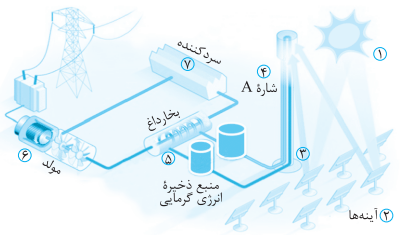
چرا خورشید؟

- خورشید بزرگ‌ترین منبع انرژی برای زمین است.
- خورشید منبع تجدیدپذیر انرژی است که پرتوهای الکترومغناطیسی را به سوی ما گسیل می‌دارد.
- بهره‌گیری از انرژی پاک خورشیدی، کاهش ردپای زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت. (انرژی سبز)

به کمک دانش و فناوری پیشرفته می‌توان انرژی پرتوهای خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد.

فناوری تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی

شکل زیر شمایی از فناوری پیشرفته برای تولید انرژی الکتریکی از پرتوهای خورشیدی را نشان می‌دهد.



SanjeshCloud

مراحل تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی

۱- برخورد نور خورشید به آینه‌ها ۲- آینه‌ها پرتوهای خورشیدی را بر روی برج گیرنده متمرکز می‌کنند. ۳- با متمرکزشدن پرتوهای خورشیدی بر روی گیرندهٔ برج، دمای سدیم کلرید مذاب (شارهٔ یونی) افزایش می‌یابد. ۴- شارهٔ بسیار داغ سدیم کلرید مذاب (شارهٔ A) به منبع ذخیرهٔ انرژی گرمایی سرازیر می‌شود. ۵- منبع ذخیرهٔ انرژی گرمایی حتی در روزهای ابری و شب‌هنگام، با عبوردادن شارهٔ یونی از مجاورت شارهٔ مولکولی (آب)، گرمای لازم برای تبدیل آب به بخار داغ آب را فراهم می‌کند.۶- بخار داغ آب، توربین انرژی الکتریکی (مولد) را به حرکت درمی‌آورد تا منجر به تولید انرژی الکتریکی (برق) شود. ۷- بخار داغ آب پس از به حرکت درآوردن مولد الکتریکی، به بخش سردکننده منتقل می‌شود تا دوباره در چرخهٔ تولید بخار قرار گیرد.

■ در فناوری پیشرفتهٔ تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی، شاهد هنرنمایی شاره‌های مولکولی و یونی به صورت زیر هستیم:

هنرنمایی شارهٔ یونی و شارهٔ مولکولی:

۱- هنرنمایی شارهٔ یونی: سدیم کلرید مذاب به عنوان یک شارهٔ یونی، به دلیل تفاوت زیاد بین نقطهٔ ذوب ($۸۰۱\ ^\circ C$) و نقطهٔ جوش ($۱۴۱۳\ ^\circ C$) به عنوان یک منبع ذخیرهٔ انرژی گرمایی استفاده می‌شود.

۲- هنرنمایی شارهٔ مولکولی: بخار داغ آب به عنوان یک شارهٔ مولکولی، با به حرکت درآوردن توربین مولد الکتریکی سبب تولید انرژی الکتریکی می‌شود.

نکته: گسترهٔ دمایی مایع‌بودن در ترکیب‌های یونی بیشتر از مواد مولکولی است که دلیل آن قوی‌تربودن جاذبهٔ میان ذره‌های سازنده (یون‌ها) در ترکیب‌های یونی نسبت به مواد مولکولی می‌باشد. بنابراین مواد یونی برای استفاده به عنوان یک شارهٔ ذخیرهٔ انرژی گرمایی بسیار مناسب هستند.

■ گسترهٔ دمایی سدیم کلرید مذاب در فناوری تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی در حدود ۱۳۵۰ ـ ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس، یعنی حدود $۵۰۰\ ^\circ C$ است؛ به عبارتی گسترهٔ مایع‌بودن آن برابر است با: $۵۰۰\ ^\circ C - ۸۵۰\ ^\circ C = ۱۳۵۰\ ^\circ C$

■ اغلب فلزها نیز مانند ترکیب‌های یونی، نقطهٔ ذوب و جوش بالایی دارند. اختلاف نقطهٔ ذوب و جوش آن‌ها با یکدیگر زیاد است؛ یعنی در گسترهٔ دمایی وسیعی به حالت مایع باقی می‌مانند. کتاب درسی در حاشیهٔ صفحهٔ ۷۸، نقطهٔ ذوب و جوش اکسیژن (O_2)، آب (H_2O) و مس (Cu) و گسترهٔ دمایی مایع‌بودن آن‌ها را نیز آورده است که با توجه به میزان اختلاف دمای جوش و ذوب این مواد می‌توان نوشت: $Cu > NaCl > HF > H_2O > O_2 > N_2$:گسترهٔ دمایی مایع‌بودن

$\Rightarrow Cu > NaCl > HF > H_2O > O_2 > N_2$:نیروی جاذبهٔ بین ذره‌ها

SanjeshCloud

چینش زیبا، منظم و سه‌بعدی یون‌ها در جامد یونی

چگونگی تشکیل ترکیب‌های یونی دوتایی

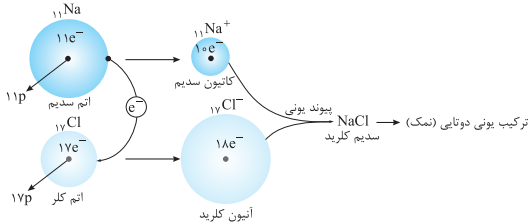
تعریف: ترکیب یونی دوتایی به ترکیبی گفته می‌شود که از یک نوع کاتیون فلزی و یک نوع آنیون نافلزی تشکیل شده است؛ مانند: $NaCl$، Al_2O_3، $MgBr_2$، Li_2O و ...

شرایط تشکیل ترکیب یونی دوتایی:

اتم فلزی به اتم نافلزی یک یا چند الکترون منتقل می‌کند و به این ترتیب، فلز به کاتیون و نافلز به آنیون تبدیل می‌شود. سپس کاتیون‌ها و آنیون‌ها با جاذبهٔ یونی (پیوند یونی) ترکیب یونی دوتایی را تشکیل می‌دهند.

چگونگی تشکیل نمک سدیم کلرید:

شکل زیر دادوستد الکترون میان اتم‌های سدیم و کلر به هنگام تشکیل نمک خوراکی را نشان می‌دهد:



معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش بین سدیم و کلر به صورت زیر است:

$$2Na(l) + Cl_2(g) \rightarrow 2NaCl(s)$$

در واکنش فلز سدیم با گاز کلر: ■ فلز سدیم در حالت مذاب با گاز زردرنگ کلر در شرایط مناسب با هم واکنش می‌دهند. ■ **جامد سفیدرنگی** به نام سدیم کلرید ($NaCl$) تشکیل می‌شود. ■ نور و گرمای زیادی **آزاد می‌شود** (واکنش بسیار گرماده است).

■ در تبدیل فلز به کاتیون، شعاع کاهش می‌یابد: $Na^+ < Na$:شعاع

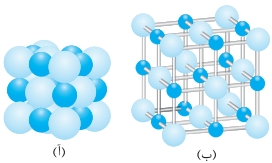
■ در تبدیل نافلز به آنیون شعاع افزایش می‌یابد: $Cl^- > Cl$:شعاع

تعریف: پیوند یونی نوعی پیوند شیمیایی قوی است که بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ترکیب‌های یونی به وجود می‌آید.

در ترکیب‌های یونی: نیروهای دافعه بین یون‌های همنام وجود دارد. نیروهای جاذبه بین یون‌های ناهمنام وجود دارد. نیروهای دافعه و جاذبه از همهٔ جهت‌ها و در فاصله‌های گوناگون به یون‌ها وارد می‌شود. مجموع نیروهای جاذبه بر مجموع نیروهای دافعه غالب است و شبکهٔ بلوری تشکیل می‌شود.

SanjeshCloud

شبکهٔ بلوری ترکیب‌های یونی


(ا) (ب)

آرایش منظمی از یون‌ها در سه بعد با پیروی از یک الگوی تکراری، شبکهٔ بلوری جامد یونی را تشکیل می‌دهد.

تعریف: به آرایش سه‌بعدی و منظم اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌ها در حالت **جامد شبکهٔ بلوری** می‌گویند.

یادآوری: استفاده از نام **مولکول** و **فرمول مولکولی** برای ترکیب‌های یونی **نادرست** است؛ زیرا در ترکیب‌های یونی واحدهای مجزایی به نام مولکول دیده نمی‌شود (شبکهٔ بلوری دارند).

نکته: به ترکیب‌های یونی در حالت جامد، **جامدهای یونی** گفته می‌شود.

■ در جامدهای یونی، هر کاتیون با شمار معینی آنیون و هر آنیون با شمار معینی کاتیون احاطه شده است.

عدد کوئوردیناسیون: به شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهمنام موجود پیرامون هر یون در شبکهٔ بلور **عدد کوئوردیناسیون** گفته می‌شود.

نکته: عدد کوئوردیناسیون یون‌های سدیم و کلرید در بلور سدیم کلرید یکسان و برابر با ۶ است. (همان‌طور که در شکل(ب) مشخص است.)

عدد کوئوردیناسیون یون‌ها در سدیم کلرید برابر ۶ است، یعنی:
- اطراف هر یون سدیم، ۶ یون کلرید وجود دارد.
- اطراف هر یون کلرید، ۶ یون سدیم وجود دارد.

یادآوری: فرمول شیمیایی هر ترکیب یونی، ساده‌ترین نسبت کاتیون‌ها و آنیون‌های سازندهٔ آن را نشان می‌دهد.

نکته: در شبکهٔ بلور جامدهای یونی، یون‌های ناهمنام به هم نزدیک و یون‌های همنام از همدیگر دورترند. از این رو نیروی جاذبهٔ بین یون‌های ناهمنام قوی‌تر از دافعه است و همین پدیده سبب پایداری، استحکام و بالابودن دمای ذوب جامدهای یونی می‌شود.

مهم‌ترین ویژگی‌های مشترک ترکیب‌های یونی

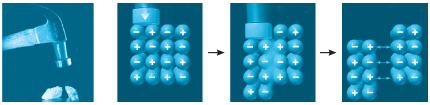
برخی ویژگی‌های مشترک ترکیب‌های یونی (و نمک‌ها) عبارت‌اند از:

۱- **معمولاً دمای ذوب و جوش** بالایی دارند. ← دلیل: جاذبهٔ قوی بین یون‌ها و آنتالپی فروپاشی زیاد شبکهٔ بلوری آن‌ها.

۲- **سخت و مقاوم‌اند.** ← دلیل: نیروی قوی بین یون‌ها که سبب سختی آن‌ها شده است.

۳- **شکننده‌اند.** ← دلیل شکننده‌بودن: کنار هم قرارگرفتن یون‌های همنام بر اثر جابه‌جایی آن‌ها ناشی از ضربه. (شکل زیر)

SanjeshCloud

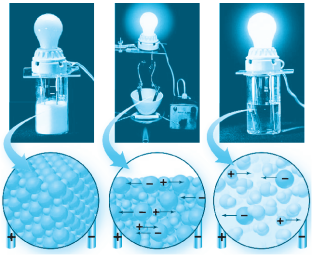


۴- **در حالت جامد (جامد یونی) رسانای جریان الکتریکی نیستند** زیرا یون‌ها در حالت جامد، توانایی حرکت آزادانه و انتقال الکتریسیته را ندارند.

۵- **داشتن رسانایی الکتریکی در حالت مذاب و محلول** ⟵ دلیل: جابه‌جایی و آزادانه حرکت‌کردن یون‌ها در حالت محلول و مذاب.

نکته: عبور جریان برق از نمک‌ها در **حالت مذاب** به برقکافت نمک منجر شده به طوری که عنصرهای سازندهٔ نمک را از هم جدا می‌کند. مثلاً در برقکافت $NaCl(l)$ واکنش زیر منجر به تولید عنصرهای سدیم و کلر می‌شود:

$$۲NaCl(l) \xrightarrow{\text{برقکافت}} ۲Na(l) + Cl_۲(g)$$



روند تغییرات شعاع یون‌ها در جدول دوره‌ای

به طور کلی شعاع هر کاتیون از اتم خنثی آن کوچک‌تر و شعاع هر آنیون از اتم خنثی آن بزرگ‌تر است. مثال: شعاع: $X^- > X > X^+$

روند تغییرات شعاع یونی در جدول دوره‌ای

- **در هر گروه از جدول دوره‌ای**: از بالا به پایین به دلیل افزایش تعداد لایه‌های الکترونی، همانند شعاع اتمی،شعاع یونی نیز **افزایش می‌یابد**.

مثال: شعاع یونی: $Li^+ < Na^+ < K^+ < \cdots$

- **در هر تناوب از جدول** دوره‌ای، هر چه بار منفی یک یون بیشتر (یا بار مثبت آن کم‌تر) باشد، شعاع آن یون بزرگ‌تر است؛ مثال:

$$_{۱۳}Al^{۳+} < _{۱۲}Mg^{۲+} < _{۱۱}Na^+$$

$$\text{شعاع یونی: بار مثبت بیشتر} \longleftarrow < _{۱۷}Cl^- < _{۱۶}S^{۲-} < _{۱۵}P^{۳-} \longrightarrow \text{بار منفی بیشتر}$$

SanjeshCloud

چگالی بار الکتریکی یون‌ها

تعریف: نسبت بار الکتریکی به حجم یک یون را **چگالی** (تراکم) بار الکتریکی آن یون می‌گویند.

$$\text{چگالی بار الکتریکی یون} = \frac{\text{بار الکتریکی یون}}{\text{حجم یون}}$$

چگالی بار الکتریکی هر یون

- با تقسیم بار به حجم یون به دست می‌آید.
- با نسبت مقدار بار یون به شعاع یون **رابطهٔ مستقیم** دارد.
- برای مقایسهٔ میزان **برهم‌کنش** میان یون‌ها به کار می‌رود.
- هر چه بیشتر باشد، قدرت **نیروی جاذبه** میان یون‌ها در شبکهٔ بلور قوی‌تر و آنتالپی فروپاشی **شبکهٔ بلور** بیشتر است.

نکته: چگالی بار الکتریکی هر یون با بار الکتریکی یون‌ها رابطهٔ **مستقیم** و با شعاع یون‌ها رابطهٔ **عکس** دارد.

$$\text{چگالی بار الکتریکی یون} \propto \frac{\text{بار الکتریکی یون}}{\text{شعاع یون}}$$

آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور

آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور

به **گرمای** مصرف‌شده در فشار ثابت برای فروپاشی کامل یک مول شبکهٔ جامد یونی و تبدیل آن به یون‌های **گازی‌شکل** سازنده، آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور گفته می‌شود که آن را با $\Delta H_{\text{فروپاشی}}$ نشان می‌دهند و یکای آن $kJ.mol^{-1}$ است.

■ به معادلهٔ فروپاشی شبکهٔ بلور دو ترکیب یونی زیر توجه کنید:

$$NaCl(s) + ۷۸۷\ kJ \rightarrow Na^+(g) + Cl^-(g)$$

$$\Rightarrow \Delta H_{\text{فروپاشی}}[NaCl(s)] = +۷۸۷\ kJ.mol^{-1}$$

$$KBr(s) + ۶۸۹\ kJ \rightarrow K^+(g) + Br^-(g)$$

$$\Rightarrow \Delta H_{\text{فروپاشی}}[KBr(s)] = +۶۸۹\ kJ.mol^{-1}$$

مثال: با توجه به داده‌های جدول زیر، به ترتیب بیشترین چگالی بار الکتریکی به کدام یون و دمای ذوب کم‌تر به کدام ترکیب یونی حاصل از این یون‌ها، تعلق دارد؟

یون	Mg^{2+}	F^-	O^{2-}
شعاع (pm)	۷۲	۱۳۳	۱۴۰

SanjeshCloud

پاسخ: چگالی بار الکتریکی Mg^{2+} نسبت به سایر یون‌های داده‌شده بیشتر است. از یون‌های داده‌شده دو ترکیب MgO و MgF_2 حاصل می‌شود. چگالی بار الکتریکی یون‌های سازندهٔ MgF_2 نسبت به MgO کم‌تر است؛ پس جاذبهٔ بین یون‌های آن ضعیف‌تر و دمای ذوب آن کم‌تر از MgO است.

یادآوری: با این‌که چگالی بار یون برابر است با نسبت بار الکتریکی یون به حجم آن اما برای سادگی مقایسهٔ چگالی بار، می‌توان به جای حجم یون‌ها از شعاع یون‌ها استفاده کرد:

$$\text{چگالی بار یون (نسبت بار به شعاع)} \propto \frac{\text{بار الکتریکی}}{\text{شعاع}}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} Mg^{2+} = \frac{2}{72} = 0/0278 \\ F^{-} = \frac{1}{133} = 0/0075 \\ O^{2-} = \frac{2}{140} = 0/0142 \end{cases}$$

مقایسهٔ آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور ترکیب‌های یونی

هر چه چگالی بار یون‌های سازندهٔ یک جامد یونی بیشتر باشد، جاذبهٔ یونی در شبکهٔ بلوری آن قوی‌تر بوده و شبکهٔ آن دشوارتر فروپاشیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت:

مقدار آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور ترکیب‌های یونی با **چگالی** بار یون‌ها رابطهٔ مستقیم دارد و آن هم به دو عامل بستگی دارد:

۱- با **بار الکتریکی** یون‌ها (کاتیون و آنیون) رابطهٔ **مستقیم** دارد.

۲- با **شعاع یون‌ها** رابطهٔ **عکس** دارد.

روش مقایسهٔ آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور:

برای مقایسهٔ آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلوری ترکیب یونی ابتدا به بار الکتریکی یون‌های سازندهٔ آن‌ها توجه نموده و در اولویت بعدی به شعاع آن نیز توجه می‌کنیم. به طوری که:

۱- هر چه مجموع قدرمطلق بار یون‌های سازندهٔ ترکیب یونی بزرگ‌تر باشد، آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور بزرگ‌تر است.

۲- اگر مجموع قدرمطلق بار یون‌های ترکیب برابر باشد، هر چه شعاع یون‌ها کوچک‌تر باشد، آنتالپی فروپاشی بیشتر است.

SanjeshCloud

مثال: آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور ترکیب‌های Al_2O_3 ، MgO ، K_2O و Na_2O را با هم مقایسه کنید.

پاسخ:

آنتالپی فروپاشی شبکهٔ بلور: $Al_2^{3+}O_3^{2-} > Mg^{2+}O^{2-} > \underbrace{Na_2^{+}O^{2-} > K_2^{+}O^{2-}}_{\text{شعاع: } Na^+ < K^+}$

نکتهٔ مهم: در مورد آنتالپی فروپاشی شبکهٔ جامدهای یونی:

۱- آنتالپی فروپاشی شبکهٔ جامدهای یونی با بار الکتریکی کاتیون و هم با بار الکتریکی آنیون رابطهٔ مستقیم دارد.

۲- به طور کلی میان آنتالپی فروپاشی شبکه و دمای ذوب و جوش جامدهای یونی رابطهٔ مستقیم وجود دارد.

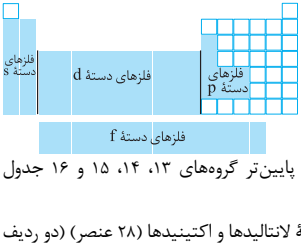
۳- هر چه چگالی بار الکتریکی یون‌های سازندهٔ یک جامد یونی کم‌تر باشد، شبکهٔ آن آسان‌تر (با گرمای کم‌تر) فروپاشیده می‌شود و آنتالپی فروپاشی شبکهٔ آن کم‌تر است.

جمع‌بندی: **بار الکتریکی یون‌ها بیشتر و شعاع یون‌ها کم‌تر** ← **چگالی** بار یون‌ها بیشتر ← نیروی **جاذبهٔ** بین یون‌ها قوی‌تر ← **استحکام** شبکهٔ بلور بیشتر ← ΔH **فروپاشی** شبکه بیشتر ← نقطهٔ **ذوب و جوش** ترکیب یونی بالاتر

فلزها، عنصرهایی شکل‌پذیر با جلایی زیبا

جایگاه فلزها در جدول دوره‌ای

فلزها در هر ۴ دستهٔ عنصرهای جدول دوره‌ای حضور دارند.



۱- فلزهای دستهٔ s ← گروه‌های ۱ و ۲ جدول دوره‌ای (۱۲ عنصر)

۲- فلزهای دستهٔ d ← گروه‌های ۳ تا ۱۲ جدول دوره‌ای (۴۰ عنصر)

۳- فلزهای دستهٔ p ← عنصرهای پایین‌تر گروه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ جدول دوره‌ای (بیشتر از ۷ عنصر)

۴- فلزهای دستهٔ f ← فلزهای دستهٔ لانتانیدها و اکتینیدها (۲۸ عنصر) (دو ردیف جداشده از جدول دوره‌ای)

رفتارهای فلزها

رفتارهای فیزیکی: ■ داشتن جلای فلزی و درخشندگی ■ رسانایی الکتریکی ■ رسانایی گرمایی ■ چکش‌خواری، شکل‌پذیری (تورق‌پذیری)

SanjeshCloud

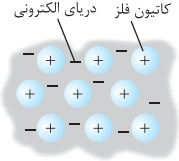
رفتارهای شیمیایی: ■ واکنش‌پذیری شیمیایی ■ تنوع اعداد اکسایش ← داشتن نمک‌های رنگی گوناگون ■ توانایی از دست دادن الکترون ← توانایی تشکیل کاتیون ■ بازی‌بودن خصلت محلول اکسیدهای آن‌ها در آب (در صورت انحلال)

مدل دریای الکترونی در شبکهٔ بلور فلزها

برای توجیه برخی **رفتارهای فیزیکی** فلزها، مدل دریای الکترونی برای شبکهٔ بلوری آن‌ها ارائه شده است.

در مدل دریای الکترونی: ۱) **الکترون‌های ظرفیتی** اتم‌ها، دریایی از **الکترون‌های آزاد** را می‌سازند. ۲) کاتیون‌های فلزی در شبکهٔ بلور فلز ثابت‌اند و جابه‌جا نمی‌شوند. ۳) کاتیون‌ها دارای **آرایش منظم سه‌بعدی** در شبکه هستند. ۴) الکترون‌های ظرفیتی در فضای میان کاتیون‌ها جابه‌جا شده، به همین دلیل به اتم خاصی تعلق ندارند و مربوط به کل شبکهٔ بلوری هستند.

نکته: اگر دریای الکترونی وجود نداشته باشد، به علت نیروی دافعهٔ بین کاتیون‌ها شبکه از هم پاشیده می‌شود. به همین دلیل، شبکهٔ بلوری فلزها از نظر الکتریکی همواره خنثی باقی می‌ماند.



دلیل حفظ چیدمان کاتیون‌ها در شبکهٔ بلور فلزها: نیروی جاذبهٔ میان کاتیون‌ها و دریای الکترونی بر نیروی دافعهٔ بین کاتیون‌ها غلبه می‌کند که سبب حفظ چیدمان کاتیون‌ها در شبکهٔ بلوری می‌شود. به عبارتی وجود دریای الکترونی سبب کاهش دافعهٔ میان کاتیون‌ها شده و مانع از هم پاشیدن شبکهٔ فلزی می‌شود.

در شبکهٔ بلوری فلزها نیروهای زیر وجود دارند:

۱ـ **نیروهای دافعه‌ای**
- میان الکترون‌ها در دریای الکترونی (دافعهٔ الکترون ـ الکترون)
- میان کاتیون‌های فلزی (دافعهٔ کاتیون ـ کاتیون)

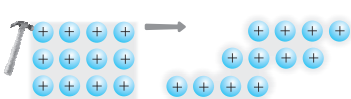
۲ـ **نیروهای جاذبه‌ای** ← میان الکترون‌های دریای الکترونی و کاتیون‌های فلزی (جاذبهٔ الکترون ـ کاتیون)

نکته: دلیل حفظ شبکهٔ بلوری فلزها: غلبهٔ نیروهای جاذبه‌ای بر نیروهای دافعه‌ای است به عبارتی:

در شبکهٔ بلوری فلزها ← نیروهای دافعه > نیروهای جاذبه

SanjeshCloud

توجیه شکل‌پذیری (چکش‌خواری) فلزها:

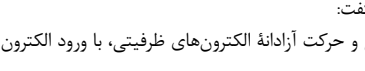


با ضربه به فلزها، چیدمان کاتیون‌ها در شبکهٔ بلوری فلز جابه‌جا می‌شود، اما به دلیل حضور دریای الکترونی در میان یون‌ها، نیروهای جاذبه میان الکترون‌ها و کاتیون‌ها مانع از فروپاشی و شکستن شبکهٔ بلوری فلز می‌شود از این رو با ضربهٔ چکش، فلز تغییر شکل می‌دهد اما بلور آن از هم نمی‌پاشد.

توجیه رسانایی الکتریکی فلزها:

تمام فلزها در حالت جامد و مذاب رسانای جریان برق هستند. برای توجیه رسانایی الکتریکی فلزها، می‌توان گفت:

به دلیل قابلیت جابه‌جایی و حرکت آزادانهٔ الکترون‌های ظرفیتی، با ورود الکترون (جریان برق) از یک منبع خارجی مثل باتری به درون فلز، الکترون‌ها از سمت دیگر فلز خارج می‌شوند.



رنگ، نماد زیبایی

به طور کلی احساس و درک رنگ به دلیل نورهایی است که از محیط پیرامون به چشم ما می‌رسند. در واقع این نورها همان پرتوهای الکترومغناطیسی با طول موج‌هایی در گسترهٔ ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است که توسط چشم ما دیده می‌شوند.

■ مواد رنگی بخشی از نور سفید تابیده‌شده به سطح خود را جذب و باقی‌ماندهٔ آن را عبور می‌دهند یا بازتاب می‌کنند.

۱- **مواد سفیدرنگ**: ماده‌ای که هیچ طول موج نور مرئی را جذب نکند ⟵ همهٔ طول موج‌های مرئی را بازتاب می‌کند ⟵ به رنگ سفید دیده می‌شود.

۲-**مواد سیاه‌رنگ**: ماده‌ای که همهٔ طول موج‌های نور مرئی را جذب کند ⟵ هیچ طول موج مرئی را بازتاب نمی‌کند ⟵ به رنگ سیاه دیده می‌شود.

۳- **مواد رنگی**: ماده‌ای که سبزرنگ است ⟵ همهٔ طول موج‌ها به‌جز رنگ سبز را جذب می‌کند ⟵ طول موج سبز را بازتاب می‌کند ⟵ به رنگ سبز دیده می‌شود.

رنگدانه: در ساختار مواد رنگی، ترکیب‌هایی به نام رنگدانه‌ها وجود دارد.

تعریف: سازندهٔ اصلی یک مادهٔ رنگی که به آن رنگ می‌بخشد، رنگدانه نام دارد.

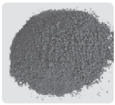
SanjeshCloud

چند رنگدانهٔ طبیعی:



تیتانیم دی‌اکسید (TiO_2)

← رنگدانهٔ معدنی به رنگ سفید



آهن (III) اکسید (Fe_2O_3)

← رنگدانهٔ معدنی به رنگ قرمز



دوده (پودر کربن بی‌شکل)

← رنگدانه معدنی به رنگ سیاه

منشأ تولید رنگدانه‌ها: در گذشته، منابع طبیعی همچون گیاهان، جانوران و برخی کانی‌ها منبع رنگدانه‌ها بوده است. **امروزه** فراورده‌های صنعتی باعث تولید رنگدانه‌های ساختگی شده‌اند که در صنایع غذایی، نساجی، ساختمانی و ... کاربرد دارد.

رنگ‌های پوششی: رنگ‌هایی که برای پوشش سطوح استفاده می‌شوند، نوعی کلویید هستند که لایهٔ نازکی روی سطح ایجاد می‌کنند و به رنگ‌های پوششی معروف هستند.

ویژگی‌ها و نقش رنگ‌های پوششی: ■ نوعی کلویید هستند. ■ سبب زیبایی سطوح می‌شوند. ■ مانع خوردگی جسم (فلز) در برابر اکسیژن، رطوبت و مواد شیمیایی می‌شوند.

نمک‌های متنوع فلزهای واسطه: فلزهای واسطه در ترکیب‌های گوناگون ممکن است عددهای اکسایش متنوع داشته باشند و با توجه به عددهای اکسایش متفاوت، می‌توانند رنگ‌های متفاوتی داشته باشند. به عنوان مثال نمک‌های دارای Fe^{3+} به رنگ قرمز و نمک‌های Fe^{2+} به رنگ سبز دیده می‌شود.

رنگ نمک‌های وانادیم با عددهای اکسایش گوناگون:

آرایش الکترونی فلز وانادیم به صورت روبه‌رو است: $_{23}V : [Ar]\, 3d^3\, 4s^2$.

در جدول زیر انواع نمک‌های وانادیم، عدد اکسایش آن‌ها و رنگ آن‌ها معرفی شده است:

ویژگی / محلول	نماد کاتیون وانادیم	عدد اکسایش وانادیم	آرایش الکترونی کاتیون	رنگ محلول
محلول نمک وانادیم (V)	V^{5+}	+۵	$_{23}V^{5+} : [Ar]$	زرد
محلول نمک وانادیم (IV)	V^{4+}	+۴	$_{23}V^{4+} : [Ar]\, 3d^1$	آبی
محلول نمک وانادیم (III)	V^{3+}	+۳	$_{23}V^{3+} : [Ar]\, 3d^2$	سبز
محلول نمک وانادیم (II)	V^{2+}	+۲	$_{23}V^{2+} : [Ar]\, 3d^3$	بنفش

SanjeshCloud

کاهش وانادیم: با افزودن گرد روی (Zn) می‌توان کاتیون‌های V^{5+} را مرحله به مرحله کاهش داد و با تشکیل کاتیون‌های گوناگون دارای عدد اکسایش ۴+، ۳+ و ۲+ محلول‌هایی با رنگ‌های گوناگون تهیه کرد. در این واکنش‌ها، گرد روی به عنوان کاهنده، سبب کاهش مرحله‌به‌مرحلهٔ یون‌های V^{5+} می‌شود.

در واکنش محلول وانادیم (V) با پودر روی
- فلز روی: کاهنده است. ← اکسایش می‌یابد.
- کاتیون V^{5+}: اکسنده است. ← کاهش می‌یابد.

مراحل کاهش V^{5+} توسط گرد روی:

$$V^{5+}_{\text{(زرد)}} \xrightarrow[\text{مرحلهٔ (۱)}]{+Zn} V^{4+}_{\text{(آبی)}} \xrightarrow[\text{مرحلهٔ (۲)}]{+Zn} V^{3+}_{\text{(سبز)}} \xrightarrow[\text{مرحلهٔ (۳)}]{+Zn} V^{2+}_{\text{(بنفش)}}$$

در مرحلهٔ (۱)

نیم‌واکنش اکسایش: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

نیم‌واکنش کاهش: $V^{5+}(aq) + 1e^- \rightarrow V^{4+}(aq)$

واکنش کلی اکسایش ـ کاهش (موازنه‌شده):

$$Zn + 2V^{5+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2V^{4+}(aq)$$
(زرد) (آبی)

در مرحلهٔ (۲)

نیم‌واکنش اکسایش: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

نیم‌واکنش کاهش: $V^{4+}(aq) + 1e^- \rightarrow V^{3+}(aq)$

واکنش کلی اکسایش ـ کاهش (موازنه‌شده):

$$Zn(s) + 2V^{4+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2V^{3+}(aq)$$
(آبی) (سبز)

نوشتن نیم‌واکنش‌ها و واکنش کلی مرحلهٔ (۳) هم بر عهدهٔ شما! ☺

تیتانیم، فلزی فراتر از انتظار

تیتانیم، فلزی مقاوم در برابر خوردگی و سایش

■ فلزها افزون بر رفتارهای مشابه، تفاوت‌های آشکاری در برخی رفتارها نشان می‌دهند. در واقع هر فلز، افزون بر رفتارهای مشترک با دیگر فلزها، رفتارهای ویژه خود را نیز دارد.

■ فلزهای دستهٔ d دارای همان ویژگی‌های مشترک با فلزهای دستهٔ s و p هستند اما در ویژگی‌هایی مانند سختی، نقطهٔ ذوب و تنوع اعداد اکسایش با آن‌ها تفاوت دارند. تیتانیم بیست و دومین عنصر جدول دوره‌ای و از فلزهای دستهٔ d است. این فلز با ویژگی‌ها باورنکردنی، از نظر ماندگاری و استحکام، فلزی فراتر از انتظار است. از طرفی تیتانیم، فلزی سبک و دارای نقطهٔ ذوب بالا است که سبب شده است این فلز کاربردهای صنعتی مهمی داشته باشد.

SanjeshCloud

به آرایش الکترونی تیتانیم توجه کنید:

$$_{۲۲}Ti : [_{۱۸}Ar]\, ۳d^{۲}\, ۴s^{۲} \Rightarrow \begin{cases} Z = ۲۲ \\ \text{الکترون‌های ظرفیتی} = ۴ \end{cases}$$

در منابع علمی، برای تیتانیم دو کاتیون $Ti^{۲+}$ و $Ti^{۴+}$ معرفی شده است که آرایش الکترونی آن‌ها به صورت زیر است:

$$_{۲۲}Ti^{۲+} : [_{۱۸}Ar]\, ۳d^{۲} \quad , \quad _{۲۲}Ti^{۴+} : [_{۱۸}Ar]$$

ویژگی‌های تیتانیم در مقایسه با فولاد:

در جدول زیر برخی ویژگی‌های فلز تیتانیم با فولاد مقایسه شده است:

ماده / ویژگی	تیتانیم (Ti)	فولاد (آلیاژ آهن و درصد اندکی کربن و عنصرهای دیگر)
نقطهٔ ذوب ($^{\circ}C$)	۱۶۶۷ (بیشتر)	۱۵۳۵ (کم‌تر)
چگالی ($g.mL^{-1}$)	۴/۵۱ (کم‌تر)	۷/۹۰ (بیشتر)
واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا (واکنش‌پذیری)	ناچیز	متوسط
مقاومت در برابر خوردگی	عالی	ضعیف
مقاومت در برابر سایش	عالی	عالی

چند نکتهٔ مهم در مورد تیتانیم:

۱- تیتانیم دمای ذوب بالاتر و چگالی کم‌تری نسبت به فولاد دارد؛ بنابراین در ساخت موتور جت و تجهیزاتی که لازم است سبک باشند و در دمای بالا کار کنند، از آن استفاده می‌شود. ۲- تیتانیم ضمن داشتن چگالی کم‌تر نسبت به فولاد، تمایل چندانی برای واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا ندارد. از این رو در ساخت پروانهٔ کشتی اقیانوس‌پیما از تیتانیم به جای فولاد استفاده می‌شود. ۳- مقاومت تیتانیم در برابر خوردگی (اکسایش) و سایش بسیار عالی است. به همین دلیل از این فلز در ساخت پوشش‌های بیرونی بناهای هنرمندانه، زیبا و ماندگار استفاده می‌شود.

آلیاژ نیتینول:

تیتانیم به شکل آلیاژهای گوناگون کاربرد گسترده‌ای در صنعت دارد. برای نمونه نیتینول از جمله آلیاژهای تیتانیم است که این ویژگی‌ها را دارد: ۱- آلیاژی از تیتانیم و نیکل است. (Ti و Ni) ۲- به آلیاژ هوشمند معروف است به طوری که قابلیت برگشت به شکل اولیهٔ خود را دارا است.۳ - در ساخت فراورده‌های صنعتی و پزشکی به کار می‌رود. ۴ - در ساخت سازه‌های فلزی در ارتودنسی، قاب عینک و استنت برای رگ‌ها استفاده می‌شود، زیرا به طور هوشمند می‌تواند شکل اولیهٔ خود را بازیابی کند.

SanjeshCloud

دستاوردهای مهم شیمی

برخی دستاوردهای مهم شیمی در راه رسیدن به زندگی مدرن امروزی در جدول زیر ارائه شده‌اند:

نام دستاورد مهم در شیمی	کاربرد در زندگی مدرن امروزی
فناوری تصفیهٔ آب	جلوگیری از گسترش بیماری‌هایی از جمله وبا در جهان
فناوری تولید پلاستیک	دگرگون‌ساختن صنعت پوشاک و صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی و ...
شناسایی و تولید مواد بی‌حس‌کننده و آنتی‌بیوتیک‌ها	هموارساختن راه برای جراحی‌های گوناگون در جهت سلامت بشر
شناسایی و تولید کودهای شیمیایی مناسب	نقش چشمگیر در تأمین غذای جمعیت جهان در راستای افزایش بهره‌وری
ساخت مبدل‌های کاتالیستی	کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف بنزین و سوخت‌های فسیلی
فناوری صفحه‌های نمایشگر	گسترش صنعت الکترونیک و ارتباطات

استفاده از دانش و فناوری همواره دو روی سکه دارد

۱- استفادهٔ **بهینه** و درست ← تأمین آسایش و رفاه در زندگی

۲- استفادهٔ **نادرست** ← به دنبال داشتن آثار مخرب و زیانبارتر

به عنوان مثال تولید سلاح‌های شیمیایی استفادهٔ نادرست از دانش و فناوری را نشان می‌دهد.

به دنبال هوای پاک

آلاینده‌های هوا: هوای خشک و پاک مخلوطی از گازهای گوناگون است که به طور یکنواخت در هواکره پخش شده‌اند.

یکی از چالش‌های مهم در جهان امروز، داشتن **هوای پاک** است.

■ هوای آلوده حاوی گازهای آلایندهٔ گوناگون است. برخی از گازهای آلایندهٔ هواکره را در ادامه می‌بینیم:

SanjeshCloud

SO_2 گوگرد دی‌اکسید — O_3 اوزون تروپوسفری

NO_2 نیتروژن دی‌اکسید — CO کربن مونوکسید

NO نیتروژن مونوکسید — C_xH_y هیدروکربن‌ها

نکته: غلظت آلاینده‌هایی همچون NO، NO_2 و O_3، معمولاً در ساعات **۷ صبح تا ۱۰ صبح** در هوای شهرها، به بیشترین حد خود می‌رسد.

شناسایی آلاینده‌ها در هوا

■ از آن‌جا که اغلب گازهای آلاینده موجود در هواکره بی‌رنگ هستند، شناسایی نوع و مقدار آن‌ها آسان نیست. از طرفی نوع و مقدار آن‌ها در شهرهای گوناگون، یکسان نیست.

✓ برای تشخیص نوع و مقدار آلاینده‌ها باید رفتار آن‌ها از جمله برهم‌کنش با پرتوهای الکترومغناطیسی را بررسی کرد.

یادآوری: در فصل قبل آموختید که هرگاه یک نمونه ماده در برابر پرتوهای الکترومغناطیسی (نور) قرار گیرد، ممکن است گسترهٔ معینی از طول موج‌های آن را جذب و مابقی پرتوها را عبور دهد یا بازتاب کند.

طیف‌سنجی: همه پرتوهای الکترومغناطیسی مرئی و نامرئی (فروسرخ، ایکس، گاما، فرابنفش و ...) می‌توانند با مواد برهم‌کنش داشته باشند. ازاین‌رو روش‌های گوناگون طیف‌سنجی برای شناسایی مواد پایه‌گذاری شده است.

طیف‌سنجی فروسرخ: یکی از رایج‌ترین روش‌های طیف‌سنجی است که برای شناسایی گروه‌های عاملی به کار می‌رود.

نکته: تفاوت در ساختار گروه‌های عاملی (تفاوت در شمار و نوع اتم‌ها و پیوندها)، اساس شناسایی آن‌ها توسط طیف‌سنجی فروسرخ است. زیرا هر یک از گروه‌های عاملی، تنها گسترهٔ معین و منحصر به فردی از پرتوهای فروسرخ را جذب می‌کنند که همین تفاوت در جذب، اساس شناسایی گروه‌های عاملی از یکدیگر است.

✓ از طیف‌سنجی فروسرخ می‌توان برای شناسایی آلاینده‌هایی نظیر کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن در هواکره و نیز شناسایی برخی مولکول‌ها در فضای بین‌ستاره‌ای، استفاده کرد.

توجه: ام.آر.آی (MRI) نمونه‌ای از کاربرد طیف‌سنجی در علم پزشکی است.

انرژی فعال‌سازی در واکنش‌های شیمیایی

انرژی فعال‌سازی

■ واکنش‌های شیمیایی با سرعت‌های گوناگون انجام می‌شوند که دلیل آن تفاوت در مقدار انرژی فعال‌سازی آن‌ها است. برای نمونه واکنش سوختن متان، تند، در حالی که واکنش زنگ‌زدن آهن کند است. هر واکنش برای انجام‌شدن به حداقلی از انرژی نیاز دارد.

SanjeshCloud

تعریف: به حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش، انرژی فعال‌سازی (E_a) آن واکنش گفته می‌شود.

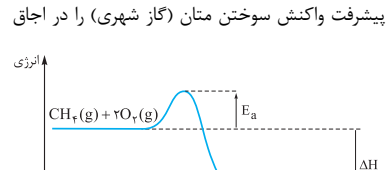
راه‌های تأمین انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها:

۱- **گرمادادن** به واکنش‌دهنده‌ها (جرقه یا شعله) ۲- استفاده از **کاتالیزگر** مناسب

نکته: همهٔ واکنش‌های شیمیایی چه گرماده و چه گرماگیر، برای آغازشدن به انرژی فعال‌سازی نیاز دارند.

نمودار انرژی ـ پیشرفت واکنش

شکل زیر نمودار انرژی، پیشرفت واکنش سوختن متان (گاز شهری) را در اجاق گاز نشان می‌دهد.



نکاتی که از این نمودار (واکنش گرماده) قابل استخراج است، عبارت‌اند از:

۱- واکنش‌دهنده‌ها باید حداقلی از انرژی را داشته باشند تا با عبور از سد انرژی به فراورده‌ها تبدیل شوند.

۲- برای عبور از سد انرژی باید E_a (انرژی فعال‌سازی) تأمین گردد.

۳- فراورده‌ها نسبت به واکنش‌دهنده‌ها **پایدارترند**، زیرا محتوای انرژی کم‌تری دارند.

۴- واکنش سوختن متان گرماده است ($\Delta H < 0$).

۵- معادلهٔ واکنش سوختن متان به صورت زیر است:

$$CH_4(g)+2O_2(g) \rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g)$$

نکته: آنتالپی واکنش سوختن متان برابر -802 کیلوژول بر مول است:

$$\Delta H = -802\ kJ.mol^{-1}$$

انرژی فعال‌سازی و سرعت واکنش: هر چه انرژی **فعال‌سازی** واکنش بیشتر باشد، سرعت آن کم‌تر است و واکنش در شرایط دشوارتر و دمای بالاتری انجام می‌شود. به عبارتی دیگر:

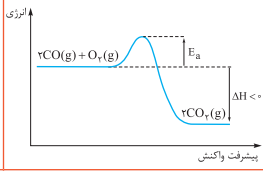
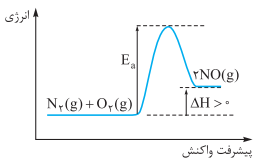
سرعت واکنش با انرژی فعال‌سازی آن، رابطهٔ عکس دارد.

■ واکنش‌هایی که انرژی فعال‌سازی بیشتری دارند، برای انجام آن‌ها به **گرمای بیشتری** نیاز است، اما انجام واکنش‌ها در دماهای بالاتر از نظر **اقتصادی** مقرون به صرفه نیست؛ زیرا باید سوخت بیشتری برای تأمین گرمای آن‌ها مصرف نمود که **آلودگی** هوا را نیز در پی خواهد داشت.

SanjeshCloud

■ انجام واکنش‌ها در **دماهای بالاتر** ممکن است سبب تولید فراورده‌های **ناخواسته** گردد و **بازده واکنش** را کاهش دهد.

نمودار انرژی ـ پیشرفت واکنش: در جدول زیر دو نوع واکنش گرماده و گرماگیر با هم مقایسه شده‌اند:

واکنش‌های گرماده	واکنش‌های گرماگیر
مثال: سوختن گاز کربن مونواکسید $2CO(g)+O_2(g)$ $\rightarrow 2CO_2(g)\ ,\ \Delta H<0$	**مثال:** تشکیل گاز NO درون موتور خودروها: $N_2(g)+O_2(g)$ $\xrightarrow{\text{درون موتور}} 2NO(g), \Delta H>0$
	
■ سطح انرژی فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها، پایین‌تر است.	■ سطح انرژی فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها، بالاتر است.
■ فراورده‌ها، پایدارتر از واکنش‌دهنده‌ها هستند.	■ فراورده‌ها، ناپایدارتر از واکنش‌دهنده‌ها هستند.
■ مجموع آنتالپی پیوندها در فراورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌هاست.	■ مجموع آنتالپی پیوندها در واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از فراورده‌هاست.

کاتالیزگرها

کاتالیزگر و انرژی فعال‌سازی:

یکی از راه‌های افزایش سرعت و کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها، استفاده از کاتالیزگرهای مناسب است.

تعریف: به موادی که سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهند، در حالی که خودشان در پایان واکنش، دست‌نخورده یا مصرف‌نشده باقی می‌مانند، کاتالیزگر گفته می‌شود.

کاتالیزگرها:
■ در واکنش شرکت می‌کنند، اما در پایان واکنش مصرف‌نشده، باقی می‌مانند.
■ می‌توان آن‌ها را بارها و بارها به کار برد. (چون در واکنش مصرف نمی‌شوند.)
■ در صنایع گوناگون سبب کاهش آلودگی محیط زیست می‌شوند (با کاهش مصرف سوخت‌ها).
■ نمی‌توانند به همهٔ واکنش‌ها سرعت ببخشند (به طور تخصصی عمل می‌کنند).

SanjeshCloud

■ واکنش‌ها را در دماهای پایین‌تر انجام می‌دهند (با کاهش E_a سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند).
■ انرژی فعال‌سازی واکنش را کاهش می‌دهند.
■ پس از مدتی معین کارایی آن‌ها کاهش می‌یابد و دیگر قابل استفاده نیستند.

چند ویژگی مهم کاتالیزگرهای مناسب عبارت‌اند از:

۱- در حضور کاتالیزگر نباید واکنش‌های ناخواستهٔ دیگری انجام شود.
۲- کاتالیزگر در شرایط انجام واکنش باید پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشد.
۳- کاتالیزگرها اغلب اختصاصی و انتخابی عمل می‌کنند، به طوری که هر کاتالیزگر به شمار معدودی واکنش، سرعت می‌بخشد.

عملکرد کاتالیزگرها: در جدول زیر عملکرد کاتالیزگرها در یک واکنش خلاصه شده است:

کاتالیزگر چه مواردی را افزایش می‌دهد؟	۱- سرعت انجام واکنش (سرعت رفت و برگشت) ۲- سرعت پیشرفت واکنش (سرعت انجام واکنش)
کاتالیزگر چه مواردی را کاهش می‌دهد؟	۱- انرژی فعال‌سازی واکنش (E_a) (قلهٔ انرژی در نمودار انرژی ـ پیشرفت) ۲- زمان انجام واکنش (Δt)
کاتالیزگر بر چه مواردی تأثیر ندارد؟	۱- آنتالپی واکنش (ΔH) ۲- سطح انرژی فراورده‌ها ۳- سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها ۴- نوع فراورده‌های واکنش ۵- مقدار نهایی فراورده‌های واکنش ۶- بازده درصدی واکنش

واکنش $H_2(g) + O_2(g)$ میان گازهای هیدروژن و اکسیژن در غیاب کاتالیزگر، در دمای اتاق با سرعت ناچیزی ممکن است انجام شود اما در حضور کاتالیزگر روی یا پلاتین، واکنش به طور سریع و یا انفجاری انجام می‌شود.

$$2H_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{۲۵\ ^\circ C} 2H_2O(l) \qquad \overline{R} = \text{ناچیز}$$

این واکنش به انرژی فعال‌سازی نسبتاً زیادی نیاز دارد.
چند نکتهٔ مهم در مورد واکنش فوق:

■ در دمای اتاق **بدون کاتالیزگر** انجام **نمی‌شود**، زیرا دمای اتاق نمی‌تواند **انرژی فعال‌سازی** آن را تأمین کند.
■ در حضور کاتالیزگر پودر روی، واکنش در دمای $25\ ^\circ C$ سریع می‌شود. زیرا انرژی فعال‌سازی آن کاهش می‌یابد.

SanjeshCloud

■ در حضور کاتالیزگر توری **پلاتینی**، واکنش در دمای $25\ ^{\circ}C$ **انفجاری** انجام می‌شود. زیرا انرژی فعال‌سازی آن بسیار کاهش می‌یابد.

■ در حضور **جرقه**، واکنش به صورت **انفجاری** انجام می‌شود. زیرا جرقه، انرژی فعال‌سازی آن را تأمین می‌کند.

■ آنتالپی واکنش (ΔH)، در هر شرایطی ثابت و برابر ۵۷۲− کیلوژول بر مول است.

سه مزیت استفاده از کاتالیزگرها: ۱- انجام واکنش در فشار و دمای پایین و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سوخت‌ها ۲- کاهش آلودگی هوا ناشی از کاهش مصرف سوخت‌ها ۳- جلوگیری از انجام واکنش‌های ناخواسته با کاهش دمای واکنش

حذف آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها

چالش‌های حذف آلاینده‌ها

از آن‌جا که گازهای خروجی از اگزوز تنها در کسری از ثانیه (۰/۴ ثانیه) از موتور خودرو خارج و وارد هواکره می‌شوند، از این رو برای حذف آن‌ها با مشکل زمان و پایین‌بودن دما مواجه می‌شویم.

حذف آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودرو با دو چالش مهم روبه‌رو است:

۱- **زمان حضور** آلاینده‌ها در اگزوز، **بسیار کوتاه** (کسری از ثانیه) است و سریع وارد هواکره می‌شوند.

۲- **دمای آلاینده‌ها** در زمان بسیار کوتاه (کسری از ثانیه) **به سرعت کاهش** می‌یابد.

■ با توجه به مشکلات فوق، لازم است در مدت‌زمان کوتاه و در همین دمای پایین به سرعت آلاینده‌ها را **قبل از ورود به هوا**، به کمک **مبدل کاتالیستی** حذف و به مواد بی‌خطر تبدیل کرد.

مبدل کاتالیستی

■ یک قطعهٔ سرامیکی است که سطح آن به شکل توری طراحی شده است تا سطح تماس آن با آلاینده‌ها افزایش یابد.



تعریف: در مسیر گازهای خروجی از خودروها، قطعه‌ای درون اگزوز قرار می‌دهند که می‌تواند باعث حذف یا کاهش آلاینده‌ها شود. به این قطعه **مبدل کاتالیستی** گفته می‌شود.

افزایش کارایی: برای افزایش کارایی مبدل کاتالیستی، گاهی سرامیک را به شکل مش‌های ریز درمی‌آورند و کاتالیزگرها را روی سطح آن می‌نشانند تا سطح تماس آن‌ها با آلاینده‌ها افزایش یابد.

کاتالیزگرها: در سطح سرامیک‌ها، توده‌های فلزی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر از فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) به عنوان کاتالیزگر نشانده شده است.

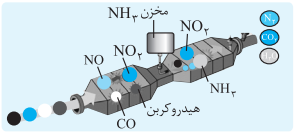
SanjeshCloud

نکتهٔ ۱: مبدل‌های کاتالیستی آلاینده‌ها را به طور کامل حذف نمی‌کند، بلکه مقدار آن‌ها را تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

نکتهٔ ۲: میزان حذف آلاینده‌ها توسط مبدل‌های کاتالیستی به صورت زیر است:

$CO > C_xH_y > NO$: میزان حذف آلاینده توسط مبدل کاتالیستی

مبدل کاتالیستی در خودروهای دیزلی: در موتورهای دیزلی، دمای درون اگزوز پایین‌تر از موتورهای بنزینی است این دما که برای تجزیهٔ گازهای NO و NO_2 و تبدیل آن‌ها به N_2 و O_2 کافی نیست؛ بنابراین نوع ویژه‌ای از مبدل‌های کاتالیستی برای خودروهای دیزلی استفاده می‌شود که دارای یک مخزن آمونیاک است.



در این مبدل دیزلی، با ورود **آمونیاک** و انجام واکنش زیر، گازهای NO و NO_2 به گاز N_2 و بخار آب تبدیل شده و تا حدود زیادی از ورود گازهای NO و NO_2 به هواکره جلوگیری می‌شود.

$$NO(g) + NO_2(g) + 2NH_3(g) \rightarrow 2N_2(g) + 3H_2O(g)$$

آمونیاک و بهره‌وری در کشاورزی

چالش کمبود غذا

- کمبود منابع و روند رو به رشد جمعیت، سبب شده تا تأمین غذا به یکی از چالش‌های زندگی تبدیل شود. بهترین راه‌حل رفع این چالش، افزایش بازده و **بهره‌وری** در تولید فراورده‌های کشاورزی می‌باشد. به همین منظور شناسایی، تولید و افزودن کودهای شیمیایی مناسب به خاک، می‌تواند کمک شایانی کند.
- گیاهان توانایی **جذب مستقیم** N_2 هواکره را ندارند. از این‌رو باید نیتروژن را به شکل ترکیب‌های نیتروژن‌دار از جمله **آمونیاک** و **اوره** به خاک افزود.
- در برخی کشورها، برای افزایش **بازدهی فراورده‌های** کشاورزی، **آمونیاک مایع** را به عنوان کود شیمیایی **به طور مستقیم** به خاک تزریق می‌کنند.

دو چالش تهیهٔ آمونیاک: در دمای اتاق به دلایل زیر، واکنش میان گازهای N_2 و H_2 حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه **پیش نمی‌رود**:

۱- انرژی **فعال‌سازی** واکنش بسیار بالا است و با جرقه یا کاتالیزگر تأمین نمی‌شود.

۲- واکنش میان N_2 و H_2 تعادلی است و پیشرفت مناسبی در جهت تولید NH_3 ندارد.

عبارت ثابت تعادل: واکنش نمادی گازی روبه‌رو را در نظر بگیرید:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

SanjeshCloud

عبارت ثابت تعادل و یکای آن به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad , \quad \text{یکای } K = (\text{mol.L}^{-1})^{(c+d)-(a+b)}$$

چند نکته در رابطه با عبارت ثابت تعادل:

۱- در رابطهٔ تعادل، غلظت مواد جامد و مایع خالص وارد نمی‌شود. زیرا غلظت این مواد ثابت و در مقدار K تعادل لحاظ شده است.

۲- مقدار K تعادل یک ثابت ترمودینامیکی است و فقط با تغییر دمای واکنش تغییر می‌کند.

۳- K یکای ثابتی ندارد و به ضرایب مواد بستگی دارد. حتی ممکن است برای K یک تعادل، یکایی وجود نداشته باشد.

تفسیر مقدار عددی K یک تعادل: رابطهٔ ثابت تعادل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$K \propto \frac{[\text{فراورده‌ها}]}{[\text{واکنش‌دهنده‌ها}]}$$

رابطهٔ K نشان می‌دهد که مقدار K با غلظت تعادلی فراورده‌ها رابطهٔ مستقیم و با غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌ها رابطهٔ عکس دارد.

به طور کلی می‌توان نوشت: مقدار عددی K تعادلی:۱- با غلظت فراورده‌ها رابطهٔ مستقیم دارد. ۲- بیانی از میزان پیشرفت واکنش در آن شرایط است.۳- هر چه بزرگ‌تر باشد، پیشرفت و بازده واکنش بالاتر است. ۴- هر چه بزرگ‌تر باشد، تولید فراورده بیشتر است. ۵- هر چه بزرگ‌تر باشد، درصد بیشتری از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند.

مسائل تعادل

مسائل تعادل‌ها در دو دستهٔ آ) محاسبهٔ ثابت تعادل (K) ، ب) محاسبهٔ غلظت‌های تعادلی مواد تقسیم‌بندی و حل می‌شوند.

قبل از حل هر مسئلهٔ تعادل به دو نکتهٔ زیر توجه کنید:

نکتهٔ ۱: در حل مسائل تعادل، مقادیر مواد که در عبارت ثابت تعادل قرار داده می‌شوند؛ باید دو شرط زیر را داشته باشند:

۱- برحسب غلظت مولی (mol.L^{-1}) و ۲- مربوط به لحظهٔ تعادل باشند.

نکتهٔ ۲: چنان‌چه مقدار مواد برحسب گرم (g) و یا برحسب مول (mol) باشند، می‌توان از روابط زیر برای تبدیل آن‌ها به غلظت مولی (mol.L^{-1}) استفاده کرد:

۱- تبدیل مول A به غلظت مولی A:

$$?\ \text{mol.L}^{-1} = \frac{\text{تعداد مول A}}{\text{لیتر محلول}}$$

۲- تبدیل گرم مادهٔ A به غلظت مولی A:

$$?\ \text{mol.L}^{-1} = \frac{?\ \text{g A}}{\text{جرم مولی A} \times \text{لیتر محلول}}$$

SanjeshCloud

مثال: غلظت مولی هر یک از مواد زیر را محاسبه کنید.

آ) ۰/۳ مول گاز اکسیژن در ظرفی به حجم ۱۰ لیتر

ب) ۸ گرم گاز اکسیژن در ظرفی به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر $(O = 16)$

پاسخ: آ) $[O_2] = \frac{0/3 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0/03 \text{ mol.L}^{-1}$

ب) $[O_2] = \frac{8 \text{ g}}{0/5 \text{ L} \times 32 \text{ g.mol}^{-1}} = 0/5 \text{ mol.L}^{-1}$

دستهٔ اول مسائل تعادل‌ها: محاسبهٔ ثابت تعادل

برای حل این دسته از مسائل، کافی است غلظت‌های تعادلی مواد برحسب mol.L^{-1} را در رابطهٔ ثابت تعادل قرار داد.

مثال ۱: در یک ظرف ۱۰ لیتری، تعادل: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ برقرار است. اگر در لحظهٔ تعادل از هر یک از گازهای نیتروژن، هیدروژن و آمونیاک به ترتیب ۴ مول، ۵ مول و ۳/۴ گرم آمونیاک وجود داشته باشد، ثابت تعادل را حساب کنید. $(N = 14, H = 1 : \text{g.mol}^{-1})$

پاسخ: ابتدا غلظت مواد را برحسب mol.L^{-1} به دست می‌آوریم. سپس با قراردادن آن‌ها در عبارت ثابت تعادل مقدار K تعادل را محاسبه می‌کنیم:

$$[N_2] = \frac{4 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0/4 \text{ mol.L}^{-1} \qquad [H_2] = \frac{5 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0/5 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[NH_3] = \frac{3/4 \text{ g}}{10 \text{ L} \times 17 \text{ g.mol}^{-1}} = 0/02 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0/02)^2}{(0/4)(0/5)^3} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-2}.\text{L}^{+2}$$

نکتهٔ کاربردی: در تعادل‌ها، به شرطی که در ابتدا فقط واکنش‌دهنده‌ها در ظرف باشند، اگر مقدار یکی از فراورده‌ها را داده باشند، می‌توان به کمک ضرایب استوکیومتری، مقدار سایر فراورده‌ها را به دست آورد. زیرا مقدار هر فراورده با ضریب آن رابطهٔ مستقیم دارد. (ضریب بزرگ‌تر فراورده ← مقدار بیشتر آن فراورده)

مثال ۲: در یک ظرف ۲ لیتری، تعادل: $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$ برقرار است. اگر در یک دمای معین غلظت‌های تعادلی SO_3 و SO_2 به ترتیب ۲ و ۳ مول بر لیتر باشد، مقدار تقریبی ثابت تعادل این واکنش را حساب کنید.

SanjeshCloud

پاسخ: مقدار تعادلی گاز O_2 با توجه به ضریب آن نصف مقدار تعادلی SO_2 خواهد بود؛ زیرا O_2 و SO_2 هر دو فراورده‌اند و با هم تولید شده‌اند:

$$[O_2] = \frac{1}{2}[SO_2] = \frac{1}{2} \times 3 = 1/5 \ mol.L^{-1}$$

$$K = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{(3)^2 \times (1/5)}{(2)^2} = \frac{9 \times 1/5}{4} \simeq 3/37 \ L.mol^{-1}$$

محاسبهٔ حجم ظرف سامانهٔ تعادلی

نکته: در برخی از تست‌ها، گاهی اوقات حجم ظرف مجهول است. در حل این‌گونه تست‌ها کافی است به جای غلظت مولی از کسر $\frac{mol}{\text{حجم}}$ در رابطهٔ تعادل استفاده کنیم. در عبارت K به جای کسر $\frac{mol}{\text{حجم}}$ از نماد حرفی $\frac{n}{V}$ استفاده می‌کنیم.

مثال ۳: اگر در تعادل گازی: $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g), K = 10 \ mol^2.L^{-2}$ **در دمای معین در یک ظرف سربسته، مقدار ۰/۱ مول گاز CO، ۰/۰۳ مول گاز متان و ۰/۰۰۱ مول بخار آب وجود داشته باشد، حجم ظرف واکنش چند لیتر است؟**

پاسخ: ۱) ابتدا مول‌های H_2 را با توجه به مول‌های CO محاسبه می‌کنیم:

$$?\,mol\,H_2 = 3 \times 0/1 = 0/3 \ mol$$

۲) محاسبهٔ حجم ظرف با توجه به ثابت تعادل:

$$K = \frac{[CO][H_2]^3}{[CH_4][H_2O]} \Rightarrow 10 = \frac{(\frac{0/1}{V})(\frac{0/3}{V})^3}{(\frac{0/03}{V})(\frac{0/001}{V})}$$

$$\Rightarrow 10 = \frac{\frac{0/1 \times (0/3)^3}{V^4}}{\frac{0/03 \times 0/001}{V^2}} \Rightarrow V = 3 \ L$$

دستهٔ دوم مسائل تعادل‌ها: محاسبهٔ غلظت‌های تعادلی

در این‌گونه مسائل، مقدار K تعادل را می‌دهند و مقادیر لحظهٔ تعادلی مواد را می‌خواهند.

مثال ۴: در یک ظرف سربستهٔ ۰/۵ لیتری، مقداری گاز A را حرارت داده‌ایم تا تعادل: $A(g) \rightarrow B(g) + 2C(g), K = 8 \ mol^2.L^{-2}$ **برقرار شود. اگر در لحظهٔ تعادل مقدار ۱ مول گاز B در ظرف وجود داشته باشد، چند مول گاز A در ظرف وجود دارد؟**

SanjeshCloud

پاسخ: با توجه به ضرایب فراورده‌ها، مقدار تعادلی C دو برابر B است.

$$\text{mol C} = ۲ \times ۱ = ۲ \text{ mol}$$

$$K = \frac{[B][C]^۲}{[A]} \Rightarrow ۸ = \frac{۲ \times (۴)^۲}{[A]} \Rightarrow [A] = ۴ \text{mol.L}^{-۱}$$

$$[B] = \frac{۱ \text{ mol}}{۰/۵ \text{ L}} = ۲ \text{mol.L}^{-۱}$$

$$[C] = \frac{۲ \text{ mol}}{۰/۵ \text{ L}} = ۴ \text{mol.L}^{-۱} \Rightarrow$$

$$? \text{ mol A} = \frac{۴ \text{ mol}}{\text{L}} \times ۰/۵ \text{ L} = ۲ \text{ mol}$$

مثال ۵: در یک ظرف سربستهٔ ۲ لیتری، مقدار ۰/۳ مول $N_۲$ به همراه مقدار کافی گاز $H_۲$ را وارد یک واکنش تعادلی کرده تا گاز آمونیاک تولید شود. اگر میزان پیشرفت واکنش تعادلی برابر ۲۰٪ باشد، غلظت‌های تعادلی $N_۲$ و $NH_۳$ را حساب کنید.

پاسخ: معادلهٔ واکنش به صورت زیر است:

$$N_۲(g) + ۳H_۲(g) \rightleftharpoons ۲NH_۳(g)$$

مول‌های اولیه ۰/۳ ۰

وقتی واکنش به میزان ۲۰٪ پیشرفت می‌کند، یعنی ۲۰٪ مقدار اولیه $N_۲$ مصرف می‌گردد:

$$\text{مقدار } N_۲ \text{ مصرف‌شده } \text{mol} = ۰/۳ \text{ mol} \times \frac{۲۰}{۱۰۰} = ۰/۰۶ \text{ mol}$$

حال براساس ۰/۰۶ mol نیتروژن مصرف‌شده، می‌توان تعداد mol آمونیاک تولیدشده را محاسبه کرد:

$$? \text{ mol } NH_۳ = ۰/۰۶ \text{ mol } N_۲ \times \frac{۲ \text{ mol } NH_۳}{۱ \text{ mol } N_۲} = ۰/۱۲ \text{ mol } NH_۳$$

غلظت تعادلی آمونیاک برابر است با:

$$\text{تعادلی } [NH_۳] = \frac{۰/۱۲ \text{ mol}}{۲ \text{ L}} = ۰/۰۶ \text{ mol.L}^{-۱}$$

تعداد مول $N_۲$ موجود در تعادل برابر است با:

$$\text{تعادلی } ? \text{mol } N_۲ = ۰/۳ \text{ mol}_{\text{اولیه}} - ۰/۰۶ \text{ mol}_{\text{مصرف‌شده}} = ۰/۲۴ \text{ mol}$$

غلظت تعادلی $N_۲$:

$$\text{تعادلی } [N_۲] = \frac{۰/۲۴ \text{ mol}}{۲ \text{ L}} = ۰/۱۲ \text{ mol.L}^{-۱}$$

SanjeshCloud

اصل لوشاتلیه و عوامل مؤثر بر تعادل

اصل لوشاتلیه

جابه‌جایی تعادل: اگر عاملی، تعادل را در جهت رفت یا برگشت پیش ببرد، به طوری که سرعت واکنش رفت یا برگشت افزایش یا کاهش یابد، اصطلاحاً گفته می‌شود تعادل به راست یا چپ جابه‌جا شده است.

نکته: در لحظهٔ جابه‌جایی تعادل، سرعت یکی از واکنش‌های رفت یا برگشت از دیگری بیشتر شده که پس از چند لحظه، تعادل جدید برقرار شده و مجدداً سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر می‌شود.

در لحظهٔ جابه‌جایی تعادل $\bar{R}_1 \neq \bar{R}_2$

نکته: اگر تغییری سبب به هم خوردن یک سامانهٔ تعادلی شود، تعادل در جهتی **جابه‌جا** می‌شود که تا حد امکان اثر آن تغییر را جبران کند و یک تعادل جدید در سامانه برقرار شود.

خطر و رفع خطر:

- مطابق اصل لوشاتلیه، چنان‌چه خطری بر یک تعادل اعمال شود، تعادل تا حد امکان سعی بر رفع خطر می‌کند.
- دو نوع خطر اعمال‌شده بر یک تعادل و عکس‌العمل تعادل در برابر آن‌ها در جدول زیر ارائه شده است:

نوع خطر	خطر اعمال‌شده بر تعادل	رفع خطر از سوی تعادل (تا حد امکان)
خطر ۱	اضافه‌شدن یک عامل به تعادل	عامل اضافه‌شده، مصرف می‌شود.
خطر ۲	کمبود یا کاهش یک عامل از تعادل	کمبود باید جبران شود.

اصل لوشاتلیه در یک عبارت:

(اضافی ⟵ مصرف)، (کمبود ⟵ جبران)

عوامل مؤثر بر تعادل‌ها

تغییر غلظت مواد، تغییر حجم (فشار) سامانه و تغییر دمای سامانه، عوامل مؤثر بر تعادل هستند که سبب جابه‌جایی آن می‌شوند.

در جدول زیر عوامل جابه‌جاکنندهٔ تأثیرگذار بر تعادل‌ها و عکس‌العمل تعادل در جهت مقابله‌نمودن با عامل مزاحم ارائه شده است:

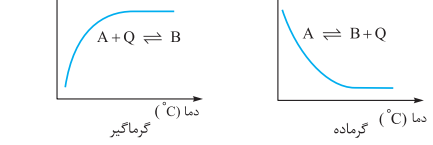
SanjeshCloud

عامل مزاحم	خطر اعمال‌شده بر تعادل	رفع خطر از سوی تعادل
تغییر غلظت یک ماده	افزایش غلظت یک ماده در تعادل	جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف آن ماده
	کاهش غلظت یک ماده در تعادل	جابه‌جایی تعادل در جهت تولید و جبران آن ماده
تغییر حجم سامانه (تغییر فشار)	کاهش حجم (افزایش فشار) سامانه	جابه‌جایی تعادل در جهت تولید تعداد مول‌های گازی کم‌تر به منظور کاهش فشار
	افزایش حجم (کاهش فشار) سامانه	جابه‌جایی تعادل در جهت تولید تعداد مول‌های گازی بیشتر به منظور افزایش فشار و پرکردن حجم ظرف
تغییر دمای سامانه	افزایش دمای سامانه (گرمادادن)	جابه‌جایی تعادل در جهت گرماگیربودن (و مصرف گرما)
	کاهش دمای سامانه (سردکردن)	جابه‌جایی تعادل در جهت گرمادهبودن (و تولید گرما)

■ **اثر کاتالیزگر بر تعادل:** استفاده از کاتالیزگر بر واکنش‌هایی تعادلی مؤثر است که هنوز به تعادل نرسیده‌اند. در این سامانه‌ها، کاتالیزگر با افزایش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت، زمان رسیدن به تعادل را کوتاه می‌کند.

نکته: از عوامل مؤثر بر تعادل‌ها، فقط **تغییرات دما** بر روی مقدار عددی K **تعادل** مؤثر است و هیچ‌یک از عوامل **تغییر غلظت**، تغییر **حجم (فشار)** و **کاتالیزگر** تأثیری بر مقدار K تعادل ندارد.

در نمودارهای زیر، اثر تغییر دما بر تعادل‌های گرماگیر و گرماده مشخص شده است:



شرح نمودارها

۱- در تعادل‌های گرماگیر، با افزایش دما مقدار K نیز افزایش می‌یابد.

۲- در تعادل‌های گرماده، با افزایش دما مقدار K کاهش می‌یابد.

SanjeshCloud

فرایند هابر در تولید آمونیاک

تولید فراوردهٔ بیشتر آمونیاک از گازهای N_2 و H_2 در شرایط معین، به میزان پیشرفت واکنش در آن شرایط بستگی دارد. به دیگر سخن هر چه میزان پیشرفت واکنش بیشتر باشد، درصد بیشتری از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند. از این‌رو شیمی‌دان‌ها به دنبال یافتن شرایطی هستند که در آن، واکنش‌دهنده تا حد ممکن به فراورده‌ها تبدیل شده باشند. فریتس هابر برای یافتن چنین شرایطی، این واکنش را بارها و بارها در شرایط گوناگون انجام داد و سرانجام موفق شد شرایط بهینهٔ واکنش را بیابد.

$$N_2(g)+3H_2(g) \xrightleftharpoons{200\,atm,\,450\,^\circ C,\,Fe(s)} 2NH_3(g) \quad \text{و} \quad \Delta H<0$$

■ در فرایند هابر، **هدف، تولید آمونیاک** بیشتر در زمان کوتاه‌تر است.

شرایط بهینهٔ تولید آمونیاک در فرایند هابر:

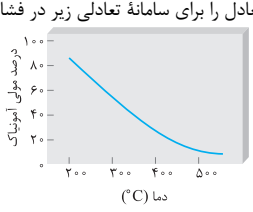
۱- دما برابر با $\theta = 450\,^\circ C$ است.

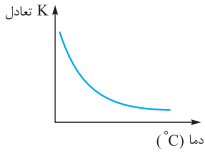
۲- فشار برابر با $P = 200\,atm$ است.

۳- جنس کاتالیزگر فلز آهن (Fe) است.

اثر دما بر فرایند هابر:

در فرایند هابر، همانند سایر تعادل‌ها افزایش دما، سبب افزایش سرعت رسیدن به تعادل می‌شود اما از آن‌جا که سامانهٔ تعادلی گرماده است، افزایش دما سبب تجزیهٔ آمونیاک و پیشرفت واکنش در جهت برگشت می‌شود؛ بنابراین از لحاظ بازده درصدی به ضرر تولید آمونیاک است. نمودارهای زیر، درصد مولی آمونیاک و K تعادل را برای سامانهٔ تعادلی زیر در فشار ثابت، نشان می‌دهد:





$$N_2(g)+3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \;,\; \Delta H<0$$

در فرایند هابر با افزایش دما، مقدار K تعادل و درصد مولی آمونیاک کاهش می‌یابد.

اثر مثبت و اثر منفی دما بر فرایند هابر: تغییرات دما بر فرایند هابر، هم می‌تواند اثر مثبت و هم اثر منفی داشته باشد؛ که در جدول زیر خلاصه شده است:

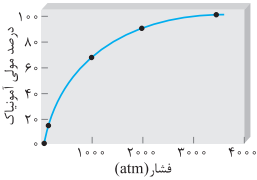
SanjeshCloud

تغییرات دما	اثر مثبت تغییر دما بر فرایند هابر	اثر منفی تغییر دما بر فرایند هابر
افزایش دما	افزایش سرعت رسیدن به تعادل (کوتاه‌ترکردن زمان رسیدن به تعادل)	پیشرفت اندک تعادل در جهت تولیدآمونیاک(طبق اصل لوشاتلیه سبب برگشت تعادل می‌شود.)
کاهش دما	پیشرفت تعادل در جهت تولید آمونیاک بیشتر (کاهش بازدهٔ درصدی واکنش)	کاهش سرعت رسیدن به تعادل (افزایش زمان رسیدن به تعادل)

■ چون هابر نتوانست در دماهای بالا آمونیاک بیشتری تولید کند، ناچار شد واکنش را در دماهای نه چندان بالایی انجام دهد و برای جبران پایین‌بودن دما، از کاتالیزگر مناسب (فلز آهن) استفاده نماید و تا حد ممکن فشار را افزایش دهد.

اثر افزایش فشار بر فرایند هابر:

■ در فرایند هابر، **افزایش فشار** (کاهش حجم سامانه) به نفع جابه‌جایی تعادل در جهت تولید آمونیاک بیشتر است؛ بنابراین هر چه فشار بیشتر باشد، درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی بیشتر خواهد بود.



در فرایند هابر با افزایش فشار، درصد مولی آمونیاک افزایش می‌یابد.

فقط ۲۸ درصد مولی!

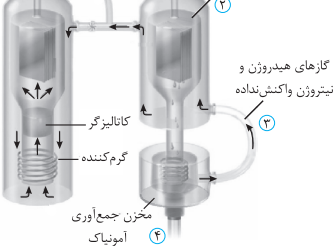
■ در شرایط بهینه ($450\ ^\circ C$ ، $200\ atm$ و کاتالیزگر Fe)، هابر توانست در مخلوط تعادلی فقط ۲۸ درصد مولی، آمونیاک تهیه کند.

دستگاه فناوری تولید آمونیاک به روش هابر:

مراحل کار دستگاه:

۱- گازهای N_2 و H_2 از بالای دستگاه وارد می‌شوند و در مخزن سمت چپ، در حضور کاتالیزگر، دمای نسبتاً بالا و به کمک گرم‌کننده، با هم واکنش می‌دهند.

۲- آمونیاک به کمک سردکننده، مایع شده و در مخزن جمع‌آوری می‌شود.



SanjeshCloud

۳- گازهای واکنش ندادهٔ H_2 و N_2 (حدود ۷۲٪ مولی مخلوط تعادلی)، دوباره به مخزن واکنش بازگردانی می‌شوند تا با هم واکنش دهند.

۴- با مایع‌کردن گاز آمونیاک و خارج‌کردن دائم آن از ظرف واکنش، تعادل مدام به سمت تولید NH_3 پیشرفت می‌کند.

ارزش فناوری‌های شیمیایی

■ منابع شیمیایی ارزشمند مانند: نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ و معادن مس، آهن، طلا، مرمر و فیروزه به طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند.

خام‌فروشی، فرایندی است که منابع طبیعی بدون فراوری و به همان صورتی که از طبیعت به دست می‌آید، به فروش می‌رسد.

■ به کمک فناوری‌های شیمیایی، مواد خام و اولیه را به فراورده‌های دیگر با قیمت بالاتر تبدیل می‌کنند.

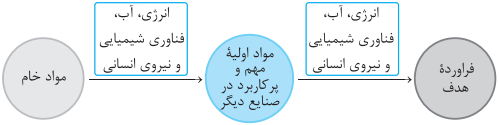
تعریف: فناوری را می‌توان به کار بردن دانش برای حل یک مسئله، در صنعت یا زندگی روزانه برای رسیدن به هدفی خاص دانست.

■ فناوری همواره با ساخت یا استفاده از یک وسیله همراه است.

برخی فناوری‌های شیمی‌دان‌ها با استفاده از دانش شیمی:

۱- ساخت مواد جدید ۲- روش ساخت آسان‌تر و با صرفه‌تر مواد ۳- یافتن روش، طراحی و ساخت دستگاه‌هایی برای شناسایی دقیق ساختار مواد

شکل زیر، روند کلی افزایش بهره‌وری با استفاده از فناوری‌های شیمیایی را نشان می‌دهد:



تعریف: مواد خام و اولیه، موادی مانند: نمک، سنگ معدن، نفت خام و هوا هستند که فراوری نشده‌اند و با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی جدید تولید کرد.

از نفت خام می‌توان موادی همچون: بنزین، پلی‌اتن، متانول، اتانول، اتیلن‌گلیکول، بنزن، اتن، پارازایلن و ... به دست می‌آیند.

گروه عاملی، کلید سنتز مولکول‌های آلی

تعریف: سنتز، یک فرایند شیمیایی هدفمند است که در آن با استفاده از مواد ساده‌تر، مواد شیمیایی دیگری را تولید می‌کنند.

■ در واقع **سنتز** را می‌توان کانون بسیاری از پژوهش‌های شیمیایی دانست که منجر به طراحی و تولید مواد جدید می‌شود.

SanjeshCloud

یادآوری: اغلب مواد آلی شامل گروه‌های عاملی گوناگون هستند. گروه‌های عاملی، خواص و رفتار مواد آلی را تعیین می‌کنند.

دو روش تولید یک مادهٔ آلی جدید:

۱- تغییر ساختار گروه عاملی و تبدیل به گروه عاملی دیگر مانند: تبدیل متانول به متانوییک‌اسید:

$$CH_3OH \rightarrow HCOOH$$

۲- ایجاد یک یا چند گروه عاملی جدید مانند تبدیل اتن به اتانول:

$$C_2H_4(g) + H_2O(l) \rightarrow C_2H_5OH(l)$$

یادآوری: برای سنتز یک استر می‌توان از واکنش میان یک اسید آلی با یک الکل در شرایط مناسب بهره برد.

$$\text{آب} + \text{استر} \xrightleftharpoons{\text{کاتالیزگر اسیدی}} \text{الکل} + \text{اسید آلی}$$

مثال: اتیل استات استری است که به عنوان حلال چسب استفاده می‌شود. این استر از واکنش میان استیک اسید و اتانول طی واکنش زیر به دست می‌آید:

$$\underset{\text{اتانول}}{C_2H_5OH(l)} + \underset{\text{سرکه (استیک اسید)}}{CH_3COOH(l)} \xrightarrow[\text{کاتالیزگر}]{H_2SO_4} \underset{\substack{\text{اتیل استات}\\ \text{(حلال چسب)}}}{CH_3COOC_2H_5(aq)} + H_2O(l)$$

سنتز مواد از اتن

■ از **گاز اتن** (C_2H_4)، می‌توان مواد آلی گوناگون و پرمصرف و ارزشمند تهیه کرد، به همین دلیل این گاز یکی از مهم‌ترین خوراک‌ها در صنایع پتروشیمی است. به مثال‌های زیر توجه کنید:

۱) $\underset{\text{اتن (سیرنشده)}}{C_2H_4(g)} + H_2(g) \xrightarrow{\text{کاتالیزگر}} \underset{\text{اتان (سیرشده)}}{C_2H_6(g)} \Rightarrow$ سوخت

افشانهٔ بی‌حس‌کنندهٔ موضعی

۲) $C_2H_4(g) + HCl(g) \rightarrow \underset{\text{کلرو اتان}}{C_2H_5Cl(g)} \Rightarrow$

۳) $nC_2H_4(g) \xrightarrow{\text{دما و فشار}} \underset{\text{پلی‌اتن}}{(-C_2H_4-)_n} \Rightarrow$ انواع پلاستیک

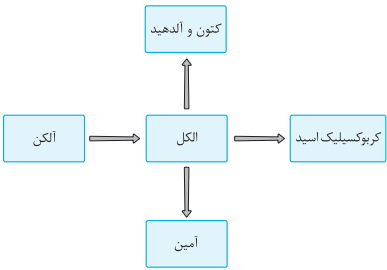
اتن

۴) $C_2H_4(g) + H_2O(l) \rightarrow \underset{\text{اتانول}}{C_2H_5OH(l)} \Rightarrow$ ضدعفونی‌کننده

SanjeshCloud

تبدیل برخی مواد آلی به یکدیگر

■ شکل زیر مراحل تبدیل برخی مواد آلی به یکدیگر را نشان می‌دهد، شروع سنتز این مواد از آلکن‌ها است.



نکته: هر چه نوع و تعداد **گروه‌های عاملی** در مولکول هدف بیشتر باشد، ساخت آن **دشوارتر** بوده و به دانش پیشرفته‌تر و فناوری کارآمدتر نیاز دارد.

صنایع شیمیایی

صنایع شیمیایی یکی از بزرگ‌ترین صنایع کشور ما ایران است. تولیدات صنایع شیمیایی یا به طور مستقیم در زندگی روزانهٔ ما مصرف می‌شوند یا برای تولید مواد و کالاهای جدید در صنایع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. صنایع مختلفی مانند صنایع دفاعی، هوافضا، محیط زیست، داروسازی، پتروشیمی و ... از تولیدات صنایع شیمیایی استفاده می‌کنند.

توجه: بخش کنترل کیفی در هر کارخانه‌ای موظف است که با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی دقیق و روزآمد و استفاده از ابزارها و دستگاه‌های اندازه‌گیری، محتویات و اجزای سازندهٔ محصولات و مقدار آن‌ها را تعیین و کنترل کند.

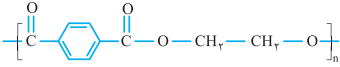
ساخت بطری آب

PET

■ بطری آب از پلیمری به نام پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) ساخته می‌شود.

مراحل ساخت بطری آب عبارت است از: ۱) تهیهٔ پلیمر آن (PET) ۲) افزودن برخی مواد به PET ۳) قالب‌گیری به شکل بطری

■ فرمول ساختاری پلیمر سازندهٔ بطری آب (PET) به شکل زیر است:



پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

برخی ویژگی‌های PET:

۱- از دستهٔ پلی‌استرها است. ۲- از واکنش بسپارش بین دی‌اسید (ترفتالیک اسید) و دی‌الکل (اتیلن‌گلیکول) به دست می‌آید. (مونومرهای آن، اتیلن‌گلیکول و ترفتالیک اسید است.) ۳- مونومرهای آن را نمی‌توان به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد.

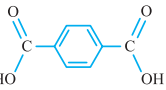
SanjeshCloud

مونومرهای PET:

ساختار مونومرهای سازندهٔ PET به صورت زیر هستند:

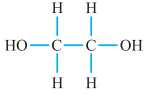
۱- ترفتالیک اسید (اسید دوعاملی): ساختار و فرمول شیمیایی ←

$(C_8H_6O_4)$



۲- اتیلن‌گلیکول (الکل دوعاملی): ساختار و فرمول شیمیایی ←

$(C_2H_6O_2)$

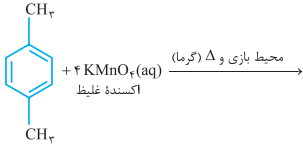


■ با بهره‌گیری از دانش شیمی، می‌توان مونومرهای PET را با استفاده از مواد خام و اولیه که از نفت خام جداسازی می‌شوند، سنتز کرد.

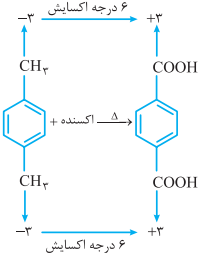
اکسایش پارازایلن برای سنتز ترفتالیک اسید

■ مادهٔ خام برای تهیهٔ ترفتالیک اسید، **پارازایلن** است که به کمک یک اکسنده به نام **پتاسیم پرمنگنات غلیظ** با بازده نسبتاً خوب به **ترفتالیک اسید** تبدیل می‌شود.

معادلهٔ تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید به صورت زیر است.



به تغییر عدد اکسایش اتم‌های کربن و منگنز در نیم‌واکنش‌های آن توجه کنید.



نیم‌واکنش اکسایش:

نکتهٔ مهم در واکنش تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید در حضور اکسندهٔ پتاسیم پرمنگنات غلیظ:

۱- عدد اکسایش اتم‌های کربن گروه متیل متصل به حلقهٔ بنزنی، از ۳− به ۳+ افزایش می‌یابد. (۶ درجه اکسایش)

۲- از هر مولکول پارازایلن، ۲ اتم کربن اکسایش می‌یابد.

۳- از هر مولکول پارازایلن، دو گروه CH_3 به دو گروه کربوکسیل $(-COOH)$ تبدیل می‌شود.

SanjeshCloud

۴- شرایط مناسب برای انجام واکنش عبارت‌اند از: **گرمای کافی، اکسندهٔ قوی، کاتالیزگرهای مناسب و هوا**

۵- انرژی فعال‌سازی واکنش زیاد است به همین دلیل از گرما (Δ) استفاده می‌شود؛ بنابراین اکسایش پارازایلن به ترفتالیک اسید، دشوار است.

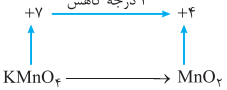
۶- تنها با افزایش دما، بازده واکنش مطلوب نیست اما با حضور کاتالیزگر و گرمای کافی، بازده واکنش بالا است.

نیم‌واکنش کاهش:

با توجه به نیم‌واکنش کاهش می‌توان گفت:

۱- عدد اکسایش منگنز از ۷+ به ۴+ کاهش می‌یابد.

۲- اتم منگنز اکسنده و اتم‌های کربن کاهنده هستند.

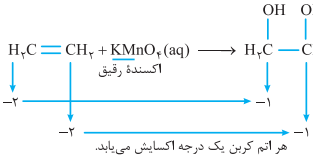


۳- یون‌های پتاسیم (K^+) محلول، یون تماشاچی هستند. (بدون تغییر عدد اکسایش)

۴- یون چندتامی MnO_4^- (پرمنگنات) به منگنز (IV) اکسید (MnO_2) تبدیل می‌شود.

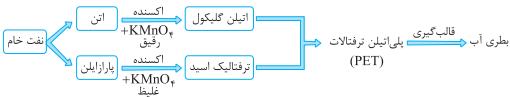
اکسایش اتن برای سنتز اتیلن‌گلیکول

برای سنتز اتیلن‌گلیکول، باید گاز اتن را با محلول آبی و **رقیق پتاسیم پرمنگنات واکنش** داد تا در شرایط مناسب به اتیلن‌گلیکول تبدیل کرد:



اگر به تغییر عدد اکسایش کربن‌های اتن توجه کنید، خواهید دید که عدد اکسایش هر اتم کربن یک درجه کاهش می‌یابد.

شکل زیر، فرایند کلی سنتز PET از مواد خام و اولیه را نشان می‌دهد:



نکته: می‌توان گفت هر واکنشی که در آن یک هیدروکربن به یک ترکیب آلی اکسیژن‌دار تبدیل شود، جزء واکنش‌های اکسایش ـ کاهش به شمار می‌رود.

ترکیب آلی اکسیژن‌دار ⟵ اکسایش هیدروکربن

SanjeshCloud

بازیافت PET

ویژگی‌های پلاستیک‌ها

پلاستیک‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های زیر، کاربردهای وسیعی در زندگی امروزی پیدا کرده‌اند:

■ چگالی کم ■ نفوذناپذیر در برابر آب‌وهوا ■ ارزان‌قیمت
■ مقاوم در برابر خوردگی

■ **مهم‌ترین مشکل پلاستیک‌ها**، زیست‌تخریب‌ناپذیری است که سبب شده فضای زیادی از محیط زیست را اشغال کنند؛ به همین دلیل بهترین روش برخورد با زباله‌های پلاستیکی، جمع‌آوری و بازیافت آن‌ها است.

دو روش بازیافت PET:

■ پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، قابلیت بازیافت دارد؛ بنابراین می‌توان آن‌ها را با جمع‌آوری و سپس با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.

روش ۱: جمع‌آوری PET ← شست‌وشو ← خردکردن ← پَرَک ← ذوب ← تولید وسایل جدید

روش ۲: پسماند و زباله‌های PET ← واکنش‌های شیمیایی ← مونومرهای سازنده ← مواد اولیهٔ مفید و ارزشمند

نکته انتخاب روش بازیافت PET، در هر کشوری به سطح فناوری آن کشور بستگی دارد، زیرا بازگردانی پسماندها به مونومرهای سازنده، کاری بس دشوار است.

■ PET در شرایط مناسب با متانول واکنش می‌دهد و به مواد مفیدی تبدیل می‌شود. موادی که می‌توان آن‌ها را برای تولید مونومرها به کار برد.

پلیمرها ← (مواد مفید و مونومرها) ← (شرایط مناسب: متانول + PET)

تهیهٔ متانول

سالانه به مقدار زیادی متانول در مقیاس صنعتی نیاز است، زیرا کاربرد زیادی در صنایع گوناگون دارد.

برخی ویژگی‌های متانول: ■ مایعی بی‌رنگ و بسیار سمی است. ■ ساده‌ترین عضو خانوادهٔ الکل‌ها است. ■ فرمول شیمیایی آن CH_3OH یا CH_4O است.

■ می‌توان آن را از چوب تهیه کرد (به الکل چوب معروف است).

■ کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون دارد، به همین دلیل لازم است در مقیاس صنعتی تهیه شود.

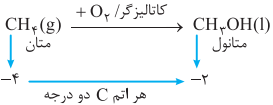
■ در صنعت از واکنش میان گازهای هیدروژن و کربن مونوکسید در شرایط مناسب دما، فشار و کاتالیزگر تهیه می‌شود:

$$CO + 2H_2 \xrightarrow[\text{دما و فشار مناسب}]{\text{کاتالیزگر}} CH_3OH$$

SanjeshCloud

دو روش صنعتی تولید متانول از متان:

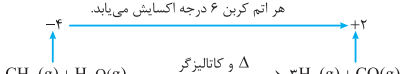
۱- **روش مستقیم تبدیل متان به متانول** (این روش، دشوار و به دانش و فناوری پیشرفته نیازمند است؛ زیرا گاز متان سیر شده است و واکنش‌پذیری اندکی دارد.)



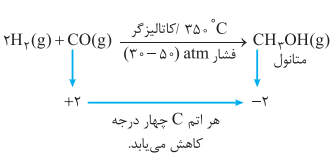
نکته در روش مستقیم تبدیل متان به متانول، هر اتم کربن، ۲ درجه اکسایش می‌یابد.

۲- **روش غیرمستقیم تبدیل متان به متانول** (این روش در دو مرحله انجام می‌شود):

(مرحلهٔ ۱)

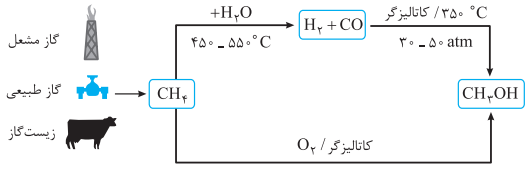


(مرحلهٔ ۲)



نکته در روش غیرمستقیم، کربن در مولکول متان در مرحلهٔ اول، ۶ درجه اکسایش و سپس در مرحلهٔ دوم ۴ درجه کاهش می‌یابد.

شکل زیر روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تولید متانول از متان را نشان می‌دهد:



با توجه به شکل، کدام روش بهتر است؟ تولید مستقیم متانول از متان، رد پای کربن دی‌اکسید را افزایش نمی‌دهد، در حالی که در روش غیرمستقیم رد پای کربن دی‌اکسید افزایش می‌یابد؛ زیرا برای تأمین دمای **۵۰۰ − ۴۵۰** درجهٔ سلسیوس، معمولاً لازم است سوخت‌های فسیلی سوزانده شود که از سوختن آن‌ها، گازهای آلاینده وارد هواکره می‌شود.

SanjeshCloud

نگاهی به اقتصاد اتمی در شیمی سبز

مطابق با اصول شیمی سبز، یک واکنش شیمیایی هنگامی از دیدگاه اتمی به صرفه‌تر است که شمار بیشتری از اتم‌های واکنش‌دهنده به فراورده‌های سودمند تبدیل شود تا بیشترین بازده را داشته باشند،

مثال: در واکنش‌های زیر هدف تولید مادهٔ A است.

۱) $C_6H_6 + H_2SO_4 + NaOH \rightarrow A + X + Y$

۲) $C_6H_6 + C_3H_6 + O_2 \rightarrow A + Z$

- مواد X و Y پسماند هستند، اما مادهٔ Z یک حلال صنعتی؛ بنابراین:

معادلهٔ (۲) دارای بازده بالاتری است و از دیدگاه اتمی صرفهٔ اقتصادی بیشتری دارد، زیرا فراوردهٔ جانبی آن یک حلال صنعتی است. در حالی که در معادلهٔ (۱)، موادی پسماند تولید می‌شود که آلوده‌کنندهٔ محیط زیست نیز هستند.

- در معادلهٔ (۲) همهٔ اتم‌های مواد واکنش‌دهنده به فراورده‌های ارزشمند A و Z (حلال صنعتی) تبدیل شده‌اند.
- معادلهٔ (۱) از دیدگاه اقتصاد اتمی هم کم‌بهره‌تر و هم آلوده‌کنندهٔ محیط زیست است.

SanjeshCloud