

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# شیمی (۳)

و

## آزمایشگاه

برهم کنش میان مواد

سال سوم دبیرستان

رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی

نام کتاب : شیمی (۳) و آزمایشگاه - ۲۵۷/۱

مؤلفان : احمد روح الهی، سیف‌الله جلیلی، دوست محمد سمیعی و نعمت‌الله ارشدی

ویراستار علمی و هماهنگ‌کننده محتوا با برنامه درسی : نعمت‌الله ارشدی

همکاران در طراحی، گردآوری و تألیف : مهدیه سالارکیا، فرشاد صیرفی‌زاده و حسن حذرخانی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹ ، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت: [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

رسام : فاطمه رئیسیان فیروزآباد

صفحه‌آرا : شهرزاد قنبری

طراح جلد : مریم کیوان

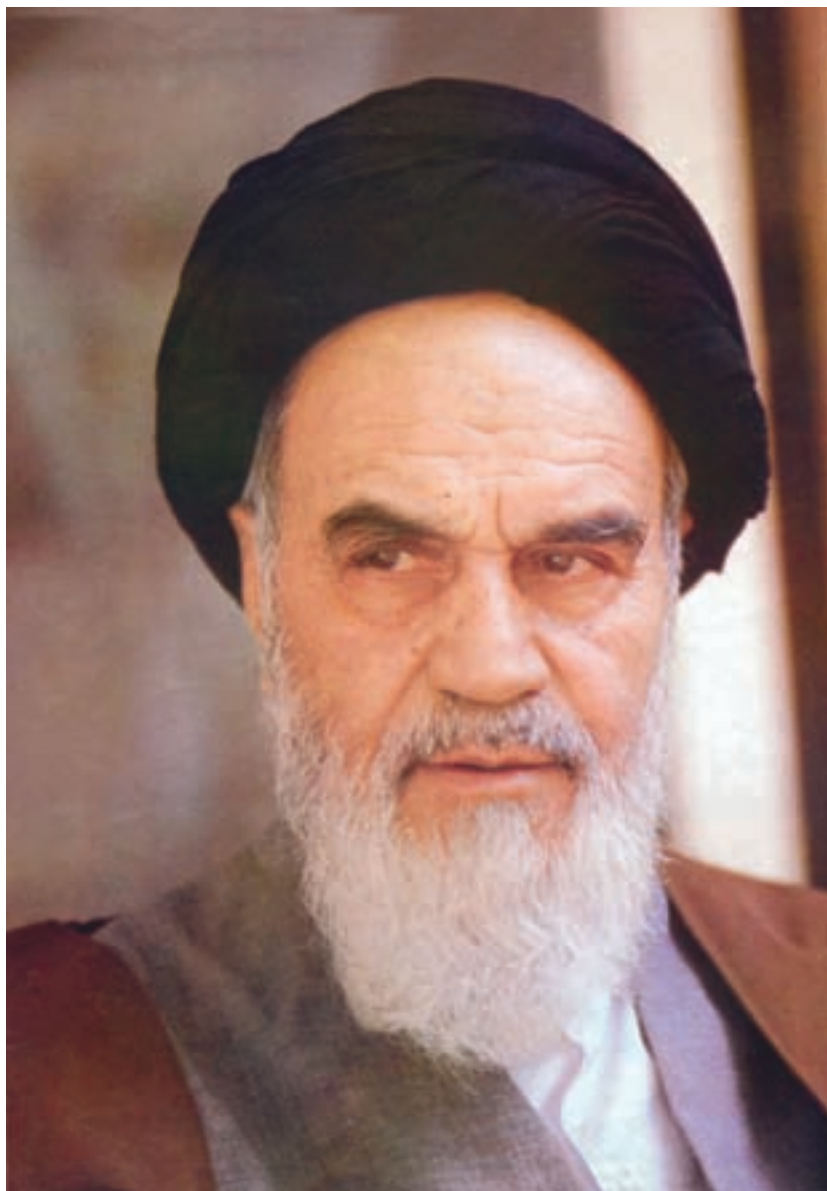
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱ ، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰ ، صندوق پستی: ۱۳۹ - ۳۷۵۱۵

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ دهم ۱۳۹۱

حق چاپ محفوظ است.



من در این جا به جوانان عزیز کشورمان، به این سرمایه ها و ذخیره های عظیم الهی و به این گل های معطر و نوشکفته ی جهان اسلام سفارش می کنم که قدر و قیمت لحظات شیرین زندگی خود را بدانید و خودتان را برای یک مبارزه ی علمی و عملی بزرگ تا رسیدن به اهداف عالی انقلاب اسلامی آماده کنید.

امام خمینی

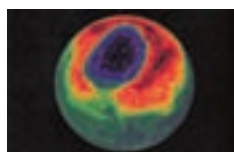
معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را در باره ی مطالب  
این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران .. صندوق پستی ۳۶۳ ۱۵۸۵۵ - گروه دینی مربوط و یا پیام نگار (Email)  
talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر نشر نامه ی دینی، تألیف کتاب دینی است

## فهرست

### بخش ۱

۱



واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری

### بخش ۲

۳۹



ترمودینامیک شیمیایی

### بخش ۳

۷۵



محلول‌ها

## سخنی با شما دانش آموز عزیز

کتابی که پیش روی شماست مجموعه‌ای شامل سه بخش مهم از دانش شیمی است. بخش‌هایی که اصل **برهم کنش میان مواد**، وجه مشترک مفاهیم بیان شده در آن‌هاست. در تألیف این کتاب تلاش شده است تا از طریق ارایه‌ی فعالیت‌های ذهنی و عملی متعدد و بیان برخی مطالب جذاب و انگیزاننده، زمینه برای درک عمیق مفاهیم ارایه شده در هر بخش فراهم آید. اگرچه مفاهیم موجود در این کتاب کم‌شمار است ولی مشارکت فعال شما در فعالیت‌های فردی یا گروهی درون یا برون کلاس و ارایه‌ی دستاوردهای آن‌ها در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هرچه بیش‌تر پربار کند. درواقع طی سال تحصیلی انتظار می‌رود که شما از طریق همکاری با هم‌کلاسی‌ها و معلم‌گرانقدرتان افزون بر محتوای موجود در کتاب، محتوایی فراگیرتر و کامل‌تر تولید کنید و به این ترتیب با مشارکت فعال در فرایند یاددهی - یادگیری در کنار فراگیری دانش لازم در این سطح، بار دیگر تلاش کنید تا به جای یادگیری تعداد کمی مفاهیم علمی از پیش تعریف شده، یادگیری روش یادگیری را سرلوحه‌ی کار خود قرار دهید. امید است چنین کنید.

در ضمن یادآور می‌شود که تدریس و یادگیری همه‌ی مطالب ارایه شده در کتاب **الزامی** است ولی به معلمان محترم توصیه شده است **فقط** در ارزشیابی‌های درون کلاسی (ارزشیابی مستمر) از بخش‌های **بیش‌تر بدانید** و **آزمایش کنید** پرسش مطرح کنند. هم‌چنین استفاده از ماشین حساب ساده و جدول تناوبی عنصرها در امتحان‌های پایانی این درس مانعی ندارد.

گروه شیمی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی

از اظهارنظر شما عزیزان پیرامون ساختار و محتوای این کتاب به گرمی استقبال می‌کند و

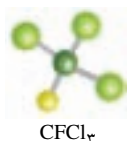
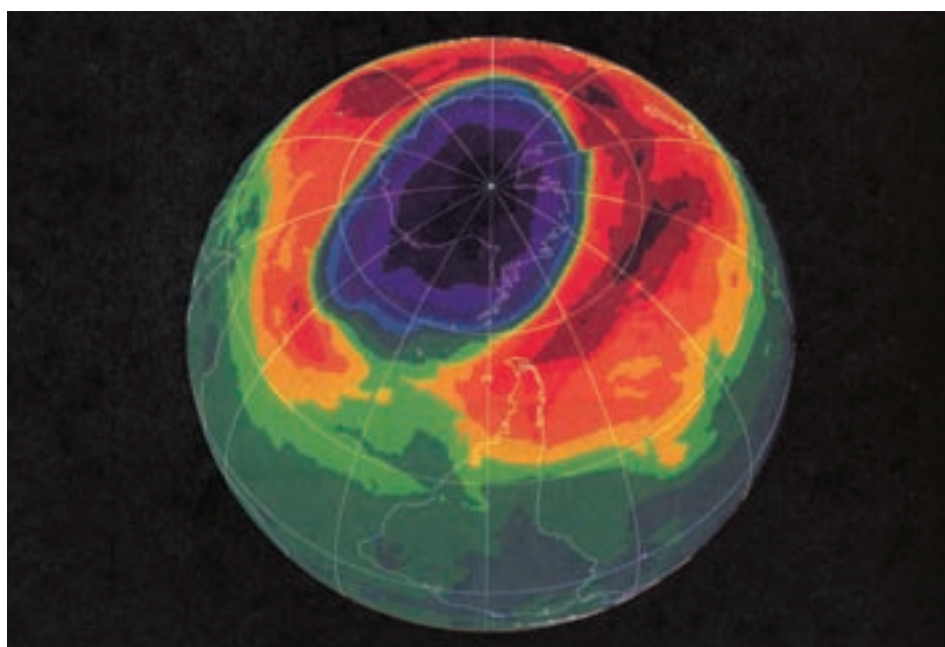
در پایگاه اینترنتی خود به آدرس

**chemistry-dept.talif.sch.ir**

چشم‌انتظار ارایه آن‌ها می‌ماند.

## بخش ۱

### واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری

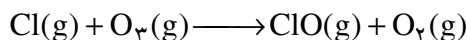


فریون-۱۱ ( $\text{CFCl}_3$ ) و  
فریون-۱۲ ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) دو  
نمونه از پرکاربردترین  
کلروفلوئورو کربن‌ها  
هستند.

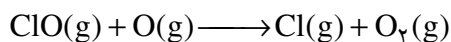
ناحیه‌ی سیاه‌رنگ منطقه‌ای با بیش‌ترین میزان تخریب لایه‌ی اوزون را بر فراز قطب جنوب نشان می‌دهد.

دو دهه است که کاهش ضخامت لایه‌ی اوزون در هوا کره بویژه کاهش  $5^\circ$  درصدی آن بر فراز قطب جنوب به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های همگانی در سراسر جهان تبدیل شده است. پژوهشگران بر این باورند که عامل اصلی تخریب لایه‌ی اوزون واکنش‌هایی است که در وقوع آن‌ها کلروفلوئورو کربن‌ها ( $\text{CFC}$ ها) مشارکت دارند. شیمی‌دان‌ها با مطالعه‌ی واکنش‌های شیمیایی بسیاری که امکان انجام شدن آن‌ها در لایه‌ی استراتوسفر فراهم است، نشان داده‌اند که مولکول‌های اوزون به جای ایفای نقش در واکنش‌هایی که به جذب پرتوهای پرنرژی و خطرناک فرابنفش خورشید می‌انجامد، در واکنش‌های شیمیایی دیگری درگیر

می شوند. این واکنش ها به دلیل حضور اتم های کلر به وقوع می پیوندند، اتم های کلری که از شکسته شدن مولکول های CFC در لایه ی استراتوسفر به وجود می آیند.



کلر مونواکسید (ClO) حاصل نیز بسیار واکنش پذیر است و از طریق واکنش با اتم اکسیژن حاصل از تجزیه ی مولکول اوزون، اتم کلر مصرف شده در واکنش پیش را دوباره آزاد می کند.

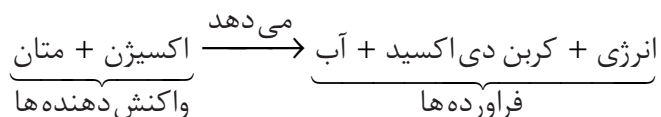


این واکنش، اتم اکسیژن مورد نیاز برای تشکیل مولکول اوزون را از بین می برد، ضمن آن که اتم کلر تخریب کننده ی مولکول اوزون را دوباره تولید می کند. تکرار پیایی این دو واکنش سبب می شود که یک اتم کلر به تنهایی بتواند هزارها مولکول اوزون را از بین ببرد. به نظر شما برای جلوگیری از وقوع این دو واکنش یا کنترل آن ها چه باید کرد؟ آیا حذف یا کاهش مقدار یکی از واکنش گر ها راه مناسبی است؟ کدام یک؟ چه مقدار؟ چرا؟ پاسخ به این پرسش ها و بسیاری دیگر به داشتن درک عمیقی از واکنش های شیمیایی و انواع آن ها و رابطه ی کمی میان واکنش دهنده ها نیازمند است. آشنایی با این مفاهیم شما را در برآورد کمی و کیفی آثار مطلوب و نامطلوب تغییرهای شیمیایی بر زندگی یاری می دهند. این ها همگی موضوع هایی هستند که در این بخش به آن ها می پردازیم.

## واکنش شیمیایی و شیوه های نمایش آن

در سال های پیش با تغییرهای فیزیکی و شیمیایی و ویژگی های آن ها آشنا شدید. برای نمونه ذوب شدن، تبخیر و میعان را از جمله تغییرهای فیزیکی و زنگ زدن آهن، سوختن کاغذ، ترش شدن شیر و حتی هضم غذا و تنفس را از جمله تغییرهای شیمیایی دسته بندی کردید. هم چنین واکنش شیمیایی را توصیفی برای یک تغییر شیمیایی دانستید و آن را فرایندی تعریف کردید که طی آن یک یا چند ماده ی شیمیایی (عنصر/ ترکیب) بر هم تأثیر می گذارند و مواد شیمیایی تازه ای ایجاد می کنند. در ضمن آموختید که واکنش های شیمیایی با مبادله ی انرژی نیز همراه هستند.

واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید. این واکنش به تولید کربن دی اکسید، آب و آزاد کردن مقدار قابل توجهی انرژی می انجامد. این واکنش شیمیایی را می توان با یک معادله ی نوشتاری به صورت زیر توصیف کرد:



با مخلوط کردن این دو محلول رسوب زرد رنگی (سرب (II) کرومات) ایجاد می شود. تشکیل این رسوب رنگی از وقوع یک واکنش شیمیایی خبر می دهد.

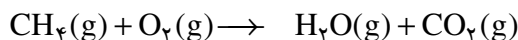


نمادهای به کار رفته برای نمایش حالت فیزیکی مواد در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
(s)	جامد
(l)	مایع
(g)	گاز
(aq)	محلول آبی

این معادله تنها نام واکنش دهنده‌ها (سمت چپ) و فراورده‌های (سمت راست) واکنش را مشخص می‌کند و اطلاعات بیش‌تری را در اختیار نمی‌گذارد.

اگر برای نوشتن معادله‌ی یک واکنش از نمادها و فرمول‌های شیمیایی مواد شرکت‌کننده استفاده شود، در این صورت معادله‌ای به دست می‌آید که به آن **معادله‌ی نمادی** می‌گویند. در این معادله حالت فیزیکی هر ماده‌ی شرکت‌کننده نیز باید مشخص شود.



یک معادله‌ی نمادی چه اطلاعاتی را در اختیار ما می‌گذارد؟

## خود را بیازمایید

در هر مورد معادله‌ی نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.  
 آ. از واکنش گاز هیدروژن با گاز کلر، گاز هیدروژن کلرید تولید می‌شود.  
 ب. فلز آلومینیم و گرد آهن (III) اکسید با یک دیگر واکنش می‌دهند و نمک جامد آلومینیم اکسید و آهن مذاب تولید می‌کنند.  
 پ. پتاسیم کلرات جامد بر اثر گرما به پتاسیم کلرید جامد و گاز اکسیژن تجزیه می‌شود.  
 ت. بر اثر واکنش محلول آبی کلسیم هیدروکسید با گاز هیدروژن کلرید، محلول آبی کلسیم کلرید و آب تشکیل می‌شود.

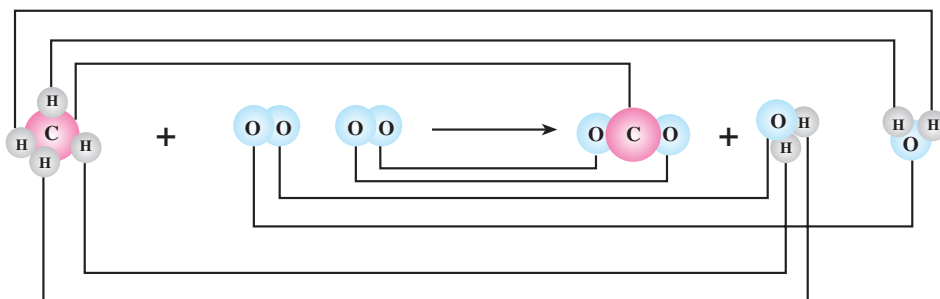
یک معادله‌ی شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی و حالت فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها اطلاعاتی درباره‌ی شرایط لازم برای انجام واکنش نیز در اختیار می‌گذارد. درحالی‌که اطلاعاتی هم چون چگونگی و ترتیب مخلوط کردن واکنش‌دهنده‌ها و نکته‌های ایمنی را دربر ندارد. برای دستیابی به این موارد باید به شرح عملی اجرای آن واکنش شیمیایی مراجعه کرد. شرح عملی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در منابع علمی معتبر یافت می‌شود.

## موازنه کردن معادله‌ی یک واکنش شیمیایی

می‌دانید که در واکنش‌های شیمیایی نه اتمی به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود بلکه پس از انجام واکنش همان اتم‌ها به شیوه‌های دیگری به هم متصل می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همه‌ی واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی ماده یا قانون پایستگی جرم پیروی می‌کنند. از این رو، در یک معادله‌ی شیمیایی باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله یکسان باشد. چنین معادله‌ای را **موازنه شده** می‌گویند. معادله‌ی شیمیایی سوختن گاز متان را دوباره در نظر بگیرید. آیا این معادله موازنه شده است؟  
 با به کار بردن ضریب ۲ برای  $\text{H}_2\text{O}$  (در سمت راست) و  $\text{O}_2$  (در سمت چپ)، معادله‌ی این واکنش موازنه می‌شود.

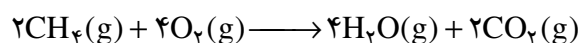
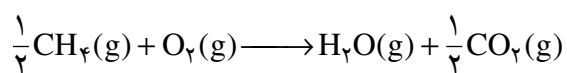
	$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$
تعداد اتم‌های C	۱ ✓	۱
تعداد اتم‌های H	۴ ✓	۴
تعداد اتم‌های O	۴ ✓	۴

همان گونه که مشاهده می کنید با این کار تعداد اتم های هر سه عنصر شرکت کننده در واکنش، در دو سوی معادله برابر شده است. معادله ی واکنش یاد شده نشان می دهد که در سوختن کامل گاز متان، هر مولکول این گاز با دو مولکول اکسیژن واکنش می دهد و دو مولکول آب و یک مولکول کربن دی اکسید تولید می کند، شکل ۱.

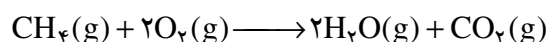


شکل ۱ نمایش رعایت قانون پایستگی جرم در واکنش سوختن کامل گاز متان

همان طوری که مشاهده می کنید به هنگام موازنه کردن این معادله ی شیمیایی زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی واکنش دهنده ها و فراورده ها جابه جا نشد، بلکه ضرایب غیرکسری مناسبی انتخاب و پیش از فرمول شیمیایی واکنش دهنده ها و فراورده ها قرار گرفت. به طور کلی این ضرایب به گونه ای انتخاب می شود که تعداد اتم های هر عنصر در دو سوی معادله ی واکنش برابر شود. بر طبق قرارداد ضرایب نهایی موجود در یک معادله ی موازنه شده بایستی **کوچک ترین عدد صحیح** (غیرکسری) ممکن باشد. از این رو، معادله ی موازنه شده ی سوختن کامل گاز متان را **نباید** به شکل های زیر نوشت: (چرا؟)



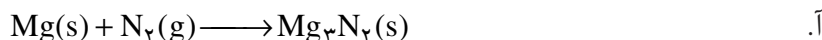
بلکه بایستی آن را به صورت زیر نمایش داد:



چگونه می توان این معادله را از دو معادله ی بالا به دست آورد؟

..... **خود را بیازمایید**

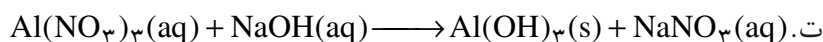
معادله های شیمیایی زیر را موازنه کنید.



صرف نظر از نوع واکنش دهنده ها و فراورده ها، آیا واکنش انجام شده از قانون پایستگی جرم پیروی می کند؟

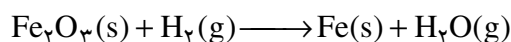
معنای برخی عبارت ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله های شیمیایی

نماد	معنا
→	تولید می کند یا می دهد
$\xrightarrow{\Delta}$	واکنش دهنده ها بر اثر گرم شدن واکنش می کنند.
$\xrightarrow{2\text{ atm}}$	واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می شود.
$\xrightarrow{1200^\circ\text{C}}$	واکنش در دمای ۱۲۰۰ درجه ی سلسیوس انجام می شود.
$\xrightarrow{\text{Pd}}$	برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به عنوان یک کاتالیزگر استفاده می شود.



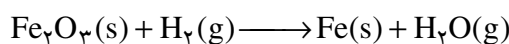
## موازنه کردن معادله‌ی واکنش‌های شیمیایی به روش واری

موازنه کردن معادله‌ی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی به سادگی موازنه کردن معادله‌ی سوختن کامل گاز متان نیست. در اغلب موارد لازم است برای برابر کردن تعداد اتم‌های هریک از عنصرها در دو سوی معادله، عنصر به عنصر مراحل انتخاب ضریب (برای یک واکنش دهنده یا فراورده‌ی دارای آن عنصر) و سپس شمارش اتم‌های آن عنصر (در دوسوی معادله) را تکرار کرد. به این روش گام به گام که رایج‌ترین شیوه برای موازنه کردن معادله‌های شیمیایی است، **روش واری** می‌گویند. همواره به هنگام موازنه کردن یک معادله‌ی شیمیایی به روش واری این پرسش به ذهن می‌آید که موازنه را باید با شمارش تعداد اتم‌های کدام عنصر آغاز کرد؟ به دیگر سخن، باید تعداد اتم‌های کدام عنصر را ابتدا واری کرد؟ تلاش برای پاسخ به این پرسش به یافتن راه‌های گوناگونی برای موازنه کردن معادله‌ی واکنش‌های شیمیایی به روش واری انجامیده است. یکی از این راه‌ها در موازنه‌ی معادله شیمیایی زیر معرفی شده است.



برای موازنه‌ی معادله‌ی این واکنش به روش واری گام‌های زیر پیشنهاد شده است.

**گام نخست:** شمارش تعداد اتم‌های هریک از عنصرها در دو سوی معادله



	واکنش دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Fe	۲		۱
تعداد اتم‌های H	۲	✓	۲
تعداد اتم‌های O	۳		۱

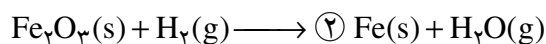
همان‌طوری که دیده می‌شود تعداد اتم‌های هیدروژن در دو سوی معادله موازنه شده است.

**گام دوم:** انتخاب یک ترکیب (واکنش دهنده یا فراورده) با بیش‌ترین تعداد اتم از

عنصری غیر از هیدروژن و اکسیژن

در این جا موازنه را از  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  آغاز می‌کنیم. با به کارگیری ضریب ۲ برای Fe در سمت

راست معادله و شمارش دوباره‌ی تعداد اتم‌های آهن موازنه را پی می‌گیریم.



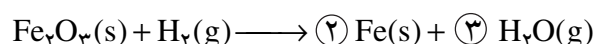
	واکنش دهنده ها		فراورده ها
تعداد اتم های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم های H	۲	✓	۲
تعداد اتم های O	۳		۱

اکنون تعداد اتم های آهن نیز موازنه شده است.

**گام سوم:** موازنه ی تعداد اتم های اکسیژن

با وارد کردن ضریب ۳ برای  $\text{H}_2\text{O}$  در سمت راست معادله، تعداد اتم های O در هر دو

سوی معادله برابر می شود. با این کار، موازنه ی تعداد اتم های هیدروژن به هم می ریزد.

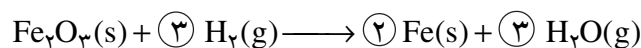


	واکنش دهنده ها		فراورده ها
تعداد اتم های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم های H	۲		۶
تعداد اتم های O	۳	✓	۳

**گام چهارم:** موازنه ی تعداد اتم های هیدروژن

با وارد کردن ضریب ۳ برای  $\text{H}_2$  در سمت چپ معادله، اتم های هیدروژن نیز موازنه

می شود.



	واکنش دهنده ها		فراورده ها
تعداد اتم های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم های H	۶	✓	۶
تعداد اتم های O	۳	✓	۳

این گام ها یعنی ابتدا موازنه کردن اتم های غیر از هیدروژن و اکسیژن و سپس، به ترتیب

موازنه کردن اتم های اکسیژن و هیدروژن یک راه پیشنهادی است که بر مبنای روش واری

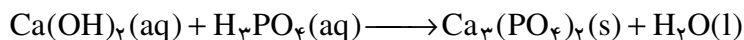
به اجرا درمی آید. شاید شما بتوانید راه های بهتر دیگری پیشنهاد کنید. راه هایی که از طریق

واری انتخابی و پی در پی تعداد اتم های هریک از عنصرها در دو سوی معادله، به موازنه ی

آن بینجامد.

## نمونه‌ی حل شده

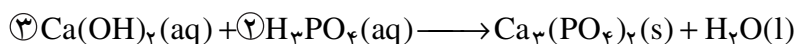
معادله‌ی شیمیایی زیر را موازنه کنید.



**گام نخست:** از آن جا که یون‌های چنداتی فوسفات در دو سوی معادله تغییری نکرده است می‌توان آن‌ها را به صورت یک گونه یا واحد شیمیایی جداگانه در نظر گرفت. به این علت، از محاسبه‌ی تعداد اتم‌های اکسیژن موجود در یون‌های چنداتی فوسفات چشم‌پوشی می‌شود.

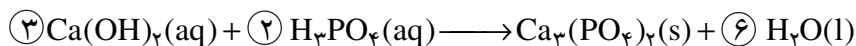
	واکنش دهنده‌ها	فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Ca	۱	۳
تعداد اتم‌های H	۵	۲
تعداد اتم‌های O	۲	۱
تعداد یون‌های چنداتی $\text{PO}_4^{3-}$	۱	۲

**گام دوم:** موازنه کردن را از ترکیب  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  در سمت راست آغاز می‌کنیم که بیش‌ترین تعداد اتم را دارد. از عنصر کلسیم ۳ اتم در سمت راست وجود دارد. با به کارگیری ضریب ۳ برای Ca در سمت چپ، تعداد اتم‌های آن موازنه می‌شود. در سمت راست دو یون  $\text{PO}_4^{3-}$  موجود است، با وارد کردن ضریب ۲ برای  $\text{H}_3\text{PO}_4$  در سمت چپ، این یون هم موازنه می‌شود.



	واکنش دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Ca	۳	✓	۳
تعداد اتم‌های H	۱۲		۲
تعداد اتم‌های O	۶		۱
تعداد یون‌های چنداتی $\text{PO}_4^{3-}$	۲	✓	۲

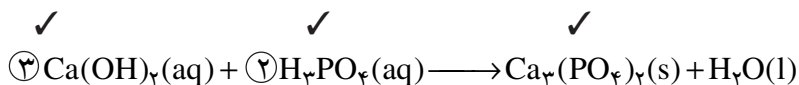
**گام سوم:** اکنون به ترتیب تعداد اتم‌های دو عنصر O و H موازنه می‌شود. به راحتی با به کارگیری ضریب ۶ برای  $\text{H}_2\text{O}$  در سمت راست، موازنه‌ی این دو عنصر نیز هم‌زمان انجام می‌شود.



	واکنش دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Ca	۳	✓	۳
تعداد اتم‌های H	۱۲	✓	۱۲
تعداد اتم‌های O	۶	✓	۶
تعداد یون‌های چنداتی $\text{PO}_4^{3-}$	۲	✓	۲

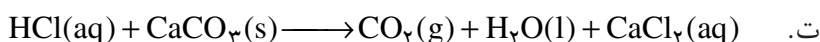
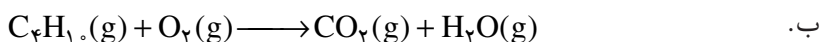
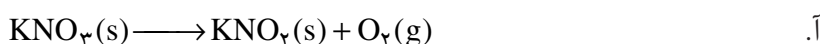
به منظور سرعت بخشیدن به موازنه کردن یک معادله‌ی شیمیایی، پیشنهاد می‌شود که به جای نوشتن تعداد گونه‌ها یا اتم‌های تک تک عناصرها زیر معادله‌ی واکنش، برابری تعداد گونه‌ها یا اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله را تنها با گذاشتن علامت ✓ روی فرمول شیمیایی آن گونه یا نماد شیمیایی آن عنصر مشخص کنید.

برای نمونه گام دوم موازنه‌ی معادله‌ی بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:



## خود را بیازمایید

در هر مورد به کمک روش واری معادله‌ی واکنش داده شده را موازنه کنید.



## انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعه‌ی همه‌ی آن‌ها غیرممکن به نظر می‌رسد. به علت شباهتی که میان بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مشاهده می‌شود، می‌توان آن‌ها را در دسته‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی کرد و به این ترتیب مطالعه‌ی آن‌ها را ممکن ساخت. دسته‌بندی پنجگانه‌ی زیر رایج‌ترین شیوه‌ی طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۲.



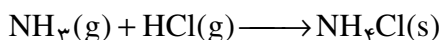
شکل ۲ دسته‌بندی پنجگانه‌ی واکنش‌های شیمیایی

توجه داشته باشید که برخی واکنش‌ها را نمی‌توان تنها به یکی از این دسته‌ها متعلق دانست، زیرا ممکن است ویژگی‌های بیش از یک دسته را داشته باشد.

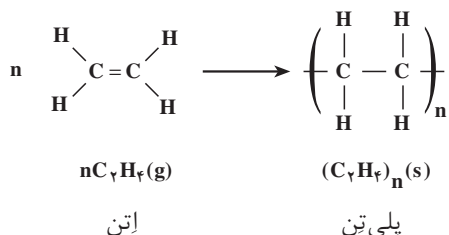


## واکنش سنتز یا ترکیب

واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده، فرآورده(ها)ی تازه‌ای با ساختار پیچیده‌تر تولید می‌کند. در زیر یک نمونه از این واکنش‌ها را مشاهده می‌کنید، شکل ۳.

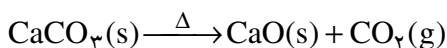


واکنش پلیمر شدن (بسیار) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یک دیگر ترکیب شده، درشت مولکول‌هایی به نام پلیمر (بسیار) تولید می‌شود. تولید پلی‌تن (پلی اتیلن) از جمله پرکاربردترین واکنش پلیمر شدن در صنعت است.

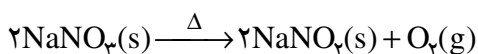
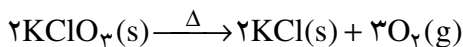


## واکنش تجزیه

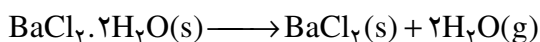
به واکنشی تجزیه می‌گویند که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود. تجزیه‌ی کربنات‌ها و هیدروژن کربنات (بی کربنات)‌ها بر اثر گرما نمونه‌ای از این واکنش‌هاست. طی این واکنش گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.



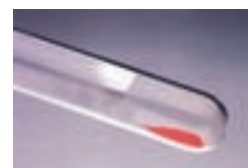
ترکیب‌هایی مانند نیتрат‌ها و کلرات‌ها نیز بر اثر گرما تجزیه می‌شوند. گاز اکسیژن فرآورده‌ی مهم این دسته از واکنش‌هاست.



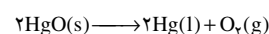
واکنش از دست دادن آب تبلور نمک‌ها بر اثر گرما، نمونه‌ی دیگری از واکنش‌های تجزیه است.



شکل ۳ بر اثر واکنش بخار  $\text{NH}_3$  و بخار  $\text{HCl}$  گرد سفیدرنگ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیبی است.



جیوه (II) اکسید بر اثر گرما به جیوه (آئینه‌ی جیوه‌ای تشکیل شده بر دیواره‌ی داخلی لوله‌ی آزمایش) و اکسیژن عنصری تجزیه می‌شود.



اگر چه این واکنش تجزیه‌ای جالب است اما به علت سمی بودن بخارهای جیوه و ترکیب‌های آن اجرای عملی این آزمایش پیشنهاد نمی‌شود.

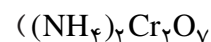
## آزمایش کنید

هدف: تجزیه‌ی آمونیوم دی کرومات

وسایل مورد نیاز: بشر، لوله‌ی آزمایش، هم‌زن شیشه‌ای، توری نسوز و کبریت



مواد مورد نیاز: آمونیوم دی کرومات (جامدی بلوری و نارنجی رنگ به فرمول



### روش کار

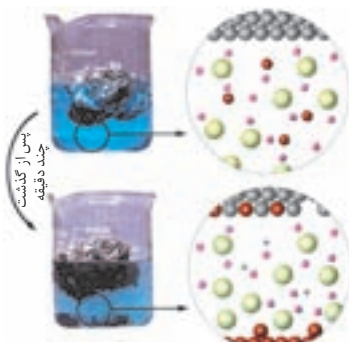
۵g از آمونیوم دی کرومات را توزین کنید و آن را روی توری نسوز یا درون یک تشتک شیشه‌ای بریزید. سپس توری را روی یک کاغذ A۴ قرار دهید. برای شروع واکنش، کبریت را روشن کنید و به مدت چند ثانیه به طور مستقیم روی آمونیوم دی کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعله‌ی کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

(۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵ mL را به طور وارونه چند سانتی متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده می‌کنید؟ چه نتیجه‌ای از این مشاهده می‌گیرید؟  
(۲) بعد از پایان واکنش، جامد باقی‌مانده را توزین کنید و اختلاف جرم ماده‌ی اولیه و فراورده را حساب کنید. علت این اختلاف را توضیح دهید.

(۳) به کمک معلم خود، واکنش تجزیه‌ی آمونیوم دی کرومات را نوشته، موازنه کنید.  
(۴) ویژگی‌های ظاهری و حل‌شوندگی واکنش دهنده و فراورده را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش دهنده یا فراورده را در یک لوله‌ی آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطر اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

واکنش تجزیه‌ی آمونیوم دی کرومات

واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.

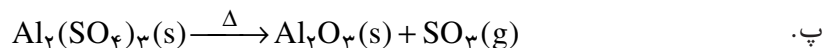
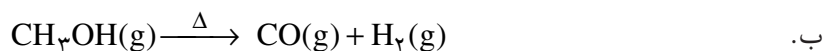
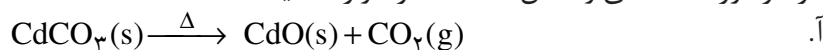


(●) یون سولفات (●) مولکول آب

**شکل ۴** واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات نمونه‌ای از واکنش‌های جابه‌جایی‌یگانه است. آیا می‌توانید اتم‌ها و یون‌های جابه‌جا شده را روی شکل مشخص کنید؟

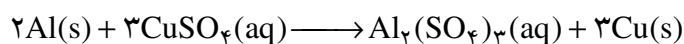
### خود را بیازمایید

در هر مورد معادله‌ی واکنش داده شده را موازنه کنید.

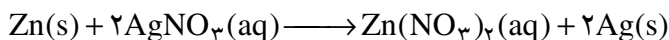
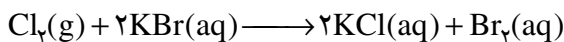


### واکنش جابه‌جایی یگانه

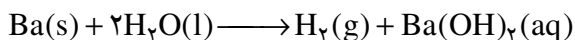
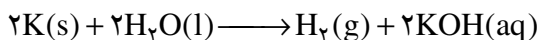
هنگامی که یک قطعه ورقه‌ی آلومینیمی درون محلولی از مس (II) سولفات قرار می‌گیرد، تشکیل فلز سرخ فام مس روی سطح ورقه‌ی آلومینیمی به خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولید شده نیز به ته ظرف فرو خواهد ریخت، شکل ۴. به نظر می‌آید که در این واکنش فلز آلومینیم جای مس موجود در مس (II) سولفات را گرفته، آن را به صورت فلز مس آزاد کرده است.



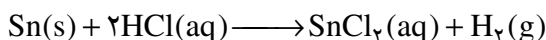
با نگاهی به معادله‌ی این واکنش می‌توان دریافت که تنها یک جابه‌جایی رخ داده است. جابه‌جایی یگانه نامی است که به این دسته از واکنش‌ها داده‌اند. معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی یگانه هستند.



واکنش فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی با آب به تولید گاز هیدروژن می‌انجامد. این واکنش‌ها نیز از جمله‌ی واکنش‌های جابه‌جایی یگانه به‌شمار می‌آیند.



واکنش‌پذیری فلزهای دیگر با آب کم‌تر از فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی است ولی برخی از آن‌ها می‌توانند با اسیدها واکنش دهند و گاز هیدروژن تولید کنند.

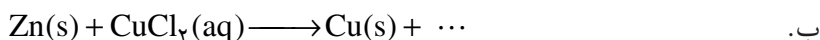


این واکنش نیز مثالی از واکنش‌های جابه‌جایی یگانه است.

بربلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی‌دهد و پایین‌تر از  $60^\circ\text{C}$  در هوا نیز اکسایش نمی‌یابد.

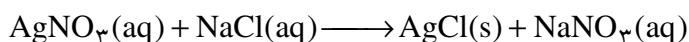
## خود را بیازمایید

در هر مورد معادله‌ی واکنش داده‌شده را کامل کرده، موازنه کنید:



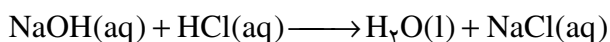
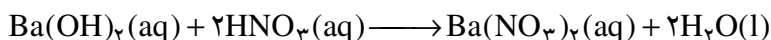
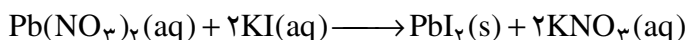
## واکنش جابه‌جایی دوگانه

اگر محلولی از نقره نیترات روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به سرعت تشکیل می‌شود، شکل ۵. معادله‌ی این واکنش به شرح زیر است:



شیمی‌دان‌ها این گونه واکنش‌ها را جابه‌جایی دوگانه می‌خوانند. این نام‌گذاری را چگونه توجیه می‌کنید؟

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه هستند.

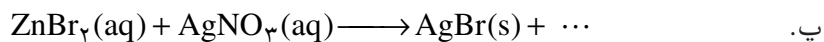
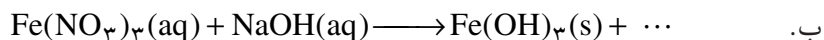


شکل ۵ یک واکنش جابه‌جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید  $\text{AgCl}(\text{s})$  بر اثر مخلوط کردن محلول‌های نقره نیترات  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  و سدیم-کلرید  $\text{NaCl}(\text{aq})$ .



## خود را بیازمایید

در هر مورد معادله ی واکنش داده شده را کامل کرده، موازنه کنید.



## آزمایش کنید

**هدف:** شناسایی یون های  $\text{Ag}^+$  و  $\text{Ba}^{2+}$ ،  $\text{Fe}^{3+}$ ،  $\text{Pb}^{2+}$  در محلول نمک های آن ها

در آب

**وسایل مورد نیاز:** قاشقک، چند لوله ی آزمایش و قطره چکان

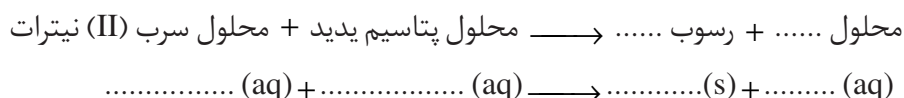
**مواد مورد نیاز:** محلول های رقیقی از سرب (II) نیتрат، آهن (III) کلرید، باریم

کلرید، پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، سدیم سولفات، نقره نیترات و پتاسیم کرومات  
برای تهیه ی این محلول ها کافی است مقدار اندکی (به اندازه ی نوک یک قاشقک) از  
هریک از این مواد جامد برداشته در یک لوله ی آزمایش بریزید. سپس در لوله ی آزمایش تا  
نیمه آب مقطر ریخته به هم بزنید.

**روش کار:**

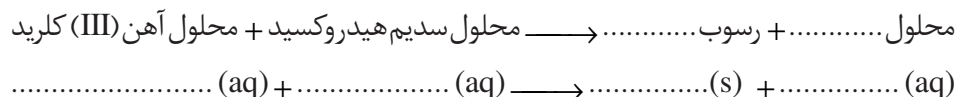
آ. شناسایی یون  $\text{Pb}^{2+}$

۲ mL از محلول سرب (II) نیترات را در یک لوله ی آزمایش بریزید و سپس قطره قطره  
محلول پتاسیم یدید به آن اضافه کرده، مشاهده های خود را یادداشت کنید. در ضمن  
معادله ی شیمیایی واکنش را کامل کرده، موازنه کنید.



ب. شناسایی یون  $\text{Fe}^{3+}$

مطابق روش بالا محلول سدیم هیدروکسید را به محلول آهن (III) کلرید اضافه کرده  
مشاهده های خود را یادداشت کنید. معادله ی واکنش را کامل کرده، موازنه کنید.



پ. شناسایی یون  $\text{Ba}^{2+}$

محلول سدیم سولفات را قطره قطره به محلول باریم کلرید اضافه کرده، مشاهده های  
خود را یادداشت کنید. واکنش را کامل کرده، موازنه کنید.

محلول ..... + رسوب .....  $\longrightarrow$  محلول سدیم سولفات + محلول باریم کلرید  
 .....(aq) + .....(aq)  $\longrightarrow$  .....(s) + .....(aq)

ت. شناسایی یون  $\text{Ag}^+$

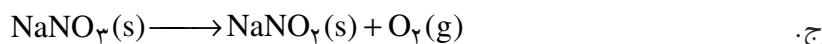
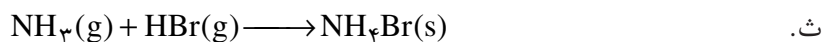
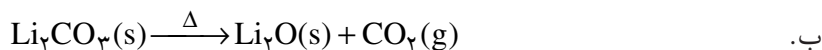
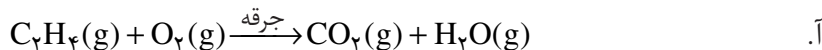
محلول پتاسیم کرومات را قطره قطره به محلول نقره نیترات اضافه کرده، مشاهده های خود را یادداشت کنید. معادله ی واکنش را کامل کرده، موازنه کنید.

محلول ..... + رسوب .....  $\longrightarrow$  محلول پتاسیم کرومات + محلول نقره نیترات  
 $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{K}_2\text{CrO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{.....}(\text{s}) + \text{.....}(\text{aq})$

**توجه:** پس از انجام هر مرحله قطره چکان را با آب مقطر بشویید. (چرا؟) در مصرف مواد صرفه جویی کنید و به توصیه ی مربی آزمایشگاه برای دور ریختن محلول ها دقت کنید.

## خود را بیازمایید.....

در هر مورد مشخص کنید که واکنش داده شده جزو کدام دسته از واکنش ها است.  
 در ضمن در صورت نیاز آن را موازنه کنید.



## استوکیومتری؛ روابط کمی در واکنش های شیمیایی

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عناصرها در ترکیب ها و نیز ارتباط کمی میان مقادیر مواد شرکت کننده در واکنش های شیمیایی (واکنش دهنده ها و فراورده ها) سروکار دارد. با استفاده از روابط استوکیومتری می توان بین مقدار مواد واکنش دهنده و مقدار فراورده ها یک ارتباط کمی برقرار کرد. در محاسبه های استوکیومتری تنها از معادله ی موازنه شده ی واکنش استفاده می شود زیرا معادله ی شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش دهنده ها و فراورده ها، نسبتی معین را مشخص می کنند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می شوند.

استوکیومتری (stoichiometry) واژه ای یونانی است که از ترکیب دو واژه ی استوکیون (stoicheion) به معنای عنصر و مترون (metron) به معنای سنجش گرفته شده است.

## روابط مولی - مولی در محاسبه های استوکیومتری

مفهوم مول در بحث استوکیومتری را می توان هم ارز واحد پول در یک کشور دانست.

همان طور که تنها با پول رایج یک کشور می توان در آن جا به خرید و فروش اقدام کرد، در بحث استوکیومتری و محاسبه های مربوط به آن نیز تنها **مول** قابل قبول است. بنابراین آشنایی با مول و شیوه های تبدیل یکاهای دیگر به مول و برعکس در این مبحث اهمیت زیادی دارد.

### یادآوری مفهوم مول

در کتاب شیمی ۱ با مفهوم مول آشنا شدید. آموختید که یک مول به مجموعه ای شامل  $6.022 \times 10^{23}$  ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می شود.

هم چنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم برحسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول های یک ماده برحسب گرم) و شیوه ی محاسبه ی آن، آموختید که شیمی دان ها به جای این دو (که به ترتیب جرم اتمی و جرم مولکولی هم گفته می شود)، مفهوم عمومی تر جرم مولی را به کار می برند و آن را برحسب گرم بر مول ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) بیان می کنند.

از شیمی ۲ نیز به یاد دارید که وجود ایزوتوپ های مختلف و تفاوت در فراوانی آن ها سبب شد که برای نمونه های طبیعی از عنصرها از جرم اتمی میانگین آن ها استفاده شود. بنابراین جرم مولی عنصرها یا ترکیب ها را به آسانی می توان از داده های تجربی موجود در جدول تناوبی عنصرها به دست آورد.

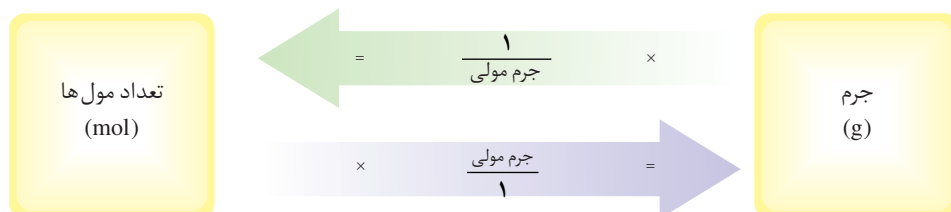
### خود را بیازمایید

در هر مورد با استفاده از جدول تناوبی عنصرها جرم مولی گونه های زیر را معین کنید.  
 (آ) کلر      (ب) کلر مونواکسید      (پ) کربن تتراکلرید

### تبدیل تعداد مول ها به جرم و برعکس

جرم از جمله کمیت هایی است که به آسانی و در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این رو یافتن توانایی تبدیل جرم به تعداد مول ها و برعکس یعنی تبدیل تعداد مول ها به جرم، ابزار مهمی در مبحث استوکیومتری است.

برای این تبدیل از جرم مولی استفاده می شود، شکل ۶.



شکل ۶ تبدیل تعداد مول ها و جرم به یک دیگر

عدد  $6.022 \times 10^{23}$  را  
 عدد آووگادرو می گویند و آن  
 را با  $N_A$  نمایش می دهند.  
 ثابت آووگادرو برابر  
 $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  است.

## نمونه‌ی حل شده

جرم  $3/5^\circ \text{mol}$  مس چند گرم است؟

۱- فهرست داده‌های مسأله را بنویسید.

\* تعداد مول‌های مس:  $3/5^\circ \text{mol}$

\* جرم مولی مس:  $63/55 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  یعنی:  $\frac{63/55 \text{gCu}}{1 \text{mol Cu}}$

۲- با یافتن ضریب تبدیل مناسب، محاسبه را انجام دهید.

$$g\text{Cu} = 3/5^\circ \text{mol Cu} \times \frac{63/55 \text{gCu}}{1 \text{mol Cu}} = 222/4 \text{gCu}$$

ضریب تبدیل

## خود را بیازمایید

۱-  $83/5 \text{g}$  مس چند مول مس است؟

۲-  $128/9 \text{g}$  کربن دی اکسید چند مول است؟

۳-  $55/5 \text{mol}$  آب چند لیتر آب است؟ (چگالی آب را  $1 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  در نظر بگیرید).

## استوکیومتری فرمولی

می‌دانید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان دهنده‌ی نوع و تعداد اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آن است. برای مثال فرمول مولکولی کربن دی اکسید،  $\text{CO}_2$ ، نشان می‌دهد که هر مولکول  $\text{CO}_2$  از یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. به همین ترتیب در هر مول  $\text{CO}_2$  یک مول اتم کربن و دو مول اتم اکسیژن وجود دارد. از این رو می‌توان نسبت تعداد اتم‌ها (یا مول‌ها)ی کربن به اکسیژن را به صورت زیر نشان داد:

$$\frac{\text{تعداد اتم‌های C در یک مولکول CO}_2}{\text{تعداد اتم‌های O در یک مولکول CO}_2} = \frac{\text{تعداد مول‌های C در یک مول CO}_2}{\text{تعداد مول‌های O در یک مول CO}_2} = \frac{1}{2}$$

## خود را بیازمایید

در هر مورد نسبت عنصرهای تشکیل دهنده‌ی ترکیب‌های داده شده را به دست آورید.

(ا)  $\text{NH}_3$       (ب)  $\text{C}_2\text{H}_6$       (پ)  $\text{SO}_3$

در سال گذشته با مفهوم فرمول تجربی آشنا شدید. آموختید که این فرمول افزون بر

نوع و تعداد عنصرهای سازنده ی مولکول، ساده ترین نسبت اتم های موجود در آن را نیز مشخص می کند. اما این پرسش که چگونه این فرمول به دست می آید؟ بی پاسخ ماند. فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از طریق تجزیه ی عنصری آن ترکیب در آزمایشگاه به دست می آید. تجزیه ی عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل دهنده و درصد جرمی هریک از آن ها در ترکیب شیمیایی یاد شده، معین می شود. با کمک این درصدهای جرمی و جرم مولی عنصرهای سازنده، فرمول تجربی آن ترکیب به آسانی از راه محاسبه به دست می آید.

## نمونه ی حل شده

تجزیه ی عنصری پروپیل الکل (۱- پروپانول) نشان می دهد که این ترکیب آلی از ۶۰٪ کربن (C)، ۱۳/۴٪ هیدروژن (H) و ۲۶/۶٪ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به دست آورید.

۱- فهرست داده های مسأله را بنویسید.

\* ۶۰٪ C یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۶۰g کربن وجود دارد.

\* ۱۳/۴٪ H یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۱۳/۴g هیدروژن وجود دارد.

\* ۲۶/۶٪ O یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۲۶/۶g اکسیژن وجود دارد.

\* جرم مولی C:  $12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

\* جرم مولی H:  $1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

\* جرم مولی O:  $16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

۲- جرم هر عنصر را به مول تبدیل کنید.

$$60\% \text{ gC} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ gC}} = 5 \text{ mol C}$$

$$13/4 \text{ gH} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1 \text{ gH}} = 13/4 \text{ mol H}$$

$$26/6 \text{ gO} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16 \text{ gO}} = 1/6 \text{ mol O}$$

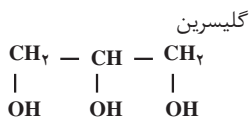
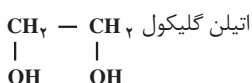
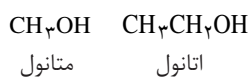
۳- نسبت مولی عنصرها را به دست آورید.

برای این کار تعداد مول های هر عنصر را بر تعداد مول های عنصری تقسیم کنید که مقدار آن از همه کم تر است.

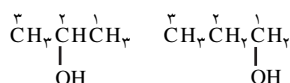
۱/۶ کوچک ترین مقدار است.

$$\frac{1/6 \text{ mol O}}{1/6} = 1 \text{ mol O} = 1 \text{ mol O}$$

الکل ها دسته ای از ترکیب های آلی هستند که یک یا تعداد بیش تری گروه عاملی هیدروکسیل (OH-) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل ها مانند متانول (الکل چوب - در غیاب اکسیژن با گرم کردن چوب تا دمای ۴۰۰°C به حالت بخار به دست می آید.) و اتانول (الکل میوه - بر اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات های موجود در مواد غذایی و برخی میوه ها توسط آنزیم ها تولید می شود.) یک گروه OH- دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱، ۲- اتان دی آل) و گلیسرین (۱، ۲، ۳- پروپان تری آل) به ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.



الکل های راست زنجیر هم کربن را با مشخص کردن شماره ی اتم کربنی مشخص می کنند که گروه هیدروکسیل به آن متصل شده است.



۱- پروپانول (پروپیل الکل)  
۲- پروپانول (ایزوپروپیل الکل)

$$\frac{5/00 \text{ molC}}{1/7} = 2/9 \text{ molC} \approx 3 \text{ molC}$$

$$\frac{13/4 \text{ molH}}{1/7} = 7/9 \text{ molH} \approx 8 \text{ molH}$$

به ازای هر ۱ mol اکسیژن، ۳ mol کربن و ۸ mol هیدروژن وجود دارد.

به دیگر سخن:  $1O:3C:8H$

بنابراین، فرمول تجربی پروپیل الکل باید  $C_3H_8O$  باشد.



ابوبکر محمد بن زکریای رازی  
(۳۰۹-۲۴۳ هجری شمسی)  
(۹۳۰-۸۶۴ میلادی)

شیمی دان، ریاضی دان،  
فیلسوف، ستاره شناس و  
پزشک ایرانی؛ وی  
ترکیب های شیمیایی  
متعددی را تهیه کرد که از آن  
میان می توان به اتانول  
اشاره کرد. با مراجعه به  
شبکه ی جهانی وب درباره ی  
این شخصیت برجسته ی  
ایرانی- اسلامی اطلاعات  
جمع آوری کرده نتیجه را  
به صورت روزنامه ی دیواری  
در کلاس ارایه دهید.

## خود را بیازمایید

۱- فرمول تجربی ترکیبی را به دست آورید که شامل ۲۶/۵۶٪ پتاسیم، ۳۵/۴۱٪ کروم و ۳۸/۰۳٪ اکسیژن است.

۲- فرمول تجربی ترکیبی را به دست آورید که شامل ۵/۷۲g اکسیژن و ۴/۴۳g فسفر است.

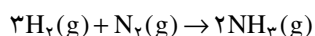
۳- فرمول تجربی ترکیبی را به دست آورید که شامل ۳۲/۳۸٪ سدیم، ۲۲/۶۵٪ گوگرد و ۴۴/۹۷٪ اکسیژن است.

۴- فرمول مولکولی ترکیبی را به دست آورید که جرم مولی آن  $92/01 \text{ g.mol}^{-1}$  است و دارای ۶۱g نیتروژن و ۱۳۹g اکسیژن است.

## بیش تر بدانید

برای تأمین غذای جمعیت رو به فزونی جهان، کشاورزان ناگزیرند فراورده های بیش تر و مغذی تری تولید کنند. هر سال، آن ها صدها میلیون تُن کود شیمیایی را به خاک میفزایند تا فراورده های با کیفیت بالاتری به دست آورند. گیاهان برای آن که به طور مناسب تری رشد کنند، افزون بر کربن دی اکسید و آب، به شش عنصر دیگر نیز نیاز دارند. این شش عنصر عبارت اند از  $Mg$ ،  $S$ ،  $Ca$ ،  $K$ ،  $P$ ،  $N$ .

کودهای نیتروژن دار دارای نمک های نیترات (ترکیب های دارای یون  $NO_3^-$ )، نمک های آمونیوم (ترکیب های دارای یون  $NH_4^+$ ) و ترکیب های دیگر است. گیاهان می توانند نیتروژن را به طور مستقیم به صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک ( $NH_3$ ) و نمک های آمونیوم ابتدا باید به وسیله ی باکتری های خاک به نیترات ها تبدیل شوند. آمونیاک ماده ی اولیه ی کودهای نیتروژن دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به دست می آید.

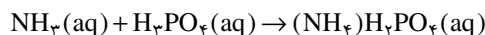
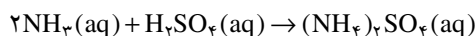
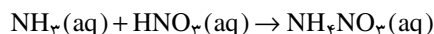


آمونیاک مایع را می توان  
به طور مستقیم به خاک  
تزریق کرد.

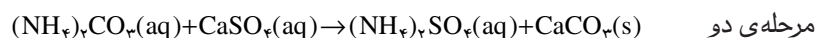


هم چنین، آمونیاک را می توان براساس واکنش های زیر به آمونیوم نیترات ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) ،

آمونیوم سولفات ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ، یا آمونیوم دی هیدروژن فسفات ( $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ) تبدیل کرد:



از واکنش دو مرحله ای زیر نیز به عنوان روش دیگری برای تهیه ی آمونیوم سولفات استفاده می شود:



برتری این روش آن است که مواد اولیه ی آن (گچ، کربن دی اکسید و آب) از سولفوریک اسید ارزان ترند.

جدول زیر درصد جرمی نیتروژن را در برخی از کودهای شیمیایی متداول نشان می دهد.

درصد جرمی نیتروژن در پنج کود شیمیایی رایج

نام	فرمول شیمیایی	%N
آمونیاک	$\text{NH}_3$	۸۲/۴
آمونیم نیترات	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	۲۵
آمونیم سولفات	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	۲۱/۲
آمونیم دی هیدروژن فسفات	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	۱۲/۲
اوره	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	۴۶/۷

برای انتخاب یک کود از میان چند کود شیمیایی چند عامل مؤثر است:

(۱) قیمت مواد اولیه ی لازم برای تهیه ی کود

(۲) آسانی انبار کردن، حمل و نقل و به کارگیری

(۳) درصد جرمی عنصر موردنظر

(۴) مناسب بودن ترکیب از نظر انحلال پذیری در آب یا آسانی جذب به وسیله ی گیاهان.

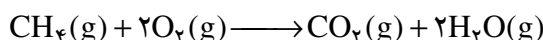
با توجه به همه ی این عوامل، به نظر شما کدام یک از این کودها مهم ترین کود شیمیایی نیتروژن دار

در جهان به شمار می آید؟ در این باره تحقیق کنید.

## استوکیومتری واکنش

یک معادله ی موازنه شده، رابطه ی کمی بین شمار ذره های واکنش دهنده (ها) و

فرآورده (ها) را نشان می دهد. واکنش سوختن کامل گاز متان را در نظر بگیرید:



این معادله نشان می دهد که برای سوختن کامل هر مولکول متان به دو مولکول

اکسیژن نیاز است. طی این واکنش یک مولکول کربن دی اکسید و دو مولکول آب نیز تولید می شود. به همین ترتیب می توان گفت به ازای هر مول متان به دو مول اکسیژن نیاز است و برآثر انجام واکنش یک مول کربن دی اکسید و دو مول آب تولید می شود.

### خود را بیازمایید •••••

با توجه به معادله ی واکنش سوختن کامل متان، جدول نسبت های مولی زیر را کامل کنید:

$$\text{نسبت مولی اکسیژن به متان} = \frac{2 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = 2$$

نسبت مولی کربن دی اکسید به متان = \_\_\_\_\_

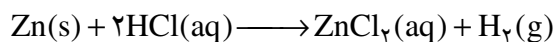
نسبت مولی آب به کربن دی اکسید = \_\_\_\_\_

نسبت مولی متان به آب = \_\_\_\_\_

با استفاده از نسبت های مولی می توان تعداد مول فراورده (ها)ی به دست آمده از واکنش یا تعداد مول واکنش دهنده (ها)ی مورد نیاز را به دست آورد. هم چنین می توان تعداد مول واکنش دهنده (ها)ی لازم را برای تولید تعداد مول مشخصی از فراورده (ها) محاسبه کرد.

### نمونه ی حل شده

فلز روی با هیدروکلریک اسید به صورت زیر واکنش می کند.



آ. از واکنش ۲ mol / ° فلز روی با هیدروکلریک اسید چند مول گاز هیدروژن تولید می شود؟

ب. برای تولید ۳ mol / ° روی کلرید به چند مول هیدروکلریک اسید نیاز است؟

مرحله ی ۱:

به دست آوردن نسبت های مولی از روی معادله ی موازنه شده ی واکنش

$$\text{نسبت مولی گاز هیدروژن به فلز روی} = \frac{1 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol Zn}}$$

$$\text{نسبت مولی هیدروکلریک اسید به روی کلرید} = \frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol ZnCl}_2}$$

مرحله ی ۲:

به دست آوردن تعداد مول های ماده ی خواسته شده از روی تعداد مول ماده ی داده

شده با استفاده از نسبت های مولی به دست آمده

پاسخ قسمت آ:

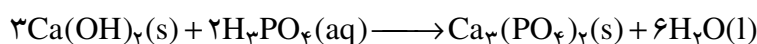
$$? \text{ mol H}_2 = \underbrace{0 / 2 \text{ mol Zn}}_{\substack{\text{تعداد مول ماده‌ی} \\ \text{داده شده}}} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol Zn}}}_{\substack{\text{نسبت مولی} \\ \text{خواسته شده}}} = \underbrace{0 / 2 \text{ mol H}_2}_{\substack{\text{تعداد مول ماده‌ی} \\ \text{خواسته شده}}}$$

پاسخ قسمت ب:

$$? \text{ mol HCl} = \underbrace{0 / 3 \text{ mol ZnCl}_2}_{\substack{\text{تعداد مول ماده‌ی} \\ \text{داده شده}}} \times \underbrace{\frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol ZnCl}_2}}_{\substack{\text{نسبت مولی} \\ \text{خواسته شده}}} = \underbrace{0 / 6 \text{ mol HCl}}_{\substack{\text{تعداد مول ماده‌ی} \\ \text{خواسته شده}}}$$

## خود را بیازمایید

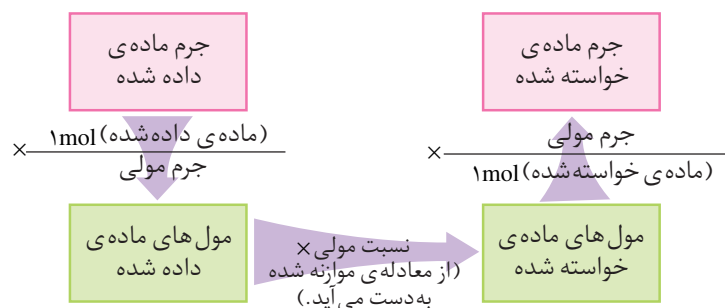
بر طبق واکنش زیر برای تولید هر ۲ mol °/ کلسیم فسفات به چند مول کلسیم هیدروکسید نیاز است؟



## روابط جرمی - جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان گونه که می‌دانید جرم مولی میانگین هر ترکیب، از جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آن به دست می‌آید. برای مثال جرم مولی میانگین آب و کربن دی‌اکسید به ترتیب °/۱۸ و °/۴۴ گرم بر مول است.

برای محاسبه‌ی مقدار جرم فراورده (ها) حاصل از یک واکنش یا جرم مورد نیاز از واکنشگر (ها) برای تولید جرم مشخصی از یک فراورده، می‌توان از روابط استوکیومتری استفاده کرد. در چنین مواردی، معادله‌ی شیمیایی موازنه شده‌ی واکنش مبنای محاسبه‌های کمی قرار می‌گیرد. استوکیومتری واکنش‌ها برحسب مول تفسیر می‌شود، بنابراین ابتدا باید با استفاده از جرم مولی، جرم ماده‌ی داده شده را به مول تبدیل کرد. سپس با استفاده از نسبت‌های مولی، تعداد مول ماده‌ی داده شده را به تعداد مول ماده‌ی خواسته شده تبدیل کرد. سرانجام می‌توان با استفاده از جرم مولی ماده‌ی خواسته شده، مقدار جرم آن را محاسبه کرد. شکل ۷ روند حل بسیاری از مسایل استوکیومتری را نشان می‌دهد.

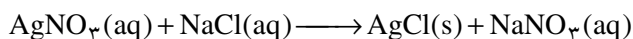


شکل ۷ بسیاری از مسایل استوکیومتری، تبدیل جرم به مول و برعکس و استفاده از نسبت مولی در واکنش‌های شیمیایی را در بر می‌گیرد.

## نمونه‌ی حل شده

از واکنش  $17\text{ g}$  نقره نیترات با مقدار اضافی محلول سدیم کلرید چند گرم نقره کلرید به دست می‌آید؟

۱- نوشتن معادله‌ی موازنه شده



۲- محاسبه‌ی تعداد مول‌های ماده‌ی داده شده (نقره نیترات) با استفاده از جرم مولی آن

$$\text{جرم مولی نقره نیترات (g)} \times \frac{\text{نقره نیترات } 1\text{mol}}{\text{جرم مولی نقره نیترات (g)}} = \text{تعداد مول نقره نیترات}$$

$$? \text{ mol AgNO}_3 = 17\text{ g AgNO}_3 \times \frac{1\text{mol AgNO}_3}{170\text{ g AgNO}_3} = 0.100 \text{ mol AgNO}_3$$

۳- محاسبه‌ی تعداد مول‌های ماده‌ی خواسته شده (نقره کلرید) با استفاده از نسبت مولی به دست آمده از معادله‌ی موازنه شده

نسبت مولی  $\times$  تعداد مول نقره نیترات = تعداد مول نقره کلرید

$$? \text{ mol AgCl} = 0.100 \text{ mol AgNO}_3 \times \frac{1\text{mol AgCl}}{1\text{mol AgNO}_3} = 0.100 \text{ mol AgCl}$$

۴- تبدیل تعداد مول ماده‌ی خواسته شده (نقره کلرید) به جرم با استفاده از جرم مولی آن

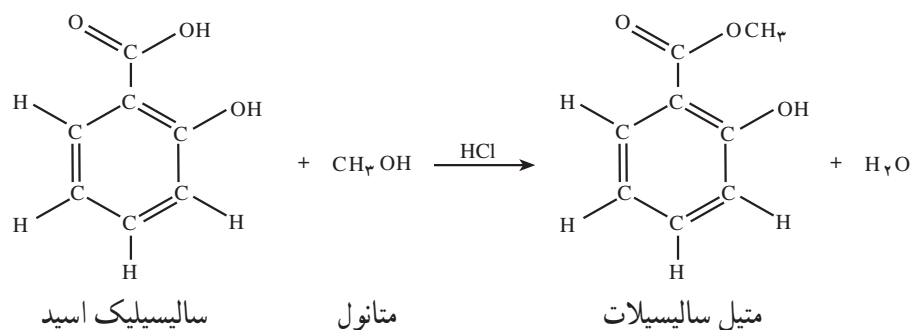
$$\text{جرم مولی نقره کلرید (g)} \times \frac{\text{تعداد مول نقره کلرید}}{1\text{mol نقره کلرید}} = \text{جرم نقره کلرید (g)}$$

$$? \text{ g AgCl} = 0.100 \text{ mol AgCl} \times \frac{143.5\text{ g AgCl}}{1\text{mol AgCl}} = 14.4 \text{ g AgCl}$$

همان گونه که ملاحظه کردید در هر گام با استفاده از یک ضریب تبدیل مناسب، یک عدد با یکای معین به عدد دیگری با یکای معین تبدیل می‌شود. به عبارتی در هر گام با یک تبدیل عددی - ابعادی روبه‌رو هستیم و به این ترتیب یک گام به حل نهایی (عددی با یکای دلخواه) نزدیک می‌شویم.

## خود را بیازمایید

متیل سالیسیلات به عنوان طعم‌دهنده به مواد غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده از واکنش متانول با سالیسیلیک اسید به دست می‌آید:



(جرم مولی = ۱۳۸/۱۳ g/mol)                      (جرم مولی = ۱۵۲/۱۶ g/mol)

چند گرم سالیسیلیک اسید برای تولید ۳۲۵ گرم متیل سالیسیلات لازم است؟



## درصد خلوص مواد

مواد مورد استفاده در آزمایشگاه یا صنعت کاملاً خالص نیستند و معمولاً مقادیر مختلفی ناخالصی به همراه دارند. خلوص مواد معمولاً به صورت درصد بیان می شود، برای مثال سدیم کلرید ۹۹/۸٪. از آن جا که درصد خلوص، مقدار گرم ماده ی خالص موجود در ۱۰۰ گرم ماده ی ناخالص را مشخص می کند، این مثال بیان می کند که هر ۱۰۰ g سدیم کلرید مورد نظر شامل ۹۹/۸ g سدیم کلرید خالص و ۰/۲ g ناخالصی است. از این رو، در حین کار در آزمایشگاه و بویژه در صنعت برای تأمین مقدار معینی از یک ماده ی خالص همواره باید مقدار بیش تری از ماده ی ناخالص در دسترس را به کار برد. با وارد کردن درصد خلوص در محاسبه ها می توان مقادیر مورد نیاز از ماده ی ناخالص را به دست آورد.

$$\text{درصد خلوص ماده} = \frac{\text{جرم ماده ی خالص}}{\text{جرم ماده ی ناخالص}} \times 100$$

به عبارت دیگر:

$$\text{درصد خلوص ماده} = \frac{\text{جرم ماده ی ناخالص} \times \text{درصد خلوص ماده}}{100}$$

## نمونه ی حل شده

یکی از روش های تولید گاز کلر در آزمایشگاه، واکنش دادن هیدروکلریک اسید با منگنز (IV) اکسید طبق معادله ی زیر است.



برای تهیه ی ۲۰٪ گاز کلر، به چند گرم نمونه ی ناخالص منگنز دی اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالصی ها بی اثرند و در واکنش شرکت نمی کنند.

**پاسخ:** ابتدا باید جرم منگنز دی اکسید خالص مورد نیاز را محاسبه کرد و سپس با

استفاده از درصد خلوص، جرم منگنز دی اکسید ناخالص مورد نیاز را به دست آورد.

$$? \text{ mol Cl}_2 = 20 / 9 \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{70 / 9 \text{ g Cl}_2} = 0 / 282 \text{ mol Cl}_2$$

$$? \text{ mol MnO}_2 = 0 / 282 \text{ mol Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol MnO}_2}{1 \text{ mol Cl}_2} = 0 / 282 \text{ mol MnO}_2$$

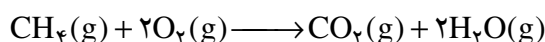
$$\text{جرم MnO}_2 \text{ خالص مورد نیاز} = 0 / 282 \text{ mol MnO}_2 \times \frac{86 / 9 \text{ g MnO}_2}{1 \text{ mol MnO}_2} = 24 / 5 \text{ g MnO}_2$$

$$\text{نمونه‌ی ناخالص} = 24 / 5 \text{ g MnO}_2 \times \frac{100 \text{ g ناخالص}}{90 \text{ g MnO}_2} = 27 / 2 \text{ g}$$

## روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری

محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایه‌ی کارهای ژوزف لویی گی لوساک شیمی دان و فیزیک دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به معرفی **قانون نسبت‌های ترکیبی** بینجامید. برطبق این قانون:

**در دما و فشار ثابت، گازها در نسبت‌های حجمی معینی با هم واکنش می‌کنند.** این نسبت‌ها به طور مستقیم با نسبت ضریب‌های آن‌ها در معادله‌ی موازنه‌شده‌ی واکنش متناسب است. برای مثال، واکنش سوختن متان را در نظر بگیرید.



اگر همه‌ی مواد شرکت‌کننده در واکنش در حالت گازی و در فشار و دمای یکسانی قرار داشته باشند، می‌توان گفت که یک حجم گاز  $\text{CH}_4$  با دو حجم گاز  $\text{O}_2$  واکنش می‌دهد و یک حجم گاز  $\text{CO}_2$  و دو حجم گاز  $\text{H}_2\text{O}$  تشکیل می‌شود، شکل ۸.

از بررسی معادله‌ی تصویری نمایش داده شده در شکل ۸ می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

**در فشار و دمای ثابت یک مول از گازهای مختلف حجم ثابت و برابری دارند.**

این همان نتیجه‌ای است که نخستین بار آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به آن دست یافت.

فرضیه‌ای که بعدها به **قانون آووگادرو** معروف شد.

همان گونه که می‌دانید حجم گازها تابعی از فشار و دمای آن‌ها است. از این رو معمولاً

حجم گازها را در دمای  $0^\circ \text{C}$  ( $273\text{K}$ ) و فشار ۱ اتمسفر ( $760 \text{ mmHg}$ ) بیان می‌کنند. در

این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است هر مول گاز، حجمی برابر  $22 / 4 \text{ L}$  را

اشغال می‌کند. این مقدار را **حجم مولی گازها در شرایط STP** می‌نامند، شکل ۹.

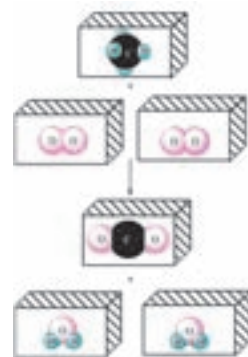


گاز هیدروژن      گاز اکسیژن      گاز کربن دی اکسید

شکل ۹ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد



ژوزف گی لوساک  
(۱۷۷۸ – ۱۸۵۰)



**شکل ۸** معادله‌ی

حجمی ترکیب شدن متان و اکسیژن. هر مکعب ۱ L از آن گاز را نشان می‌دهد.

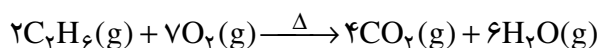
STP کوتاه‌شده‌ی

Standard Temperature and Pressure است.

در حل بعضی مسایل استوکیومتری مربوط به گازها می توان با استفاده از قانون نسبت های حجمی، ضریب تبدیل حجمی - حجمی مناسب را از روی معادله ی موازنه شده ی واکنش پیدا کرد.

### نمونه ی حل شده

حجم اکسیژن مورد نیاز و نیز حجم های  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  تولید شده در هنگام سوختن کامل  $1/5^\circ\text{L}$  گاز اتان ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) را محاسبه کنید.



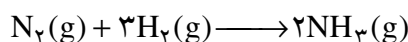
پاسخ:  $\text{حجم O}_2 = 1/5^\circ\text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{7\text{L O}_2}{2\text{L C}_2\text{H}_6} = 5/25\text{L O}_2$

$\text{حجم CO}_2 \text{ تولید شده} = 1/5^\circ\text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{4\text{L CO}_2}{2\text{L C}_2\text{H}_6} = 3/0^\circ\text{L CO}_2$

$\text{حجم H}_2\text{O} \text{ تولید شده} = 1/5^\circ\text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{6\text{L H}_2\text{O}}{2\text{L C}_2\text{H}_6} = 4/5^\circ\text{L H}_2\text{O}$

### خود را بیازمایید

نیتروژن با هیدروژن طبق معادله ی زیر واکنش می دهد و گاز آمونیاک تولید می کند:



در فشار ثابت برای واکنش کامل  $1/0^\circ\text{L}$  نیتروژن، به چند لیتر هیدروژن نیاز است؟

در این شرایط چند لیتر گاز آمونیاک به دست می آید؟

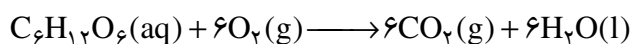
در حل برخی دیگر از مسایل استوکیومتری گازها، می توان با استفاده از حجم مولی،

ضرایب تبدیل مولی - حجمی مناسب را به دست آورد و از روی آن مقدار ماده ی مورد نظر را محاسبه کرد.

### نمونه ی حل شده

بدن انسان در هر شبانه روز به طور متوسط  $445\text{g}$  گلوکوز مصرف می کند. در این

مدت هر انسان به طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکوز نیاز دارد؟



پاسخ: ابتدا تعداد مول های گلوکوز را از روی جرم مولی آن ( $180/0\text{g.mol}^{-1}$ ) حساب

می کنیم:

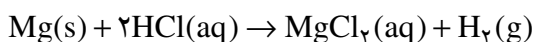
$$? \text{ mol } C_6H_{12}O_6 = 44.5 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 2/47 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

حال با استفاده از ضرایب معادله‌ی موازنه‌شده‌ی واکنش و حجم مولی گازها ( $22/4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) حجم گاز اکسیژن مورد نیاز را حساب می‌کنیم.

$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = 2/47 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{8 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{22/4 \text{ L } O_2}{1 \text{ mol } O_2} = 332 \text{ L } O_2$$

## خود را بیازمایید

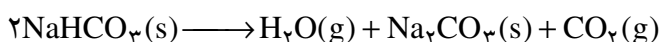
در شرایط استاندارد چند لیتر گاز  $H_2$  از واکنش  $4/8 \text{ g}$  منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می‌شود؟



در مواردی که واکنش در شرایطی غیر از STP انجام می‌شود می‌توان با استفاده از چگالی گازها، مقدار جرم آن‌ها را به حجم یا برعکس تبدیل کرد.

## نمونه‌ی حل شده

سدیم هیدروژن کربنات مطابق واکنش زیر بر اثر گرما تجزیه می‌شود.



از گرم کردن  $1/5 \text{ g}$  سدیم هیدروژن کربنات چند میلی لیتر گاز  $CO_2$  آزاد می‌شود؟ در دمای واکنش چگالی  $CO_2$ ،  $1/1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  است.

**پاسخ:** ابتدا تعداد مول‌های سدیم هیدروژن کربنات را با استفاده از جرم مولی آن ( $84 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) حساب می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های } NaHCO_3 &= 1/5 \text{ g } NaHCO_3 \times \frac{1 \text{ mol } NaHCO_3}{84 \text{ g } NaHCO_3} \\ &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol } NaHCO_3 \end{aligned}$$

سپس تعداد مول‌های  $CO_2$  تولید شده را از روی نسبت مولی به‌دست آمده از معادله‌ی موازنه شده محاسبه کرده، با استفاده از جرم مولی، تعداد مول را به جرم تبدیل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ g } CO_2 &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol } NaHCO_3 \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } NaHCO_3} \times \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \\ &= 0/393 \text{ g } CO_2 \end{aligned}$$

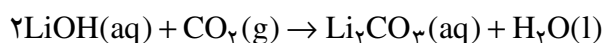
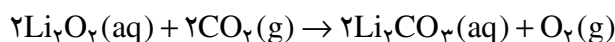


جرم  $\text{CO}_2$  تولید شده را با استفاده از چگالی آن به حجم تبدیل می کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ mL } \text{CO}_2 &= 0.393 \text{ g } \text{CO}_2 \times \frac{1 \text{ L } \text{CO}_2}{1.1 \text{ g } \text{CO}_2} \times \frac{1000 \text{ mL } \text{CO}_2}{1 \text{ L } \text{CO}_2} \\ &= 357 \text{ mL } \text{CO}_2 \end{aligned}$$

## خود را بیازمایید

برای تصفیه ی هوای درون فضاپیماها مطابق واکنش های زیر از تأثیر کربن دی اکسید بر لیتیم پراکسید ( $\text{Li}_2\text{O}_2$ ) یا لیتیم هیدروکسید ( $\text{LiOH}$ ) استفاده می شود:



هر فضاانورد در شبانه روز به طور متوسط  $20^\circ$  مول  $\text{CO}_2$  تولید می کند.

۱- اگر از واکنش اول برای تصفیه ی هوا استفاده شود و در این واکنش همه ی کربن دی اکسید تولید شده به مصرف برسد، مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه روز چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را  $1.4 \text{ g.L}^{-1}$  در نظر بگیرید.)

۲- به نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیه ی هوای درون فضاپیما مناسب تر است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.



یک فضاانورد در حال تعویض قوطی های تصفیه ی هوای فضا پیما است.

## استوکیومتری در محلول ها

### غلظت مولی

بیش تر واکنش های شیمیایی در حالت محلول انجام می شود. واکنش های زیست شیمیایی بسیاری مانند فرایندهایی که در بدن ما صورت می گیرند در محلول ها روی می دهد. در صنعت و آزمایشگاه نیز معمولاً ابتدا واکنش دهنده ها را در یک حلال مناسب حل می کنند و سپس محلول های به دست آمده را به هم می افزایند.

بسیاری از واکنش های شیمیایی در محلول های آبی انجام می شود. محلول هایی که در آن ها آب به عنوان حلال به کار می رود. مقدار هر واکنش دهنده در حالت محلول به حجم به کار رفته و نیز غلظت آن ماده در محلول بستگی دارد. غلظت هر محلول، معرف مقدار ماده ی حل شده در حجم مشخصی از محلول است.

از آن جا که استوکیومتری واکنش ها نیز برحسب مول مورد بحث و بررسی قرار می گیرد، بنابراین در محاسبه های استوکیومتری محلول ها، از **غلظت مولی** یا مولار استفاده می شود. غلظت مولی تعداد مول های حل شده از یک ماده در یک لیتر محلول است و

با یکای  $\text{mol.L}^{-1}$  بیان می شود.

برای نمونه محلولی که دارای  $2/00$  مول  $\text{NaCl}$  در  $10/0$  لیتر محلول است

$$\text{غلظتی معادل } \text{mol.L}^{-1} \text{ یا } \frac{2/00 \cdot \text{mol NaCl}}{10/0 \cdot \text{L محلول}} = 0/200 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \text{ دارد.}$$

### نمونه ی حل شده

برای تهیه ی  $2/00$  لیتر محلول سدیم کلرید  $0/10$  مول در لیتر چه قدر سدیم کلرید

خالص نیاز است؟

پاسخ:

$$\text{جرم NaCl} = \frac{0/10 \cdot \text{mol NaCl}}{1 \text{ L NaCl محلول}} \times 2/00 \cdot \text{L NaCl محلول}$$

$$\times \frac{58/44 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 11/7 \text{ g NaCl}$$

### آزمایش کنید

۱- تصویرهای زیر مراحل تهیه ی محلولی از یک ماده را با غلظت مولی مشخص در

آزمایشگاه نشان می دهد. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبه ی مقدار

حل شونده ی مورد نیاز، محلول های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

آ.  $100 \text{ mL}$  محلول سدیم کلرید  $2 \text{ mol.L}^{-1}$

ب.  $250 \text{ mL}$  محلول مس (II) سولفات  $0/5 \text{ mol.L}^{-1}$



مراحل تهیه ی محلولی با غلظت معین. این محلول با استفاده از حل کردن جرم مشخصی از یک ماده در بالون حجمی تهیه می شود.

۱- اندازه گیری جرم ماده

۲- حل کردن ماده در آب

۳- انتقال محلول به درون بالون حجمی و افزایش آب به آن

۴- افزودن آب بیش تر و تکان دادن بالون به منظور همگن سازی محلول

۵- افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم رساندن)

۲- برای تهیه ی محلول های رقیق می توان از رقیق کردن محلول های غلیظ تر استفاده

کرد.

با دقت به تصویرهای زیر نگاه کنید. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبه‌ی حجم مورد نیاز از محلول غلیظ داده شده، محلول‌های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

آ. ۲۵ mL ۰.۴ mol.L<sup>-1</sup> / ۰.۲ mol.L<sup>-1</sup> پتاسیم دی کرومات از محلول ۰.۲ mol.L<sup>-1</sup> آن

ب. ۱۰ mL ۰.۱ mol.L<sup>-1</sup> سدیم کلرید از محلول ۰.۲ mol.L<sup>-1</sup> آن

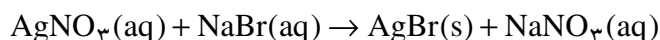


### محاسبه‌های استوکیومتری در واکنش‌های انجام شده در حالت محلول

وقتی حجم‌های مشخصی از محلول‌های دو واکنش دهنده با غلظت معین به هم اضافه می‌شود، با این کار تعداد مول مشخصی از هریک از آن‌ها در مجاورت هم قرار می‌گیرد. برای محاسبه‌ی تعداد مول هر واکنش دهنده بایستی حجم محلول (برحسب لیتر) را در غلظت آن (برحسب مول در لیتر) ضرب کرد. با تعیین این کمیت ادامه‌ی محاسبه‌ها به مانند محاسبه‌های قبلی خواهد بود. به عبارت دیگر با استفاده از رابطه‌ی حجم - غلظت، تعداد مول واکنش دهنده‌ها محاسبه می‌شود و با استفاده از نسبت‌های مولی به دست آمده از معادله‌ی موازنه شده‌ی واکنش، تعداد مول فراورده (ها) محاسبه می‌شود.

### نمونه‌ی حل شده

نقره برومید یکی از ترکیب‌های به کار رفته در ساخت فیلم‌های عکاسی است. این ترکیب شیمیایی را می‌توان از واکنش محلول‌های آبی نقره نیترات و سدیم برومید به دست آورد.



چند میلی لیتر محلول NaBr ۰.۱۲۵ mol.L<sup>-1</sup> / ۰.۱۲۵ mol.L<sup>-1</sup> برای واکنش با ۲۵ mL از محلول

۰.۱۱۵ mol.L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub> لازم است؟

پاسخ:

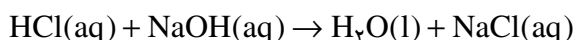
$$\text{NaBr محلول} = 25.0 \text{ mL AgNO}_3 \text{ محلول} \times \frac{0.115 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ L AgNO}_3}$$

$$\times \frac{1 \text{ mol NaBr}}{1 \text{ mol AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ L NaBr محلول}}{0.125 \text{ mol NaBr}} = 23.0 \text{ mL NaBr محلول}$$

### خود را بیازمایید

چند میلی لیتر محلول  $\text{HCl}$   $0.556 \text{ mol.L}^{-1}$  برای واکنش کامل با  $25.0 \text{ mL}$  از

محلول  $\text{NaOH}$   $0.458 \text{ mol.L}^{-1}$  لازم است؟



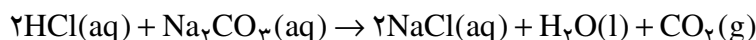
در مثال های بالا نسبت استوکیومتری در واکنش دهنده ها یک به یک است، اما در

مواردی هم این نسبت می تواند متفاوت باشد.

### نمونه ی حل شده

برطبق واکنش زیر چند میلی لیتر محلول  $\text{HCl}$   $0.112 \text{ mol.L}^{-1}$  برای واکنش کامل

با  $21.2 \text{ mL}$  از محلول  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $0.150 \text{ mol.L}^{-1}$  لازم است؟



پاسخ:

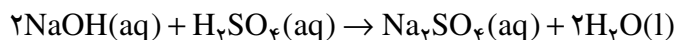
$$\text{HCl محلول} = 21.2 \text{ mL Na}_2\text{CO}_3 \text{ محلول} \times \frac{0.150 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ L Na}_2\text{CO}_3}$$

$$\times \frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{1 \text{ L HCl محلول}}{0.112 \text{ mol HCl}} = 56.8 \text{ mL HCl محلول}$$

### خود را بیازمایید

چند میلی لیتر محلول  $\text{NaOH}$   $0.124 \text{ mol.L}^{-1}$  برای واکنش کامل با  $15.4 \text{ mL}$

از محلول  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0.108 \text{ mol.L}^{-1}$  بر طبق واکنش زیر لازم است؟

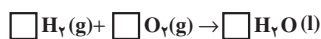
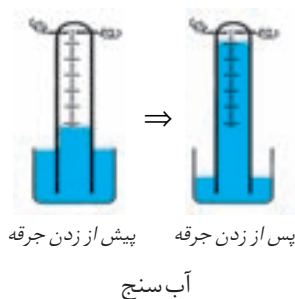


## واکنش دهنده‌ی محدود کننده و واکنش دهنده‌ی اضافی

در هنگام اجرای واکنش‌های شیمیایی در صنعت یا طبیعت، بسیار نادر است که واکنش دهنده‌ها درست به اندازه‌ی نسبت‌های استوکیومتری در مجاورت یک دیگر قرار بگیرند. معمولاً یکی از واکنش دهنده‌ها به مقداری کم‌تر از مقدار استوکیومتری وجود دارد. بنابراین واکنش دهنده‌ی موردنظر در جریان واکنش زودتر از واکنش دهنده‌ی دیگر به مصرف می‌رسد و از این طریق مقدار پیشرفت واکنش و مقدار فراورده‌های تولید شده را با محدودیت روبه‌رو می‌کند. این واکنش دهنده را **محدود کننده** می‌نامند. واکنش دهنده‌ی دیگر را که به مقدار بیش‌تری در ظرف واکنش وجود دارد و پس از پایان واکنش نیز مقداری از آن در ظرف واکنش باقی می‌ماند، **واکنش دهنده‌ی اضافی** می‌نامند.

### فکر کنید

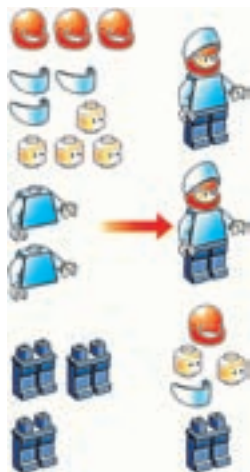
$2\text{H}_2$  مول هیدروژن و  $\text{O}_2$  مول اکسیژن در یک دستگاه آب‌سنج در مجاورت هم قرار گرفته‌اند. با زدن یک جرقه‌ی الکتریکی این دو گاز با هم واکنش می‌کنند. با کامل کردن جدول زیر واکنش دهنده‌ی محدودکننده را در این واکنش معین کنید. درضمن از کدام واکنش دهنده به چه مقدار باقی می‌ماند؟



معادله‌ی موازنه شده‌ی واکنش

☐ ☐ ☐ تعداد مول‌های واکنش دهنده‌ها و فراورده پیش از انجام واکنش

☐ ☐ ☐ تعداد مول‌های واکنش دهنده‌ها و فراورده پس از انجام واکنش



در این تصویر کدام قطعه، ساخت آدمک کامل را با محدودیت روبه‌رو کرده است؟

قیمت مواد شیمیایی یک عامل بسیار مهم در انتخاب واکنش دهنده‌ی محدودکننده است. در صنعت برای به دست آوردن بیش‌ترین مقدار ممکن از یک فراورده همواره واکنش دهنده‌های ارزان قیمت‌تر را به عنوان واکنش دهنده‌ی اضافی به کار می‌برند. در این صورت، تبدیل واکنش دهنده‌ی گران قیمت کامل‌تر خواهد شد. برای تشخیص واکنش دهنده‌ی محدودکننده در مسایل، می‌توان به شیوه‌های گوناگونی عمل کرد. یکی از این روش‌هایی را که طی سه مرحله به اجرا درمی‌آید با هم بررسی می‌کنیم.

**گام نخست:** تبدیل جرم یا حجم واکنش دهنده‌ها به تعداد مول آن‌ها

**گام دوم:** یکی از واکنش دهنده‌ها به عنوان محدودکننده فرض می‌شود.

با استفاده از نسبت (های) مولی در معادله‌ی موازنه شده‌ی واکنش، تعداد مول‌های لازم از واکنش دهنده (های) دیگر محاسبه می‌شود.

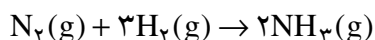
**گام سوم:** مقایسه‌ی مقدار (های) موردنیاز محاسبه شده از دیگر واکنش دهنده (ها)

با مقدار (های) داده شده در مسأله.

اگر مقدار محاسبه شده‌ی موردنیاز برای هریک از واکنش دهنده‌ها کم‌تر از مقدار داده شده در مسأله باشد، انتخاب واکنش دهنده‌ی محدودکننده درست بوده است. در صورتی که برای یکی از واکنش دهنده‌ها مقدار داده شده در مسأله کم‌تر از مقدار محاسبه شده‌ی موردنیاز باشد، این واکنش دهنده محدود کننده است و باید محاسبه‌ها را بر پایه‌ی آن انجام داد.

### نمونه‌ی حل شده

برای تولید آمونیاک،  $25/0 \text{ kg}$  نیتروژن و  $5/0 \text{ kg}$  هیدروژن با یک دیگر مخلوط شده واکنش می‌دهند. در این فرآیند (آ) واکنش دهنده‌ی محدودکننده کدام است؟ (ب) چه مقدار آمونیاک به دست می‌آید؟



پاسخ  
آ.

گام نخست: تبدیل جرم واکنش دهنده‌ها به مول

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های نیتروژن} &= 25/0 \text{ kg } \cancel{\text{N}_2} \times \frac{1/0^3 \text{ g } \cancel{\text{N}_2}}{1 \text{ kg } \cancel{\text{N}_2}} \times \frac{1 \text{ mol } \text{N}_2}{28/0 \text{ g } \cancel{\text{N}_2}} \\ &= 8/93 \times 10^2 \text{ mol } \text{N}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های هیدروژن} &= 5/0 \text{ kg } \cancel{\text{H}_2} \times \frac{1/0^3 \text{ g } \cancel{\text{H}_2}}{1 \text{ kg } \cancel{\text{H}_2}} \times \frac{1 \text{ mol } \text{H}_2}{2/0^2 \text{ g } \cancel{\text{H}_2}} \\ &= 2/48 \times 10^3 \text{ mol } \text{H}_2 \end{aligned}$$

گام دوم: انتخاب یک واکنش دهنده به عنوان واکنش دهنده‌ی محدودکننده‌ی فرضی و محاسبه‌ی مقدار لازم از واکنش دهنده‌های دیگر.

فرض می‌کنیم نیتروژن واکنش دهنده‌ی محدودکننده است. از آن جا که به ازای هر ۱ مول  $\text{N}_2$ ، ۳ مول  $\text{H}_2$  لازم است، تعداد مول های هیدروژن موردنیاز برای واکنش کامل با این مقدار نیتروژن را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های موردنیاز از } \text{H}_2 &= 8/93 \times 10^2 \text{ mol } \cancel{\text{N}_2} \times \frac{3 \text{ mol } \text{H}_2}{1 \text{ mol } \cancel{\text{N}_2}} \\ &= 2/68 \times 10^3 \text{ mol } \text{H}_2 \end{aligned}$$

گام سوم: مقایسه‌ی مقدار موردنیاز محاسبه شده از واکنش دهنده‌ی دیگر با مقدار داده شده در مسأله.

مقدار موردنیاز محاسبه شده برای  $\text{H}_2$  بیش از مقدار موجود آن ( $2/48 \times 10^3 \text{ mol}$ )

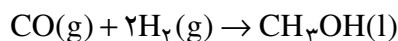
است. بنابراین انتخاب  $N_2$  به عنوان واکنش دهنده ی محدودکننده درست نبوده است و در واقع  $H_2$  واکنش دهنده ی محدودکننده است.

ب. اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش دهنده ی محدودکننده یعنی  $H_2$  محاسبه می کنیم.

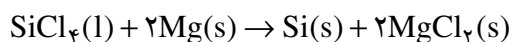
$$\begin{aligned} \text{جرم آمونیاک} &= 2/48 \times 10^3 \text{ mol } H_2 \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2} \times \frac{17/0.3 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} \\ &\times \frac{1 \text{ kg } NH_3}{10^3 \text{ g } NH_3} = 28/2 \text{ kg } NH_3 \end{aligned}$$

## خود را بیازمایید

متانول ( $CH_3OH$ ) به عنوان یک حلال و واکنش دهنده ی مناسب برای تولید بسیاری از مواد شیمیایی در صنعت شناخته می شود. به تازگی نیز در برخی کشورها به عنوان یک سوخت تمیز برای خودروها کاربرد یافته است. متانول را می توان از واکنش کربن مونواکسید و هیدروژن به دست آورد:



از واکنش کامل  $CO$   $356 \text{ g}$  با  $H_2$   $65 \text{ g}$  چند گرم متانول به دست می آید؟  
۲- سیلیسیم خالصی را که در تراشه های الکترونیکی و نیز در سلول های خورشیدی به کار می برند از واکنش سیلیسیم تتراکلریدمایع و منیزیم بسیار خالص بر طبق واکنش زیر تهیه می کنند:



چند گرم سیلیسیم خالص از واکنش کامل  $SiCl_4$   $225 \text{ g}$  و  $Mg$   $225 \text{ g}$  به دست می آید؟

## بازده واکنش های شیمیایی

در بسیاری از واکنش های شیمیایی که برای تهیه ی مواد شیمیایی به کار می روند، مقدار فراورده های به دست آمده کم تر از مقدار محاسبه شده است. مقدار فراورده های مورد انتظار از محاسبه های استوکیومتری **مقدار نظری** واکنش است، درحالی که **مقدار عملی** یعنی مقدار فراورده ای که در عمل تولید می شود، اغلب کم تر از مقدار نظری است. بازده درصدی یک واکنش نسبت این دو مقدار است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100$$

شیمی دان‌ها همواره درجهت افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می‌کنند، با این حال اغلب واکنش‌ها بازدهی کم‌تر از صددرصد دارند. بازده درصدی واکنش را می‌توان با استفاده از روش گام‌به‌گام زیر به دست آورد:

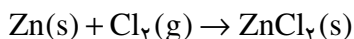
۱- تعیین واکنش دهنده‌ی محدودکننده

۲- محاسبه‌ی مقدار نظری (بیش‌ترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار واکنش دهنده‌ی محدودکننده.

۳- محاسبه‌ی بازده درصدی واکنش با استفاده از رابطه‌ی ارایه شده در صفحه‌ی پیش

### نمونه‌ی حل شده

۳۵/۵ g از گرد فلز روی خالص با مقدار اضافی گاز کلر واکنش می‌دهد. پس از پایان واکنش ۶۵/۲ g روی کلرید به دست می‌آید. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.



۱- پیدا کردن واکنش دهنده‌ی محدودکننده

گاز کلر به مقدار اضافی وجود دارد، پس فلز روی واکنش دهنده‌ی محدودکننده است.

۲- محاسبه‌ی مقدار نظری واکنش از روی مقدار واکنش دهنده‌ی محدودکننده

$$n_{\text{Zn}} = 35.5 \text{ g Zn} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{65.38 \text{ g Zn}} = 0.543 \text{ mol Zn}$$

$$n_{\text{ZnCl}_2} = 0.543 \text{ mol Zn} \times \frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{1 \text{ mol Zn}} = 0.543 \text{ mol ZnCl}_2$$

$$\text{مقدار نظری واکنش} = 0.543 \text{ mol ZnCl}_2 \times \frac{136.28 \text{ g ZnCl}_2}{1 \text{ mol ZnCl}_2} = 74.0 \text{ g ZnCl}_2$$

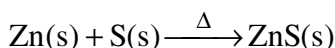
۳- محاسبه‌ی بازده درصدی واکنش

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی واکنش}}{\text{مقدار نظری واکنش}} \times 100 = \frac{65.2 \text{ g ZnCl}_2}{74.0 \text{ g ZnCl}_2} \times 100 = 88.1\%$$

### خود را بیازمایید

۱- برای تولید روی سولفید از واکنش دادن روی و گوگرد بر طبق معادله‌ی زیر استفاده

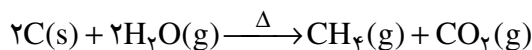
می‌کنند.





در یک آزمایش  $36/^\circ\text{C}$  روی را با  $3/^\circ\text{C}$  گوگرد واکنش داده اند و مقدار  $42/5\text{g}$  روی سولفید به دست آورده اند. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.

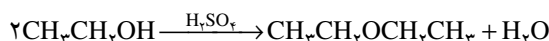
۲- گاز متان را می توان از واکنش زغال سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد.



در صورتی که بازده درصدی واکنش  $85\%$  باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش  $2/^\circ\text{kg}$  زغال سنگ با مقدار اضافی بخار آب به وجود می آید؟

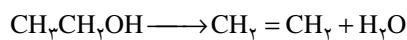
## بیش تر بدانید

در برخی از شاخه های شیمی برای مثال شیمی تجزیه، تنها واکنش هایی سودمند هستند که بازده آن ها  $100\%$  باشد. در شاخه های دیگر، به ندرت می توان به بازده  $100\%$  در یک واکنش دست یافت، از این رو بهبود بازده درصدی یک واکنش اهمیت زیادی پیدا می کند. محاسبه ی بازده همواره در واکنش های سنتزی بویژه در سنتز مواد آلی بسیار مهم است. به عنوان مثال، واکنش تولید دی اتیل اتر از اتانول را در نظر بگیرید. این واکنش که یک واکنش تراکمی است (چرا؟) در حضور سولفوریک اسید غلیظ به عنوان کاتالیزگر انجام می شود.



آب                      دی اتیل اتر                      اتانول

نوشتن این واکنش روی کاغذ آسان، اما انجام آن در آزمایشگاه با تنگناهای زیادی همراه است. یکی از مهم ترین تنگناها این است که همواره طی واکنش، مقداری اتانول به اِتن تبدیل می شود.

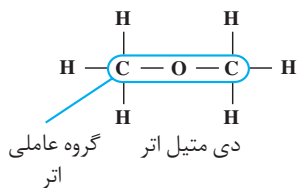


آب                      اِتن                      اتانول

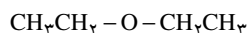
بدیهی است مولکول های اتانولی که به اِتن تبدیل شده اند، دیگر نمی توانند به دی اتیل اتر تبدیل شوند، از این رو، بازده تولید دی اتیل اتر کاهش می یابد.

افزون بر مشکلی که به آن اشاره شد، تنگناهای عملی نیز وجود دارد. به عنوان مثال، دی اتیل اتر خالص را از طریق تقطیر مخلوط واکنش تهیه می کنند، اما همواره مقداری دی اتیل اتر در ظرف تقطیر باقی می ماند. هم چنین، مقداری اتانول ممکن است همراه با اتر تبخیر شود. حتی در بهترین شرایط، دست یافتن به بازده بیش تر از  $80\%$  تا  $85\%$  درصد دشوار است. اغلب، شیمی دان ها ناچارند به بازده ی  $50\%$  یا حتی کم تر از آن بسنده کنند. از این رو شیمی آلی دان ها در صدد یافتن واکنش هایی با بازده بالا هستند یا تلاش می کنند با بهینه کردن شرایط واکنش، بازده واکنش های شناخته شده را افزایش دهند. تلاش در این مسیر زمینه ساز تحول های چشم گیری در دانش شیمی و کاربردهای آن در صنعت بوده است.

اتر به دسته ای از ترکیب های آلی گفته می شود که در ساختار آن ها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن متصل شده است.



دی اتیل اتر شناخته شده ترین اتر است. این مایع فرار و آتش گیر در گذشته به عنوان بی هوش کننده کاربرد گسترده ای داشت اما به دلیل آثار نامطلوب آن روی مجاری تنفسی و احتمال آتش گیری و انفجار امروزه به ندرت از آن استفاده می شود.



دی اتیل اتر

## استوکیومتری و زندگی



هشدار

در این بخش با برخی کاربردهای استوکیومتری آشنا شدید. در این جا به چند کاربرد دیگر استوکیومتری بویژه در صنایع خودروسازی اشاره می کنیم. طراحان خودرو از استوکیومتری برای افزایش ایمنی و بازده موتورها و کاهش آلودگی محیط زیست استفاده می کنند. درواقع افزایش ایمنی ناشی از کاربرد کیسه های هوا در خودروها و بازده بالای ناشی از بهسوزی سوخت، آن هم با کم ترین اثرهای تخریبی روی محیط زیست، به رعایت اصول استوکیومتری وابسته است.

### کیسه های هوا

کیسه های هوا یکی از تازه ترین دستاوردهای صنایع خودروسازی است که در جهت افزایش ایمنی سرنشینان طراحی و تولید شده است. همان گونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه هایی که در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده اند به سرعت از گاز پر می شود و از برخورد سرنشینان به شیشه و قسمت جلویی اتاق جلوگیری به عمل می آورد. کارایی این مجموعه به تولید گاز کافی در کم ترین زمان ممکن بستگی دارد.



**شکل ۱۰** باد شدن سریع کیسه های هوا هنگام برخورد شدید خودرو ناشی از انجام یک واکنش سریع شیمیایی است که طی آن حجم زیاد ولی کنترل شده ای از گاز نیتروژن تولید می شود.

تولید گاز در این کیسه ها به علت انجام سریع یک واکنش شیمیایی است. حسگرهایی در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده اند که در هنگام برخورد شدید، فعال شده باعث منفجر شدن یک کلاهک انفجاری کوچک می شود. این انفجار، انرژی موردنیاز برای آغاز واکنشی را فراهم می آورد که **مولد گاز** نام دارد.

گازی که به سرعت کیسه ها را پر می کند، گاز نیتروژن ( $N_2$ ) است. این گاز از واکنش تجزیه ای زیر فراهم می شود:

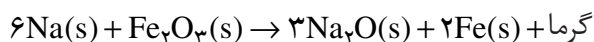


این واکنش به تنهایی نمی تواند باعث پر شدن ناگهانی کیسه ها شود. به علاوه در این واکنش سدیم فلزی نیز تولید می شود که ماده ی فعال (واکنش پذیر) و خطرناکی است. برای

متأسفانه، در یک بررسی که در آن بیش از ۱۰۰ مورد گزارش تصادف ارایه شده بودند تنها کیسه ی هوا از تلفات جانی جلوگیری نکرده، بلکه علت اصلی مرگ نیز بوده است. بیش تر این قربانیان، نوزادان یا کودکان خردسال بوده اند؛ از این رو، کارشناسان توصیه می کنند که از نشان دادن کودکان زیر ۱۲ سال روی صندلی جلوی خودروها و بویژه آن هایی که مجهز به کیسه ی هوا هستند، خودداری شود. هم چنین، باز شدن کیسه ی هوا در برخی موارد موجب زخمی شدن یا حتی مرگ رانندگانی شده که فاصله ی آن ها تا فرمان خودرو بسیار کم بوده است. حداقل این فاصله باید ۲۵ سانتی متر باشد. رعایت این فاصله برای رانندگان بلندقد آسان است، اما رانندگان کوتاه قد، برای آن که پایشان به پدال گاز، ترمز و کلاچ برسد، ناچارند که بیش از اندازه، خود را به فرمان خودرو نزدیک کنند. برای حل این مشکلات به تازگی نسل جدیدی از کیسه های هوا به بازار آمده است که **هوشمند** گفته می شود. سرعت باز شدن این کیسه ها بر حسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصله ی سرنشین تا فرمان خودرو تغییر می کند.



حل این مشکل از واکنش بسیار سریع آهن (III) اکسید با سدیم فلزی استفاده می شود.



این واکنش دما را به طور ناگهانی تا بیش از یک صد درجه بالا می برد و باعث انبساط سریع گاز درون کیسه ها می شود. (چرا؟) سدیم اکسید حاصل بر اثر مجاورت با کربن دی اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده ای بی خطر است، تبدیل می شود.



حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه ی هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبه ی مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه های هوا، طراحان این کیسه ها باید با استوکیومتری واکنش ها و تغییر انرژی آن ها (که باعث تغییر دما و بنابراین تغییر چگالی گازها می شود) به خوبی آشنا باشند.

## خود را بیازمایید.....

فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسه ی هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز  $\text{N}_2$  نیاز است. برای تولید این مقدار گاز  $\text{N}_2$  دستگاه مولد گاز به چند گرم  $\text{NaN}_3\text{(s)}$  نیاز دارد؟ چگالی گاز  $\text{N}_2$  در دمای واکنش به طور تقریبی  $1.25 \text{ g.L}^{-1}$  است.



## افزایش کارایی موتورها

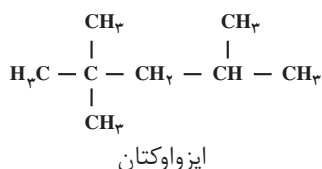
بهسوزی موتور خودرو به رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. وقتی رانندگان برای افزایش سرعت پا را بر پدال گاز می فشارند، سرعت جریان سوخت به موتور بیش تر می شود و بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می یابد. معادله ی نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می دهد:



درواقع این معادله ی نوشتاری، واکنش دهنده ها را به خوبی مشخص نمی کند، زیرا بنزین یک ماده ی شیمیایی ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت با ۵ تا ۱۲ اتم کربن است. به طور میانگین می توان بنزین مورد استفاده در خودروها را ایزواوکتان خالص (با ۸ اتم کربن) در نظر گرفت و معادله ی نمادی سوختن بنزین را برای آن به صورت زیر نوشت:



دو واکنش دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت های مولی معادله ی موازنه شده ی واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود ۲۰٪ از حجم هوا را اکسیژن تشکیل می دهد و بنابراین راه مناسب بهسوزی موتور، تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت است. اگر



هریک از واکنش دهنده ها به مقداری بیش تر از نسبت استوکیومتری استفاده شود، موتور کارآیی خوبی نخواهد داشت و حتی ممکن است خاموش شود. کارکرد نادرست موتور خودرو که به واسطه ی سوختن ناقص بنزین به وقوع می پیوندد نه تنها باعث کاهش توان خودرو می شود بلکه مصرف سوخت را بالا می برد و این خود افزایش آلودگی هوا را در پی خواهد داشت.

## فکر کنید

نسبت مولی سوخت به اکسیژن در موتور خودرویی که با سرعت معمولی حرکت می کند به جای نسبت استوکیومتری ۱ به ۱۲/۵ در نسبت ۱ به ۱۶ نگه داری می شود. این درحالی است که در هنگام روشن کردن موتور این نسبت ۱ به ۱۲ و در هنگامی که موتور درجا کار می کند این نسبت ۱ به ۹ است. در هر حالت واکنش دهنده ی محدود کننده کدام است؟ به نظر شما این تغییرها چه اثری بر کارایی موتور خودرو دارد؟

## بیش تر بدانید

هر چند با تنظیم موتور می توان تا حدود زیادی از سوختن ناقص سوخت جلوگیری کرد، اما با این حال همیشه مقداری از هیدروکربن های نسوخته، کربن مونواکسید و اکسیدهای نیتروژن نیز تولید می شود که آلودگی هوا را در پی دارد. به منظور کاهش این آلاینده ها در گازهای خروجی از اگزوز خودروها، مبدل های کاتالیزی گره گشا بوده است. درون این مبدل ها صفحه های سرامیکی پوشیده شده از فلزهایی هم چون پلاتین، پالادیم یا رودیم وجود دارد که مجاورت گازهای خروجی اگزوز با این سطوح فعال سبب می شود که آلاینده ها به موادی مانند کربن دی اکسید و نیتروژن تبدیل شود. البته وجود سرب در بنزین باعث غیرفعال شدن کاتالیزگرهای موجود در این مبدل ها می شود.



مبدل های کاتالیزی باعث تبدیل گازهای بسیار سمی تولید شده در موتور خودرو به گازهای نیتروژن و کربن دی اکسید می شود.

## بیش تر بخوانید

- ۱- واکنش های شیمیایی و استوکیومتری، علی مؤیدی، عادل پیرنجفی، چاپ نخست، ۱۳۸۴، انتشارات محراب قلم.
- ۲- حل کردن مسأله ها در شیمی، ترجمه ی احمد خواجه نصیر طوسی، چاپ نخست، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.

### ترمودینامیک شیمیایی



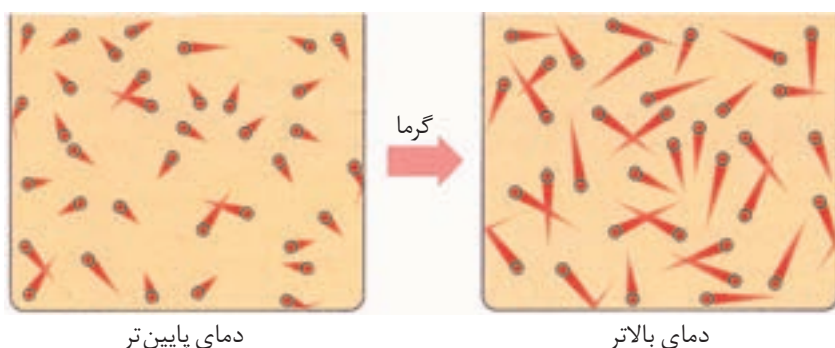
انرژی گرمایی و قابلیت آن برای تبدیل شدن به انرژی مکانیکی، پویایی به ارمغان آورده است.

سوختن نفت و زغال سنگ با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی به صورت گرما همراه است که از این گرما می توان برای گرم کردن خانه، پختن غذا یا به حرکت درآوردن وسایط نقلیه استفاده کرد. شاید این گفته که: «یک لوکوموتیو بخار با سوزاندن چهارده گرم زغال سنگ می تواند دو تُن بار را ۱۶۰۰ متر جابه جا کند!» تأکید کند که همواره برای انجام هر کاری به یک منبع انرژی نیاز داریم، اما مهم تر از آن یادآوری این نکته است که هر تغییر یا تغییرهایی (فیزیکی یا شیمیایی) که چنین نتیجه ای را در پی دارد، نمی تواند بدون مبادله ی انرژی میان مواد روی داده باشد. مطالعه ی کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده طی واکنش های شیمیایی، تغییر آن و تأثیری که بر حالت ماده دارد، موضوع هایی هستند که در شاخه ای از شیمی بررسی می شوند که **ترموشیمی** یا **گرماشیمی** نامیده شده است.

## انرژی و ذره‌های سازنده‌ی ماده

می‌دانید که هر جسم در حال حرکت دارای انرژی جنبشی است. از آن جا که ذره‌های سازنده‌ی ماده یعنی اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌ها نیز پیوسته در حرکتند، پس همه‌ی آن‌ها دارای انرژی جنبشی هستند. این گفته به این معناست که همه‌ی مواد انرژی دارند. در واقع انرژی آن‌ها مجموع انرژی ذره‌های سازنده‌ی آن‌هاست.

هم‌چنین می‌دانید که گرما صورتی از انرژی است. هنگامی که یک جسم گرم می‌شود، مقدار انرژی آن جسم تغییر می‌کند. در واقع طی این فرایند، انرژی جذب شده، در میان ذره‌های سازنده‌ی آن جسم توزیع می‌شود. پس می‌توان انتظار داشت که ذره‌های یادشده با سرعتی بیش‌تر از پیش به حرکت خود ادامه دهند، شکل ۱.



**شکل ۱** ذره‌های تشکیل دهنده‌ی ماده پیوسته و به‌طور نامنظم در حرکت هستند. بر اثر گرم شدن، دمای جسم افزایش می‌یابد و بر سرعت حرکت ذره‌های سازنده‌ی آن افزوده می‌شود.

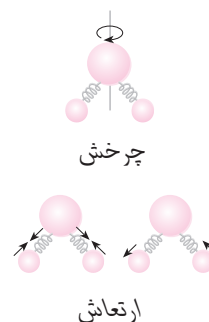
اگر دما را معیاری از میزان گرمی یک جسم تعریف کنیم، در این صورت با گرم شدن یک جسم دمای آن نیز بالا می‌رود. به بیان دیگر، دانستن دمای یک جسم اطلاعات سودمندی درباره‌ی انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره‌های سازنده‌ی آن جسم در اختیار ما می‌گذارد. بنابراین اختلاف دمای میان دو جسم، ما را از اختلاف در انرژی جنبشی ذره‌های تشکیل دهنده‌ی آن دو آگاه می‌سازد.

اکنون این پرسش به ذهن‌خطور می‌کند که این انرژی جنبشی، در ذره‌های سازنده‌ی یک ماده صرف چه می‌شود؟ آیا حرکت از جایی به جای دیگر (حرکت انتقالی) تنها حرکت ممکن برای ذره‌های ماده است؟

اگر دو گلوله‌ی آهنی سبک را به فنی متصل کرده آن‌ها را به سمت بالا پرتاب کنید، مجموعه‌ی یادشده حرکت‌های متفاوتی را از خود نشان خواهد داد. این مجموعه از یک نقطه به نقطه‌ی دیگری جابه‌جا می‌شود، یعنی دارای حرکت انتقالی است. به دور خود می‌چرخند، پس حرکت چرخشی هم دارند. هم‌چون فنر کشیده و جمع می‌شود یا به عبارتی به نوسان درمی‌آید، پس می‌توان گفت که مجموعه دارای حرکت ارتعاشی نیز هست. بنابراین برای ذره‌های تشکیل دهنده‌ی ماده هم، می‌توان حرکت‌های انتقالی، چرخشی و ارتعاشی در نظر گرفت.

حرکت‌های نامنظم ذره‌های سازنده‌ی یک ماده را حرکت‌های گرمایی می‌گویند.

نمایش حرکت چرخشی و ارتعاشی در یک مولکول سه اتمی (مولکول آب)





مشاهده‌های تجربی وجود چنین حرکت‌هایی را در ذره‌های سازنده‌ی ماده به اثبات رسانده است. همه‌ی این حرکت‌ها به انرژی نیاز دارد. بنابراین با افزایش دمای یک جسم، انرژی جذب شده توسط ذره‌ها، میان همه‌ی این حرکت‌ها توزیع می‌شود تا به این ترتیب هزینه‌ی اجرای آن‌ها تأمین شود. تجربه نشان می‌دهد که توزیع انرژی میان همه‌ی ذره‌های ماده یکسان نیست (چرا؟)، از این رو همواره میانگین انرژی همه‌ی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

ژول و کالری یکاهای رایج انرژی هستند. ژول یکای انرژی در سیستم SI است و به افتخار جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی به این نام خوانده می‌شود. ژول یکای کوچکی است، از این رو برای گزارش مقادیر انرژی از کیلوژول (kJ) که معادل هزار ژول است استفاده می‌شود.

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

هر تپش قلب انسان به حدود 1 J انرژی نیاز دارد. یک کالری مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک گرم آب خالص به اندازه‌ی یک درجه سلسیوس است.

$1 \text{ cal} = 4/184 \text{ J}$   
ظرفیت گرمایی معیاری از میزان وابستگی تغییر دمای یک جسم به مقدار گرمای مبادله شده است.

مقدار گرمای مبادله شده = تغییر دما  $\times$  ظرفیت گرمایی

دلتا،  $\Delta$ ، یک حرف یونانی است و برای نشان دادن تغییر یک متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال  $\Delta x$  به معنی  $x_2 - x_1$  است.

## آیا انرژی ماده به مقدار آن بستگی دارد؟

دو لیوان آب را در نظر بگیرید. یکی دارای ۱۰۰ mL و دیگری دارای ۲۰۰ mL آب است. دمای آب درون هر دو لیوان نیز یکسان و برابر  $25^\circ \text{C}$  است. آیا برای افزایش دمای آب هر دو ظرف تا  $50^\circ \text{C}$ ، به انرژی یکسانی نیاز است؟

با کمک مفهومی به نام **ظرفیت گرمایی** می‌توان به این پرسش پاسخ داد. می‌دانید که ظرفیت گرمایی یک جسم، گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای آن به اندازه‌ی یک درجه‌ی سلسیوس است. بنابراین هرچه مقدار ماده بیش‌تر باشد گرمای بیش‌تری نیز برای افزایش دمای آن به این اندازه لازم است.

به دلیل وابستگی ظرفیت گرمایی یک جسم به جرم آن، می‌توان با استفاده از ظرفیت گرمایی ویژه، این وابستگی را از بین برد. ظرفیت گرمایی ویژه مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از جسم به اندازه‌ی یک درجه‌ی سلسیوس لازم است. ظرفیت گرمایی ویژه یک جسم را می‌توان به صورت زیر نیز بیان کرد.

$$\text{مقدار گرمای مبادله شده} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی}}{\text{جرم جسم}} = \frac{\text{تغییر دما} \times \text{جرم جسم}}{\text{ظرفیت گرمایی ویژه}}$$

در این رابطه اگر تغییر دما برابر یک درجه‌ی سلسیوس باشد و جرم جسم نیز یک گرم در نظر گرفته شود، در این صورت ظرفیت گرمایی ویژه‌ی جسم با مقدار گرمای مبادله شده برابر خواهد بود.

اگر مقدار گرمای مبادله شده را با  $q$ ، ظرفیت گرمایی ویژه را با  $c$ ، جرم جسم را با  $m$  و اختلاف دما را با  $\Delta T$  نشان دهیم، آن‌گاه خواهیم داشت:

$$c = \frac{q}{m \cdot \Delta T}$$

در شیمی یکای ظرفیت گرمایی ویژه ژول بر گرم بر درجه‌ی سلسیوس ( $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$ ) است. در جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژه‌ی برخی مواد داده شده است.

اگر دما برحسب کلون بیان شود، واحد ظرفیت گرمایی ویژه ژول بر گرم بر کلون

$$(J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}) \text{ است.}$$

در شیمی بیش تر از **ظرفیت گرمایی مولی** استفاده می شود. ظرفیت گرمایی مولی،

مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس

( $1^{\circ}C$ ) است. یکای ظرفیت گرمایی مولی ژول بر مول بر درجه ی سلسیوس

$$(J \cdot mol^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}) \text{ است.}$$

**جدول ۱** ظرفیت گرمایی ویژه ی برخی مواد در دمای اتاق ( $25^{\circ}C$ )

ماده	حالت فیزیکی	ظرفیت گرمایی ویژه ( $J \cdot g^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )	ظرفیت گرمایی مولی ( $J \cdot mol^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )
آب (بخ)	جامد	۲۱۰۷۶	۳۷،۴۰
سدیم کلرید	جامد	۰،۸۵۰	۴۹،۷۰
کربن (گرافیت)	جامد	۰،۷۲۰	۸،۶۵
آهن	جامد	۰،۴۵۱	۲۵،۱۹
مس	جامد	۰،۳۸۵	۲۴،۴۶
آب	مایع	۴،۱۸۴	۷۵،۳۸
اتانول	مایع	۲،۴۶۰	۱۱۳،۳۳
اتیلن گلیکول	مایع	۲،۳۹۰	۱۴۸،۳۴
آمونیاک	گاز	۲،۰۹۶	۳۵،۷۰
آب (بخار)	گاز	۲،۰۴۳	۳۶،۸۰
اکسیژن	گاز	۰،۹۱۷	۲۹،۳۴
نیتروژن	گاز	۱،۰۴۰	۲۹،۱۳
هیدروژن	گاز	۱۴،۲۸۶	۲۸،۸۰
هلیوم	گاز	۵،۱۹۷	۲۰،۸۰

ارزش غذایی مواد

غذایی، برحسب کالری

سنجیده می شود. ولی

کارشناسان علوم تغذیه از

نوعی کالری استفاده

می کنند که آن را کالری

رژیم غذایی ( $Cal$ ) می نامند

که حرف  $C$  در آن بزرگ

است. این یکا معادل  $1000$

کالری یا یک کیلوکالری

است.

$$1Cal = 1000cal = 1kcal$$

بنابراین وقتی که

می گوئیم  $100$  گرم

موز  $70$  کالری ارزش غذایی

دارد به این معنی است که

وقتی  $100$  گرم موز مصرف

می شود  $70Cal$  یا  $70kcal$

انرژی برای بدن فراهم

می کند.

ارزش غذایی  $100g$  از

برخی مواد غذایی ( $Cal$ )

برنج  $360$

تخم مرغ  $140$

نان  $250$

سیب  $50$

سیب زمینی  $70$

## نمونه ی حل شده

$53$  گرم آلومینیم به  $239J$  انرژی نیاز دارد تا دمای آن به اندازه ی  $5^{\circ}C$  افزایش پیدا

کند، ظرفیت گرمایی ویژه ی این فلز را محاسبه کنید.

**پاسخ:**

می دانید که ظرفیت گرمایی ویژه مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم

از یک جسم به اندازه ی  $1^{\circ}C$  لازم است. از آن جا که دادن  $239J$  انرژی دمای  $53g$  آلومینیم

را به اندازه ی  $5^{\circ}C$  افزایش می دهد، مقدار گرمایی معادل  $4/51J \cdot g^{-1} = (239J / 53g)$  لازم

است تا دمای  $1g$  آلومینیم را  $5^{\circ}C$  افزایش دهد. به این ترتیب گرمای لازم برای افزایش

دمای  $1g$  آلومینیم به اندازه ی  $1^{\circ}C$  برابر خواهد بود با

$$\left( \frac{4/51 J \cdot g^{-1}}{5^{\circ}C} \right) = 0/902 J \cdot g^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$$



به عبارت دیگر:

$$\text{ظرفیت گرمایی ویژه ی آلومینیم} = \frac{239\text{J}}{53\text{g} \times 5^{\circ}\text{C}} = 0.902\text{J.g}^{-1}.^{\circ}\text{C}^{-1}$$

## خود را بیازمایید

۱. اگر افزایش دمای ۷۵g سرب به مقدار  $1^{\circ}\text{C}$  به ۹۶J گرما نیاز داشته باشد، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی سرب را محاسبه کنید.
۲. برای کاهش دمای ۲۵۰g اتانول از دمای  $25^{\circ}\text{C}$  به دمای  $3^{\circ}\text{C}$  چه مقدار گرما باید از آن گرفته شود؟

## اطلاعات جمع آوری کنید

ظرفیت گرمایی ویژه ی آب در سه حالت جامد، مایع و گاز با هم تفاوت دارد. آیا می توان نتیجه گرفت که حالت فیزیکی هم بر مقدار ظرفیت گرمایی ویژه ی یک ماده مؤثر است؟ این وابستگی را چگونه می توان توجیه کرد؟ با مراجعه به منابع علمی معتبر ضمن ارایه ی چند نمونه ی دیگر پاسخ این پرسش ها را بیابید و نتیجه را در کلاس ارایه کنید.

## بیش تر بدانید

هزاران سال است که در کشورهای شرق آسیا مراسم شگفت انگیز راه رفتن روی زغال گداخته برگزار می شود. افرادی روی زغال داغ راه می روند، بدون آن که دچار سوختگی شوند. چگونه این کار امکان پذیر است؟ آیا این افراد قدرت فراطبیعی دارند؟ یا این که علم تجربی توجیهی برای آن ندارد؟ پاسخ این پرسش ها را می توان با بررسی ظرفیت گرمایی پوست کف پا و زغال گداخته یافت. چون بافت بدن انسان به طور عمده از آب تشکیل شده است، از این رو پوست کف پا ظرفیت گرمایی ویژه ی نسبتاً بالایی دارد. بنابراین، برای آن که دمای پاها به طور قابل ملاحظه ای تغییر کند، باید مقدار زیادی انرژی از زغال به این اندام ها منتقل شود. چون مدت زمان تماس پاها با زغال گداخته نسبتاً کوتاه است، فرصت چندانی برای انتقال انرژی به پاها وجود ندارد، به طوری که دمای کف پاها آن چنان افزایش نمی یابند که آسیبی ببینند.

از سوی دیگر، اگر چه دمای سطح زغال زیاد است، اما لایه ی گداخته ی سطح آن بسیار نازک است. از این رو، مقدار انرژی موجود برای گرم کردن پاها کم تر از آن است که انتظار می رود. زیرا اگرچه دمای این لایه ی گداخته ی بسیار نازک زیاد است، اما جرم آن به اندازه ای ناچیز است که گرمای قابل ملاحظه ای برای

مبادله در اختیار ندارد.

عامل سومی که به این افراد کمک می‌کند تا بتوانند روی زغال گذاشته راه بروند، پدیده‌ای است که نخستین بار یک فیزیک‌دان آلمانی به نام یوهان لیدن فراست به آن پی برد. اثر لیدن فراست به پدیده‌ای گفته می‌شود که به قطره‌های آب اجازه می‌دهد روی یک جسم داغ (مانند یک ماهی‌تابه‌ی داغ) برای مدت نسبتاً طولانی بلغزند، بدون آن‌که تبخیر شوند. علت این پدیده آن است که ناحیه‌ای از قطره که در تماس با سطح داغ قرار دارد، تبخیر شده و لایه‌ای از گاز (بخار) به وجود می‌آید. این لایه مانع از انتقال گرما به بقیه‌ی قطره می‌شود و به قطره امکان می‌دهد تا برای مدت بیش‌تری روی سطح داغ باقی بماند. قطره‌های عرق پای این افراد نیز همین اثر را دارد. افزون بر این، چون این مراسم معمولاً در شب اجرا می‌شود، چمن مرطوبی که در اطراف بستر زغال وجود دارد، پای شخص را نمناک کرده، رطوبت لازم برای پدیده‌ی لیدن فراست را فراهم می‌کند. بنابراین، اگرچه راه رفتن روی آتش، کار شگفت‌آوری به نظر می‌رسد، اما دلایل علمی محکمی وجود دارد که امکان انجام این کار را توجیه می‌کند. البته، تمرین کافی و بستر مناسب زغال نیز ضروری است. ضمن آن که نباید از تحلیل‌های روانشناسانه‌ی چنین اقدامی نیز چشم‌پوشی کرد.



مراسم راه رفتن روی زغال گذاشته. هندوهای جزایر فیجی در حال برگزاری این مراسم دیده می‌شوند.

## ترمودینامیک چیست؟

تا این جا آموختید که ماده انرژی دارد و این انرژی میان همه‌ی ذره‌های سازنده‌اش آن هم به طور غیریک‌نواخت توزیع شده است. هم چنین آموختید که هر ماده می‌تواند به مقادیر معین و قابل اندازه‌گیری انرژی جذب کند یا از دست بدهد و در یک کلام انرژی مبادله کند. این ویژگی‌های ماده و بسیاری دیگر از این دست در شاخه‌ای از علم تجربی مطالعه می‌شود که **ترمودینامیک** نامیده شده است. ترمودینامیک را می‌توان دانش مطالعه‌ی تبدیل شکل‌های مختلف انرژی و راه‌های انتقال آن تعریف کرد.

ترمودینامیک نیز مانند هر شاخه‌ی علمی دیگری الفبای ویژه‌ی خود را دارد. پس لازم است پیش از ورود به این بحث با برخی مفاهیم اولیه‌ی ترمودینامیک آشنا شوید.

## سامانه و محیط پیرامون آن

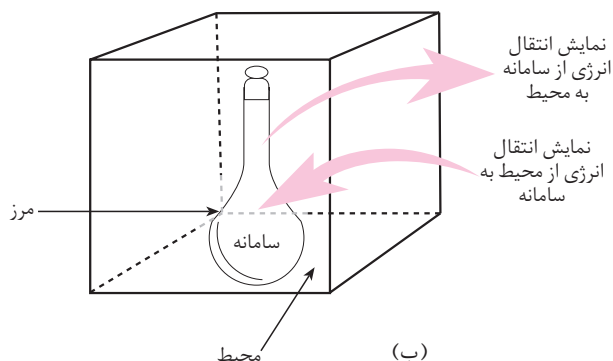
در ترمودینامیک بخشی از جهان را انتخاب و تغییر انرژی آن را مطالعه می‌کنند. به بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود، **سامانه** یا **سیستم** می‌گویند. هنگامی که سامانه مشخص شد، هر چیز دیگری که در پیرامون آن باشد **محیط** نامیده می‌شود. در شکل ۲ یک سامانه و محیط پیرامون آن را می‌بینید. در این شکل، سامانه، محتویات بالون حجمی (محلول زرد) است و وسایل دیگر و هم‌چنین بقیه‌ی قسمت‌های آزمایشگاه محیط پیرامون سامانه را تشکیل می‌دهند. در حقیقت، بقیه‌ی جهان هستی محیط پیرامون سامانه است ولی در عمل

کافی است که فقط بخشی از جهان که با سامانه در ارتباطی نزدیک است محیط در نظر گرفته شود.

دیواره‌ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می‌کند **مرز سامانه** نامیده می‌شود. این مرز ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.



(آ)



(ب)

**شکل ۲** سامانه و محیط پیرامون آن آ. وقتی که محتویات بالون (محلول زرد) را به عنوان سامانه در نظر بگیریم، دیواره‌ی بالون مرز سامانه و آزمایشگاه محیط پیرامون آن به شمار می‌آید. ب. نمایش دقیق‌تر اجزای سامانه‌ی یاد شده.

## انواع سامانه‌ها

سامانه‌ها را براساس نوع مبادله‌ای که با محیط پیرامون خود دارند به سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند. در این مبادله سامانه و محیط می‌توانند انرژی، ماده یا هر دو را بین هم تبادل کنند. سامانه‌ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می‌کند **سامانه‌ی باز** نامیده می‌شود. به سامانه‌ای که در آن امکان مبادله‌ی ماده وجود ندارد و تنها به مبادله‌ی انرژی اکتفا می‌شود، **سامانه‌ی بسته** می‌گویند. سامانه‌ای هم که مبادله‌ی ماده و انرژی ندارد **سامانه‌ی منزوی (ایزوله)** نامیده شده است.

## فکر کنید

۱- با توجه به تعریف انواع سامانه‌ها، در هر مورد تعیین کنید که سامانه‌ی داده شده از نوع باز یا بسته است.

آ. یک زودپز حین پختن غذا

ب. یک بادکنک پر از هوا

۲- آب جوش یا چایی که در یک فلاسک نگه‌داری می‌شود، در مجموع یک سامانه‌ی

منزوی را تشکیل می‌دهد. آیا می‌توان ادعا کرد که این سامانه واقعاً منزوی است؟

## خواص سامانه

برای توصیف یک سامانه باید مقادیر برخی از خواص قابل اندازه‌گیری آن برای نمونه حجم، فشار و دمای سامانه را اندازه‌گیری کرد. چنین خواصی را **خواص ترمودینامیکی** آن سامانه می‌گویند. این خواص به دو دسته‌ی **خواص مقداری و خواص شدتی** دسته‌بندی می‌شوند.

### فکر کنید

۳۵۰ mL از یک محلول آبی رنگ با غلظت  $2 \text{ mol.L}^{-1}$  در یک بشر موجود است (سامانه‌ی اولیه). این محلول را به ترتیب در سه بشر به حجم‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی لیتر می‌ریزیم. جرم، حجم، دما، غلظت، رنگ، چگالی و ظرفیت گرمایی محلول یاد شده در این سه بشر در مقایسه با بشر اولیه چه تفاوتی کرده است؟ جمع کدام خاصیت برای این سه بشر با همین خاصیت در سامانه‌ی اولیه برابر است؟

اگر خواصی را که مقدار آن‌ها به مقدار ماده وابسته است، خواص مقداری و خواصی را که مقدار آن‌ها به مقدار ماده بستگی ندارد، خواص شدتی بنامیم، از میان خاصیت‌های بیان شده، کدام خاصیت سامانه‌ی اولیه شدتی و کدام مقداری خواهد بود؟

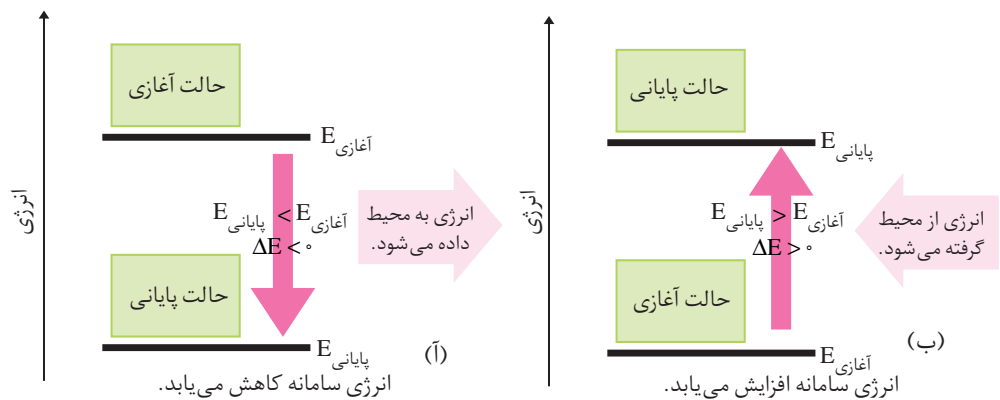
## جاری شدن انرژی در سامانه

اگر یک سامانه را شامل شمار بسیار زیادی ذره در نظر بگیریم در این صورت چون هر ذره‌ی موجود در این سامانه دارای انرژی جنبشی و پتانسیل است، مجموع این انرژی‌ها برای همه‌ی ذره‌های تشکیل دهنده‌ی سامانه **انرژی درونی** آن سامانه نامیده می‌شود. هنگامی که در یک سامانه‌ی شیمیایی (مثلاً بالون موجود در شکل ۲) مواد اولیه یا واکنش دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شود، انرژی درونی آن سامانه تغییر می‌کند. اگر این تغییر انرژی را با  $\Delta E$  نشان دهیم برای محاسبه‌ی آن باید اختلاف بین انرژی درونی سامانه پیش و پس از وقوع تغییر اندازه‌گیری شود:

$$\Delta E = E_{\text{واکنش دهنده‌ها}} - E_{\text{فراورده‌ها}} = E_{\text{آغازی}} - E_{\text{پایانی}}$$

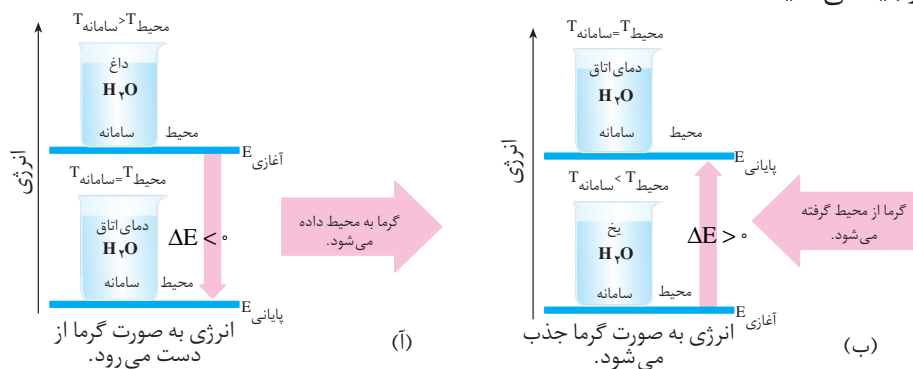
$E_{\text{پایانی}}$  نشان دهنده‌ی انرژی پس از تغییر و  $E_{\text{آغازی}}$  نشان دهنده‌ی انرژی پیش از تغییر است. معمولاً، تغییر انرژی سامانه را با نموداری نمایش می‌دهند که در آن  $E_{\text{پایانی}}$  (انرژی فراورده‌ها) و  $E_{\text{آغازی}}$  (انرژی واکنش دهنده‌ها) خطوط افقی هستند و انرژی روی محور عمودی قرار دارد. نمونه‌ای از این نمودارها در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. آ سامانه‌ای را نشان می‌دهد که در آن با انتقال انرژی از سامانه به محیط،



**شکل ۳** نمودار تغییر انرژی در یک سامانه. این نمودارها انتقال انرژی را بین یک سامانه و محیط پیرامون آن نشان می دهد.

انرژی درونی سامانه کاهش می یابد. در این شرایط  $\Delta E$  سامانه منفی است. شکل ۳. ب سامانه ای را نشان می دهد که انرژی درونی آن در حال افزایش یافتن است، یعنی از محیط پیرامون به سامانه انرژی وارد می شود و علامت تغییر انرژی درونی سامانه مثبت است. در سامانه ی ۳. آ سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها پایین تر است. در حالی که در سامانه ی ۳. ب سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها بالاتر است. فرض کنید که یک سامانه شامل نمونه ای آب داغ درون یک ظرف سربسته باشد، در این صورت گرما از آب به محیط پیرامون منتقل می شود و انرژی سامانه کاهش می یابد، شکل ۴. آ. در این حالت، تغییر انرژی درونی سامانه فقط ناشی از مبادله ی گرما است و این مبادله ی انرژی تا زمانی ادامه می یابد که دمای آب با دمای محیط پیرامون آن برابر شود. چون در این مورد، انرژی سامانه کاهش پیدا می کند. یعنی سامانه بخشی از انرژی خود را از دست داده است، پس علامت تغییر انرژی درونی آن منفی است. شکل ۴. ب نمودار انرژی را برای سامانه ی دیگری نشان می دهد. علامت تغییر انرژی درونی را در این سامانه چگونه توجیه می کنید؟



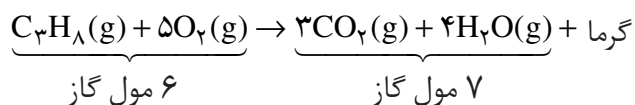
**شکل ۴** سامانه ی بسته ای که فقط با محیط مبادله ی گرما دارد. آ. آب گرم (سامانه ی بسته) انرژی را به صورت گرما به محیط پیرامون منتقل می کند تا زمانی که دمای آن با دمای محیط پیرامون یکسان شود. ب. یخ از محیط پیرامون انرژی جذب می کند تا زمانی که دمای آن با دمای محیط پیرامون یکسان شود.

به طور خلاصه، اگر گرما از سامانه به محیط پیرامون منتقل شود، علامت گرما منفی و اگر گرما از محیط پیرامون به سامانه منتقل شود، علامت گرما مثبت است. اگر انرژی درونی سامانه کاهش پیدا کند، علامت آن منفی و اگر انرژی درونی سامانه افزایش یابد، علامت آن مثبت است.

## انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

به یک مثال ساده توجه کنید. فرض کنید که شما بخواهید از طبقه ی اول یک ساختمان به طبقه ی دهم بروید. برای این منظور ممکن است که شما از پله استفاده کنید یا با استفاده از آسانسور بالا بروید. انتخاب هر کدام از این مسیرها در هدف نهایی شما اثری ندارد. یعنی در هر حالت انرژی آغازی و پایانی شما تفاوتی نمی کند و بنابراین میزان تغییر انرژی یکسان است. تغییر انرژی درونی یک سامانه هم، به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی سامانه وابسته است. از این رو، انرژی درونی را **تابع حالت** می گویند. به این معنا که اگر برای انجام فرایندی مسیرهای متفاوتی وجود داشته باشد، تغییر انرژی درونی سامانه در تمام مسیرها یکسان است.

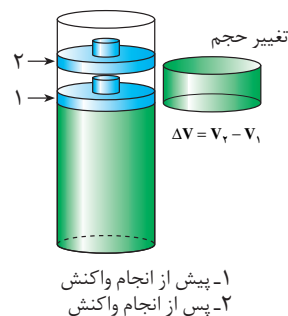
واکنش پروپان و اکسیژن را در نظر بگیرید. فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون متحرک انجام می شود، شکل ۵. انرژی درونی آغازی را نیز هم ارز انرژی درونی واکنش دهنده ها فرض کنید. با توجه به معادله ی موازنه شده ی زیر طی این واکنش از ۶ مول واکنش دهنده ۷ مول فراورده به دست می آید. ضمن آن که مقدار قابل توجهی گرما نیز آزاد می شود.



همان گونه که مشاهده می شود حجم فراورده ها بیش از حجم واکنش دهنده ها است. ( $\Delta V > 0$ ) این افزایش حجم سبب می شود که پیستون به سمت بالا حرکت کند. درواقع پیستون که پیش از این نیز فشار هوا را در برابر خود داشت، اکنون با انرژی بیش تری مولکول های هوا را به عقب می راند و درواقع روی آن ها کار انجام می دهد. به سخن دیگر، مقداری از انرژی واکنش به صورت انرژی مکانیکی نمایان شده است.

همان طوری که دیدید، در این مثال تغییر انرژی درونی هم ارز گرمای مبادله شده با محیط نیست. زیرا مقداری از این گرما به کار تبدیل شده است. اگر تغییر انرژی درونی را با  $\Delta E$ ، گرمای مبادله شده را با  $q$  و کار انجام شده ناشی از تغییر حجم را با  $w$  نشان دهیم، در این صورت خواهیم داشت:

$$\Delta E = q + w$$



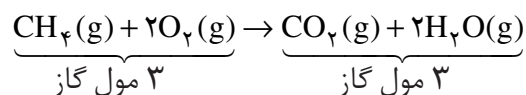
### شکل ۵ فشار درون

سیلندر به دلیل افزایش حجم فراورده های واکنش پروپان و اکسیژن بیش از فشار محیط است. بنابراین گازهای درون سیلندر روی محیط کار انجام می دهند. به خاطر داشته باشید که این واکنش در فشار ثابت انجام می شود.

این رابطه قانون اول ترمودینامیک را معرفی می کند. این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است. بر طبق این قانون انرژی نه به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه از شکلی به شکل دیگری درمی آید.

گاهی ممکن است که طی یک واکنش شیمیایی تغییر حجمی ایجاد نشود، یعنی  $\Delta V = 0$  باشد، در این صورت  $w = 0$  است.

واکنش سوختن متان را در همان ظرف در نظر بگیرید:

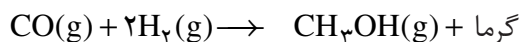


۳ مول از واکنش دهنده ها ۳ مول فراورده تولید می کند، پس  $\Delta V = 0$  است. در این جا کار ناشی از تغییر حجم نیز صفر خواهد بود.

در این حالت  $\Delta E = q$  است. به عبارت دیگر هنگامی که یک واکنش شیمیایی با تغییر حجم همراه نیست یا در ظرفی با حجم ثابت انجام می گیرد، مقدار تغییر انرژی درونی تنها ناشی از انتقال گرما خواهد بود.

## فکر کنید

واکنش زیر را در نظر بگیرید.



فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون متحرک (واکنش در فشار ثابت) انجام می گیرد. در این صورت علامت تغییر انرژی درونی ( $\Delta E$ ) برای این واکنش چگونه خواهد بود؟

واکنش های شیمیایی به دو روش انجام می شود:

### واکنش در حجم ثابت و واکنش در فشار ثابت

آ. واکنش در حجم ثابت ( $\Delta V = 0$ )؛ در چنین حالتی بر اثر تغییر حجم کاری انجام نمی شود ( $w = 0$ ) و تغییر انرژی درونی سیستم فقط ناشی از مبادله ی گرما است. بنابراین می توان نوشت:

تغییر انرژی درونی  $\Delta E = q_v$  گرمای مبادله شده برای واکنش در حجم ثابت

ب. واکنش در فشار ثابت ( $\Delta V \neq 0$ )؛ این واکنش در ظرفی سرباز یا هر ظرف دیگری انجام می شود که با تغییر حجم، فشار را ثابت نگه می دارد. در این حالت کار انجام می شود ( $w \neq 0$ ). پس در این حالت، تغییر انرژی درونی با انجام کار و مبادله ی گرما همراه

مقدار  $w$  می تواند منفی یا مثبت باشد. مقدار آن هنگامی منفی است که سامانه روی محیط کار انجام دهد. ولی در شرایط معکوس که محیط روی سامانه کار انجام می دهد  $w$  مقداری مثبت است.

است. اگر گرمای منتقل شده در فشار ثابت را با  $q_p$  نشان دهیم در آن صورت:

$$\Delta E = q + w \xrightarrow[\text{در فشار ثابت}]{\text{انجام واکنش}} q_p = \Delta E - w$$

چون بیش تر واکنش های شیمیایی در فشار ثابت انجام می شود، برای چنین واکنش هایی گرمای مبادله شده در فشار ثابت ( $q_p$ ) را با نماد  $\Delta H$  نشان می دهند و آن را **گرمای واکنش یا آنتالپی واکنش** می نامند.

$$q_p = \Delta H$$

برای واکنش هایی که تنها از مواد جامد و مایع تشکیل شده اند  $\Delta V$  بسیار ناچیز است. از این رو برای این واکنش ها مقدار  $\Delta E$  را تقریباً با  $\Delta H$  برابر در نظر می گیرند.

## بیش تر بدانید

پدیده های زیادی در زندگی روزانه وجود دارد که آن ها را می توان به کمک قانون اول ترمودینامیک توجیه کرد. تولید برف ساختگی برای پیست های اسکی از جمله این پدیده هاست. چگونه می توان برای رفع نیاز اسکی بازان در روزهای آفتابی به این اندازه برف تهیه کرد؟ راز تهیه ی برف ساختگی در معادله ی  $\Delta E = q + w$  نهفته است. دستگاه سازنده ی برف دارای هوای فشرده و بخار آب با فشار ۲۰ اتمسفر است. چون تفاوت فشار بین مخزن دستگاه و هوای بیرون زیاد است، وقتی مخلوط در هوا پاشیده می شود، به سرعت انبساط می یابد، به طوری که تقریباً هیچ تبادل گرمایی بین سامانه (هوا و آب) و محیط اطراف صورت نمی گیرد، یعنی،  $q = 0$  است. (در ترمودینامیک، چنین فرایندی را *فرایند بی دررو* می نامند.) از این رو، می توان نوشت:

$$\Delta E = q + w = w$$

چون این سامانه روی محیط کار انجام می دهد، مقدار  $w$  منفی است و انرژی آن کاهش می یابد. انرژی جنبشی بخشی از کل انرژی این سامانه است. چون انرژی جنبشی متوسط یک گاز با دمای آن نسبت مستقیم دارد، بنابراین تغییر انرژی متناسب با تغییر دما خواهد بود. بنابراین:

$$\Delta E \propto \Delta T \Rightarrow E = C \Delta T$$

در این رابطه  $C$  ثابت تناسب است. چون  $\Delta E$  منفی است،  $\Delta T$  نیز باید منفی باشد. این اثر که اثر سرد کردن نامیده شده است، موجب کاهش انرژی جنبشی مولکول های آب و تشکیل برف می شود. اگر چه برای تهیه ی برف تنها به آب نیاز است، اما حضور هوا که آن نیز بر اثر انبساط سرد می شود، به کاهش دمای بخار آب کمک شایانی می کند.



یک دستگاه سازنده ی برف

## آنتالپی یک تابع حالت است.

همان طوری که گفته شد برای بررسی تغییر انرژی در واکنش های شیمیایی که اغلب در فشار ثابت روی می دهند از کمیت ترمودینامیکی دیگری به نام آنتالپی ( $H$ ) استفاده



می‌شود در واقع آنتالپی را می‌توان تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت تعریف کرد. در این شرایط مبادله‌ی انرژی با انجام کار توسط سامانه روی محیط پیرامون یا برعکس همراه است. بنابراین اغلب میزان تغییر آنتالپی با تغییر انرژی درونی تفاوت داشته، کم‌تر یا بیش‌تر از آن است. آنتالپی هم مانند انرژی درونی، یک تابع حالت است و مقدار تغییر آن فقط به حالت‌های آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد. برای یک فرایند تغییر آنتالپی ( $\Delta H$ ) به صورت زیر است:

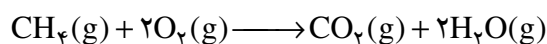
آنتالپی سامانه در آغاز فرایند - آنتالپی سامانه در پایان فرایند =  $\Delta H$

$$\Delta H = H_{\text{پایانی}} - H_{\text{آغازی}}$$

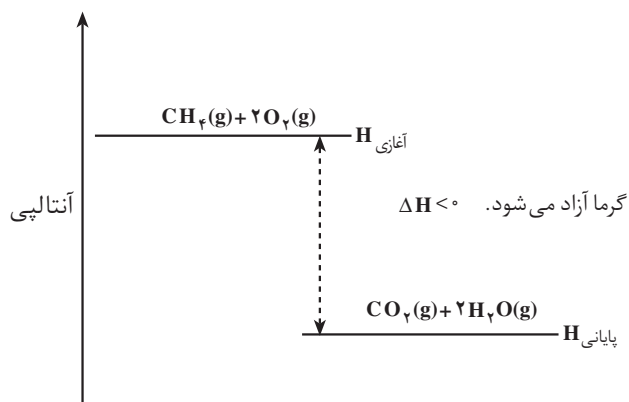
اگر سامانه‌ی موردنظر یک واکنش شیمیایی باشد، در آن صورت  $H_{\text{پایانی}}$  آنتالپی فراورده‌ها و  $H_{\text{آغازی}}$  آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها است و  $\Delta H$  آنتالپی واکنش نامیده می‌شود. یعنی:

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = H_{\text{فراورده‌ها}} - H_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}}$$

به عنوان نمونه واکنش زیر را در نظر بگیرید:



این واکنش یک واکنش سوختن است و گرما آزاد می‌کند. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش‌ها **گرما ده** می‌گویند.  $\Delta H$  برای چنین واکنش‌هایی منفی است. به عبارت دیگر، آنتالپی فراورده‌ها ( $H_{\text{پایانی}}$ ) از آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها ( $H_{\text{آغازی}}$ ) کم‌تر است، شکل ۶.



شکل ۶ نمودار تغییر آنتالپی در واکنش سوختن کامل متان

از سوختن یک مول متان  $8.8^\circ\text{C}$  کیلو ژول گرما آزاد می‌شود. چون گرما آزاد شده است، پس علامت  $\Delta H$  برای این واکنش منفی است؛  $\Delta H_{\text{واکنش}} = -8.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . در یک واکنش گرما ده، گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سیستم کاهش می‌یابد.

$$H < 0 \quad \Delta H_{\text{واکنش}} < 0 \quad H_{\text{پایانی}} < H_{\text{آغازی}}$$

## آزمایش کنید

**هدف:** مشاهده‌ی گرمای آزاد شده بر اثر حل شدن کلسیم کلرید بی‌آب در آب

**وسایل موردنیاز:** دماسنج، یک بشر ۱۰۰ mL، میله‌ی هم‌زن، قاشقک، ترازو،

شیشه‌ی ساعت، گیره و پایه، مقداری نخ

**مواد موردنیاز:** کلسیم کلرید بی‌آب، آب مقطر

### روش کار

۱- ۵۰ mL آب مقطر در یک بشر ۱۰۰ mL بریزید.

۲- شیشه‌ی ساعت را روی ترازو قرار دهید و جرم آن را اندازه بگیرید. سپس با کمک قاشقک ۱۰ g کلسیم کلرید بی‌آب توزین کنید.

۳- با کمک مقداری نخ دماسنج را به گیره‌ی متصل شده به پایه آویزان کنید و سپس بشر دارای آب را زیر آن قرار دهید. دماسنج طوری در آب قرار گیرد که مخزن آن به طور کامل درون آب مقطر باشد. در ضمن دماسنج نباید هیچ تماسی با بدنه‌ی بشر داشته باشد.

۴- همه‌ی کلسیم کلرید را به کمک قاشقک و به آرامی در آب درون بشر بریزید و سپس با کمک هم‌زن شیشه‌ای آن را به هم بزنید.

۵- مشاهدات خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش خود را در کلاس ارائه دهید.

### پرسش

به نظر شما چه عواملی می‌توانند در اندازه‌گیری میزان تغییر دمای محلول حاصل

خطا ایجاد کنند؟ چه پیشنهادهایی برای رفع آن‌ها دارید؟

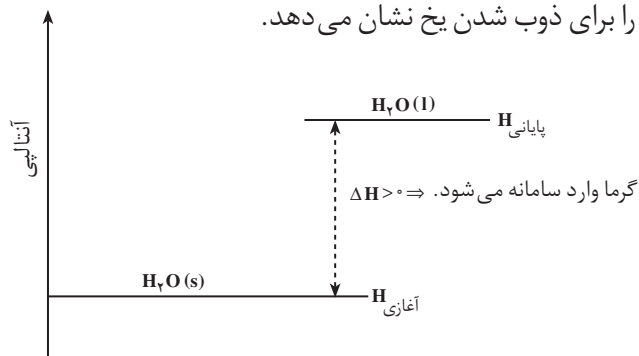
می‌دانید که ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب از جمله فرایندهایی است که گرماگیر

گفته می‌شود، یعنی برای ذوب کردن یخ به گرما نیاز است. به عبارت دیگر، برای ذوب کردن

یخ باید محیط به سامانه گرما بدهد. در چنین فرایندهایی آنتالپی فراورده‌ها ( $H_{\text{پایانی}}$ ) از آنتالپی

واکنش‌دهنده‌ها ( $H_{\text{آغازی}}$ ) بزرگ‌تر است و بنابراین علامت  $\Delta H$  مثبت خواهد بود. شکل ۷

نمودار آنتالپی را برای ذوب شدن یخ نشان می‌دهد.



شکل ۷ نمودار آنتالپی برای ذوب شدن یخ، مثالی از یک فرایند گرماگیر

از حل کردن حدود ۲ g کلسیم کلرید خشک در ۵ mL آب  $30^{\circ}\text{C}$ ، به اندازه‌ای گرما آزاد می‌شود که می‌تواند دمای محلول را تا حدود  $10^{\circ}\text{C}$  بالا ببرد.

برای ذوب کردن یک مول یخ  $6/^\circ$  کیلوژول گرما لازم است. چون این فرایند گرماگیر است پس علامت  $\Delta H$  باید مثبت باشد؛

$$\Delta H_{\text{ذوب}} = +6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

در یک فرایند گرماگیر، گرما جذب می شود و آنتالپی سامانه افزایش می یابد.

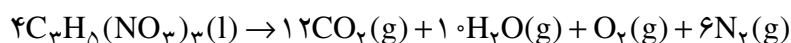
$$H >^\circ \quad \Delta \quad H_{\text{آغازی}} > H_{\text{پایانی}} : \text{ در واکنش های گرماگیر}$$

## آزمایش کنید

حل شدن آمونیوم نیترات در آب گرماگیر است. اگر حدود ۵ mL آب  $2^\circ\text{C}$  را در یک لوله ی آزمایش بریزید و حدود ۱/۵ g آمونیوم نیترات خشک را در آن حل کنید، با اندازه گیری دمای آب خواهید دید که دمای آن تقریباً به  $^\circ\text{C}$  کاهش می یابد. «آزمایش کنید» صفحه ی پیش را، این بار با آمونیوم نیترات تکرار کنید. مشاهده های خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش را در کلاس ارایه دهید.

## فکر کنید

نیتروگلیسرین از جمله مواد منفجره ی بسیار حساسی است که بر اثر اندکی گرما یا وارد شدن ضربه طی واکنشی گرماده تجزیه می شود. در این واکنش به ازای هر مول نیتروگلیسرین  $10^3 \times 5/72 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  گرما آزاد می شود. تغییر آنتالپی این واکنش چه قدر است و چه علامتی دارد؟ آیا بر اثر انجام شدن این واکنش در فشار ثابت کاری انجام می شود؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

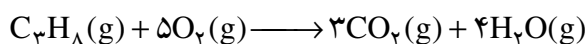


## حالت استاندارد

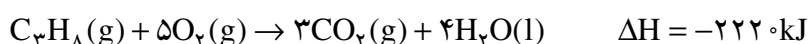
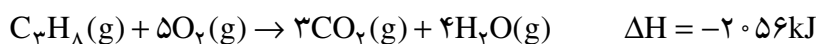
مقدار تغییر آنتالپی ( $\Delta H$ ) برای یک واکنش، مقدار گرمایی است که در تبدیل واکنش دهنده (ها) به فراورده (ها) مبادله می شود.

به عنوان نمونه، در واکنش سوختن پروپان، یک مول گاز پروپان با ۵ مول گاز اکسیژن ترکیب می شود و ۳ مول گاز  $\text{CO}_2$  و ۴ مول بخار آب تولید می شود. در این واکنش  $2056 \text{ kJ}$  گرما هم آزاد می شود. باید توجه داشته باشید که مقدار گرمای آزاد شده در یک واکنش به مقدار واکنش دهنده ها هم بستگی دارد. بنابراین واکنش  $^\circ/5$  مول گاز پروپان با

۲/۵ مول گاز O<sub>۲</sub> مقدار  $1028 \text{ kJ} = 2056 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 5 \text{ mol}$  / گرما آزاد می کند.



توجه کنید که واکنش دهنده ها و فراورده ها باید در دمای یکسانی باشند و حالت فیزیکی آن ها به صورت جامد (s)، مایع (l)، گاز (g) و محلول آبی (aq) مشخص باشد. در صورتی که در واکنش سوختن پروپان، بخار آب تولید شود آنتالپی واکنش  $2056 \text{ kJ}$  - است. ولی اگر آب به حالت مایع تولید شود، تغییر آنتالپی واکنش برابر با  $2220 \text{ kJ}$  - خواهد بود. (چرا؟)

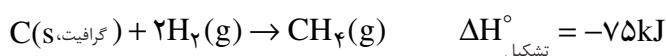


این نکته نشان می دهد که در هنگام محاسبه ی آنتالپی افزون بر مشخص بودن دما و فشار باید حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فراورده ها هم مشخص باشد. برای این که اندازه گیری گرمای همه ی واکنش ها در شرایط یکسانی انجام گیرند، شرایط ویژه ای به نام «حالت استاندارد ترمودینامیکی» تعریف شده است. حالت استاندارد ترمودینامیکی، پایدارترین شکل ماده ی خالص در فشار یک اتمسفر و دمایی مشخص (معمولاً دمای اتاق،  $25^\circ \text{C}$ ) تعریف می شود. برای نمونه حالت استاندارد نیتروژن، اکسیژن و کربن در دمای اتاق به ترتیب  $\text{N}_2(\text{g})$ ،  $\text{O}_2(\text{g})$  و (گرافیت، C (s) است. در واقع از میان دگرشکل های مختلف یک عنصر پایدارترین آن ها ملاک اندازه گیری قرار می گیرد. برای مشخص کردن شرایط استاندارد علامت «°» را بالای نماد کمیتی قرار می دهند که در آن شرایط اندازه گیری می شود. برای مثال  $\Delta H^\circ$ ، نشان دهنده ی آنتالپی استاندارد است، یعنی تمام مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود و در دمای اتاق (یا هر دمای مشخص دیگری) در نظر گرفته شده اند.

برای یک ماده در حالت محلول، حالت استاندارد ترمودینامیکی غلظت ۱ مول بر لیتر ( $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) در نظر گرفته می شود.

## برخی از تغییر آنتالپی های مهم

۱- آنتالپی استاندارد تشکیل ( $\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$ ): به واکنشی که طی آن یک مول ماده از عنصرهای سازنده اش تشکیل می شود واکنش تشکیل آن ماده می گویند. اگر در این واکنش، همه ی مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود قرار داشته باشد تغییر آنتالپی این واکنش را آنتالپی استاندارد تشکیل آن ماده ( $\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$ ) می گویند. به عنوان نمونه به معادله ی تشکیل متان توجه کنید:



از میان دو دگرشکل مهم کربن یعنی الماس و گرافیت، گرافیت به عنوان حالت استاندارد انتخاب شده است. زیرا گرافیت پایدارتر از الماس است. بنابراین:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}} [\text{گرافیت (s، کربن)}] = 0$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}} [\text{الماس (s، کربن)}] = 1/4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

بنابراین، آنتالپی استاندارد تشکیل متان  $-75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  است. آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در جدول ۲ آمده است.

مطابق قرارداد آنتالپی استاندارد تشکیل عنصرها صفر در نظر گرفته می شود. به بیان دقیق تر، آنتالپی استاندارد تشکیل ( $\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}}$ ) پایدارترین دگرشکل یک عنصر در حالت استاندارد، صفر در نظر گرفته شده است.

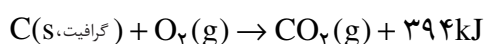
جدول ۲ جدول آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در  $25^{\circ}\text{C}$

ماده	فرمول شیمیایی ( $\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}} \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ )	ماده	فرمول شیمیایی ( $\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}} \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ )
اتین	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	نیتروژن مونواکسید	$\text{NO}(\text{g})$
آمونیاک	$\text{NH}_3(\text{g})$	نیتروژن دی اکسید	$\text{NO}_2(\text{g})$
کربن دی اکسید	$\text{CO}_2(\text{g})$	اتن	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$
کربن مونواکسید	$\text{CO}(\text{g})$	اتان	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	متانول	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$
متان	$\text{CH}_4(\text{g})$	سدیم کلرید	$\text{NaCl}(\text{s})$
آب	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	هیدروژن کلرید	$\text{HCl}(\text{g})$
هیدروژن پراکسید	$\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})$	گوگرد دی اکسید	$\text{SO}_2(\text{g})$

## فکر کنید

چرا آنتالپی استاندارد تشکیل بسیاری از مواد منفی است؟

۲- آنتالپی استاندارد سوختن ( $\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$ ): هنگامی که یک مول از ماده ای در مقدار کافی گاز اکسیژن خالص بسوزد، گرمای واکنش یاد شده آنتالپی استاندارد سوختن آن ماده نامیده می شود. وقتی یک مول کربن یعنی  $12^{\circ}$  گرم کربن به طور کامل در اکسیژن بسوزد گاز  $\text{CO}_2$  به همراه  $394 \text{ kJ}$  گرما تولید می شود.



پس می توان نوشت:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}} [\text{C}(\text{s، گرافیت})] = -394 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

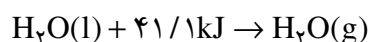
در جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن برخی ترکیب‌های آلی آمده است.

جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن برخی ترکیب‌های آلی بر حسب  $\text{kJ.mol}^{-1}$

فرمول مولکولی	$\Delta H^\circ_{\text{سوختن}}$	فرمول مولکولی	$\Delta H^\circ_{\text{سوختن}}$
$\text{CH}_4(\text{g})$	-۸۹۰	$\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$	-۲۸۷۷
$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	-۱۵۶۰	$\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{g})$	-۵۵۱۲
$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	-۱۴۰۹	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	-۷۱۵
$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	-۱۲۹۹	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-۱۳۶۸
$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	-۲۲۲۰	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}(\text{l})$	-۲۰۱۰

۳- آنتالپی استاندارد تبخیر ( $\Delta H^\circ_{\text{تبخیر}}$ ): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در دمای

جوش خود تبخیر شود، تغییر آنتالپی مربوط به این فرایند آنتالپی استاندارد تبخیر آن ماده گفته می‌شود. به عنوان نمونه در شرایط استاندارد برای تبخیر یک مول آب  $41/1$  کیلو ژول گرما نیاز است.



پس آنتالپی استاندارد تبخیر یک مول آب  $41/1 \text{ kJ}$  است، بنابراین:

$$\Delta H^\circ_{\text{تبخیر}} [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] = 41/1 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

در جدول ۴ آنتالپی استاندارد تبخیر برای چند ماده آمده است.

جدول ۴ آنتالپی استاندارد تبخیر چند ماده بر حسب  $\text{kJ.mol}^{-1}$

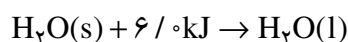
نام ماده	فرمول	$\Delta H^\circ_{\text{تبخیر}}$
آرگون	$\text{Ar}(\text{l})$	۶/۵
متان	$\text{CH}_4(\text{l})$	۸/۲
دی اتیل اتر	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}(\text{l})$	۲۹/۰
بنزن	$\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$	۳۰/۸
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	۳۸/۶
آب	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	۴۱/۱
جیوه	$\text{Hg}(\text{l})$	۵۸/۰

## فکر کنید

با توجه به آنتالپی استاندارد سوختن اتان ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )، اتن ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) و اتین ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )،

جدول ۳، انتظار دارید که شعله‌ی حاصل از سوختن کدام یک داغ‌تر باشد؟ چرا؟ پاسخ خود را با نوشتن معادله‌ی موازنه شده‌ی سوختن هر یک از آن‌ها و حالت فیزیکی مواد شرکت‌کننده در واکنش توضیح دهید.

۴- آنتالپی استاندارد ذوب ( $\Delta H^\circ_{\text{ذوب}}$ ): هنگامی که یک مول از ماده‌ای جامد در دمای ذوب خود به مایع تبدیل شود، تغییر آنتالپی این فرایند را آنتالپی استاندارد ذوب آن ماده می‌گویند. به عنوان نمونه برای ذوب کردن یک مول یخ صفر درجه‌ی سلسیوس و تبدیل آن به آب صفر درجه‌ی سلسیوس  $6/^\circ\text{kJ}$  گرما لازم است.



در واقع آنتالپی استاندارد ذوب یخ  $6/^\circ\text{kJ.mol}^{-1}$  است. به عبارت دیگر:

$$\Delta H^\circ_{\text{ذوب}} [\text{H}_2\text{O(s)}] = 6/^\circ\text{kJ.mol}^{-1}$$

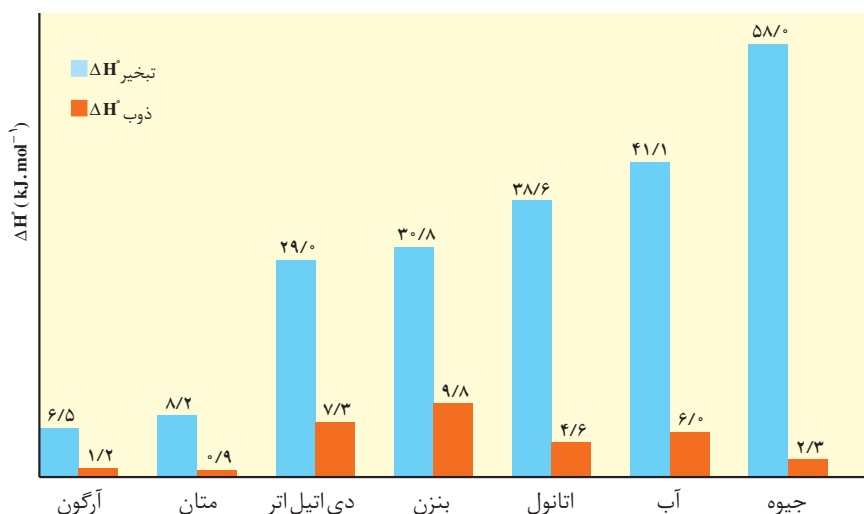
در جدول ۵ آنتالپی استاندارد ذوب برخی مواد آمده است.

جدول ۵ آنتالپی استاندارد ذوب چند ماده برحسب  $\text{kJ.mol}^{-1}$

نام ماده	فرمول	$\Delta H^\circ_{\text{ذوب}}$
آرگون	Ar(s)	۱/۲
متان	CH <sub>4</sub> (s)	۰/۹
دی اتیل اتر	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O(s)	۷/۳
بنزن	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (s)	۹/۸
اتانول	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(s)	۴/۶
آب	H <sub>2</sub> O(s)	۶/۰
جیوه	Hg(s)	۲/۳

## فکر کنید

نمودار زیر آنتالپی استاندارد تبخیر و آنتالپی استاندارد ذوب چند ماده را در مقایسه با یک دیگر نشان می‌دهد. به نظر شما چرا در همه‌ی موارد آنتالپی استاندارد تبخیر از آنتالپی استاندارد ذوب بزرگ‌تر است؟ آیا این نتیجه‌گیری به همه‌ی مواد قابل تعمیم است؟



## ۵- آنتالپی استاندارد تصعید ( $\Delta H^\circ_{\text{تصعید}}$ ): هنگامی که یک مول از ماده‌ای تصعید

شود، تغییر آنتالپی این فرایند را آنتالپی استاندارد تصعید آن ماده می‌نامند. یخ خشک (کربن دی‌اکسید جامد) در فشارهای معمولی به طور مستقیم تصعید می‌شود و به گاز  $\text{CO}_2$  تبدیل می‌شود.



## ۶- متوسط آنتالپی پیوند: همان طور که می‌دانید، اتم‌های هیدروژن در مولکول

دو اتمی هیدروژن ( $\text{H}_2$ ) با یک پیوند کووالانسی قوی به هم متصل شده‌اند. برای شکستن این پیوند کووالانسی باید انرژی مصرف شود. تجربه نشان می‌دهد که برای شکستن پیوندهای موجود در یک مول  $\text{H}_2(\text{g})$  و تبدیل آن به دو مول اتم هیدروژن گازی  $436 \text{ kJ}$  انرژی لازم است.



به  $436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  انرژی گسستن پیوند یا آنتالپی پیوند  $\text{H} - \text{H}$  گفته می‌شود. این

کمیت را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\Delta H_{\text{H-H}} = 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

مولکول متان ( $\text{CH}_4$ ) را در نظر بگیرید، آیا انرژی لازم برای شکستن همه‌ی پیوندهای

$\text{C} - \text{H}$  در این ترکیب یکسان است؟ بی‌تردید خیر (چرا؟)؛ از این رو اطلاق نام متوسط

آنتالپی پیوند برای پیوندهایی هم چون  $\text{C} - \text{H}$  مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

در جدول ۶ متوسط آنتالپی پیوند برای برخی از پیوندهای کووالانسی داده شده است.

جدول ۶ متوسط آنتالپی پیوند برخی از پیوندهای کووالانسی برحسب  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

پیوند	آنتالپی	پیوند	آنتالپی
H - H	۴۳۶	C - H	۴۱۲
F - F	۱۵۸	Si - H	۳۱۸
Cl - Cl	۲۴۲	H - F	۵۶۲
Br - Br	۱۹۳	H - Cl	۴۳۱
I - I	۱۵۱	H - Br	۳۶۶
H - I	۲۹۹	N - H	۳۸۸
N - N	۱۶۳	O - O	۱۴۶
O - H	۴۶۳	C - O	۳۶۰
S - H	۳۳۸	C - C	۳۴۸
C - Cl	۳۳۸	C - Br	۲۷۶
پیوندهای چندگانه			
C = C	۶۱۲	C $\equiv$ C	۸۳۷
C = O	۷۴۳	O = O (در اکسیژن)	۴۹۶
C = O (در کربن دی‌اکسید)	۸۰۵	N = O	۶۰۷
C $\equiv$ N	۸۹۰	C = N	۶۱۳
N $\equiv$ N	۹۴۴	N = N	۴۰۹



## تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

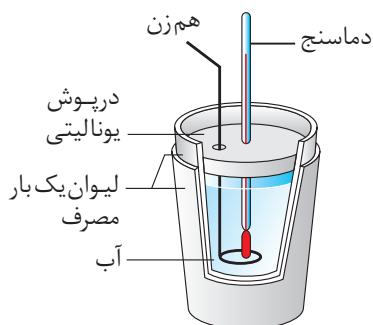
تاکنون با واکنش‌های شیمیایی بسیاری آشنا شده‌اید. واکنش‌هایی که گرماده یا گرماگیر هستند. شاید این پرسش در ذهن شما مطرح شده باشد که گرمای یک واکنش چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟ گرمای یک واکنش را می‌توان به روش مستقیم یا غیرمستقیم تعیین کرد.

### گرماسنجی روش مستقیم اندازه‌گیری گرمای یک واکنش

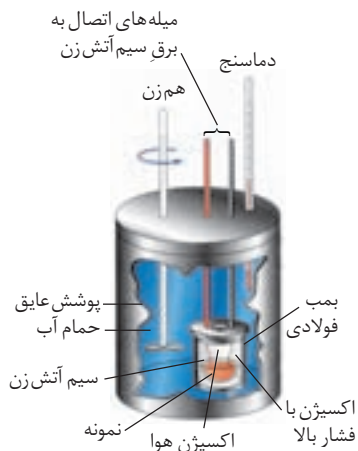
در روش مستقیم باید مقداری از واکنش دهنده‌ها را در شرایط مناسب برهم اثر داد و گرمای واکنش را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. برای این منظور دستگاهی به نام گرماسنج به کار می‌رود. گرماسنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری گرمای آزاد شده (یا جذب شده) در یک واکنش شیمیایی به کار برده می‌شود. شما می‌توانید با استفاده از یک ظرف مناسب که با محیط بیرون گرما مبادله نکند، یک گرماسنج ساده بسازید. مثلاً می‌توانید از یک لیوان پلاستیکی استفاده کنید. به این نوع گرماسنج، گرماسنج لیوانی هم می‌گویند. به شکل ۸ توجه کنید، این شکل گرماسنج ساده‌ای را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت به کار برده می‌شود.

این گرماسنج شامل مقدار معینی آب یا محلول یک واکنش دهنده در یک ظرف عایق بندی شده است. در این گرماسنج یک دماسنج و یک هم‌زن نیز قرار دارد. پیش از انجام واکنش، دمای اولیه‌ی آب یا محلول اندازه‌گیری می‌شود. بعد از اضافه کردن ماده‌ی دوم و انجام واکنش مورد نظر، دمای نهایی آب هم اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از اختلاف دمای پیش و پس از آزمایش، گرمای واکنش محاسبه می‌شود.

در شکل ۹ گرماسنج دیگری نشان داده شده است که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در حجم ثابت به کار برده می‌شود. از این نوع گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای سوختن یک ماده استفاده می‌کنند. گرماسنج بمبی، نامی است که به این نوع گرماسنج داده شده است. در گرماسنج بمبی، محفظه‌ی انجام واکنش (بمب فولادی) درون یک حمام آب قرار دارد. آب درون این حمام به منظور هم‌گون شدن دما به طور پیوسته در حال به هم خوردن است. پس از برقراری جریان برق و هم‌زمان با سوختن نمونه، گرمای آزاد شده سبب گرم کردن بمب و در نتیجه گرم شدن آب و افزایش دمای حمام آب می‌شود. با اندازه‌گیری پیوسته‌ی دمای آب درون حمام و با استفاده از ظرفیت گرمایی اجزای سازنده‌ی گرماسنج - شامل حمام آب، میله‌ی هم‌زن، بدنه، دماسنج، محفظه‌ی احتراق و میله‌های اتصال - که برای هر گرماسنج مقداری ثابت است و محاسبه‌ای ساده، می‌توان گرمای حاصل از واکنش سوختن را محاسبه کرد.



**شکل ۸** یک گرماسنج لیوانی. از این گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود. برای ساختن این گرماسنج کافی است دو لیوان یک بار مصرف را داخل هم قرار داد و با قطعه‌ای یونالیت درپوشی برای آن ساخت.

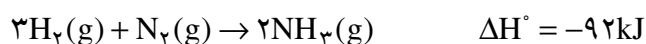


**شکل ۹** گرماسنج بمبی که برای اندازه‌گیری دقیق گرمای سوختن یک ماده در حجم ثابت به کار می‌رود.

با استفاده از یک گرماسنج بمبی کدام کمیت قابل اندازه گیری است؟  $\Delta E$  (تغییر انرژی درونی) یا  $\Delta H$  (تغییر آنتالپی واکنش). برای یک گرماسنج لیوانی چه طور؟

## روش های غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش های شیمیایی

گرمای بسیاری از واکنش های شیمیایی را نمی توان به طور مستقیم تعیین کرد. چون بسیاری از واکنش ها در شرایط بسیار سختی انجام می شوند. گاهی یک واکنش ممکن است که بخشی از یک فرایند زیست شناختی پیچیده باشد و نتوان آن را به صورت یک واکنش جداگانه در آزمایشگاه انجام داد. گرمای چنین واکنش هایی از روش های غیرمستقیم تعیین می شود. در بخش های قبلی با مفهوم تابع حالت آشنا شدید و آموختید که آنتالپی، یک تابع حالت است و فقط به حالت آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد. بنابراین ممکن است که یک واکنش شیمیایی را بتوان از چند مسیر مختلف انجام داد ولی چون تغییر آنتالپی یک واکنش تابع حالت است، مقدار آن در همه ی مسیرها یکسان است. واکنش تولید آمونیاک را در نظر بگیرید.



اگر با جزییات این واکنش بیش تر آشنا شوید، خواهید دید که واکنش به صورت نوشته شده در بالا انجام نمی شود بلکه واکنش طی چند مرحله روی می دهد. در این واکنش ابتدا هیدرازین ( $N_2H_4$ ) تولید می شود و سپس آمونیاک به وجود می آید.



تغییر آنتالپی تبدیل هیدرازین به آمونیاک قابل اندازه گیری است و برای آن  $\Delta H_2^\circ = -183kJ$  به دست آمده است. ولی اگر بخواهیم  $\Delta H_1^\circ$  را اندازه گیری کنیم با مشکل روبه رو خواهیم شد. ولی به روش غیرمستقیم می توان گرمای واکنش تولید هیدرازین را محاسبه کرد. برای این منظور می توان از قانون هس استفاده کرد. این قانون به صورت زیر بیان می شود.

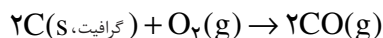
«اگر معادله ی یک واکنش را بتوان از جمع معادله های دو یا چند واکنش دیگر

به دست آورد،  $\Delta H$  واکنش یاد شده را می توان از جمع جبری مقادیر  $\Delta H^\circ$  همه ی واکنش های تشکیل دهنده ی آن، به دست آورد.»

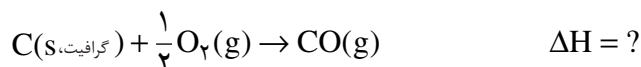
بنابراین مقدار  $\Delta H_1^\circ$  به صورت زیر به دست می آید:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_1^\circ + \Delta H_2^\circ \Rightarrow 92kJ = \Delta H_1^\circ + (-183kJ) \Rightarrow H_1^\circ = +91kJ$$

مثال دیگری را در نظر بگیرید. فرض کنید که شما می خواهید تغییر آنتالپی برای تشکیل کربن مونوکسید (CO) از عنصرهای تشکیل دهنده اش (کربن و گاز اکسیژن) را به دست آورید.

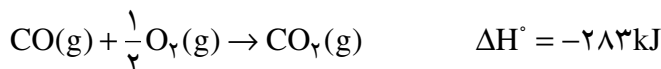
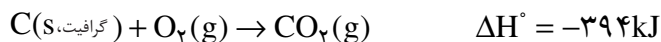


می دانید که مقادیر آنتالپی استاندارد تشکیل برای تشکیل یک مول از ماده ی مورد نظر است، بنابراین با تقسیم دو طرف معادله بر عدد ۲ به معادله ای دست می یابیم که طی آن یک مول کربن مونواکسید تولید می شود. نوشتن ضرایب کسری در معادله های موازنه شده، اگرچه رایج نیست ولی در این مبحث اجرای محاسبه های عددی را ساده تر می کند، بنابراین:

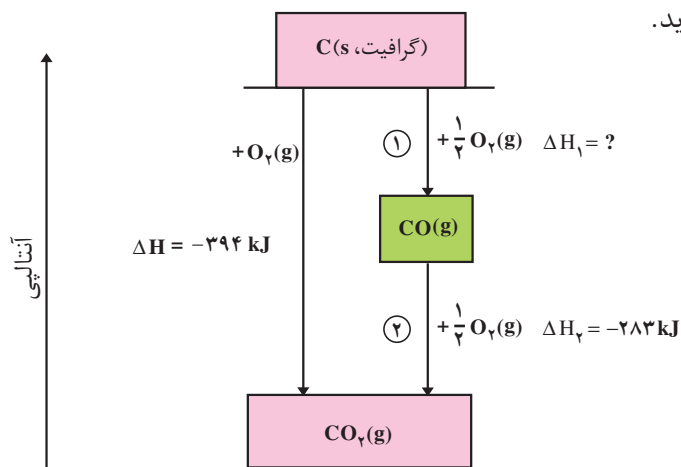


این واکنش را نمی توان به روش تجربی انجام داد. (چرا؟) ولی می توان تغییر آنتالپی تبدیل کربن به  $CO_2(g)$  و همچنین تغییر آنتالپی تبدیل  $CO(g)$  به  $CO_2(g)$  را به راحتی به دست آورد.

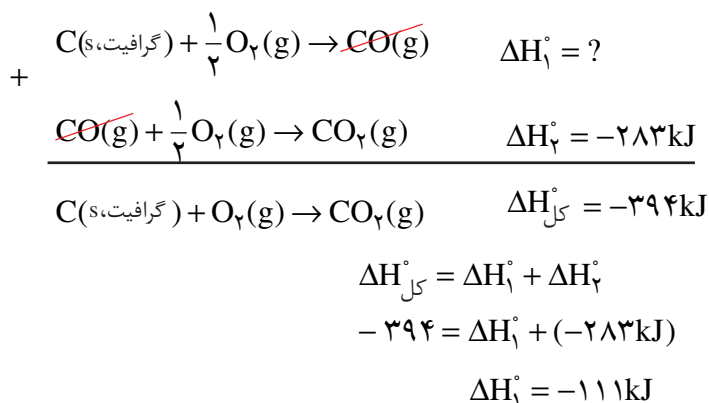
آنتالپی این دو فرایند به شرح زیر است:



شکل ۱۰ را با دقت نگاه کنید. همان طور که در این شکل دیده می شود  $CO_2(g)$  در دو مرحله تشکیل می شود. مرحله ی نخست تشکیل  $CO(g)$  است. برای این مرحله مقدار تجربی  $\Delta H$  معلوم نیست. مرحله ی دوم تبدیل  $CO(g)$  به  $CO_2(g)$  است که  $\Delta H$  این مرحله به طور مستقیم اندازه گیری شده است. چون واکنش کلی (تبدیل C به  $CO_2$ ) از جمع واکنش های این دو مرحله به دست می آید.



شکل ۱۰ مراحل تشکیل  $CO_2$  از کربن و اکسیژن

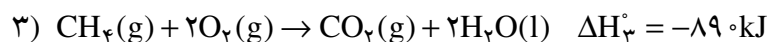
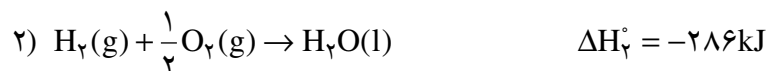
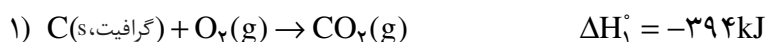


### نمونه‌ی حل شده

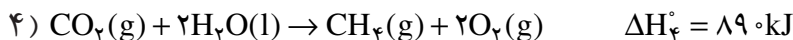
آنتالپی استاندارد تشکیل متان،  $\text{CH}_4(\text{g})$ ، را از کربن جامد (گرافیت) و گاز هیدروژن محاسبه کنید.



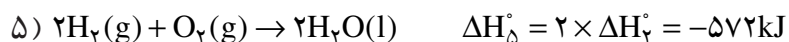
برای محاسبه‌ی  $\Delta H^\circ$  این واکنش می‌توانید از واکنش‌های زیر استفاده کنید.



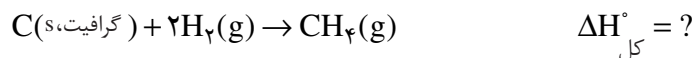
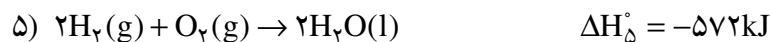
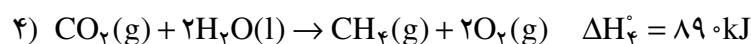
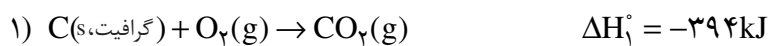
**پاسخ:** اگر به این واکنش‌ها دقت کنید، متوجه می‌شوید که نمی‌توان واکنش‌های ۱، ۲ و ۳ را باهم جمع کرد و معادله‌ی مربوط به تشکیل متان را به دست آورد. براساس معادله‌ی موردنظر، متان  $\text{CH}_4(\text{g})$  باید فراورده‌ی واکنش باشد، در حالی که در معادله‌ی ۳ متان یک واکنش دهنده است. پس باید معادله‌ی ۳ را وارونه کرد. وقتی که معادله‌ی واکنشی را وارونه می‌کنید، علامت  $\Delta H^\circ$  آن واکنش هم تغییر می‌کند (چرا؟). بنابراین واکنش ۳ را وارونه می‌کنیم.



به معادله‌ی ۴ دقت کنید. می‌بینید که برای انجام این واکنش ۲ مول آب نیاز است، در حالی که واکنش ۲ فقط برای تولید ۱ مول آب نوشته شده است. برای این منظور ضرایب استوکیومتری واکنش ۲ را در دو ضرب می‌کنیم. بنابراین،  $\Delta H_2^\circ$  هم در دو ضرب می‌شود. (چرا؟)



با این تغییرها می‌توان معادله‌های جدید ۴ و ۵ را با معادله‌ی ۱ جمع کرد تا معادله‌ی واکنش کلی به دست بیاید.



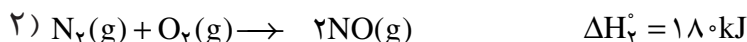
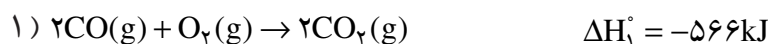
$$\Delta H_{\text{کل}}^\circ = \Delta H_1^\circ + \Delta H_4^\circ + \Delta H_5^\circ = -76 \text{ kJ}$$

## خود را بیازمایید

۱- NO و CO دو گاز آلوده کننده ی هوا هستند که از آگروز خودروها خارج می شود. یک شیمی دان محیط زیست از طریق واکنش زیر راه های تبدیل این گازها را به گازهای کم ضررتر بررسی کرده است.



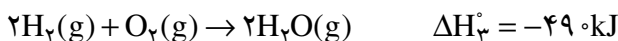
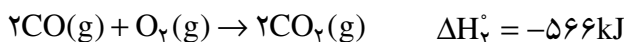
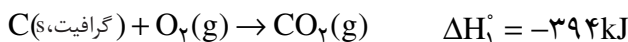
با استفاده از اطلاعات داده شده برای واکنش های زیر  $\Delta H^\circ$  واکنش یاد شده را محاسبه کنید.



۲- گاز آب نامی است که برای مخلوطی از  $\text{H}_2$  و CO به کار برده می شود. این مخلوط با عبور دادن بخار آب از روی زغال چوب در دمای  $1000^\circ \text{C}$  به دست می آید:

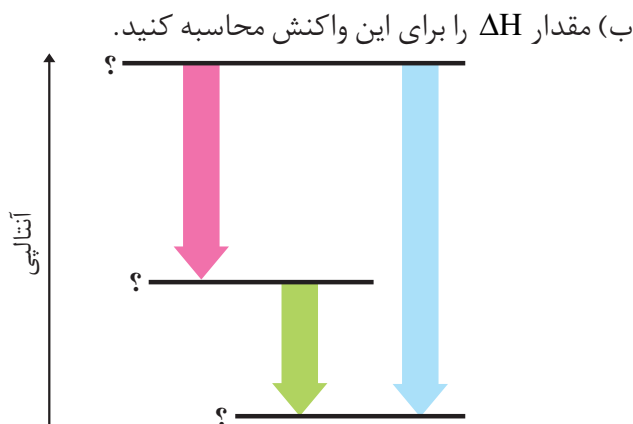
$$\text{C(s, گرافیت)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \underbrace{\text{CO(g)} + \text{H}_2(\text{g})}_{\text{گاز آب}}$$

معمولاً هیدروژن گاز آب جدا و خالص می شود و به عنوان ماده ی اولیه برای تولید آمونیاک به کار می رود. با استفاده از واکنش های زیر  $\Delta H^\circ$  برای واکنش تشکیل گاز آب را محاسبه کنید.



۳- واکنش  $A + 2B \rightarrow D$  در دو مرحله انجام می شود. این دو مرحله را می توان با نمودار صفحه ی بعد نشان داد. با کمک این نمودار:

آ) واکنش های ۱، ۲ و واکنش کلی را روی شکل نشان دهید.



## آنتالپی های استاندارد تشکیل و محاسبه ی گرمای واکنش

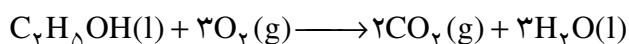
با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد شرکت کننده در یک واکنش می توان گرمای آن واکنش را محاسبه کرد. گرمای یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت برابر با تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده ها و آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده ها است. یعنی:

$$\text{گرمای واکنش} = \left[ \begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی استاندارد} \\ \text{تشکیل فراورده ها} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی استاندارد} \\ \text{تشکیل واکنش دهنده ها} \end{array} \right]$$

چون در این جا مواد شرکت کننده ی در واکنش در حالت استاندارد خود در نظر گرفته شده اند، آنتالپی یا گرمای واکنش، آنتالپی یا گرمای استاندارد آن واکنش ( $\Delta H^\circ$ ) خواهد بود.

## نمونه ی حل شده

واکنش سوختن اتانول را در نظر بگیرید:



آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده ها و فراورده ها به صورت زیر است:

$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	ماده
-۲۷۸	$C_2H_5OH(l)$
-۳۹۴	$CO_2(g)$
-۲۸۶	$H_2O(l)$

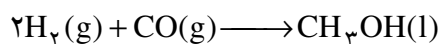
با استفاده از این اطلاعات آنتالپی استاندارد واکنش سوختن اتانول را محاسبه کنید.  
پاسخ:

همان طوری که گفته شد آنتالپی استاندارد واکنش از تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_{\text{واکنش}} &= \left[ 2 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{CO}_2) + 3 \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{H}_2\text{O}) \right] \\ &\quad - \left[ 1 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 3 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{O}_2) \right] \\ &= [2 \times (-394) + 3(-286)] - [-278 + (3 \times 0)] \\ &= -1368 \text{ kJ}\end{aligned}$$

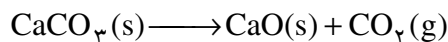
## خود را بیازمایید

۱- با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل داده شده، آنتالپی واکنش زیر را محاسبه کنید.



ماده	$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
$\text{CO}(\text{g})$	-111
$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	-239

۲- آنتالپی واکنش زیر را با توجه به اطلاعات داده شده محاسبه کنید.

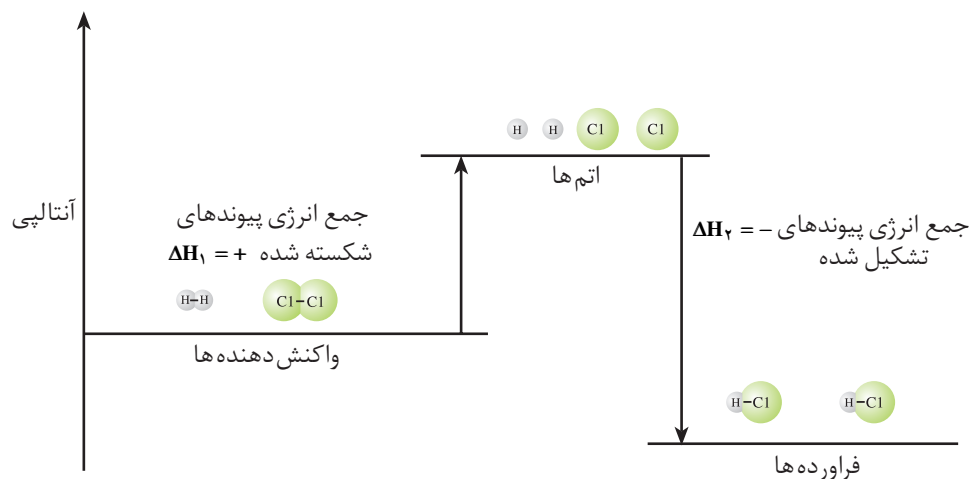


ماده	$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
$\text{CaCO}_3(\text{s})$	-1207
$\text{CaO}(\text{s})$	-635
$\text{CO}_2(\text{g})$	-394

## تعیین آنتالپی واکنش با استفاده از آنتالپی پیوندها

در یک واکنش شیمیایی برخی پیوندها در واکنش دهنده‌ها شکسته و پیوندهای تازه‌ای در فراورده‌ها تشکیل می‌شود. با مشخص کردن این که کدام پیوندها در واکنش دهنده‌ها شکسته می‌شود و کدام پیوندها در فراورده‌ها تشکیل می‌شود، می‌توان گرمای یک واکنش شیمیایی را محاسبه کرد، شکل ۱۱.

با توجه به شکل ۱۱ فرض کنید که پیوندها در واکنش دهنده‌ها شکسته شده است و اتم‌های جدا از هم، به وجود آمده است. این اتم‌ها سپس با یک دیگر پیوند می‌دهند و فراورده‌ها را به وجود می‌آورند. اگر در یک واکنش  $\Delta H$  واکنش را به تغییرات انرژی پیوندها مربوط بدانیم و همه‌ی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها به صورت گاز باشند، در آن صورت می‌توان از قانون هس برای محاسبه‌ی گرمای واکنش استفاده کرد. هنگامی که در واکنش دهنده‌ها



شکل ۱۱ نمودار تغییر آنتالپی برای واکنش  $\text{H}_2(\text{g})$  و  $\text{Cl}_2(\text{g})$

پیوندها می شکند، انرژی به صورت گرما جذب می شود (یعنی  $\Delta H$  مثبت است) ولی هنگامی که در فراورده ها پیوندها به وجود می آید، گرما آزاد می شود (یعنی  $\Delta H$  منفی است). جمع این دو گرما،  $\Delta H_{\text{واکنش}}$  است.

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = \Delta H_{\text{شکستن پیوندها}} + \Delta H_{\text{تشکیل پیوندها}}$$

برای نمونه هنگامی که  $\text{H}_2(\text{g})$  با  $\text{Cl}_2(\text{g})$  واکنش می دهد،  $\text{HCl}(\text{g})$  تشکیل می شود. در این واکنش پیوندهای  $\text{H}-\text{H}$  و  $\text{Cl}-\text{Cl}$  شکسته شده، پیوند  $\text{H}-\text{Cl}$  تشکیل می شود.



انرژی لازم برای شکستن پیوندهای  $\text{H}-\text{H}$  و  $\text{Cl}-\text{Cl}$  به ترتیب  $436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  و  $242 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  است. اتم های  $\text{H}$  و  $\text{Cl}$  ایجاد شده می توانند به هم متصل شوند و پیوند  $\text{H}-\text{Cl}$  را تشکیل دهند. از تشکیل این پیوند  $431 \text{ kJ}$  انرژی آزاد می شود. چون در این واکنش دو پیوند  $\text{H}-\text{Cl}$  تشکیل می شود، پس کل انرژی آزاد شده  $2 \times 431 \text{ kJ}$  ( $-862 \text{ kJ}$ ) محاسبه می شود. بنابراین می توان از جمع کردن انرژی لازم برای شکستن پیوندها و مقدار انرژی آزاد شده پس از تشکیل پیوندها،  $\Delta H_{\text{واکنش}}$  را محاسبه کرد.

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = (436 + 242) + (-862) = -184 \text{ kJ}$$

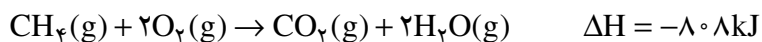
با استفاده از رابطه ی زیر نیز می توان  $\Delta H_{\text{واکنش}}$  را با استفاده از آنتالپی پیوندها محاسبه

کرد.

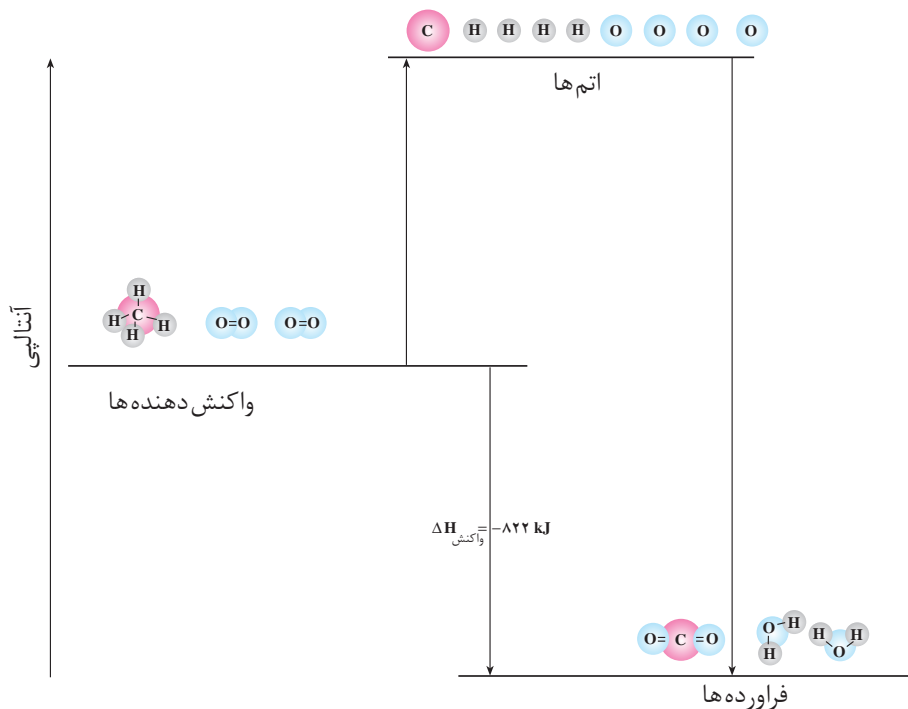
$$\Delta H_{\text{واکنش}} = \left[ \begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی} \\ \text{پیوندهای شکسته شده} \\ \text{در واکنش دهنده ها} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی} \\ \text{پیوندهای تشکیل شده} \\ \text{در فراورده ها} \end{array} \right]$$



این روش را برای محاسبه ی واکنش  $\Delta H$  سوختن متان به کار می بریم و مقدار به دست آمده را با مقدار تجربی مقایسه می کنیم.  $\Delta H$  واکنش سوختن متان که با روش گرماسنجی اندازه گیری شده است  $-۸۰۸\text{kJ}$  است.



به شکل ۱۲ نگاه کنید. آشکار است که واکنش سوختن متان شامل شکسته شدن پیوندها در  $\text{CH}_4$  و  $\text{O}_2$  و تشکیل پیوندها در  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  است.



شکل ۱۲ نمودار تغییر آنتالپی برای واکنش سوختن متان

با در نظر گرفتن انرژی لازم برای شکستن پیوندها و انرژی آزاد شده در نتیجه ی تشکیل پیوندها می توان نوشت:

تغییر آنتالپی برای پیوندهای شکسته شده:

$$4(\text{C} - \text{H}) = (4\text{mol}) \times (412\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = ۱۶۴۸\text{kJ}$$

$$2(\text{O} = \text{O}) = (2\text{mol}) \times (496\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = ۹۹۲\text{kJ}$$

---


$$\Delta H_{\text{پیوندهای شکسته شده}} = ۲۶۴۰\text{kJ}$$

تغییر آنتالپی برای پیوندهای تشکیل شده:

$$2(\text{C} = \text{O}) = (2\text{mol}) \times (۸۰۵\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = ۱۶۱۰\text{kJ}$$

$$4(\text{O} - \text{H}) = (4\text{mol}) \times (۴۶۳\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = ۱۸۵۲\text{kJ}$$

---


$$\Delta H_{\text{پیوندهای تشکیل شده}} = ۳۴۶۲\text{kJ}$$

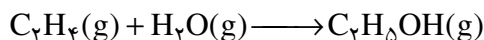
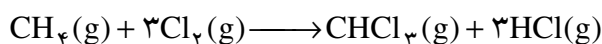
$$\Delta H_{\text{واکنش}} = \Delta H_{\text{پیوندهای شکسته شده}} - \Delta H_{\text{پیوندهای تشکیل شده}} = 2640 - 3462 = -822 \text{ kJ}$$

## فکر کنید

مقدار  $\Delta H_{\text{واکنش}}$  سوختن متان که از روش گرماسنجی به دست آمده است با مقدار به دست آمده از روش آنتالپی های پیوند متفاوت است. چرا؟

## خود را بیازمایید

آنتالپی واکنش های زیر را با استفاده از آنتالپی پیوندها به دست آورده، نمودار تغییر آنتالپی را برای آن ها رسم کنید.



## آنتروپی و تعیین جهت پیشرفت واکنش های شیمیایی

یکی از هدف های ترمودینامیک تعیین جهت پیشرفت واکنش های شیمیایی است. به عبارت دیگر تعیین جهتی که واکنش به طور خودبه خود پیشرفت می کند. بسیاری از تحول ها یا تغییرهایی که روزانه با آن ها سروکار داریم به طور خودبه خودی انجام می شود، شکل ۱۳. به عنوان نمونه اگر مقداری یخ را در هوای آزاد قرار دهید بعد از مدتی خودبه خود شروع به ذوب شدن می کند. برخی از تغییرها یا تحول ها خودبه خودی خیلی سریع هستند. برای مثال هنگامی که شما یک جسم خیلی داغ را به طور تصادفی لمس می کنید یک رشته واکنش های زیست شیمیایی بسیار سریع رخ می دهد. برخی از تغییرها خودبه خود کندتر انجام می شوند. برای نمونه، آهن به آهستگی به طور خودبه خود زنگ می زند.



سوختن سوخت



زنگ زدن آهن



ریزش آب آبشارها

شکل ۱۳ برخی از تغییرهای خودبه خودی

یکی از کمیت‌هایی که می‌توان برای تعیین جهت خودبه‌خودی واکنش‌ها استفاده کرد، تغییر انرژی آن واکنش است. به شکل ۱۳ نگاه کنید، همه‌ی رویدادهای نشان داده شده خودبه‌خودی هستند. آب خودبه‌خود از آبشار به پایین فرو می‌ریزد، وسایل آهنی در مجاورت هوا و رطوبت به آهستگی زنگ می‌زنند و سوخت‌ها می‌سوزند. هر یک از این رویدادها با کاهش انرژی همراه است. هنگامی که آب از آبشار به پایین می‌ریزد انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد. وقتی که مخلوط گاز متان و اکسیژن می‌سوزد یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و انرژی مخلوط کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی به صورت گرما آزاد می‌شود. چون همه‌ی این رویدادها خودبه‌خودی هستند، نتیجه می‌گیریم که: اگر در تغییری انرژی سامانه کاهش یابد، آن تغییر می‌تواند خودبه‌خود باشد. می‌دانید به تغییری که در آن انرژی سامانه کاهش می‌یابد، گرماده گفته می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت که تغییرهای گرماده اغلب تمایل دارند که به صورت خودبه‌خودی انجام شوند.

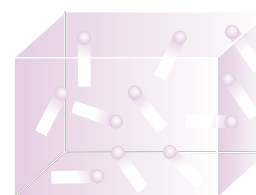
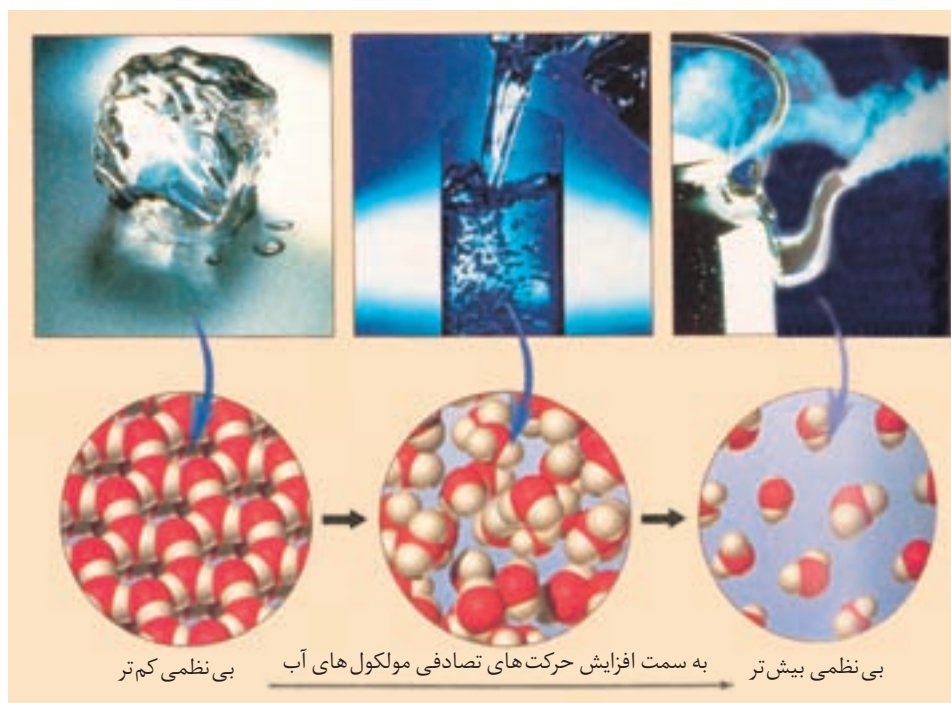
اغلب واکنش‌های شیمیایی که در آن‌ها انرژی فراورده‌ها از انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است، خودبه‌خودی هستند. چون بیش‌تر واکنش‌ها در فشار ثابت انجام می‌شوند، می‌توان گفت:

واکنش‌هایی که  $\Delta H$  آن‌ها منفی است، اغلب خودبه‌خود انجام می‌شود.

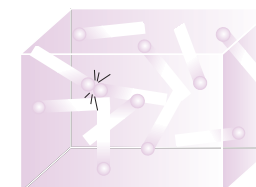
آیا هر تغییر گرماده خودبه‌خودی و هر تغییر گرماگیر غیر خودبه‌خودی است؟ اگر در واکنشی انرژی فراورده‌ها از انرژی واکنش‌دهنده‌ها بالاتر باشد، آیا احتمال دارد که این واکنش خودبه‌خود باشد؟ باید توجه داشت که انرژی سامانه فقط یکی از عوامل تعیین‌کننده‌ی جهت پیشرفت یک واکنش است. تغییرهای بسیاری وجود دارد که انرژی آن‌ها کاهش نمی‌یابد ولی خودبه‌خودی انجام می‌شوند. پس به نظر می‌رسد که باید عامل دیگری غیر از انرژی در تعیین جهت چنین تغییرهایی مؤثر باشد. این عامل را با یک مثال معرفی می‌کنیم.

یخ صفر درجه از محیط پیرامون خود گرما جذب می‌کند و به‌طور خودبه‌خود ذوب می‌شود بدون این که دمای آن تغییر کند. با دقت به شکل ۱۴ می‌بینید که نظم مولکول‌ها در آب مایع کم‌تر از یخ و در بخار آب این نظم کم‌تر از آب مایع است.

به شکل ۱۵ نگاه کنید. این شکل ظرفی را نشان می‌دهد که از دو حباب جدا از هم تشکیل شده است، که میان آن‌ها یک شیر تعبیه شده است. در حباب سمت چپ، گاز نئون با فشار یک اتمسفر وجود دارد. هنگامی که شیر باز شود گاز به‌طور خودبه‌خود در حباب دوم وارد شده در کل ظرف پخش می‌شود و فشار گاز در مجموع کاهش می‌یابد.



دمای پایین تر  
(بی نظمی کم تر)

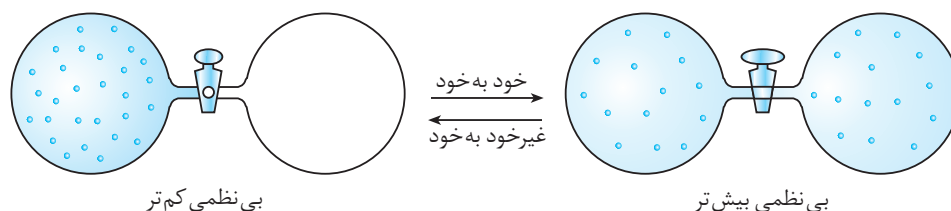


دمای بالاتر  
(بی نظمی بیش تر)

ذره های سازنده ی یک ماده در دمای بالا دارای انرژی جنبشی بیش تر و بی نظمی زیادتری هستند.

**شکل ۱۴** ذوب شدن یخ و تبدیل آب به بخار آب. در این جا میزان بی نظمی چه رابطه ای با دما دارد؟

علت پخش شدن اتم های گاز نئون در دو حباب این است که هر اتم اکنون در یک ظرف با حجمی دو برابر حجم اولیه قرار گرفته است و در واقع فضای بیش تری در اختیار دارد. از این رو تعداد راه هایی که اتم های گاز می توانند در این فضای جدید پخش شوند، افزایش می یابد. در واقع می توانند بی نظمی بیش تری پیدا کنند. از این رو، اتم های گاز ترجیح می دهند که همه ی حجم ظرف را اشغال کنند.

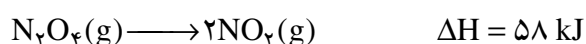


**شکل ۱۵** دو حباب متصل به هم که یکی از حباب های آن با گاز نئون پر شده است؛

وضعیت دو حباب پیش و پس از باز شدن شیر

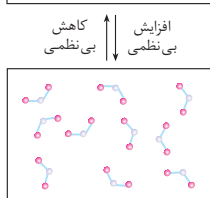
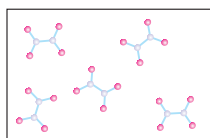
بسیاری از واکنش های شیمیایی مانند سوختن کاغذ در شرایط معین در یک جهت خاص خودبه خود انجام می شوند، درحالی که در جهت عکس به طور خودبه خود پیشرفتی نمی کنند.

گرچه اغلب واکنش های گرماده خودبه خود هستند ولی واکنش های گرماگیر زیادی وجود دارند که خودبه خود انجام می شوند. برای مثال، تجزیه ی  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  به  $\text{NO}_2(\text{g})$  یک واکنش گرماگیر است ولی خودبه خود انجام می شود.

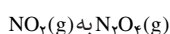


## فکر کنید

علت پیشرفت خود به خودی واکنش تجزیه ی  $N_2O_4(g)$  افزایش بی نظمی است. این افزایش بی نظمی را چگونه توجیه می کنید؟



واکنش تبدیل



مفهوم آنتروپی در سال ۱۸۶۵ توسط رودولف کلازیوس دانشمند آلمانی برای توجیه جهت انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی ارائه شد.

آنتروپی یک سامانه ی منزوی طی یک فرایند خودبه خودی، افزایش می یابد.

حل شدن آمونیوم نیتрат ( $NH_4NO_3$ ) در آب را در نظر بگیرید. می دانید که آمونیوم نیترات یک جامد یونی است. یون های آمونیوم ( $NH_4^+$ ) و نیترات ( $NO_3^-$ ) در بلورهای آمونیوم نیترات به طور منظم آرایش یافته اند. وقتی که آمونیوم نیترات در آب حل می شود، نظم یون ها در بلور آن از بین رفته، این یون ها در بین مولکول های آب پخش می شوند. یعنی بعد از حل شدن آمونیوم نیترات در آب، بی نظمی سامانه افزایش می یابد. به طور کلی در واکنش ها یا تغییرهای گرماگیر که خودبه خود انجام می شوند، با انجام واکنش یا تغییر، بی نظمی افزایش می یابد. بنابراین می توان افزایش بی نظمی را به عنوان عامل دیگری برای خودبه خود انجام شدن این گونه تغییرهای فیزیکی و شیمیایی در نظر گرفت. **آنتروپی** کمیتی ترمودینامیکی است که میزان این بی نظمی را بیان می کند. آنتروپی را می توان معیاری از بی نظمی یک سامانه تعریف کرد.

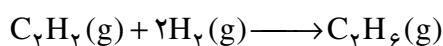
آنتروپی را با حرف «S» نشان می دهند. به طور کلی می توان گفت که هر تغییری که باعث افزایش آنتروپی شود، می تواند خودبه خود باشد. مانند انرژی درونی و آنتالپی، آنتروپی هم یک تابع حالت است. یعنی فقط به حالت آغازی و پایانی هر تغییر بستگی دارد. بنابراین تغییر آنتروپی سامانه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta S = S_{\text{پایانی}} - S_{\text{آغازی}}$$

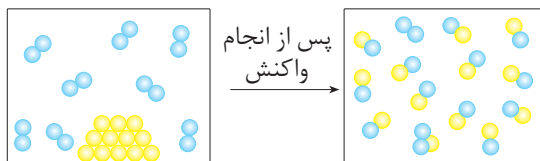
به عنوان نمونه تغییر آنتروپی در یک واکنش شیمیایی به آنتروپی فراورده ها و واکنش دهنده ها بستگی دارد. اگر  $\Delta S$  مثبت باشد، یعنی در آن تحول یا تغییر، سامانه نامنظم تر شده است (یعنی  $S_{\text{آغازی}} < S_{\text{پایانی}}$ ). اگر  $\Delta S$  منفی باشد، در آن صورت در آن تحول یا تغییر، سامانه منظم تر شده است (یعنی  $S_{\text{آغازی}} > S_{\text{پایانی}}$ ). بنابراین می توان گفت که به طور کلی: هر تغییر شیمیایی یا فیزیکی به طور طبیعی در جهتی پیشرفت می کند که به سطح انرژی پایین تر ( $\Delta H$  کوچک تر) و آنتروپی بالاتر ( $\Delta S$  بزرگ تر) برسد.

## فکر کنید

۱- مطابق معادله ی زیر اتان را می توان از واکنش ایتین با هیدروژن تهیه کرد. برای این واکنش  $\Delta S$  مثبت یا منفی است؟ چرا؟



۲- شکل زیر را بادقت نگاه کنید. برای واکنش نشان داده شده  $\Delta S$  مثبت یا منفی است؟ توضیح دهید.



## پیش گویی جهت انجام واکنش های شیمیایی

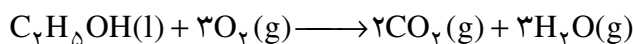
در بیش تر واکنش های شیمیایی هم آنتروپی و هم آنتالپی تغییر می کند. بنابراین به هنگام اظهارنظر درباره ی خودبه خودی بودن یا نبودن این واکنش ها باید به نقش هر دو عامل (آنتالپی و آنتروپی) توجه کرد. در واقع هر دوی آن ها در شرایط معین بر خودبه خود انجام شدن یک واکنش تأثیر می گذارند و در حقیقت رقابت بین این دو عامل است که تعیین می کند واکنش در کدام جهت پیشرفت می کند. این دو عامل گاهی در یک جهت و گاهی در خلاف جهت هم عمل می کنند.

واکنش های خودبه خود:  $\Delta H < 0$  و  $\Delta S > 0$

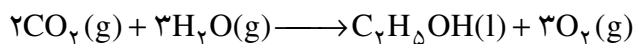
واکنش های غیر خودبه خود:  $\Delta H > 0$  و  $\Delta S < 0$

برای روشن شدن مطلب دو مثال را با هم بررسی می کنیم.

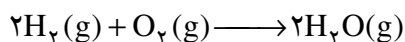
\* واکنش سوختن اتانول را درنظر بگیرید:



این واکنش گرما ده است و آنتروپی آن هم افزایش می یابد. (چرا؟) پس برای این واکنش دو عامل آنتالپی و آنتروپی در یک جهت عمل می کنند و واکنش خودبه خود انجام می شود. ولی واکنش معکوس سوختن اتانول، یعنی:



هم گرما گیر و هم با کاهش آنتروپی همراه است. چون گرما گیر بودن و کاهش آنتروپی عوامل مساعدی برای انجام واکنش نیستند، پس این واکنش خودبه خود انجام نمی شود. \* واکنش سوختن هیدروژن را درنظر بگیرید:



می دانید که این واکنش به شدت گرما ده است ولی در این واکنش آنتروپی کاهش می یابد. (چرا؟) گرما ده بودن واکنش عامل مساعدی برای خودبه خود انجام شدن واکنش

است ولی کاهش آنتروپی برخلاف آن عمل می کند. پس در این واکنش، دو عامل آنتالپی و آنتروپی در خلاف جهت هم عمل می کنند. هر کدام که اثر بیش تری داشته باشد، واکنش را کنترل می کند، چون سوختن هیدروژن خودبه خود انجام می شود، بنابراین، در این مورد گرماده بودن واکنش یا کاهش آنتالپی بر کاهش آنتروپی غلبه می کند.

## انرژی آزاد گیبس

چنان که دیدید آنتروپی و آنتالپی انجام یک تحول یا تغییر خودبه خودی را کنترل می کنند، در ضمن با شیوه ی رقابت آن ها نیز تا حدودی آشنا شدید. از این رو مناسب به نظر می رسد کمیت ترمودینامیکی دیگری را تعریف کنیم که بین آنتالپی و آنتروپی ارتباط برقرار می کند و به کمک آن بهتر می توان درباره ی رقابت آن ها بحث کرد. کمیتی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می دهد انرژی آزاد نامیده می شود. انرژی آزاد، مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند تعریف می شود. ویلارد گیبس فیزیک دان آمریکایی برای انرژی آزاد معادله ای به دست آورد، به همین دلیل و به افتخار او این انرژی را انرژی آزاد گیبس نامیده اند. انرژی آزاد گیبس را با حرف G، نمایش می دهند. تغییر انرژی آزاد گیبس با معادله ی زیر تعریف می شود:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

تغییر آنتروپی (به کلین)      آنتالپی واکنش      تغییر انرژی آزاد گیبس

مقدار آنتروپی یک سامانه در صفر مطلق برابر با صفر در نظر گرفته می شود.

در قانون دوم ترمودینامیک آنتروپی به عنوان ملاکی برای توضیح خودبه خود بودن فرایندهای طبیعی معرفی می شود.

اگر مقدار  $\Delta G$  برای واکنشی صفر باشد در این صورت واکنش در هر دو مسیر خودبه خود خواهد بود و گفته می شود که واکنش در تعادل است. با بحث تعادل در سال آینده آشنا خواهید شد.

چنان که از این معادله برمی آید  $\Delta G$  به دما بستگی دارد. این که کدام یک،  $\Delta H$  یا  $\Delta S$  جهت واکنش را تعیین می کند، به مقدار آن ها بستگی دارد. انرژی آزاد گیبس تابع حالت است و فقط به حالت آغازی و پایانی هر تغییر یا تحول بستگی دارد. با توجه به علامت  $\Delta G$  می توان گفت که آیا یک تغییر می تواند خودبه خود انجام شود یا نه.

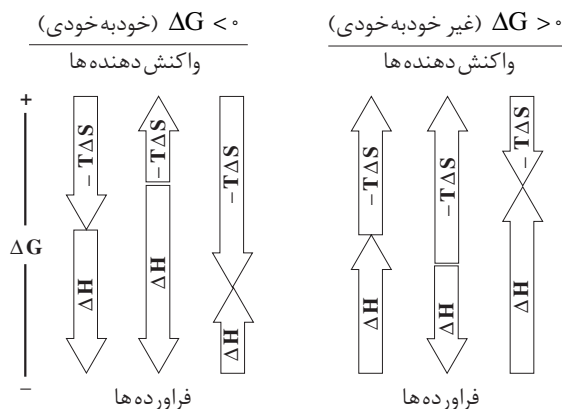
آ. برای یک تغییر خودبه خودی  $\Delta G < 0$  است.

ب. برای یک تغییر غیرخودبه خودی  $\Delta G > 0$  است.

علامت  $\Delta G$  به علامت و مقدار  $\Delta H$  و عبارت  $-T\Delta S$  بستگی دارد. در شکل صفحه ی بعد  $\Delta H$  و عبارت  $-T\Delta S$  که به روش های مختلف با هم ترکیب شده اند نشان داده شده است، شکل ۱۶. این واقعیت که مقدار عددی عبارت  $-T\Delta S$  به دما بستگی دارد، نشان می دهد که برخی تغییرها با توجه به شرایط دمایی ممکن است خودبه خودی یا غیر



خودبه خودی باشند. برای مثال، در دمای پایین یک  $\Delta H$  نامساعد (مثبت) ممکن است از  $-T\Delta S$  مساعد (منفی) بزرگ‌تر باشد ولی در دمای بالاتر، مقدار  $-T\Delta S$  افزایش یابد و بزرگ‌تر از  $\Delta H$  شود. از این رو یک تغییر گرماگیر که در دمای پایین غیرخودبه خود است، می‌تواند در دمای بالا به طور خودبه خود انجام شود.



شکل ۱۶ حالت‌های مختلفی که  $\Delta H$  و عبارت  $-T\Delta S$  می‌توانند بر یک دیگر اثر بگذارند.

اگر برآیند دو بردار به سمت پایین باشد واکنش خود به خودی انجام می‌شود. اگر برآیند به سمت بالا باشد واکنش غیر خود به خود خواهد بود.

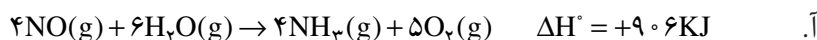
## خود را بیازمایید

۱- جدول زیر را کامل کنید.

$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta G$	آیا واکنش خود به خود است؟
منفی	؟	؟	بله، در همه‌ی دماها
؟	منفی	؟	هرگز

۲- کدام واکنش‌های زیر در دمای اتاق در جهت نشان داده شده خود به خود است؟

چرا؟



## بیش‌تر بخوانید

شیمی گرما، نسترن خضرای کی، خورشید کوچکی، راضیه بنکدار سخی، چاپ نخست، ۱۳۸۴، انتشارات

محراب قلم.



### محلول‌ها



آب دریا و هوایی که روی آن است نمونه‌هایی از محلول هستند.

در زندگی روزانه‌ی خود با محلول‌های گوناگونی سروکار دارید. هوایی که تنفس می‌کنید، چای و نوشیدنی‌های دیگری که می‌نوشید، سکه‌ای که برای گرفتن یک تماس در تلفن همگانی می‌اندازید، مایع‌های پاک‌کننده‌ای که برای شست‌وشو استفاده می‌کنید، بنزین و گازوییلی که به عنوان سوخت در باک وسایط نقلیه می‌ریزید و از همه مهم‌تر آبی که روزانه بارها و بارها برای مصارف مختلفی چون شستن، پختن و نوشیدن استفاده می‌کنید، همگی محلول هستند. محلول‌ها نقش مهمی در زندگی ما دارند. در این بخش با خواص و کاربرد محلول‌ها بیشتر آشنا می‌شوید.

## محللول ها نمونه ای از مواد ناخالص

آموخته اید که مواد را به دو دسته ی خالص شامل عنصر و ترکیب و ناخالص شامل مخلوط همگن و مخلوط ناهمگن طبقه بندی می کنند. در سال گذشته با ساختار و رفتار عنصرها و ترکیب های شیمیایی نیز آشنا شدید و اطلاعات بسیاری درباره ی آن ها به دست آوردید. اما دسته ی بزرگ تری از مواد شیمیایی هستند که با عنوان مواد ناخالص یا مخلوط شناخته می شوند.

سکه ی طلا، هوا و آب نمک از این جمله اند، زیرا از بیش از یک نوع ماده تشکیل شده اند. آیا می توانید اجزای سازنده ی آن ها را نام ببرید؟ این سه مخلوط علی رغم تفاوت چشم گیری که در حالت فیزیکی دارند، در یک زمینه شبیه یک دیگرند. همگی **مخلوطی همگن** هستند. می دانید که به مخلوط های همگن **محللول** نیز می گویند. اما پیش از بررسی خواص محللول ها، لازم است مفهوم همگن بودن را با معرفی واژه ی فاز روشن تر کنیم.

### فاز چیست؟

یک لیوان پر از آب خالص را در نظر بگیرید. آیا رنگ، بو، طعم و حالت فیزیکی آب در همه جا درون لیوان یکسان است؟ خواصی مانند چگالی، ضریب شکست نور، ظرفیت گرمایی ویژه و نقطه ی جوش چطور؟ اگر فضای درون این لیوان را که با آب خالص پر شده است یک سامانه در نظر بگیرید؛ مشاهده ها نشان می دهد که خواص شدتی این سامانه در همه جا آن یکسان است. صرف به کار بردن واژه ی حالت برای معرفی این ویژگی ها یعنی یکسان و یکنواخت بودن ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی ماده ی تشکیل دهنده ی این سامانه، کافی نیست. از این رو به جای واژه ی حالت از واژه ی **فاز** استفاده می شود. برای یک ماده ی خالص این دو واژه هم معنا هستند. برای مثال آب در حالت بخار را آب در فاز بخار نیز می گویند. به این ترتیب یخ، فاز جامد آب خواهد بود. اگر نیمی از آب درون لیوان را خالی کنیم، در این صورت سامانه یاد شده دارای دو فاز - بخشی از لیوان که با آب پر شده (یک فاز مایع) و بخشی از لیوان که با هوا پر شده (یک فاز گاز) - خواهد شد. افزودن یک قطعه یخ یا مقداری روغن مایع درون این لیوان تعداد فازها را به سه افزایش می دهد. (چرا؟ در هر مورد این فازها کدامند؟) چنین سامانه ای مخلوط ناهمگن گفته می شود. (چرا؟) در مخلوط های ناهمگن همواره مرز میان فازها قابل تشخیص است. به مرز میان دو فاز **فصل مشترک** گفته می شود. اگر در مخلوطی این مرزها قابل تشخیص نباشد به عبارت دیگر مخلوط تنها یک فاز به وجود آورد، در این صورت این مخلوط یک فازی را مخلوط همگن یا محللول می گویند.

بخشی از یک سامانه که خواص شدتی در همه جای آن یکسان است فاز نامیده می شود.



یخ بر اثر جذب گرما ذوب و به آب مایع تبدیل می شود. در این جا یخ یک فاز جامد را تشکیل می دهد. ولی بر اثر ذوب شدن به یک فاز مایع تبدیل می شود. بنابراین در این جا تغییر فاز رخ داده است، زیرا یک فاز به فاز دیگری تبدیل شده است.

هنگامی که ماده ای تغییر فاز می دهد ماهیت شیمیایی آن تغییر نمی کند. بنابراین تغییر فاز، یک تغییر فیزیکی است. به طور کلی هر کدام از تبدیل های جامد به مایع، مایع به بخار، بخار به جامد، مایع به جامد و جامد به بخار یک تغییر فاز به شمار می آید.

مخلوط‌های زیر تهیه شده‌اند. با توجه به تعریف فاز در هر مورد تعداد فازهای موجود را معین کنید. به نظر شما کدام مخلوط ناهمگن و کدام محلول است؟ چرا؟

آ. مخلوط اتانول و آب

ب. مخلوط روغن با آب و مقداری نمک خوراکی

پ. مخلوط آب، روغن و جیوه

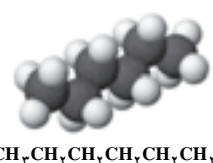
ت. مخلوط آب، یک قطعه یخ، روغن و یک قطعه آهن

## محلول‌های مایع و اجزای آن‌ها

یک محلول دست کم از دو جزء تشکیل شده است. **حلال** و **حل‌شونده**. جزیی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیش‌تری از محلول را تشکیل می‌دهد، حلال نام دارد. در محلول آب نمک، آب حلال و نمک خوراکی حل‌شونده است. اغلب محلول‌های موجود در طبیعت شامل یک حلال و چند ماده‌ی حل‌شونده هستند. آب دریا نمونه‌ای از این نوع محلول‌هاست. آیا می‌توانید اجزای این محلول را نام ببرید؟

آب فراوان‌ترین و رایج‌ترین حلال شناخته شده است. این حلال ترکیب‌های یونی و کووالانسی بسیاری را در خود حل می‌کند. محلول‌هایی که حلال آن‌ها آب است، **محلول آبی** نامیده می‌شوند. آب و محلول‌های آبی نقش مهمی در زندگی روزانه دارند. اغلب فرایندهای زیست‌شیمیایی از قبیل هضم، جذب و سوخت‌وساز مواد غذایی در محلول آبی انجام می‌شود. در صنایع شیمیایی تعداد زیادی از واکنش‌ها در محیط آبی صورت می‌گیرد. گرچه آب مهم‌ترین حلال شناخته شده است، اما حلال‌های مهم دیگری نیز وجود دارد. هگزان، اتانول و استون سه نمونه‌ی مهم از حلال‌های آلی هستند، جدول ۱. به محلول حاصل از حلال‌های آلی **محلول غیرآبی** می‌گویند.

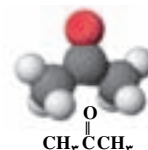
**هگزان**؛ آلکانی با ۶ اتم کربن است و مولکول‌هایی ناقطبی دارد. این ماده، حلال بسیار مناسبی برای تعداد زیادی از ترکیب‌های ناقطبی است. هگزان مایع بی‌رنگ و فراری است که از نفت خام به دست می‌آید و به عنوان رقیق‌کننده (تینر) در رنگ‌های پوششی کاربرد دارد.



**اتانول**؛ پس از آب، اتانول مهم‌ترین حلال صنعتی است. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر میزان با آب مخلوط می‌شود. از اتانول برای ضدعفونی کردن زخم‌ها و تولید مواد دارویی، آرایشی و بهداشتی نیز استفاده می‌شود.



**استون**؛ حلال مناسبی برای چربی‌ها، رنگ‌ها و انواع لاک‌هاست. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر نسبت در آب حل می‌شود و از جمله حلال‌های پرکاربرد در آزمایشگاه‌های شیمی به شمار می‌آید.



جدول ۱ برخی حلال‌های آلی و کاربردهای آن‌ها

## اطلاعات جمع آوری کنید

در زندگی روزانه و در صنعت از حلال های آلی دیگری نیز استفاده می شود. در یک فعالیت گروهی فهرستی از این حلال ها، خواص و کاربردهای آن ها هم چنین آثار زیان باری که بر محیط زیست و سلامت انسان می گذارند تهیه کنید و نتیجه را در قالب یک روزنامه ی دیواری به کلاس ارایه دهید.

## انحلال پذیری مواد در آب

در شیمی ۱ با مفهوم انحلال پذیری آشنا شدید. می دانید که در دمای یکسان میزان حل شدن مواد مختلف در آب متفاوت است. بیش ترین مقدار از یک ماده که در دمای معین در  $10^{\circ}\text{C}$  گرم آب حل می شود، انحلال پذیری آن ماده را در آب مشخص می کند. در جدول ۲ انحلال پذیری برخی از ترکیب های شیمیایی در آب در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  داده شده است.

جدول ۲ انحلال پذیری برخی ترکیب های شیمیایی در آب در  $20^{\circ}\text{C}$

نام	فرمول شیمیایی	انحلال پذیری $\left(\frac{\text{حل شونده (g)}}{100\text{gH}_2\text{O}}\right)$
متانول	$\text{CH}_3\text{OH}$	به هر نسبتی قابل امتزاج است.
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	به هر نسبتی قابل امتزاج است.
شکر (ساکاروز)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	۲۰۵
هگزانول	$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$	۰/۵۹
نقره کلرید	$\text{AgCl}$	کم تر از ۰/۰۰۰۲
هیدروژن کلرید	$\text{HCl}$	۶۳
کلسیم سولفات	$\text{CaSO}_4$	۰/۲۱
باریم سولفات	$\text{BaSO}_4$	کم تر از ۰/۰۰۰۳
پتاسیم نیترات	$\text{KNO}_3$	۳۴

## فکر کنید

با توجه به داده های جدول ۲ به پرسش های زیر پاسخ دهید.

آ. انحلال پذیری برای کدام ترکیب ها از یک گرم حل شونده در  $100^{\circ}\text{C}$  گرم آب بیش تر

است؟

ب. انحلال پذیری برای کدام ترکیب ها از  $10^{\circ}\text{C}$  گرم حل شونده در  $100^{\circ}\text{C}$  گرم آب کم تر

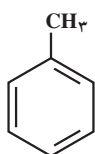
است؟

پ. انحلال پذیری کدام ترکیب ها بین  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $100^{\circ}\text{C}$  گرم حل شونده در  $100^{\circ}\text{C}$  گرم آب است؟

ت. اگر بخواهیم هر یک از موارد آ، ب و پ را با عنوان های نامحلول، کم محلول و محلول دسته بندی کنید، در این صورت کدام کدام نام را به کدام مورد آ تا پ نسبت می دهید؟

## چرا محلول ها به وجود می آیند؟

به آزمایش های نشان داده شده در شکل ۱ به دقت نگاه کنید. در هر آزمایش چه ترکیب هایی با هم آمیخته شده است؟ در کدام مورد دو ماده ی آمیخته شده انحلال پذیر و در کدام مورد انحلال ناپذیر هستند؟



تولوئن یک هیدروکربن آروماتیک است و به مقدار زیادی در قطران زغال سنگ یافت می شود. مایع بی رنگ و آتش گیر است و به عنوان حلال در صنایع مختلفی چون رنگ و رزین کاربرد دارد.

(آ)

آب

یون کلرید  $\text{Cl}^-$

یون لیتیم  $\text{Li}^+$

(ب)

تولوئن

لیتیم کلرید

(پ)

شکل ۱ مخلوط

آ. لیتیم کلرید جامد با آب (حلال)    تولوئن

ب. لیتیم کلرید جامد با تولوئن (حلال)    آب

پ. تولوئن و آب

بدون انجام آزمایش نیز می توان انحلال پذیری یک ماده در یک حلال و تشکیل محلول ها را پیش بینی کرد. براساس آگاهی از نوع و مقدار نیروهای جاذبه ای موجود بین ذره های تشکیل دهنده ی ماده ی حل شدنی و حلال پیش و پس از مجاورت با یک دیگر، پیش بینی انحلال پذیر بودن یا نبودن ماده ی حل شونده در حلال یاد شده امکان پذیر است. به شکل ۱. آ توجه کنید.  $\text{LiCl}$  ترکیبی یونی است که در آن یون های  $\text{Li}^+$  و  $\text{Cl}^-$  در یک شبکه ی بلوری قرار دارند و با پیوند یونی یک دیگر را به شدت جذب می کنند. آب مولکول هایی قطبی دارد به طوری که در یک سر، جزیی بار مثبت (اتم های H) و در سر دیگر جزیی بار منفی (اتم O) دارند. هنگامی که  $\text{LiCl}$  در آب حل می شود، جاذبه ای قوی بین یون  $\text{Cl}^-$  و

سر مثبت مولکول‌های آب ( $\text{Cl}^- \cdots \text{H}_2\text{O}$ ) و یون  $\text{Li}^+$  با سر منفی مولکول‌های آب ( $\text{H}_2\text{O} \cdots \text{Li}^+$ ) به وجود می‌آید. این جاذبه‌ی یون - دوقطبی انرژی لازم را برای جدا شدن یون‌های  $\text{Li}^+$  و  $\text{Cl}^-$  از شبکه‌ی بلور فراهم می‌کند. به‌طور کلی ترکیب‌های یونی و مواد قطبی در یک دیگر حل می‌شوند. البته میزان این انحلال‌پذیری برای ترکیب‌های یونی مختلف متفاوت است و به نوع یون‌های سازنده و ساختار بلوری آن‌ها بستگی دارد.

به شکل ۱. ب دقت کنید. تولوئن ترکیبی آلی است و مولکول‌های ناقطبی دارد. بین این مولکول‌ها نیروهای جاذبه‌ای وان دروالسی وجود دارد که از جمله نیروهای بین مولکولی ضعیف به شمار می‌آیند. درحالی که  $\text{LiCl}$  ترکیبی یونی است. وقتی این دو با هم آمیخته می‌شوند، نیروی جاذبه بین یون‌های نمک و مولکول‌های تولوئن به اندازه‌ای نیست که بتواند بر پیوندهای یونی در شبکه‌ی بلوری  $\text{LiCl}$  غلبه کند. مشاهده‌ی تجربی نیز درستی این ادعا را ثابت می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که ترکیب‌های یونی در مواد ناقطبی حل نمی‌شوند.

## فکر کنید

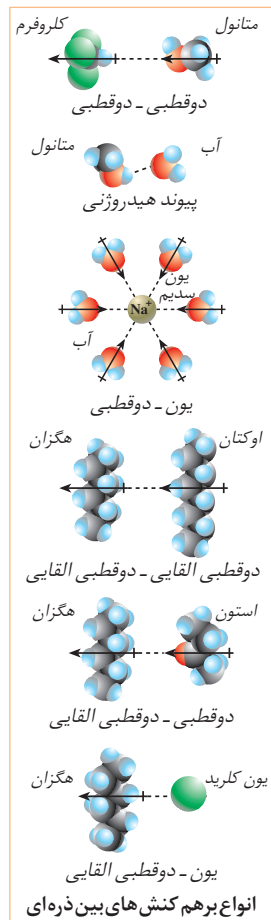
۱- با توجه به شکل ۱. پ آیا تولوئن در آب حل شده است؟ این مشاهده‌ی تجربی را چگونه توجیه می‌کنید؟

۲- نفتالین در تولوئن حل می‌شود. آیا از این مشاهده می‌توان نتیجه گرفت که مولکول‌های نفتالین ناقطبی هستند؟ به عبارت دیگر آیا می‌توان نتیجه گرفت که «شبيه، شبيه را در خود حل می‌کند»؟

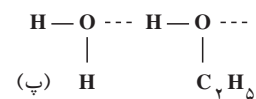
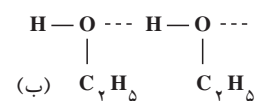
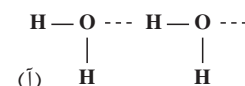
انحلال اتانول در آب را در نظر بگیرید. در ترکیب‌هایی مانند اتانول نیروهای بین مولکولی از نوع پیوند هیدروژنی است. بین مولکول‌های قطبی آب نیز پیوند هیدروژنی وجود دارد. وقتی اتانول در آب حل می‌شود، پیوندهای هیدروژنی تازه‌ای بین مولکول‌های اتانول و مولکول‌های آب به وجود می‌آید. میزان این نیروهای جاذبه‌ای بین مولکولی به اندازه‌ای است که بر پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب غلبه کرده، انحلال اتانول در آب را سبب می‌شود. شکل ۲ پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و آب را نشان می‌دهد. براساس این یافته‌ی تجربی (انحلال اتانول در آب) کدام پیوند هیدروژنی نشان داده شده در این شکل بایستی قوی‌تر باشد؟ چرا؟

برخی از مولکول‌ها در ساختار خود یک بخش قطبی و یک بخش ناقطبی دارند. ۱- بوتانول و اتانول از این دست ترکیب‌ها هستند، شکل ۳.

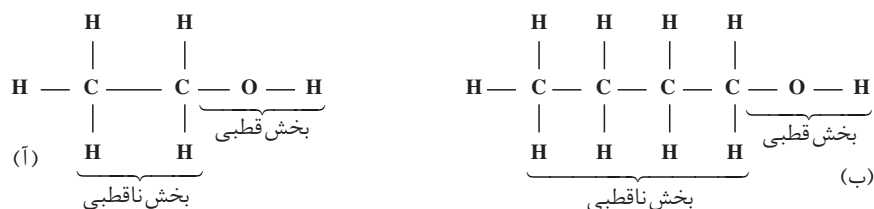
در اتانول برهم کنش‌های بین مولکولی از سمت بخش قطبی بر بخش ناقطبی غلبه



نیروی جاذبه‌ی بین مولکول آب و یک یون از نوع یون - دوقطبی است. این جاذبه‌ی بین ذره‌ای از جاذبه‌ی دوقطبی - دوقطبی به ویژه پیوند هیدروژنی قوی‌تر و از پیوند یونی (جاذبه‌ی یون - یون) ضعیف‌تر است.



شکل ۲ پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب. ب. بین مولکول‌های اتانول. پ. بین مولکول‌های آب و مولکول‌های اتانول.



شکل ۳

آ. اتانول ب. ۱- بوتانول

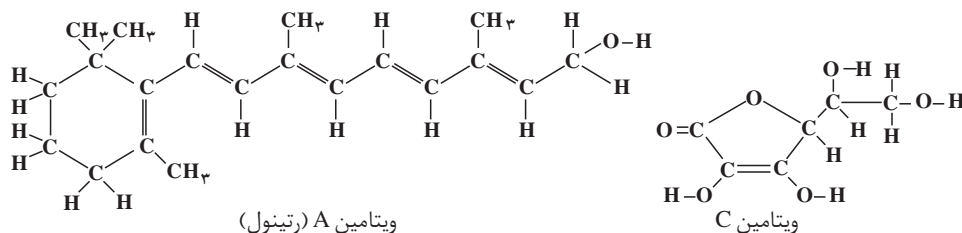
دارد. به همین دلیل اتانول در آب که مولکول‌هایی قطبی دارد، حل می‌شود. در حالی که در ۱- بوتانول بخش بیش‌تری از مولکول ناقطبی است، بنابراین انتظار می‌رود که در مقایسه با اتانول بر هم کنش‌های بین مولکولی از سمت بخش ناقطبی افزایش یافته باشد. به همین دلیل ۱- بوتانول در مقایسه با اتانول به مقدار کم‌تری در آب حل می‌شود.

## فکر کنید

آیا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه بر طول زنجیر هیدروکربنی الکل‌های راست زنجیر افزوده شود انحلال‌پذیری آن‌ها در آب کم‌تر می‌شود؟ (چرا؟)

## خود را بیازمایید

در شکل زیر ساختار ویتامین A (رتینول) و ویتامین C (آسکوربیک اسید) نشان داده شده است. به این شکل‌ها با دقت نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



آ. قسمت‌های قطبی هر مولکول را روی شکل نشان دهید.

ب. به نظر شما کدام یک از این ویتامین‌ها بایستی در آب و کدام یک در چربی انحلال‌پذیر باشد؟ چرا؟

پ. مصرف بیش از اندازه‌ی لازم از کدام ویتامین برای بدن مشکلی ایجاد نمی‌کند؟ چرا؟

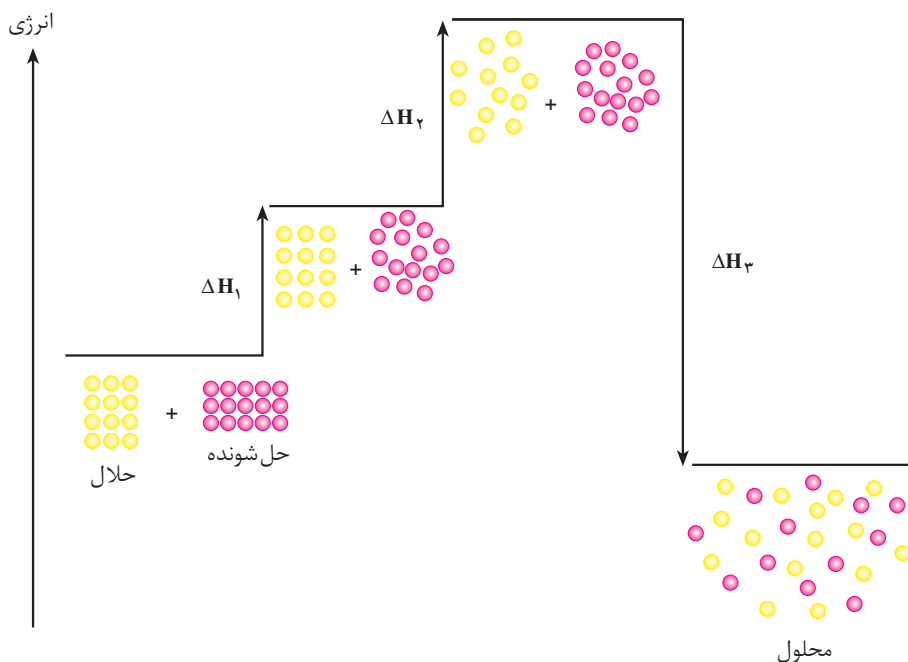
## آنتالپی انحلال

فرآیند انحلال با مبادله‌ی انرژی همراه است. تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل‌شونده در مقدار زیادی حلال را گرمای انحلال یا آنتالپی انحلال ( $\Delta H_{\text{انحلال}}$ )



می نامند. انحلال یک ترکیب کووالانسی (مولکولی) فرضی در آب را در نظر بگیرید. این انحلال از دید مولکولی شامل سه مرحله است، شکل ۴.

- ۱- جدا شدن مولکول های حل شونده از یک دیگر.
- ۲- جدا شدن مولکول های آب از یک دیگر.
- ۳- پراکنده شدن همگن مولکول های حل شونده بین مولکول های آب.



شکل ۴ مراحل سه گانه ی انحلال یک ترکیب کووالانسی (مولکولی) فرضی در آب

## فکر کنید

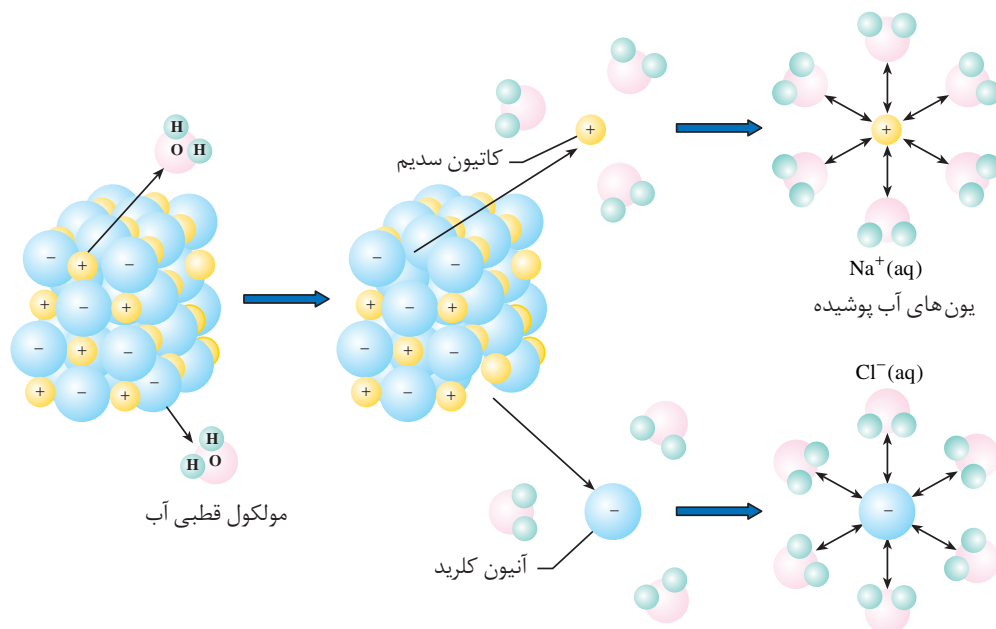
- با توجه به شکل ۴ به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.
- آ. هر یک از مراحل ۱، ۲ و ۳ را روی نمودار مشخص کرده، در هر مورد گرماده یا گرماگیر بودن مرحله ی یاد شده را با بیان علت معلوم کنید.
- ب. چه رابطه ای میان  $\Delta H_1$ ،  $\Delta H_2$  و  $\Delta H_3$  وجود دارد؟
- پ. این انحلال در مجموع گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟
- ت. تجربه نشان می دهد که انحلال شکر (ساکاروز) - به عنوان مثالی از ترکیب های مولکولی - در آب فرایندی گرماگیر است. این مشاهده را با توجه به آنتالپی مراحل سه گانه ی یاد شده، چگونه توجیه می کنید؟
- ث. با توجه به گرماگیر بودن فرایند انحلال شکر در آب، چرا این فرایند به طور



خود به خودی روی می دهد؟

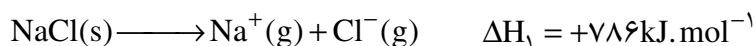
ج. انتظار دارید که در یک انحلال گرماگیر ( $\Delta H_{\text{انحلال}} > 0$ ) افزایش دما چه تأثیری بر مقدار انحلال ماده‌ی حل شونده در آب داشته باشد؟ چرا؟

اکنون به فرایند انحلال یک ترکیب یونی برای مثال NaCl در آب توجه کنید، شکل ۵. این انحلال نیز شامل سه مرحله است.



شکل ۵ انحلال سدیم کلرید در آب. به تأثیر متقابل مولکول های آب با یون های سدیم و کلرید توجه کنید.

۱- فروپاشی شبکه بلوری NaCl: این مرحله با صرف انرژی همراه است، بنابراین گرماگیر به شمار می آید.



۲- جدا شدن مولکول های آب از یک دیگر: این مرحله نیز گرماگیر است.

۳- برقراری جاذبه‌ی قوی بین یون ها ( $\text{Cl}^-$ ،  $\text{Na}^+$ ) و مولکول های آب: این مرحله گرماده است و طی آن انرژی زیادی آزاد می شود.

مجموع مراحل ۲ و ۳ را **مرحله‌ی آب پوشی** می نامند. در این مرحله یون های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  به وسیله‌ی مولکول های آب احاطه می شوند. مرحله‌ی آب پوشی در مجموع گرماده است. مقدار آنتالپی انحلال NaCl در آب، جمع جبری گرمای لازم برای فروپاشی شبکه‌ی بلوری NaCl و گرمای آزاد شده بر اثر آب پوشی یون های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  است.

## نمونه‌ی حل شده

اگر انرژی لازم برای فروپاشی شبکه‌ی بلوری NaCl (آنتالپی شبکه،  $\Delta H_{\text{شبکه}}$ )، ۷۸۶ کیلوژول بر مول و مجموع انرژی آزاد شده در آب‌پوشی (آنتالپی آب‌پوشی،  $\Delta H_{\text{آب‌پوشی}}$ ) یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ ، ۷۸۳ کیلوژول بر مول باشد، آنتالپی انحلال NaCl را در آب محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\Delta H_{\text{شبکه}} = \text{NaCl} \Rightarrow 786 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{آب‌پوشی}} = \text{Cl}^- \text{ و } \text{Na}^+ \Rightarrow 783 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_{\text{شبکه}} + \Delta H_{\text{آب‌پوشی}} = \text{NaCl} \Rightarrow 3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

در برخی منابع علمی انرژی شبکه‌ی یک جامد یونی را انرژی تشکیل یک شبکه‌ی بلوری از یون‌های سازنده‌ی آن تعریف می‌کنند. با این تعریف مقدار انرژی شبکه‌ی NaCl چه قدر است؟

## آنتروپی و انحلال

همان‌طور که ملاحظه کردید، آنتالپی انحلال سدیم کلرید ۳ کیلوژول بر مول است. یعنی برای انحلال یک مول NaCl در آب ۳ کیلوژول گرما لازم است. با وجود گرماگیر بودن، انحلال NaCl در آب خودبه‌خودی انجام می‌شود، زیرا بجز آنتالپی باید به عامل دیگری در انحلال مواد توجه کرد.

تغییر آنتروپی بر فرایند انحلال بسیار مؤثر است. با به کارگیری قواعد زیر می‌توان میزان تأثیر این عامل را پیش‌بینی کرد:

آ. حل شدن جامد در مایع اغلب با افزایش آنتروپی همراه است. زیرا ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی یک جامد بلوری، آرایش بسیار منظمی دارند و در اثر حل شدن، ذره‌ها از این حالت بسیار منظم خارج شده، درون مایع پراکنده می‌شوند و ضمن تحرک پیوسته آزادی عمل بیش‌تری پیدا می‌کنند.

ب. حل شدن مایع در مایع نیز در جهت افزایش آنتروپی است. زیرا دو مایع که در یک دیگر حل می‌شوند، حجم بیش‌تری نسبت به دو مایع جدا از یک‌دیگر پیدا می‌کنند. بنابراین، در این فضای بزرگ‌تر آزادی عمل و تحرک ذره‌های دو مایع در حالت محلول بیش‌تر می‌شود. پ. حل شدن گاز در مایع با کاهش آنتروپی همراه است، زیرا بین ذره‌ها در حالت گازی نیروی جاذبه‌ی ناچیزی وجود دارد و از این‌رو ذره‌ها آزادی عمل بیش‌تری دارند. هنگامی که گازی در یک حلال مایع حل می‌شود، نیروی جاذبه‌ی بین ذره‌ای افزایش یافته، آزادی عمل آن‌ها کم‌تر می‌شود. به عبارتی این نیروهای جاذبه‌ای از تمایل آن‌ها به بی‌نظمی می‌کاهند.

## خود را بیازمایید

با بیان علت مشخص کنید که فرایند انحلال در کدام مورد با افزایش آنتروپی و در

کدام مورد با کاهش آنتروپی همراه است؟

آ. اتانول در آب      ب. گاز آمونیاک در آب      پ. پتاسیم کلرید در آب

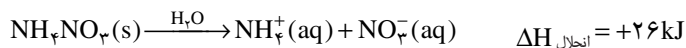
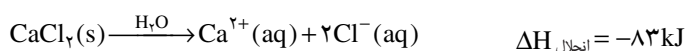
## فکر کنید

- ۱- آب پوشی یون ها فرایندی است که اگرچه از نظر آنتالپی مطلوب است ولی آنتروپی را به مقدار زیادی کاهش می دهد. چرا؟
- ۲- انحلال پتاسیم هیدروکسید و پتاسیم نیترات در آب به ترتیب گرماده و گرماگیر است. اگر حین این دو انحلال هیچ گونه مبادله ی انرژی با محیط پیرامون وجود نداشته باشد، دمای محلول آن ها چه تغییری می کند؟ چرا؟

## بیش تر بدانید

اغلب، ورزشکاران برای درمان آسیب دیدگی های خود از بسته هایی استفاده می کنند که فوری سرما یا گرما فراهم می کند. طرز کار این بسته ها که از جمله ی وسایل کمک های اولیه به شمار می آیند، بر پایه ی آنتالپی انحلال استوار است. این بسته ها از یک کیسه ی پلاستیکی تشکیل شده اند که درون آن، یک بسته ی کوچک آب و یک ماده ی شیمیایی به صورت گرد وجود دارد. ضربه زدن به کیسه ی پلاستیکی موجب می شود که بسته ی کوچک آب پاره شده، ماده ی شیمیایی در آن حل شود. اگر انحلال ماده ی شیمیایی در آب گرماده باشد، دمای بسته افزایش و اگر این انحلال گرماگیر باشد، دمای بسته کاهش می یابد.

از کلسیم کلرید معمولاً در بسته های تولید کننده ی گرما و از آمونیوم نیترات معمولاً در بسته های تولید کننده ی سرما استفاده می شود. فرایند انحلالی که در هر مورد رخ می دهد، عبارت است از:



بسته های تولید کننده ی سرما و گرما که در بازار به فروش می رسند. بسته ی ایجاد کننده ی سرما دارای آمونیوم نیترات و آب و بسته ی آزاد کننده ی گرما دارای کلسیم کلرید و آب است.

آزمایش ها نشان می دهد که افزودن ۴۰ گرم  $\text{CaCl}_2$  (۳۶ / ۰ مول  $\text{CaCl}_2$ ) به ۱۰۰ میلی لیتر آب  $20^{\circ}\text{C}$ ، دمای آب را تا  $9^{\circ}\text{C}$  افزایش می دهد. از سوی دیگر، هرگاه ۳۰ گرم  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (۳۸ / ۰ مول  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) را به ۱۰۰ میلی لیتر آب  $20^{\circ}\text{C}$  بیفزاییم، دمای آب به  $0^{\circ}\text{C}$  کاهش می یابد. بسته های تولید کننده ی سرما یا گرما، در حدود ۲۰ دقیقه کار می کنند.

## آزمایش کنید

هدف: نمایش دادن گرماگیر بودن فرایند انحلال آمونیوم نیترات.

وسایل مورد نیاز: بشر، هم زن، قاشقک، ترازو، شیشه ساعت، یک قطعه چوب به ابعاد

(۲×۱۰×۱۰ cm)

مواد مورد نیاز: آمونیوم نیترات، آب مقطر

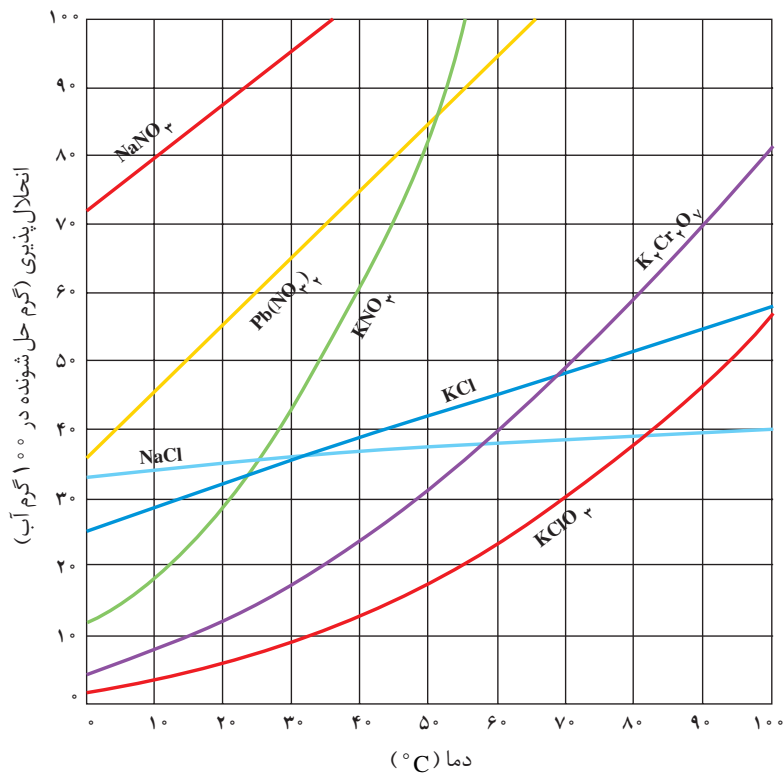
**روش کار:** ۲ mL آب را روی قطعه چوب بریزید و یک بشر ۵۰ mL را روی آن قرار دهید. ۱۰ g از آمونیوم نیترات را توزین کرده، درون بشر بریزید. مخلوط موجود در بشر را خوب هم بزنید تا نمک یاد شده به طور کامل در آب حل شود. حال تلاش کنید بشر را از روی چوب بلند کنید، چه مشاهده می کنید؟ مشاهده های خود را بنویسید. دمای محلول را در پایان آزمایش اندازه گیری کنید.

## هم چون دانشمندان

۱- شکل زیر نمودار انحلال پذیری چند ترکیب یونی را نشان می دهد. با دقت به این نمودار نگاه کنید و به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.

آ. اگر بخواهید محلول های سیر شده ای از پتاسیم کلرید در دماهای  $^{\circ}\text{C}$  ۴۰،  $^{\circ}\text{C}$  ۸۰ تهیه کنید، در هر مورد چند گرم KCl را باید در  $^{\circ}\text{C}$  ۱۰ گرم آب حل کرد؟  
ب. جدول زیر را کامل کنید. تأثیر دما بر انحلال پذیری  $\text{KNO}_3$  و KCl را با هم مقایسه کنید.

انحلال پذیری در آب			ماده ی حل شونده
$^{\circ}\text{C}$ ۵۰	$^{\circ}\text{C}$ ۳۰	$^{\circ}\text{C}$	
			$\text{KNO}_3$ KCl



نمودار انحلال پذیری برخی از ترکیب های یونی در آب

پ. محلول سیر شده‌ای از پتاسیم کلرات ( $\text{KClO}_3$ ) در دمای  $8^\circ\text{C}$  در اختیار دارید، اگر این محلول تا دمای  $0^\circ\text{C}$  سرد شود چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا در  $0^\circ\text{C}$  نیز محلول سیر شده است؟

۲. منحنی انحلال پذیری  $\text{AgNO}_3$  را با توجه به داده‌های جدول روبه‌رو روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید (گرم  $\text{AgNO}_3$  در  $10^\circ\text{C}$  گرم آب را روی محور عمودی و دما را روی محور افقی قرار دهید).

دما ( $^\circ\text{C}$ )	مقدار $\text{AgNO}_3$ (g / $100\text{gH}_2\text{O}$ )
۰	۱۲۲
۲۰	۲۱۶
۴۰	۳۱۱
۶۰	۴۴۰
۸۰	۵۸۵

آ. انحلال پذیری  $\text{AgNO}_3$  را در  $30^\circ\text{C}$  روی نمودار نشان دهید.  
 ب. در چه دمایی انحلال پذیری  $\text{AgNO}_3$ ،  $275$  گرم در  $100$  گرم آب است؟  
 پ. انحلال پذیری  $\text{AgNO}_3$  در آب گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟  
 ت. اگر در دمای  $10^\circ\text{C}$  مقدار  $98/5$  گرم  $\text{AgNO}_3$  به  $100$  گرم آب افزوده شود، محلول حاصل سیر شده یا سیر نشده است؟

## پیش‌بینی انحلال پذیری ترکیب‌های یونی در آب

با دسته‌بندی ترکیب‌های یونی به محلول و نامحلول می‌توان به‌طور کیفی و به کمک چند قاعده‌ی ساده، انحلال پذیری بسیاری از نمک‌های جامد را در آب پیش‌بینی کرد، جدول ۳.

جدول ۳ قواعد انحلال پذیری ترکیب‌های یونی در آب

ترکیب‌های دارای این یون‌ها در آب محلول هستند.	بجز هنگامی که با این یون‌ها همراه باشند.
$\text{NH}_4^+$ (آمونیم) و کاتیون فلزهای قلیایی	—
$\text{NO}_3^-$ (نیترات‌ها) و $\text{ClO}_3^-$ (کلرات‌ها)	—
$\text{Cl}^-$ ، $\text{Br}^-$ و $\text{I}^-$ (کلریدها، برمیدها و یدیدها)	$\text{Ag}^+$ ، $\text{Hg}_2^{2+}$ ، $\text{Cu}^+$ ، $\text{Pb}^{2+}$
$\text{SO}_4^{2-}$ (سولفات‌ها)	$\text{Ag}^+$ ، $\text{Hg}_2^{2+}$ ، $\text{Sr}^{2+}$ ، $\text{Pb}^{2+}$ ، $\text{Ba}^{2+}$ ، $\text{Ca}^{2+}$

ترکیب‌های دارای این یون‌ها در آب نامحلول هستند.	بجز هنگامی که با این یون‌ها همراه باشند.
$\text{CO}_3^{2-}$ (کربنات‌ها) و $\text{PO}_4^{3-}$ (فسفات‌ها)	کاتیون فلزهای قلیایی و $\text{NH}_4^+$
$\text{OH}^-$ (هیدروکسیدها) و $\text{O}^{2-}$ (اکسیدها)	کاتیون فلزهای قلیایی و $\text{Sr}^{2+}$ ، $\text{Ba}^{2+}$ ، $\text{Ca}^{2+}$
$\text{S}^{2-}$ (سولفیدها)	کاتیون فلزهای قلیایی، قلیایی خاکی و $\text{NH}_4^+$

## خود را بیازمایید

ترکیب های یونی زیر را در دو دسته ی محلول و نامحلول قرار دهید.

$\text{PbS}$  ,  $\text{BaCl}_2$  ,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ,  $\text{CuBr}$  ,  $\text{Na}_2\text{S}$  ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

$\text{PbI}_2$  ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ,  $\text{CuO}$  ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ,  $\text{HgCl}_2$

## انحلال پذیری گازها در آب

می دانید که گازها در مایع ها حل شده، محلول ایجاد می کنند. در این میان، شناخت ویژگی های محلول آبی گازهای مختلف و اثر عواملی چون، نوع گاز، دما و فشار بر انحلال پذیری گازها در آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

## هم چون دانشمندان

۱- با استفاده از داده های جدول زیر، روی یک کاغذ شطرنجی نمودار انحلال پذیری (به گرم حل شونده در  $100^\circ\text{g}$  آب) سه گاز یاد شده را در برابر دما (به  $^\circ\text{C}$ ) رسم کنید. سپس به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.

انحلال پذیری سه گاز در دماهای مختلف برحسب  $100^\circ\text{gH}_2\text{O}$  در فشار  $1\text{ atm}$

گاز	دما ( $^\circ\text{C}$ )	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
$\text{CO}_2$		۰/۱۶۹	۰/۱۲۶	۰/۰۹۷	۰/۰۷۶	۰/۰۵۸
$\text{H}_2\text{S}$		۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۵
$\text{Cl}_2$		۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۳۳

آ. انحلال پذیری هر سه گاز را در  $45^\circ\text{C}$  تخمین بزنید.

ب. در چه دمایی انحلال پذیری گاز کلر  $5^\circ\text{g}$  در  $100^\circ\text{g}$  آب است؟

پ. محلولی که شامل  $10^\circ\text{g}$  /  $10^\circ\text{g}$  کربن دی اکسید در  $100^\circ\text{g}$  آب است، در  $35^\circ\text{C}$  چه

حالتی؛ سیر شده، سیر نشده یا فراسیر شده دارد؟

ت. انحلال پذیری گاز هیدروژن سولفید را در  $7^\circ\text{C}$  پیش بینی کنید.

ث. از این نمودارها چه نتیجه ای می گیرید؟

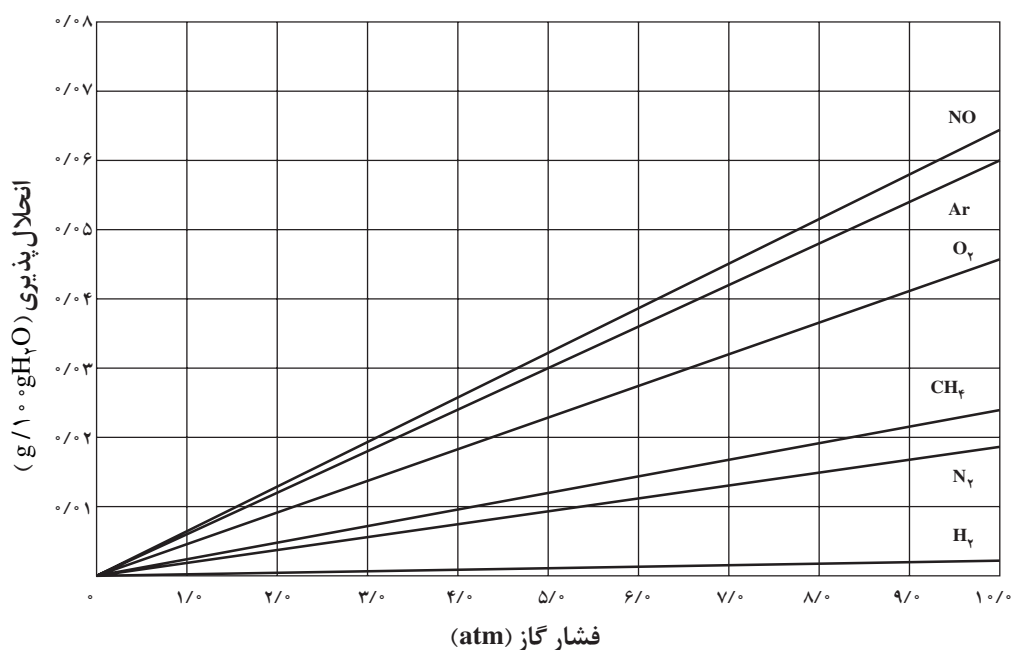
۲- انحلال پذیری در آب چند گاز در فشار  $1\text{ atm}$  و دمای  $25^\circ\text{C}$  در جدول صفحه ی

بعد داده شده است. از این داده ها چه نتیجه ای می گیرید؟ تفاوت های مشاهده شده را چگونه

توجیه می کنید؟

گاز	N <sub>۲</sub>	O <sub>۲</sub>	CO <sub>۲</sub>	NH <sub>۳</sub>	HCl
انحلال پذیری (g/۱۰۰gH <sub>۲</sub> O)	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۹	۰/۱۴۵	۴۷/۰	۶۹/۵

۳- نمودار زیر تأثیر فشار گاز بر انحلال پذیری چند گاز را در آب ۲°C نشان می دهد. ویلیام هنری در سال ۱۸۰۳ از تفسیر چنین داده هایی به یک نتیجه گیری مهم درباره ی انحلال پذیری گازها در آب دست یافت. این نتیجه گیری را که **قانون هنری** گفته می شود، در یک سطر بیان کنید.



## غلظت و دیگر روش های بیان آن

می دانید که غلظت یک محلول به صورت مقدار ماده ی حل شونده در مقدار معینی حلال یا مقدار ماده ی حل شونده ی موجود در مقدار معینی محلول تعریف می شود. در شیمی محلول ها، غلظت از اهمیت زیادی برخوردار است. بسیاری از واکنش ها در حالت محلول انجام می شوند و محاسبه های کمی برای این گونه واکنش ها بر مبنای غلظت آن ها صورت می گیرد. در بخش ۱ با غلظت مولی و کاربرد آن در این محاسبه ها آشنا شده اید. اما افزون بر این، در زندگی امروز نیز دانستن غلظت محلول ها و تفسیر آن ها اهمیت زیادی یافته است. از این رو، برای بیان غلظت روش های گوناگونی به کار می رود. در این جا با برخی دیگر از آن ها آشنا می شوید.

**درصد جرمی:** آیا تا به حال به برجسب محلول شست و شوی دهان توجه کرده اید؟ روی ظرف دارای این محلول این عبارت نوشته شده است: «محلول استریل سدیم کلرید

۹/۰ درصد برای شست و شو، غیرقابل تزریق»، شکل ۶.

عبارت «سدیم کلرید ۹/۰ درصد» نوعی بیان غلظت برای این محلول است. یعنی در هر ۱۰۰ گرم از این محلول ۹/۰ گرم سدیم کلرید وجود دارد و بقیه آن آب است. این نوع بیان غلظت را درصد جرمی می نامند. درصد جرمی با رابطه ی زیر نشان داده می شود:

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

توجه کنید که در صورت و مخرج باید از یک نوع یکای جرم استفاده شود. یعنی هر دو کمیت باید بر حسب میلی گرم، گرم یا کیلوگرم بیان شوند.



شکل ۶ محلول سدیم کلرید ۹W/W٪

### نمونه ی حل شده

۱/۷۵ گرم سدیم کلرید در ۵/۸۵ گرم آب حل شده است. درصد جرمی NaCl را در این محلول محاسبه کنید.

پاسخ:

آ. فهرست داده ها

$$\text{جرم حل شونده NaCl} = 1/75 \text{ g}$$

$$\text{جرم حلال H}_2\text{O} = 5/85 \text{ g}$$

$$\text{جرم محلول NaCl} = ? \text{ g}$$

ب. محاسبه ی جرم محلول

$$\text{جرم محلول} = \text{جرم حلال} + \text{جرم حل شونده} = 5/85 \text{ g} + 1/75 \text{ g} = 7/60 \text{ g}$$

پ. محاسبه ی درصد جرمی

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

$$\text{درصد جرمی} = \frac{1/75 \text{ g NaCl}}{7/60 \text{ g NaCl محلول}} \times 100 = 23/03\%$$

### خود را بیازمایید

۱- ۱/۴۴ سدیم هیدروکسید NaOH در ۴۵/۸۶ آب حل شده است. درصد

جرمی NaOH را در این محلول حساب کنید؟

۲- محلول ۵٪ جرمی سدیم نیترات تهیه شده است. در ۴۰ g از این محلول چند گرم

NaNO<sub>۳</sub> وجود دارد؟



برای محلول های بسیار رقیق، جرم حل شونده آن قدر کم است که معمولاً غلظت محلول آن به جای درصد برحسب قسمت در میلیون (ppm) بیان می شود.

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6$$

توجه کنید که در صورت و مخرج این رابطه باید از یک نوع یکای اندازه گیری جرم (گرم یا کیلوگرم) استفاده کرد.

از ppm برای بیان مقادیر بسیار کم کاتیون ها و آنیون ها در آب دریا، بدن جانداران، بافت های گیاهی و میزان آلاینده های هوا (ذره های معلق یا گازهای آلاینده) استفاده می شود. در جدول زیر مقدار برخی عناصرها در آب دریا با واحد ppm بیان شده است.

یون	$\text{Cl}^- (\text{aq})$	$\text{Na}^+ (\text{aq})$	$\text{Ca}^{2+} (\text{aq})$	$\text{K}^+ (\text{aq})$
غلظت (ppm)	۱۹۰۰۰	۱۰۶۰۰	۴۰۰	۳۸۰

**درصد حجمی:** گاهی در آزمایشگاه از شما خواسته می شود که محلولی از دو مایع قابل امتزاج (مایع هایی که به هر نسبت با هم مخلوط می شوند) تهیه کنید. در چنین مواردی ساده ترین راه برای بیان غلظت محلول حاصل، درصد حجمی است. درصد حجمی، حجم حل شونده را در ۱۰۰ واحد حجم محلول بیان می کند و با رابطه ی زیر نشان داده می شود.

$$\text{درصد حجمی} = \frac{\text{حجم حل شونده}}{\text{حجم محلول}} \times 100$$

توجه کنید که در صورت و مخرج این رابطه باید از یک نوع یکای اندازه گیری حجم (لیتر یا میلی لیتر) استفاده شود.

## خود را بیازمایید

۱- در ۲۰۰ mL محلول ۹۶٪ حجمی اتانول - آب چند میلی لیتر اتانول و چند میلی لیتر آب وجود دارد؟ در این محلول، اتانول را حلال در نظر بگیرید.

۲- درصد حجمی اتانول را در محلولی شامل ۴۸۰ mL آب و ۱۶۰ mL اتانول، محاسبه کنید.

۳- برای تهیه ۵۰۰ mL محلول ۳۵٪ حجمی استون - آب به چند لیتر استون به عنوان حل شونده نیاز است؟

## غلظت معمولی: جرم حل شونده ی (به گرم) موجود در یک لیتر محلول را غلظت معمولی آن محلول می نامند و آن را با رابطه ی زیر نشان می دهند:

$$\text{غلظت معمولی} = \frac{\text{جرم حل شونده به گرم}}{\text{حجم محلول به لیتر}}$$

## نمونه‌ی حل شده

در ۵۰ mL محلول پتاسیم کلرید ۴ g از این ماده وجود دارد، غلظت معمولی این محلول را محاسبه کنید.

آ. فهرست داده‌ها

$$۴ \text{ g} = \text{جرم پتاسیم کلرید}$$

$$۵۰ \text{ mL} = \text{حجم محلول}$$

$$? \text{ g.L}^{-1} = \text{غلظت معمولی}$$

ب. محاسبه‌ی غلظت معمولی

$$\text{غلظت معمولی} = \frac{\text{مقدار ماده‌ی حل شونده به گرم}}{\text{حجم محلول به لیتر}}$$

$$\text{محلول } ۸۰ \text{ g.L}^{-1} \text{ KCl} = \frac{۴ \text{ g KCl}}{۵۰ \text{ mL KCl محلول}} \times \frac{۱۰۰۰ \text{ mL KCl محلول}}{۱ \text{ L KCl محلول}}$$

## خود را بیازمایید

در ۲۵۰ mL محلول منیزیم نیترات ۴۰ g از این ماده وجود دارد. غلظت معمولی این محلول را محاسبه کنید.

## فکر کنید

برای محلول‌های بسیار رقیق یک حل شونده در آب، می‌توان ppm را به صورت میلی گرم حل شونده‌ی موجود در یک لیتر محلول - یعنی هر ppm را هم ارز یک میلی گرم در لیتر - تعریف کرد. چرا؟

**غلظت مولار:** غلظت مولار رایج‌ترین روش برای بیان غلظت است. با این غلظت در بخش ۱ آشنا شدید.

## خود را بیازمایید

۱- در ۱/۶۰ L محلول سدیم سولفات ۱۴ g از این ماده حل شده است. غلظت مولار این محلول را حساب کنید؟

۲- در ۷۵ mL محلول  $۰/۲۲ \text{ mol.L}^{-1}$  لیتیم کلرید چند گرم LiCl حل شده است؟

**غلظت مولال:** اگر یک مول پتاسیم کلرید (۷۴/۵۴ گرم KCl) را در یک کیلوگرم آب حل کنید، محلولی با غلظت ۱ مولال تهیه کرده‌اید. غلظت مولال، مول ماده‌ی حل شده در یک کیلوگرم حلال (۱۰۰۰ گرم حلال) را بیان می‌کند. غلظت مولال در مطالعه‌ی خواص

کولیگاتیو محلول‌ها به کار می‌رود. با این خواص در ادامه‌ی این بخش آشنا خواهید شد.

## فکر کنید

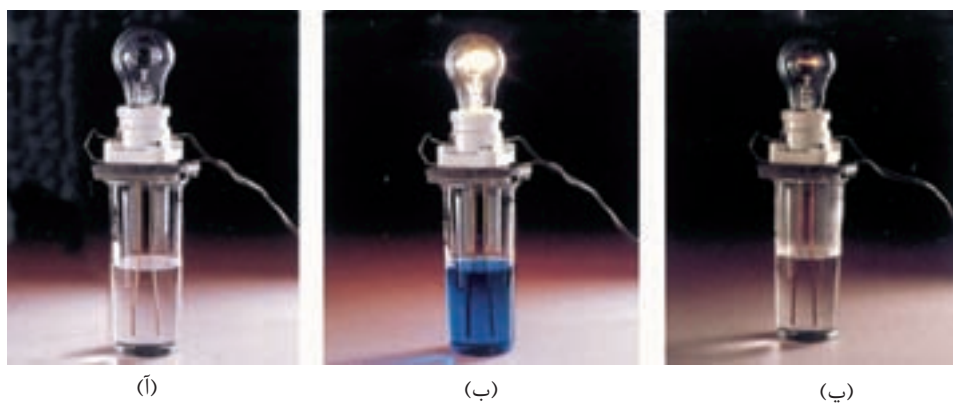
۱۰۰ mL محلول یک مولار پتاسیم کلرید سنگین‌تر است یا ۱۰۰ mL محلول یک مولال آن؟ حجم حلال در کدام یک بیش‌تر است؟ پاسخ‌های خود را توضیح دهید.

## محلول‌های الکترولیت و غیر الکترولیت

همان‌طوری که می‌دانید محلول‌های آبی دارای یون، جریان برق را از خود عبور می‌دهند. آب خالص به مقدار بسیار کم یونیده می‌شود و رسانایی الکتریکی ضعیفی دارد. رسانایی الکتریکی محلول ترکیب‌هایی مانند  $\text{HCl}$ ،  $\text{NaCl}$ ،  $\text{NH}_3$  و  $\text{HF}$  از آب خالص بیش‌تر است. این مواد را **الکترولیت** و محلول آبی آن‌ها را **محلول الکترولیت** می‌نامند. یک ماده‌ی الکترولیت به طور کامل یا به مقدار کم در آب یونیده می‌شود. اغلب محلول‌هایی که از حل کردن ترکیب‌های یونی یا ترکیب‌های کووالانسی قطبی در آب به دست می‌آیند، الکترولیت هستند.

## فکر کنید

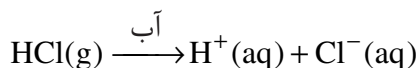
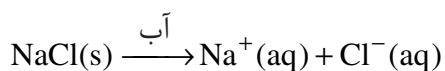
در شکل زیر رسانایی الکتریکی چند محلول آبی با هم مقایسه شده است. کدام یک از این محلول‌ها الکترولیت و کدام یک غیرالکترولیت است؟ علت تفاوت در رسانایی الکتریکی محلول‌های الکترولیت را چگونه شرح می‌دهید؟



سنجش میزان رسانایی الکتریکی چند محلول

آ. محلول شکر (ساکاروز) در آب    ب. محلول  $\text{CuSO}_4$  در آب    پ. محلول آمونیاک در آب

محلول آبی موادی مانند اتانول و استون رسانای جریان برق نیست. این مواد **غیرالکترولیت** و محلول حاصل را **محلول غیرالکترولیت** می نامند. مواد غیرالکترولیت در محلول به صورت مولکولی حل می شوند و بر اثر انحلال، یون ایجاد نمی کنند. الکترولیت ها از نظر رسانایی الکتریکی به دو دسته ی قوی و ضعیف تقسیم می شوند. به الکترولیت هایی مانند NaCl (یک ترکیب یونی) و HCl (یک ترکیب کووالانسی) که به هنگام انحلال در آب به ترتیب به طور کامل تفکیک یا یونیده می شوند، **الکترولیت قوی** می گویند.



الکترولیت هایی مانند HF و NH<sub>3</sub> به هنگام انحلال در آب به طور عمده به صورت مولکولی حل شده، تعداد کمی از مولکول های حل شونده ی آن ها یونیده می شود. تعداد یون در محلول این الکترولیت ها کم است. چنین محلول هایی **الکترولیت ضعیف** نامیده می شوند. برای نمونه در محلول ۱/۱ مولار HF از هر ۱۰۰۰ مولکول تقریباً ۸۰ مولکول آن یونیده می شود. بقیه یعنی ۹۲۰ مولکول HF به صورت یونیده نشده در محلول باقی می ماند.

## خود را بیازمایید

۱- معادله ی تفکیک یونی هر یک از ترکیب های یونی زیر را در آب بنویسید.



۲- در میان ترکیب های زیر الکترولیت ها را مشخص کنید. از میان این الکترولیت ها،

محلول یک مولار کدام یک، رسانای الکتریکی قوی تری است؟ چرا؟



## درصد تفکیک یونی

می دانید برخی ترکیب ها مانند HF و NH<sub>3</sub> الکترولیت هستند و در محلول به مقدار کم یونیده می شوند. برای مقایسه تمایل ترکیب های کووالانسی محلول در آب به یونش در هنگام حل شدن، از مفهوم درصد تفکیک یونی استفاده می شود. درصد تفکیک یونی با رابطه ی زیر نشان داده می شود.

$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{\text{تعداد مول های تفکیک شده}}{\text{تعداد کل مول های حل شونده}} \times 100$$

## نمونه‌ی حل شده

در  $20^{\circ}\text{C}$  غلظت یون  $\text{H}^{+}$  محلول  $0.100 \text{ mol.L}^{-1}$  فرمیک اسید ( $\text{HCOOH}$ )  $0.00421 \text{ mol.L}^{-1}$  است. درصد تفکیک یونی این اسید را محاسبه کنید.

$$\text{درصد تفکیک یونی} = \frac{\text{تعداد مول های تفکیک شده}}{\text{تعداد مول های حل شونده}} \times 100 = \frac{0.00421 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}}{0.100 \text{ mol.L}^{-1}} \times 100 = 0.421\%$$

## خود را بیازمایید

اگر در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  درصد تفکیک یونی محلول  $0.200 \text{ mol.L}^{-1}$  استیک اسید ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )  $0.935\%$  باشد، غلظت مولی  $\text{H}^{+}$  در این محلول را محاسبه کنید؟

درصد تفکیک یونی به دما و غلظت بستگی دارد. هرچه درصد تفکیک یونی الکترولیتی در دما و غلظت مشخص بیش تر باشد، آن الکترولیت قوی تر است. اغلب الکترولیت های قوی رسانای خوب جریان برق نیز هستند.

## بیش تر بدانید

در محلول الکترولیت بین یون ها جاذبه وجود دارد و یون ها برخلاف مواد حل شونده‌ی مولکولی کاملاً مستقل از یک دیگر نیستند. نیروهای الکتریکی که بین یون های با بار الکتریکی مخالف وجود دارد، از میزان مستقل بودن این یون ها می کاهد. این تأثیر به وسیله‌ی شیمی دانی به نام وانت هوف مطالعه شده است. وانت هوف با معرفی کمیتی به نام **ضریب وانت هوف** ( $i$ ) این تأثیر را به صورت کمی شرح داد. برای مثال در محلول های  $\text{MgSO}_4$  و  $\text{NaCl}$  گرچه به ازای یک مول از هر ماده‌ی حل شونده دو مول یون تولید می شود، اما تأثیر جاذبه های بین یونی در محلول  $\text{MgSO}_4$  بیش تر از محلول  $\text{NaCl}$  با همان غلظت است. به طوری که در محلول  $0.01 \text{ mol.L}^{-1}$  مول آن ها مقدار  $i$  برای  $\text{MgSO}_4$  برابر با  $1/82$  و برای  $\text{NaCl}$  برابر با  $1/97$  است. این عددها نشان می دهد که تعدادی از یون های با بار مخالف در کنار هم قرار گرفته اند. از کنار هم قرار گرفتن این یون ها گونه هایی خنثی به نام **جفت یون** به وجود می آید. تشکیل این گونه ها از تعداد یون های موجود در محلول می کاهد. با رقیق شدن محلول، یون ها از یک دیگر دور و دورتر می شوند و به این ترتیب تأثیر آن ها بر یک دیگر و درواقع تعداد جفت یون ها به تدریج کاهش می یابد. از این رو، مقدار  $i$  به مقدار حدی خود نزدیک می شود. برای نمونه مقدار  $i$  برای محلول  $\text{NaCl}$  از لحاظ نظری برابر ۲ است (دو یون  $\text{Na}^{+}$  و  $\text{Cl}^{-}$ ) اما در عمل به علت جاذبه‌ی بین یونی، این مقدار کم تر از ۲ است. این مقدار همان طور که در جدول زیر می بینید با رقیق شدن محلول  $\text{NaCl}$  به مقدار حدی آن نزدیک می شود.



یاکوب وانت هوف  
(۱۸۵۲-۱۹۱۱)

غلظت مولال $\text{NaCl}$	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱
مقدار $i$	۱/۸۷	۱/۹۴	۱/۹۷

## خواص کولیگاتیو محلول‌ها

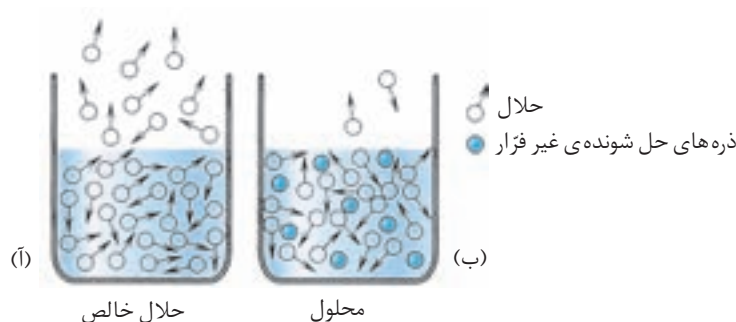
تجربه نشان می‌دهد که برای یک محلول شامل حلال و یک حل‌شونده‌ی غیر فرار نقطه‌ی جوش، نقطه‌ی انجماد و فشار بخار برای حلال در حالت محلول و حلال خالص تفاوت می‌کند. این خواص که به تعداد ذره‌های حل‌شونده‌ی غیر فرار موجود در محلول (نه به نوع و خواص شیمیایی ذره‌ها) بستگی دارند، **خواص کولیگاتیو** نامیده می‌شود.

حل‌شونده‌ی غیر فرار به ماده‌ای گفته می‌شود که در دمای اتاق فشاربخار بسیار ناچیزی داشته باشد. این گونه مواد می‌توانند جامد مانند انواع نمک‌ها یا مایع‌هایی با نقطه جوش بالا باشند.

## فشار بخار

اگر در یک بشر مقداری آب بریزید و آن را برای مدتی روی میز قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که آب به تدریج تبخیر شده، سطح آب درون بشر پایین می‌آید. مایع‌ها در هر دمایی تبخیر می‌شوند. سرعت تبخیر سطحی هر مایع به تعداد مولکول‌های موجود در سطح مایع بستگی دارد. هرچه تعداد این مولکول‌ها بیشتر باشد، سرعت تبخیر مایع بیشتر خواهد بود. اکنون با دقت به شکل ۷ نگاه کنید. به نظر شما در کدام ظرف سرعت تبخیر سطحی بیشتر است؟ چرا؟

مایع فرار به مایعی گفته می‌شود که نقطه‌ی جوش آن کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  باشد.



شکل ۷ تبخیر مولکول‌های مایع

آ. حلال خالص    ب. محلول دارای ماده‌ی حل‌شونده‌ی غیر فرار

مولکول‌های گریخته از سطح مایع با دیواره‌ی داخلی بشر، مولکول‌های هوا و سطح مایع برخورد می‌کند و به این ترتیب بخار ایجاد شده فشاری به اطراف خود وارد می‌کند. در دمای معین این فشار مقداری ثابت است و به آن **فشار بخار** مایع گفته می‌شود. با توجه به شکل ۷ آیا می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ثابت، حل شدن یک حل‌شونده‌ی غیر فرار در یک مایع باعث کاهش فشار بخار محلول در مقایسه با مایع (حلال) خالص می‌شود؟ به نظر شما غلظت حل‌شونده چه تأثیری بر این فشار خواهد داشت؟

## نقطه‌ی جوش محلول‌ها

اندازه‌گیری نقطه‌ی جوش محلول‌ها و مقایسه‌ی آن با نقطه‌ی جوش حلال خالص نشان می‌دهد که برای مثال نقطه‌ی جوش محلول شکر در آب یا محلول آب نمک بیش‌تر از

آب خالص است. اما چرا؟ برای پاسخ به این پرسش، باید بدانید جوشیدن چه موقع روی می دهد؟ جوشیدن زمانی رخ می دهد که فشار بخار مایع با فشار هوا روی سطح مایع (فشار محیط) برابر شود. آب خالص در فشار ۱ اتمسفر در  $100^{\circ}\text{C}$  به جوش می آید. در واقع در این دما فشار بخار آب به ۱ atm می رسد. این در حالی است که، فشار بخار محلول شکر در آب کمتر از آب خالص است. از این رو برای رساندن فشار بخار این محلول به فشار ۱ atm، باید مولکول های آب از قسمت های زیرین محلول به سطح بیایند و سپس به مولکول های روی سطح محلول بپیوندند. چون این مولکول ها درون محلول از هر سو توسط مولکول های دیگر جذب می شوند، تحرک کمتری دارند و از این رو از انرژی کمتری نیز برخوردارند. در نتیجه برای تبخیر آن ها به انرژی بیش تری نیاز است. این موضوع سبب می شود که نقطه ی جوش محلول نسبت به حلال خالص افزایش یابد. به طور کلی نقطه ی جوش هر محلول دارای ماده ی حل شونده ی غیر فرار از حلال خالص آن بیش تر است.

## فکر کنید

- ۱- چرا در رادیاتور خودرو به جای آب خالص، استفاده از مخلوط آب و ضدیخ (اتیلن گلیکول) توصیه می شود؟
- ۲- نقطه ی جوش محلول ها برخلاف حلال خالص ثابت نیست و با گذشت زمان افزایش می یابد. چرا؟

## نقطه ی انجماد محلول ها

آب خالص در دمای  $0^{\circ}\text{C}$  یخ می زند، در حالی که محلول آب نمک در مقایسه با آب خالص، نقطه ی انجماد پایین تری دارد. از این خاصیت در زمستان به منظور سرعت بخشیدن به ذوب شدن یخ در پیاده روها و سطح پوشیده از برف جاده ها استفاده می شود، شکل ۸. به طور کلی انجماد هر محلول آبی که دارای حل شونده ی غیر فرار است، در دمایی پایین تر از  $0^{\circ}\text{C}$  رخ می دهد.



شکل ۸ استفاده از سدیم کلرید برای کاهش نقطه ی ذوب یخ به منظور ذوب کردن یخ سطح جاده ها

## فکر کنید

- ۱- کدام ترتیب پیشنهادی برای آنتروپی آب، یخ و یک محلول آبی درست است؟ چرا؟
 

ا. محلول $S$ > یخ $S$ > آب $S$	ب. آب $S$ > یخ $S$ > محلول $S$
پ. یخ $S$ > آب $S$ > محلول $S$	ت. یخ $S$ > محلول $S$ > آب $S$
- ۲- فرایند انجماد آب خالص و یک محلول آبی را در نظر بگیرید. با قرار دادن علامت

=، < یا > درون مربع رابطه‌ی دو کمیت خواسته شده (تغییر آنتروپی فرایند) را مشخص کنید.

(یخ → آب)  $\Delta S$       □      (یخ → محلول)  $\Delta S$

۳. به نظر شما کدام یک، آب خالص یا یک محلول آبی، با کاهش دما تمایل بیش‌تری برای منجمد شدن دارد؟ چرا؟

## هم‌چون دانشمندان

می‌دانید افزودن یک حل‌شونده‌ی غیر فرار به یک مایع موجب افزایش نقطه‌ی جوش و کاهش نقطه‌ی انجماد مایع یاد شده می‌شود. آیا میزان افزایش نقطه‌ی جوش و کاهش نقطه‌ی انجماد برای همه‌ی محلول‌ها یکسان است؟

برای بررسی عوامل مؤثر در میزان افزایش نقطه‌ی جوش و کاهش نقطه‌ی انجماد یک محلول نسبت به حلال خالص آن، چند محلول آبی مطابق جدول زیر انتخاب و نقطه‌ی جوش و نقطه‌ی انجماد آن‌ها اندازه‌گیری شده است (فشار محیط آزمایشگاه ۱ atm بوده است).

مقایسه نقطه‌ی جوش و نقطه‌ی انجماد چند محلول آبی

حل‌شونده	شکر	شکر	سدیم کلرید	کلسیم کلرید	پتاسیم نیترات
غلظت مولال محلول آبی	۱	۲	۱	۱	۱
شروع نقطه‌ی جوش محلول، °C	۱۰۰/۵۲	۱۰۱/۰۴	۱۰۱/۰۴	۱۰۱/۵۶	؟
شروع نقطه‌ی انجماد محلول، °C	- ۱/۸۵	- ۳/۷۱	- ۳/۷۱	- ۵/۵۵	؟
تعداد مول ذره‌های حل‌شونده‌ی موجود					

آ. ردیف آخر این جدول را کامل کنید.

ب. دو مقایسه‌ی زیر را انجام دهید. از این مقایسه‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱. نقطه‌ی جوش محلول ۱ مولال و ۲ مولال شکر.

۲. نقطه‌ی جوش محلول ۱ مولال سدیم کلرید و محلول ۲ مولال شکر.

پ. آیا با این اطلاعات می‌توانید نقطه‌ی جوش محلول یک مولال پتاسیم نیترات را

پیش‌بینی کنید؟

ت. میزان کاهش نقطه‌ی انجماد محلول‌های سدیم کلرید، کلسیم کلرید و محلول

۱ مولال شکر نسبت به آب خالص چگونه است؟ از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ث. آیا با اطلاعات به دست آمده می‌توانید نقطه‌ی انجماد محلول یک مولال پتاسیم

نیترات را پیش‌بینی کنید؟



## کلویدها

کلویید از واژه‌ی یونانی *Kolla* به معنای چسب گرفته شده است.

در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام واژه‌ای را معرفی کرد که امروزه از دید علمی و فناوری اهمیت زیادی یافته است. رنگ‌های پوششی، سرامیک‌ها، مواد آرایشی، پاک‌کننده‌ها، مواد غذایی و بسیاری دیگر که زندگی روزانه‌ی ما به شدت به وجود آن‌ها وابسته شده است، اهمیت این واژه یعنی **کلویید** را پیوسته به ما یادآور می‌شود، شکل ۹.



شکل ۹ نمونه‌هایی از کلویید؛ سُس مایونز، رنگ‌های پوششی، کف، سنگ‌پا، افشانه‌ها و چسب‌ها

کلوییدها که مخلوط‌هایی ناهمگن به شمار می‌آیند، برخلاف محلول‌ها که شفاف هستند ظاهری کدر یا مات دارند. ذره‌های تشکیل دهنده‌ی آن‌ها به اندازه‌ی کافی درشت است که بتوانند نور مری را پخش کنند. به طوری که مسیر عبور نور از میان کلوییدها، قابل دیدن است، شکل ۱۰. آ. بی‌تردید این پدیده را که **اثر تیندال** گفته می‌شود، بارها در زندگی روزانه تجربه کرده‌اید، شکل ۱۰. ب.

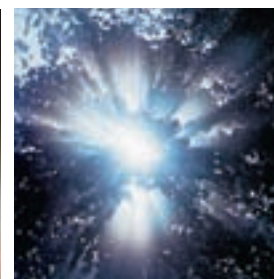


جان تیندال  
(۱۸۹۳ - ۱۸۲۰)  
فیزیک‌دان بریتانیایی

(آ)



(ب)



شکل ۱۰. اثر تیندال، آ. مقایسه‌ی پخش نور در محلول و کلویید. ب. نمونه‌ای از مشاهده‌ی اثر تیندال در زندگی روزانه پرتوهای خورشید در هوای مه‌آلود یا آلوده به غبار

مانند محلول ها، ذره های سازنده ی یک کلویید پس از مدتی ماندگاری ته نشین نمی شود. حتی با صافی نیز نمی توان آن ها را جدا کرد. این ویژگی های ظاهری سبب می شود که بتوان کلویید را پلی میان محلول و سوسپانسیون در نظر گرفت، جدول ۳.

جدول ۳ مقایسه ی برخی ویژگی های کلوییدها با محلول ها و سوسپانسیون ها

نوع مخلوط	حداقل اجزای تشکیل دهنده	تعداد فازها	ذره های سازنده	اندازه ی ذره ها (nm)	نمونه
محلول	حلال و حل شونده	۱	یون ها یا مولکول ها	< ۱	حلال: آب آب نمک حل شونده: نمک خوراکی
کلویید	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	$\geq 2$	مولکول های بزرگ یا توده های مولکولی *	۱۰۰-۱	فاز پخش کننده: آب شیر فاز پخش شونده: قطره های چربی
سوسپانسیون	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	$\geq 2$	توده های مولکولی بزرگ یا ذره های بسیار کوچک ماده	> ۱۰۰	فاز پخش کننده: آب خاکشیر فاز پخش شونده: دانه های خاکشیر

\* ذره هایی که از گردهم آیی چند مولکول پدید می آید.

همانند محلول ها، کلوییدها نیز به سه حالت جامد، مایع و گاز یافت می شود، جدول ۴.

جدول ۴ انواع گوناگون کلویید

فاز پخش شونده	فاز پخش کننده	نام	نمونه ها
گاز	مایع جامد	کف کف جامد	کف صابون سنگ پا، یونالیت
مایع	گاز مایع جامد	آیروسول مایع امولسیون ژل	مه شیر، کره، مایونز ژله، ژل موی سر
جامد	گاز مایع جامد	آیروسول جامد سول سول جامد	دود، غبار رنگ های روغنی سنگ های گران بهایی هم چون یاقوت، لعل و فیروزه

## آزمایش کنید

### مایونز یک امولسیون خوراکی

اگر مخلوطی از روغن و سرکه را به هم بزنید، درخواهید یافت که نگه داشتن مخلوط این دو مایع در کنار هم، غیرممکن است. ما به این دو مایع، مخلوط نشدنی می گوییم. با توقف هم زدن، قطره های بسیار کوچک روغن به هم می پیوندند و بزرگ می شوند و سرانجام به شکل یک لایه ی جداگانه درمی آیند. به هر حال، اگر شما ماده ی سومی را به این دو مایع



مایونز

اضافه کنید که آن‌ها را پس از به هم خوردن در کنار هم پایدار نگه دارد، می‌توانید از گردهمایی قطره‌های روغن جلوگیری کنید. ماده‌ی سوم را یک عامل امولسیون کننده می‌نامند و مخلوط سه ماده یک امولسیون (کلوئید مایع در مایع) نامیده می‌شود.

در مایونز، این سه ماده عبارتند از: روغن مایع، سرکه و زرده‌ی تخم مرغ که نقش عامل امولسیون کننده را دارد. در این آزمایش اثر زرده‌ی تخم مرغ را در تهیه‌ی مایونز بررسی می‌کنید. **مواد و وسایل مورد نیاز:** دو زرده‌ی تخم مرغ، سرکه، نمک، روغن مایع، فنجان کوچک، کاسه‌ی کوچک، مخلوط کن دستی یا الکتریکی و ذره بین دستی.

### روش کار

**توجه:** این فعالیت را می‌توان در کلاس درس یا خانه انجام داد.

۱- ۱ mL سرکه در یک فنجان کوچک بریزید.

۲- ۲ mL روغن به فنجان اضافه کنید.

۳- دو مایع درون فنجان را به منظور مخلوط کردن آن‌ها به شدت به هم بزنید.

۴- پس از توقف به هم زدن، مشاهده خواهید کرد که دو مایع باز هم جدا از یک دیگر

قرار می‌گیرند.

۵- یک زرده‌ی تخم مرغ، مقداری نمک و ۱ mL سرکه، در یک کاسه‌ی تمیز بریزید.

۶- مخلوط را تا هنگامی که چسبناک شود، هم بزنید.

۷- در مدت به هم زدن، محتویات فنجان را به آرامی به کاسه اضافه کنید.

۸- به هم زدن را ادامه دهید تا امولسیون پایدار شود.

۹- برای دیدن جزییات بیش تر، از ذره بین دستی استفاده کنید.

### آن چه که روی می‌دهد

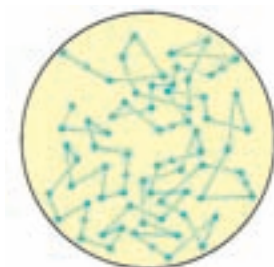
لسیتین در زرده‌ی تخم مرغ به عنوان عامل امولسیون کننده عمل می‌کند. مولکول‌های لسیتین لایه‌ای در اطراف قطره‌های روغن تشکیل می‌دهند که مانع از جمع شدن آن‌ها و تشکیل قطره‌های بزرگ تر می‌شود. لسیتین و مولکول‌های امولسیون کننده‌ی دیگر، دارای نواحی آب گریز هستند که به روغن - که آن هم آب گریز است - می‌چسبند. سر دیگر یک مولکول امولسیون کننده، معمولاً آب دوست است و با آب بر هم کنش می‌کند. به این ترتیب عامل امولسیون کننده پلی بین مولکول‌های آب و روغن تشکیل می‌دهد.

## ویژگی‌های دیگر کلویید

**ذره‌های کلویید پیوسته در جنب و جوش هستند**

اگر یک قطره شیر را با میکروسکوپ نوری به دقت نگاه کنید، ذره‌های تشکیل دهنده‌ی

آن را در حال جنب و جوش دائمی می بینید. ذره های کلوییدی هنگامی که به هم می رسند، در برخورد با یک دیگر تغییر جهت می دهند. به این حرکت دائمی و نامنظم ذره های کلوییدی **حرکت براونی** می گویند، شکل ۱۰.



شکل ۱۰ حرکت براونی ذره های کلوییدی. به نظر شما عامل ایجاد این حرکت چیست؟



رابرت براون  
(۱۷۷۳-۱۸۲۷)  
گیاه پزشک انگلیسی

### ذره های کلوییدی بار الکتریکی دارند!

بررسی های تجربی نشان داده است که ذره های کلوییدی می توانند ذره های باردار مانند یون ها را در سطح خود جذب کنند و به نوعی بار الکتریکی دست یابند. این بار الکتریکی می تواند مثبت یا منفی باشد. پایداری کلوییدها (ته نشین نشدن فاز پخش شونده) را به وجود این بار الکتریکی نسبت می دهند.

### فکر کنید

با دقت به شکل زیر نگاه کنید و سپس به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.



۱- ذره های یک کلویید همگی بار الکتریکی یکسانی دارند ولی مقدار بار الکتریکی

آن ها می تواند متفاوت باشد. چرا؟

۲- آیا می توانید علت پایداری کلوییدها را توضیح دهید؟

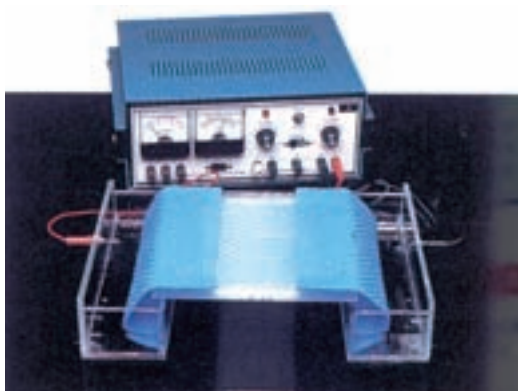
۳- با افزایش الکترولیت به یک کلویید، ذره های کلوییدی ته نشین می شود، این فرایند

را **لخته شدن** می گویند. این پدیده را چگونه توجیه می کنید؟

۴- شیر یک کلویید است. افزودن چه موادی به شیر سبب انعقاد آن می شود؟ چرا؟

**لخته شدن کلوییدها**  
افزودن مقداری از یک محلول الکترولیت به کلوییدها سبب لخته شدن آن ها می شود.

مطالعه‌ی حرکت ذره‌های کلوییدی باردار در میدان الکتریکی زمینه‌ی خوبی برای پژوهش‌های زیست‌شناختی روی پروتئین‌هاست. **الکتروفورز** دستگاهی است که به این منظور به‌کار می‌رود. درواقع با این دستگاه می‌توان با تنظیم pH محیط پروتئین‌ها را جداسازی و خالص‌سازی کرده، مورد مطالعه قرار داد.

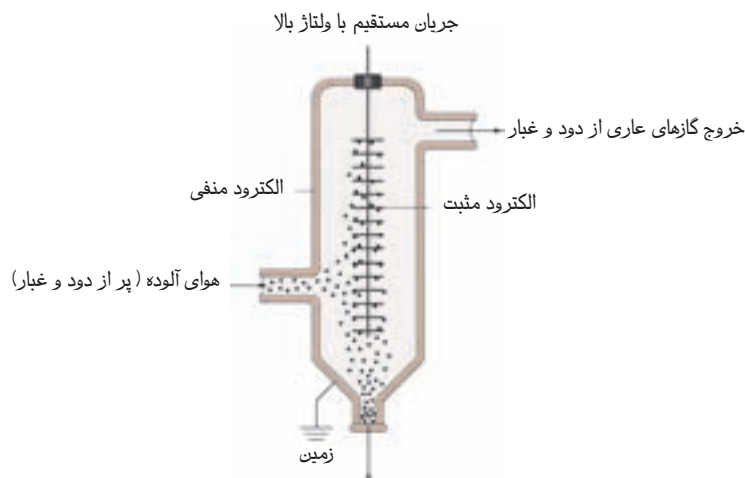


دستگاه الکتروفورز



این بیمار درحال تصفیه‌ی خون خود با دستگاه دیالیز است.

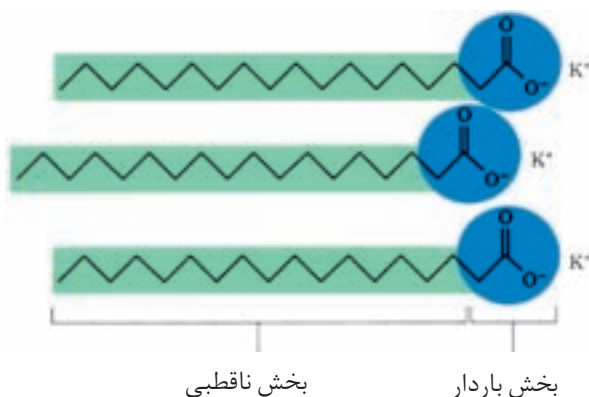
یکی از راه‌های پایدار کردن کلویدها کاهش غلظت یون‌های حاصل از الکترولیت‌ها در آن‌ها است. فرایند جداکردن یون‌ها از یک کلویید، دیالیز نام دارد. این کار معمولاً به کمک غشاهای مناسبی انجام می‌شود. امروزه از روش دیالیز به‌طور گسترده برای تصفیه خون افراد مبتلا به نارسایی کلیه استفاده می‌شود. برخی آلاینده‌های محیط زیست از نوع ذره‌های کلوییدی هستند. برای پالایش هوای آلوده به این ذره‌ها از **رسوب‌دهنده‌ی کوتزل** استفاده می‌شود. در این دستگاه آلاینده‌هایی مانند دود و گرد و غبار در یک میدان الکتریکی قوی قرار می‌گیرند و چون بار الکتریکی دارند، جذب صفحه‌های باردار این دستگاه می‌شوند. پس از خنثی شدن بار الکتریکی، این ذره‌ها به پایین سقوط می‌کنند.



آلاینده‌های رسوب داده شده (خروجی دستگاه)  
رسوب‌دهنده‌ی کوتزل

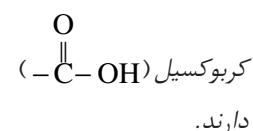
## صابون و نقش امولسیون کنندگی آن

چرک لباس و پوست بدن بیش تر از جنس چربی است. چربی و آب در حالت عادی در یک دیگر حل نمی شوند. به همین دلیل آب نمی تواند همه ی چرک ها را جدا کند. برای برداشتن بهتر چرک ها باید امولسیون پایداری از چرک ها در آب ایجاد کرد. این کار به کمک پاک کننده ها انجام می شود. صابون یکی از رایج ترین پاک کننده ها است. صابون نمک سدیم، آمونیوم یا پتاسیم اسیدهای چرب دراز زنجیر است. جزء آنیونی صابون دو بخش دارد، شکل ۱۱. یک بخش زنجیر هیدروکربنی، آب گریز است و سر ناقطبی صابون را تشکیل می دهد. این بخش مولکول در حلال های ناقطبی حل می شود. بخش دیگر صابون سر قطبی و آب دوست آن است. این بخش مولکول، در حلال های قطبی مانند آب حل می شود.



شکل ۱۱ ساختار مولکول های صابون

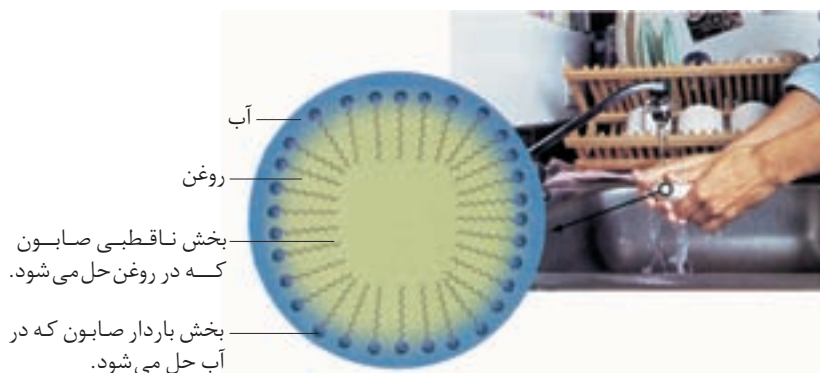
اسیدهای چرب دراز زنجیر دسته ای از اسیدهای آلی هستند که در روغن های گیاهی یا در چربی جانوران یافت می شوند. این ترکیب ها دارای یک زنجیر هیدروکربنی سیر شده یا سیر نشده ی بزرگ با ۱۶ تا ۲۲ اتم کربن هستند. همان طوری که می دانید اسیدهای آلی گروه عاملی



صابون جامد نمک سدیم اسید چرب و صابون مایع نمک پتاسیم یا آمونیوم اسید چرب است.

## فکر کنید

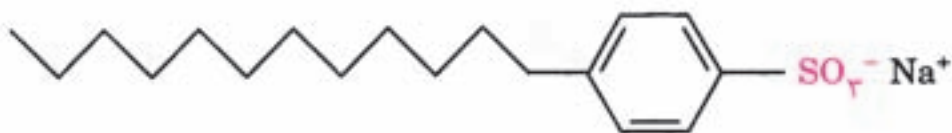
با دقت به شکل زیر نگاه کنید، هنگامی که دست های خود را با صابون می شوئیم در واقع یک امولسیون از قطره های روغن پخش شده در آب ایجاد می کنیم که این امولسیون به کمک صابون پایدار می شود. اگر این گفته را بپذیرید، تشکیل کف (کلوئید گاز در مایع) به هنگام شست و شوی دست با صابون را چگونه توجیه می کنید؟





## پاک کننده های غیرصابونی

در سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم شیمی پاک کننده های غیرصابونی به بازار عرضه شدند. در این پاک کننده ها به جای گروه کربوکسیلات ( $\text{CO}_2^-$ ) صابون گروه های دیگری از جمله گروه سولفونات ( $\text{SO}_3^-$ ) قرار گرفته است. سدیم دو دسیل بنزن سولفونات نمونه ای از پاک کننده های غیرصابونی است، شکل ۱۲. در این پاک کننده ها چربی ها به زنجیر آلکیل می چسبند و گروه سولفونات که انتهای باردار پاک کننده را تشکیل می دهد، سبب بخش شدن چربی ها در آب می شود.

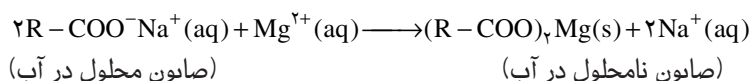


شکل ۱۲ ساختار سدیم دو دسیل بنزن سولفونات بدون شاخه‌ی فرعی

## بیشتر بدانید

## برتری پاک‌کننده‌های غیرصابونی

می‌دانید آب سخت غلظت بالایی از یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  دارد. وقتی صابون به این نوع آب وارد شود، یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  جاذبه‌ی قوی با جزء آنیونی صابون برقرار می‌کنند و به این ترتیب صابون نامحلولی تشکیل می‌دهند.



در پاک‌کننده‌های غیرصابونی از گروه سولفونات  $\text{SO}_3^-$  به جای گروه کربوکسیلات  $\text{CO}_2^-$  صابون استفاده شده است. گروه سولفونات برخلاف گروه کربوکسیلات با یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  ترکیب‌هایی انحلال‌پذیر می‌دهد. به همین دلیل پاک‌کننده‌های غیرصابونی در آب سخت به خوبی کف می‌کنند.

## بیش تر بدانید

### شیمی تجزیه علم جمع‌آوری، پردازش و برقراری ارتباط میان داده‌های مربوط به ترکیب و ساختار

ماده است. به بیان دیگر، شیمی تجزیه آمیزه‌ای از علم و هنر است که نوع و مقدار یک ماده را تعیین می‌کند.

کارشناس‌های شیمی تجزیه به کمک شگردهایی نظیر نمونه‌برداری، جداسازی، غلیظ‌سازی و ... ، به تجزیه و تحلیل کمی و کیفی مواد می‌پردازند. آن‌ها با استفاده از ابزار و وسایلی که در اختیار دارند و به کمک دانش شیمی، رایانه و آمار، مسایل گوناگونی را حل می‌کنند که به نوعی به علم شیمی مربوط هستند.

برای مثال، فعالیت این افراد در زمینه‌ی تأیید سلامتی و کیفیت مواد غذایی، دارویی، بهداشتی و آب و فرایند تولید این مواد، کمک زیادی به تولیدکنندگان می‌کند. هم‌چنین، آن‌ها در تشخیص بیماری‌ها به پزشکان یاری می‌رسانند. کارشناس‌های شیمی تجزیه فرصت‌های شغلی مختلفی در زمینه‌های پژوهشی، صنعت، آموزش، مشاغل دولتی، بازرگانی و نیروی انتظامی دارند.

---

---

## بیش‌تر بخوانید

۱- محلول‌ها، صدیقه عدنانی حسینی، مریم سراجیان، فاطمه محسنی، چاپ نخست، ۱۳۸۲، انتشارات محراب قلم.

۲- مایع‌ها و محلول‌های آبی، بهزاد پاکروح، چاپ نخست، ۱۳۸۴، انتشارات اندیشه‌سرا.

---

---



## واژه نامه

واکنش شیمیایی	chemical reaction	۲ فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده‌ی شیمیایی بر هم اثر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای ایجاد می‌کنند.
معادله‌ی نوشتاری	word equation	۲ یک معادله‌ی شیمیایی که در آن نام واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) نوشته می‌شود.
معادله‌ی نمادی	symbol equation	۳ یک معادله‌ی شیمیایی که در آن فرمول شیمیایی واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) نوشته می‌شود.
معادله‌ی شیمیایی	chemical equation	۳ رابطه‌ای است که به کمک آن فرمول شیمیایی و نسبت واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) در یک واکنش شیمیایی نمایش داده می‌شود و مانند معادله‌های ریاضی از چپ به راست نوشته می‌شود.
واکنش دهنده	reactant	۳ ماده‌ی آغازی یا اولیه‌ی واکنش
فراورده	product	۳ محصول واکنش، ماده‌ی پایانی یا نهایی واکنش
استوکیومتری	stoichiometry	۱۴ دانش مطالعه‌ی روابط کمی در واکنش‌های شیمیایی
واکنش گر محدودکننده	limiting reactant	۱۴ واکنش دهنده‌ای که مقدار فراورده‌ی واکنش را تعیین می‌کند.
موازنه کردن	balancing	۳ برابر کردن تعداد اتم‌ها در دو سوی یک معادله‌ی شیمیایی
حالت فیزیکی	physical state	۳ یکی از حالت‌های جامد، مایع یا گاز که ماده مشاهده می‌شود.
روش وارسی	inspection method	۵ روشی برای موازنه کردن معادله‌های شیمیایی از طریق شمارش نوبتی اتم‌ها در دو سوی معادله
واکنش ترکیب (سنتز)		
	combination (synthesis) reaction	۶ واکنشی که در آن چند ماده با هم ترکیب شده فراورده‌ی تازه‌ای تولید می‌شود.
واکنش تجزیه	decomposition reaction	۶ واکنشی که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود.
واکنش سوختن	combustion	۶ به واکنشی که در آن یک ماده به سرعت با اکسیژن ترکیب می‌شود و طی آن مقداری انرژی به صورت نور و گرما آزاد می‌شود.
واکنش جابه‌جایی ساده		
	single replacement reaction	۶ واکنشی که در آن یک عنصر جانشین عنصر یا یون دیگر موجود در یک ترکیب می‌شود.

## واکنش جابه‌جایی دوگانه

double replacement reaction	۶ واکنشی که در آن جای دو عنصر یا یون در دو ترکیب با یک دیگر عوض می‌شود.
اکسایش oxidation	۷ به فرایند ترکیب شدن ماده با اکسیژن می‌گویند.
پلیمر شدن polymerization	۱۰ مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی که طی آن هزارها مولکول کوچک با یک دیگر ترکیب شده و درشت مولکول‌هایی به نام پلیمر یا بسیار تولید می‌کنند.
پلی‌اتیلن polyethylene	۱۰ ترکیبی که از اتصال تعداد زیادی مولکول اتیلن ایجاد شده باشد.
مول mole	۱۵ به مجموعه‌ای از ذره‌ها که شامل $6.022 \times 10^{23}$ ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود.
کود شیمیایی fertilizer	۱۸ ماده‌ای که برای افزایش میزان و بالا بردن کیفیت فرآورده‌های کشاورزی به خاک افزوده می‌شود.
متیل سالیسیلات methyl salicylate	۲۳ مایعی بی‌رنگ که از سالیسیلیک اسید ساخته می‌شود و در داروهای مسکن به کار می‌رود.
قانون نسبت‌های ترکیبی (قانون گی لوساک)	
Gay - Lussac's Law	۲۴ گازها با نسبت‌های ساده‌ی حجمی با یک دیگر ترکیب می‌شوند.
قانون آووگادرو Avogadro's Law	۲۴ حجم‌های مساوی از همه‌ی گازها در شرایط یک‌سان دما و فشار، تعداد مولکول‌های مساوی دارند.
غلظت مولی molar concentration	۲۷ به تعداد مول‌های حل‌شونده‌ی موجود در یک لیتر محلول، غلظت مولی آن ماده می‌گویند.
محلول solution	۲۷ مخلوطی همگن که دارای یک فاز باشد.
رقیق کردن dilution	۲۸ فرایند افزایش حلال به یک محلول به جهت کاهش غلظت آن
واکنش‌دهنده‌ی اضافی excess reactant	۳۱ واکنش‌دهنده‌ای است که پس از پایان واکنش هنوز مقداری از آن باقی مانده است.
مقدار نظری theoretical yield	۳۳ مقدار فرآورده‌ی مورد انتظار که از محاسبات استوکیومتری به دست می‌آید.
مقدار عملی actual yield	۳۳ مقدار فرآورده‌ای که در عمل تولید می‌شود.
بازده درصدی percent yield	۳۳ به نسبت مقدار عملی فرآورده‌ی یک واکنش به مقدار نظری آن گفته می‌شود. این کمیت به صورت درصد بیان می‌شود.
واکنش تراکمی condensation reaction	۳۵ تشکیل مولکول‌های بزرگ از انواع کوچک‌تر آن‌ها از طریق حذف یک یا چند مولکول ساده
کیسه هوا air bag	۳۶ کیسه‌هایی که در جلوی برخی خودروها تعبیه شده است و در هنگام برخورد خودرو با مانع به سرعت از گاز پر می‌شود.
سوختن ناقص incomplete combustion	۳۸ نوعی سوختن که در آن به جای کربن دی‌اکسید، کربن مونواکسید یا دوده تولید می‌شود.
مبدل‌های کاتالیزی catalytic converter	۳۸ دستگاهی است که برای کاهش آلاینده‌های تولید شده در موتور خودروهای درون‌سوز استفاده می‌شود.
گرماشیمی thermochemistry	۳۹ شاخه‌ای از علم شیمی که به مطالعه‌ی کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد.

گرما	heat	۴۰	انرژی ای که بر اثر اختلاف دما از یک جسم به جسم دیگر منتقل می شود.
حرکت چرخشی	rotational motion	۴۰	به حرکت ذره به دور خود حرکت چرخشی می گویند.
حرکت ارتعاشی	vibrational motion	۴۰	به حرکت رفت و برگشت بخش های مختلف یک مولکول یا یون نسبت به یک دیگر حرکت ارتعاشی می گویند.
ظرفیت گرمایی	heat capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای جسم به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس
ظرفیت گرمایی ویژه	specific heat capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک گرم ماده به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس
ظرفیت گرمایی مولی	molar heat capacity	۴۲	مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازه ی یک درجه ی سلسیوس
سامانه یا سیستم	system	۴۴	بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می شود.
محیط	surroundings	۴۴	هر چیزی که در پیرامون سامانه باشد محیط نامیده می شود.
سامانه بسته	closed system	۴۵	سامانه ای که با محیط مبادله ی انرژی دارد ولی مبادله ی ماده ندارد.
سامانه باز	open system	۴۵	سامانه ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می کند.
سامانه ایزوله	isolated system	۴۵	سامانه ای که انرژی و ماده با محیط مبادله نمی کند.
مرز سامانه	boundary system	۴۵	دیواره ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می کند.
خواص ترمودینامیکی			
	thermodynamical properties	۴۶	خواص قابل اندازه گیری که به کمک آن ها می توان یک سامانه را توصیف کرد.
خواص مقداری	extensive properties	۴۶	خواصی که مقدار آن ها به مقدار ماده وابسته است.
خواص شدنی	intensive poperties	۴۶	خواصی که مقدار آن ها به مقدار ماده بستگی ندارد.
انرژی درونی	internal energy	۴۶	به مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همه ی ذره های تشکیل دهنده یک سامانه گفته می شود.
قانون اول ترمودینامیک			
	first law of thermodynamics	۴۸	طبق این قانون انرژی نه به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه از شکلی به شکل دیگر در می آید.
تابع حالت	state function	۴۸	تابعی که به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی وابسته است.
تابع مسیر	state	۴۸	تابعی که به مسیر انجام فرایند بستگی دارد.
آنتالپی واکنش	enthalpy change	۵۰	به تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت، آنتالپی واکنش گفته می شود.
حالت استاندارد ترمودینامیکی			
	standard state	۵۳	پایدارترین شکل ماده ی خالص در فشار یک اتمسفر و دمای مشخص (معمولاً $25^{\circ}\text{C}$ )
آنتالپی استاندارد تشکیل			
	standard molar enthalpy of formation	۵۴	به تغییرات آنتالپی در هنگام تشکیل یک مول ماده از عنصرهای سازنده ی آن در حالت استاندارد گفته می شود.
ترمودینامیک	thermodynamics	۴۴	دانش مطالعه ی تبدیل شکل های مختلف انرژی و راه های انتقال آن

## آنتالپی استاندارد سوختن

۵۵ standard molar enthalpy of combustion گرمای آزاد شده در هنگام سوختن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن

## آنتالپی استاندارد تبخیر

۵۶ standard molar enthalpy of vaporization گرمای مصرف شده در هنگام تبدیل یک مول مایع به بخار در دمای جوش آن ماده

## آنتالپی استاندارد ذوب

۵۷ standard molar enthalpy of fusion تغییر آنتالپی در هنگام تبدیل یک مول جامد به مایع در دمای ذوب آن جسم

## آنتالپی استاندارد تصعید

۵۸ standard molar enthalpy of sublimation تغییر آنتالپی در هنگام تصعید شدن یک مول ماده

۵۸ average bond energy متوسط آنتالپی پیوند مقدار انرژی مصرف شده در هنگام شکستن یک مول پیوند بین دو اتم و تبدیل آن‌ها به اتم‌های جدا از یک دیگر

calorimetry گرماسنجی روش‌های اندازه‌گیری گرمای آزاد شده یا جذب شده در فرایندهای فیزیکی یا شیمیایی

۵۹ coffee-cup calorimeter گرماسنج لیوانی وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود.

۵۹ bomb calorimeter گرماسنج بمبی وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در حجم ثابت استفاده می‌شود.

Hess's law ۶۰ Hess's law قانون هس یک واکنش چندمرحله‌ای از جمع جبری مقادیر  $\Delta H$  همه‌ی واکنش‌های تشکیل دهنده‌ی آن به دست می‌آید.

۶۳ گاز آب به مخلوطی از گازهای  $H_2$  و CO گفته می‌شود.

۵۱ exothermic process فرایند گرماده فرایندی که در آن گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.

۵۲ endothermic process فرایند گرماگیر فرایندی که در آن گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.

۷۱ entropy آنتروپی معیاری برای بیان میزان بی‌نظمی یک سامانه است.

۷۳ free energy انرژی آزاد کمیتی ترمودینامیکی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می‌دهد.

Gibbs free energy ۷۳ Gibbs free energy انرژی آزاد گیبس به مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند گفته می‌شود.

## مخلوط همگن (محلول)

۵۵ solution (homogeneous mixture) مخلوطی است که تنها یک فاز تشکیل می‌دهد.

۷۶ heterogeneous mixture مخلوط ناهمگن مخلوطی است که بیش از یک فاز داشته باشد.

۷۶ phase فاز بخشی از ماده که حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی در همه‌ی نقاط آن یکسان است.

solvent ۷۷ solvent حلال جزئی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیش‌تری از محلول را تشکیل می‌دهد.

solute ۷۷ solute حل‌شونده جزئی که در حلال حل می‌شود.

aqueous solution ۷۷ محلول آبی محلولی که حلال آن آب است.

non-aqueous solution ۷۷ محلول غیر آبی محلولی که حلال آن یک حلالی آلی است.

انحلال پذیری	solubility	۷۸ بیشترین مقدار ماده برحسب گرم که در دمای مشخص در ۱۰۰ گرم آب حل می شود.
آسکوربیک اسید	ascorbic acid	۸۱ ویتامین C؛ جامد سفیدرنگ متبلوری که به خوبی در آب حل می شود.
آنتالپی انحلال	enthalpy solution	۸۱ تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل شونده در مقدار زیادی حلال
آب پوشی	hydration	۸۳ احاطه شدن ذره ها توسط مولکول های آب را آب پوشی گویند.
مواد کم محلول	slightly soluble	۷۹ موادی که ۰/۰۱ تا ۱ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای مشخص حل می شود.
مواد نامحلول	insoluble	۷۹ موادی که کم تر از ۰/۰۱ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای مشخص حل می شود.
قانون هنری	Henry's law	۸۹ انحلال پذیری گازها با فشار گاز رابطه ی مستقیم دارد.
درصد جرمی	weight(mass) percent	۸۹ به جرم ماده ی حل شده در ۱۰۰ گرم محلول گفته می شود.
درصد حجمی	volume percent	۹۱ به حجم ماده ی حل شده در ۱۰۰ گرم حجم محلول گفته می شود.
غلظت مولال	molality	۹۲ تعداد مولکول گرم های ماده ی حل شده در ۱۰۰۰ گرم حلال
الکترولیت	electrolyte	۹۳ ماده ای که در حالت مذاب یا محلول رسانای الکتریکی است.
محلول الکترولیت	electrolytic solution	۹۳ محلولی از یک اسید، قلیا یا نمک که مولکول های آن به یون تجزیه می شود.
غیرالکترولیت	non-electrolyte	۹۴ ماده ای که در حالت مذاب یا محلول در آب رسانای جریان برق نیست.
درجه ی تفکیک	degree of dissociation	۹۴ نسبت تعداد مولکول های تفکیک شده به مجموع آن ها که معمولاً به صورت درصد بیان می شود.
جفت یون	ion pair	۹۵ مجموعه ای شامل یک یون مثبت و یک یون منفی که به عنوان یک گونه ی واحد و به صورت آب پوشی شده در محلول های یونی وجود دارد.
خواص کولیگاتیو	colligative properties	۹۶ خواصی از محلول ها که میزان آن تنها به تعداد ذره های موجود در محلول بستگی دارد.
فشار بخار	vapor pressure	۹۶ فشاری که بخار یک مایع روی سطح آن مایع وارد می کند.
نقطه ی جوش	boiling point	۹۶ دمایی که در آن فشار بخار مایع با فشار هواکره برابر شود.
نقطه ی انجماد	freezing point	۹۷ در فشار معین هر مایع در دمای معینی آغاز به انجماد می کند که آن را دمای انجماد آن مایع می گویند.
کلوئید	colloid	۹۹ حالتی از مخلوط است که در آن ذره هایی به قطر ۱۰ تا ۱۰۰۰ آنگستروم در یک فاز پیوسته (فاز پخش کننده) پراکنده شده اند.
اثر تیندال	Tyndall effect	۹۹ پراکندگی نور به وسیله ی ذره های ماده به هنگام عبور نور از میان آن
سوسپانسیون	Tyndall effect	۱۰۰ نوعی مخلوط که یکی از اجزای آن پس از مدتی ته نشین می شود.
امولسیون	emulsion	۱۰۰ کلوئیدی که از پراکنده شدن یک مایع در مایع دیگر ایجاد می شود.
حرکت براونی	brownian motion	۱۰۲ حرکت سریع و تصادفی ذره های کلوئیدی که به کمک نور تابانیده شده بر زمینه ای تاریک قابل مشاهده است.
لخته شدن	coagulation یا flocculation	۱۰۲ تجمع ذره های معلق یک کلوئید و ایجاد ذره هایی درشت تر با جرم بیش تر که موجب ته نشین شدن ذره ها و از بین رفتن کلوئید می شود.

## الکتروفورز

electrophoresis ۱۰۳ روشی برای جداسازی ذره‌های کلوئیدی باردار در یک میدان الکتریکی

## دیالیز

dialysis ۱۰۳ روشی برای جداسازی یون‌ها یا مولکول‌های موجود در یک محلول به کمک

غشای نیمه‌تراوا

## رسوب‌دهنده‌ی کوتزل

Cottrell precipitator ۱۰۳ دستگاهی صنعتی که با ایجاد یک میدان الکتریکی قوی باعث ته‌نشین شدن

گرد و غبار موجود در هوای خروجی کارخانه می‌شود.

## صابون

soap ۱۰۴ به نمک‌های حاصل از اسیدهای چرب سنگین گفته می‌شود.

پاک‌کننده‌ی غیرصابونی (مواد مؤثر سطحی)

detergent (surfactant) ۱۰۵ ترکیب‌هایی که کشش سطحی آب را کاهش می‌دهند و به ایجاد کلوئید چربی

در آب کمک می‌کنند.

## جدول تناوبی عنصرها

[illegible]