

## واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری



گندم مانند همه گیاهان برای رشد به منابع معدنی نیز نیاز دارد. افزودن منابع معدنی به صورت کودهای شیمیایی، سبب افزایش مقدار و کیفیت محصول می‌شود.



در برخی از کشورها، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی، به طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

LED مخفف شده عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود نثردهنده نور است.

اگر با دقت به اطراف خود بنگریم، درمی‌یابیم که شیمی هر لحظه و هر جا در اطراف ما جریان دارد. شیمی کانون تمام تلاش‌هایی است که منجر به تولید مواد جدید از جمله داروهای ضد سرطان، سوخت‌های دوستدار محیط زیست، مواد هوشمند و انواع لوازم الکترونیکی (مانند LED و تلفن‌های همراه)، سفینه‌های فضایی و ... می‌شود. پیشرفت و گسترش شیمی می‌تواند سبب رشد و شکوفایی علوم دیگر مانند اقتصاد، پزشکی، کشاورزی، نظامی، زیست‌محیطی و ... شود.

در هزاره سوم میلادی یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی کشورهای جهان، تأمین غذاست.

گندم مهم‌ترین ماده غذایی است که اغلب کشورها تلاش می‌کنند تا در تولید آن به خود کفایی برسند. از این رو، کشاورزان برای تولید گندم بیشتر و مرغوب‌تر، سالانه از مقدار زیادی کود شیمیایی و انواع آفت‌کش استفاده می‌کنند.

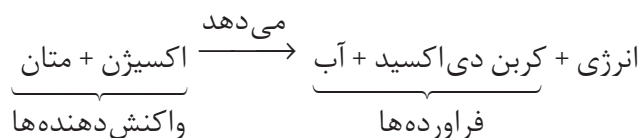
حال این پرسش‌ها مطرح می‌شوند:

چگونه فرمول شیمیایی یک آفت کش و یک کود شیمیایی به دست می‌آید؟ برای تولید مقدار زیادی از یک آفت کش در کارخانه (مقیاس صنعتی)، چه مقدار از مواد اولیه باید با هم واکنش بدهند؟ به ازای هر هکتار از زمین کشاورزی به چند کیلوگرم کود شیمیایی نیاز است؟ یادگیری واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری به شما کمک می‌کند تا پاسخ این پرسش‌ها و پرسش‌های دیگری که ذهن شما را مشغول کرده است، پیدا کنید.

## واکنش شیمیایی و شیوه‌های نمایش آن

در سال‌های پیش با تغییرهای فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های آنها آشنا شدید. برای نمونه ذوب شدن، تبخیر و میعان را از جمله تغییرهای فیزیکی و زنگ زدن آهن، سوختن کاغذ، ترش شدن شیر، هضم غذا و تنفس را از جمله تغییرهای شیمیایی دسته‌بندی کردید. همچنین واکنش شیمیایی را توصیفی برای یک تغییر شیمیایی دانستید و آن را فرایندی تعریف کردید که طی آن یک یا چند ماده شیمیایی (عنصر/ ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای تولید می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادله انرژی نیز همراه‌اند.

واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید. این واکنش به تولید کربن دی‌اکسید، آب و آزاد کردن مقدار قابل توجهی انرژی می‌انجامد. این واکنش شیمیایی را می‌توان با یک معادله نوشتاری به صورت زیر توصیف کرد:



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

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



یک معادله نمادی چه اطلاعاتی در اختیار ما می‌گذارد؟

در کشور ما نیز برای رسیدن به خودکفایی در تولید گندم، برنامه‌های مناسبی اجرا می‌شود. در سال ۱۳۹۰، کشاورزان ایرانی تقریباً ۱۴ میلیون تن گندم تولید کردند.



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

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

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

## خود را بیازمایید

در هر مورد معادلهٔ نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.

- (آ) محلول سدیم نیترات + رسوب نقره سیانید → محلول نقره نیترات + محلول سدیم سیانید  
 (ب) محلول پتاسیم نیترات + رسوب کلسیم فسفات → محلول کلسیم نیترات + محلول پتاسیم فسفات  
 (پ) گاز اکسیژن + منگنز (IV) اکسید جامد + پتاسیم منگنات جامد → پتاسیم پرمنگنات جامد  
 (ت) از واکنش گاز هیدروژن با گاز کلر، گاز هیدروژن کلرید تولید می‌شود.  
 (ث) فلز آلومینیم و گرد آهن (III) اکسید با یک دیگر واکنش می‌دهند و نمک جامد آلومینیم اکسید و آهن مذاب تولید می‌کنند.  
 (ج) پتاسیم کلرات جامد در اثر گرما به پتاسیم کلرید جامد و گاز اکسیژن تجزیه می‌شود.

نام	فرمول شیمیایی
سیانید	$\text{CN}^-$
نیترات	$\text{NO}_3^-$
فسفات	$\text{PO}_4^{3-}$
کلرات	$\text{ClO}_3^-$
پرمنگنات	$\text{MnO}_4^-$
منگنات	$\text{MnO}_4^{2-}$

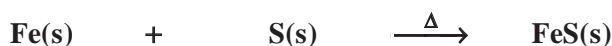
## موازنه کردن معادلهٔ یک واکنش شیمیایی

می‌دانید که در واکنش‌های شیمیایی نه اتمی به وجود می‌آید و نه اتمی از بین می‌رود؛ بلکه پس از انجام واکنش همان اتم‌ها به شیوه‌های دیگری به هم متصل می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همهٔ واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی ماده یا قانون پایستگی جرم پیروی می‌کنند.

## فکر کنید

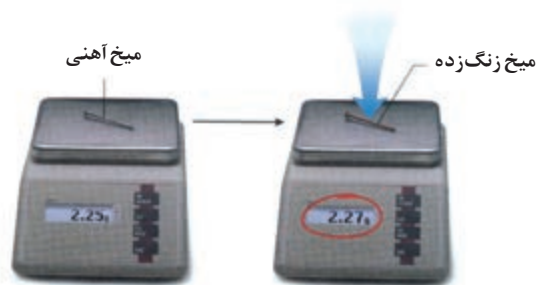
۱- به شکل‌های زیر با دقت نگاه کنید و دربارهٔ قانون پایستگی جرم در واکنش‌های شیمیایی در کلاس به گفت و گو بپردازید.

(آ) فلز آهن با گوگرد واکنش می‌دهد و به آهن (II) سولفید تبدیل می‌شود.

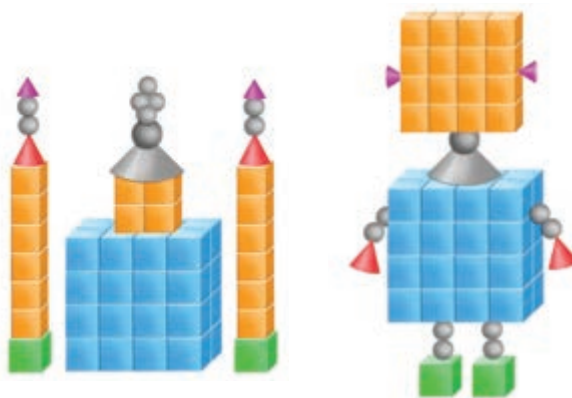


یک معادلهٔ شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی و حالت فیزیکی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها اطلاعاتی دربارهٔ شرایط لازم برای انجام واکنش نیز در اختیار می‌گذارد. درحالی که اطلاعاتی مانند چگونگی و ترتیب مخلوط کردن واکنش دهنده‌ها و نکته‌های ایمنی را دربر ندارد. برای دستیابی به این موارد باید به شرح عملی اجرای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

ب) میخ آهنی در مجاورت هوای مرطوب به آرامی زنگ می‌زند.



۲- دو دانش‌آموز با استفاده از قطعه‌های پلاستیکی، دو دست سازه به شکل‌های زیر درست کرده‌اند. دربارهٔ جرم این دو دست سازه در کلاس گفت‌وگو کنید و شرط برابری جرم آنها را بنویسید.



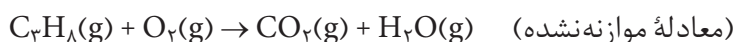
معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

معنا	نماد
تولید می‌کند یا می‌دهد	→
واکنش دهنده‌ها بر اثر گرم شدن واکنش می‌دهند.	$\xrightarrow{\Delta}$
واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می‌شود.	$\xrightarrow{20\text{atm}}$
واکنش در دمای ۱۲۰ درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود.	$\xrightarrow{120^\circ\text{C}}$
برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.	$\xrightarrow{\text{Pd}}$

(همان‌طور که مشاهده کردید، در صورت برابری تعداد قطعه‌های هر رنگ در دو دست سازه، جرم آن دو، برابر خواهد شد.) به همین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که برای رسیدن به یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده، باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله یکسان باشد. برای این منظور، به هریک از واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت می‌دهند.

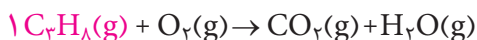
بر اساس یکی از ساده‌ترین روش‌های موازنه (روش وارسی) معمولاً به ترکیبی که دارای بیشترین تعداد اتم است، ضریب ۱ می‌دهند سپس با توجه به تعداد اتم‌های این ترکیب، ضریب‌های دیگر را به مواد دیگر می‌دهند تا تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله برابر شود.

برای نمونه، معادلهٔ نمادی سوختن کامل پروپان به صورت زیر است:



برای موازنه معادله‌های شیمیایی، روش‌های گوناگونی وجود دارد.

برای موازنه به  $C_3H_8$  ضریب ۱ بدهید.



اینک تعداد اتم‌های کربن و هیدروژن در سمت چپ مشخص شده است. حال اگر به  $H_2O$  ضریب ۴ و به  $CO_2$  ضریب ۳ بدهید، تعداد اتم‌های C و H در دو طرف برابر می‌شود.



در پایان چون تعداد اتم‌های اکسیژن در سمت راست تعیین شده و برابر با ۱۰ اتم است، اگر به اکسیژن در سمت چپ، ضریب ۵ بدهید، تعداد اتم‌های همهٔ عناصر در دو سوی معادله برابر می‌شوند.

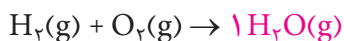


همان‌طور که مشاهده کردید، هنگام موازنه کردن یک معادلهٔ شیمیایی، نباید **زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی** واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر داد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که هر یک از ضریب‌های به کار رفته در معادلهٔ موازنه شده، باید **کوچک‌ترین عدد صحیح (غیر کسری) ممکن** باشند.

برای نمونه، به روش موازنهٔ معادلهٔ سوختن گاز هیدروژن دقت کنید.

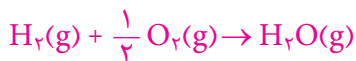


در اینجا برای موازنه، به  $H_2O$ ، ضریب ۱ می‌دهیم.



حال تعداد اتم‌های H و O در سمت راست معادله مشخص شده است. اگر به  $H_2$

ضریب ۱ و به  $O_2$  ضریب  $\frac{1}{2}$  بدهیم، تعداد اتم‌های هر دو عنصر در دو سوی معادله برابر می‌شود.



در پایان، برای از بین بردن ضریب کسری اکسیژن، همهٔ ضریب‌ها را در عدد ۲ ضرب

می‌کنیم، در نتیجه:



اغلب برای آغاز یک واکنش به مقداری انرژی نیاز است. به حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی انرژی فعال‌سازی می‌گویند. دادن گرما، تابش نور، ایجاد جرقه، تخلیهٔ الکتریکی یا وارد آوردن یک شوک مانند زدن ضربه یا افزایش ناگهانی فشار این انرژی را تأمین می‌کند.

در معادله‌های شیمیایی موازنه شده، ضریب ۱ نوشته نمی‌شود.

یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده به دو صورت خوانده می‌شود. برای نمونه:

۱- دو مول گاز هیدروژن با یک مول گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مول بخار آب تولید می‌کند.

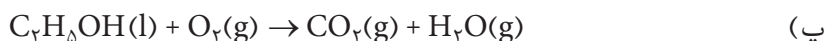
۲- دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب تولید می‌کند.

در یک معادلهٔ شیمیایی، تعداد یون‌های چنداتی مانند  $NO_3^-$ ،  $PO_4^{3-}$  و ... را به صورت یک گونهٔ شیمیایی جدا در دو سوی معادله شمارش و موازنه کنید.



## خود را بیازمایید

معادلهٔ واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



## انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعه همه 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 مطالعه آنها را ممکن ساخت. دسته‌بندی پنجگانه زیر رایج‌ترین شیوه طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۱.



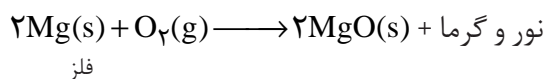
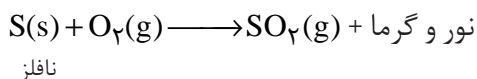
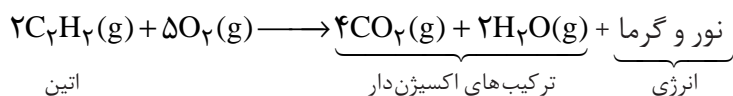
شکل ۱ دسته‌بندی پنجگانه واکنش‌های شیمیایی

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 سوختن:** می‌دانید که سوختن به واکنشی می‌گویند که در آن یک ماده مثلاً یک ترکیب آلی مانند گاز اتین (استیلن)، یک نافلز مانند گوگرد یا یک فلز واکنش‌پذیر مانند منیزیم به سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می‌شود و افزون بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی به صورت نور و گرما، اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار را به وجود می‌آورد.

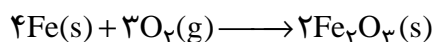


واکنش سوختن نوار منیزیم با آزاد شدن نور و گرمای زیادی همراه است. گفتنی است که Mg به آرامی و بدون شعله نیز با اکسیژن هوا واکنش می‌دهد. در این واکنش نیز MgO سفیدرنگ تولید می‌شود. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش اکسایش می‌گویند. (تشکیل آرام لایه ترد و سفیدرنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدهی بر این مدعاست.)



همچنین می‌دانید که واکنش همه مواد با اکسیژن به شدت و سرعت سوختن نیست.

چنین واکنش‌هایی را **اکسایش** می‌گویند. زنگ زدن آهن، نوعی واکنش اکسایش است.



در سال آینده با این دسته از واکنش‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

## اطلاعات جمع آوری کنید

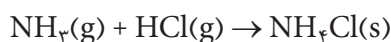
هنگامی که فلزهای قلیایی برای مدتی در معرض هوا قرار بگیرند، مخلوط پیچیده‌ای از ترکیب‌های شیمیایی روی سطح آنها تشکیل می‌شود. درباره نام و ویژگی‌های اجزای این مخلوط و چگونگی تشکیل آنها تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



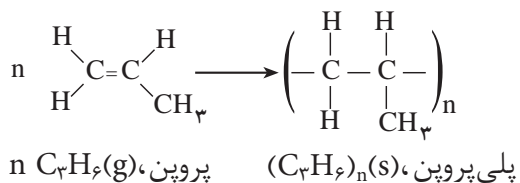
شکل ۲ بر اثر واکنش بخار  $\text{NH}_3$  و بخار  $\text{HCl}$  گرد سفید رنگ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیب است.

### واکنش سنتزی یا ترکیب

واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده، فرآورده(ها)ی تازه‌ای با ساختار پیچیده‌تر تولید می‌کنند. در زیر یک نمونه از این واکنش‌ها را مشاهده می‌کنید، شکل ۲.



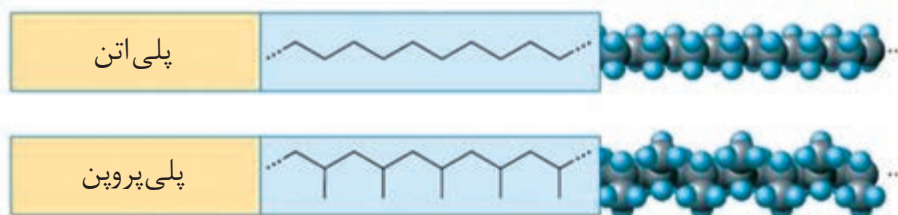
واکنش بسپارش (پلیمر شدن) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب شده، درشت مولکول‌هایی به نام بسپار (پلیمر) تولید می‌شود. تولید پلی‌تن (پلی اتیلن)، پلی پروپین و پلی تترافلوئور اتن (تفلون) از جمله مهم‌ترین واکنش‌های بسپارش (پلیمر شدن) در صنعت است.



به ساختار پلی اتن و پلی پروپین توجه کنید.

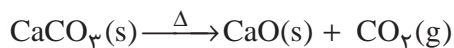


از پلی پروپین برای تولید ریسمان استفاده می‌شود.

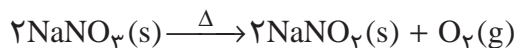
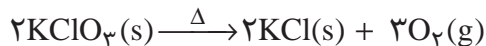


### واکنش تجزیه

به واکنشی تجزیه می‌گویند که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود. تجزیه کربنات‌ها در اثر گرما نمونه‌ای از این واکنش‌هاست. در این واکنش گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.



ترکیب‌هایی مانند نیترات‌ها و کلرات‌ها نیز در اثر گرما تجزیه می‌شوند. گاز اکسیژن فرآورده مهم این دسته از واکنش‌هاست.



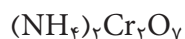
## آزمایش کنید

**هدف:** تجزیه آمونیوم دی کرومات

**وسایل مورد نیاز:** بشر، لوله آزمایش، هم‌زن شیشه‌ای، شیشه ساعت، توری نسوز

و کبریت

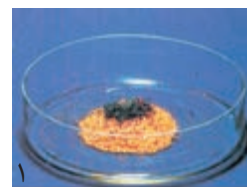
**مواد مورد نیاز:** آمونیوم دی کرومات، جامدی بلوری و نارنجی‌رنگ به فرمول



**روش کار:**

۵g آمونیوم دی کرومات 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، شعله کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید. (۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵۰ mL را به طور وارونه چند سانتی‌متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده می‌کنید؟ چه نتیجه‌ای از این مشاهده می‌گیرید؟ (۲) بعد از پایان واکنش، جامد باقی‌مانده را وزن کنید و اختلاف جرم ماده اولیه و فرآورده را حساب کنید. علت این اختلاف را توضیح دهید.

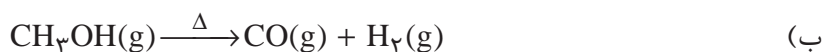
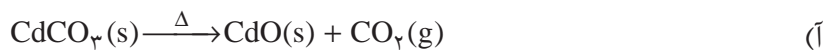
(۳) به کمک معلم خود، معادله واکنش تجزیه آمونیوم دی کرومات را نوشته، موازنه کنید. (۴) ویژگی‌های ظاهری و انحلال‌پذیری واکنش‌دهنده و فرآورده جامد را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده یا فرآورده را در یک لوله آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطر اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



واکنش تجزیه آمونیوم دی کرومات

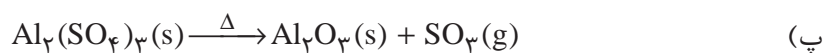
## خود را بیازمایید

۱- در هر مورد معادله واکنش داده شده را موازنه کنید.

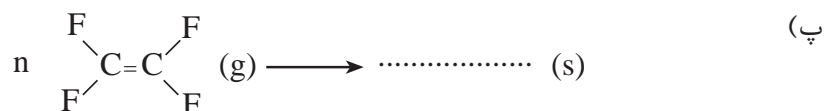
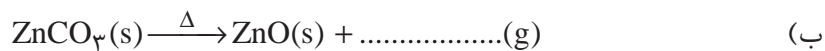
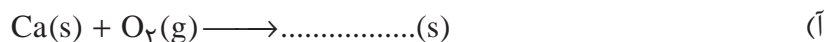


واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.

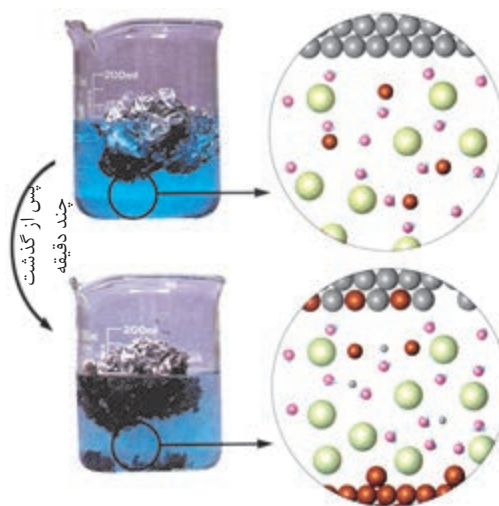




۲- در هر مورد، معادله واکنش داده شده را کامل و موازنه کنید.



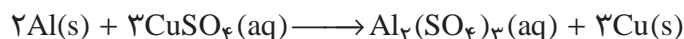
**واکنش جابه جایی یگانه:** هنگامی که یک قطعه ورقه آلومینیمی درون محلولی از مس (II) سولفات قرار می گیرد، تشکیل فلز سرخ فام مس بر سطح ورقه آلومینیمی به خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولید شده نیز به ته ظرف فرو خواهد ریخت، شکل ۳.



(● یون سولفات ● مولکول آب)

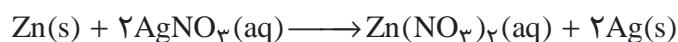
شکل ۳ واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات

به نظر می آید که در این واکنش، فلز آلومینیم جای مس موجود در مس (II) سولفات را گرفته و آن را به صورت فلز مس آزاد کرده است.



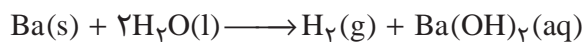
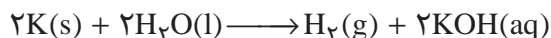
با نگاهی به معادله این واکنش می توان دریافت که تنها یک جابه جایی رخ داده است. جابه جایی یگانه، نامی است که به این دسته از واکنش ها داده اند.

معادله های شیمیایی زیر نمونه های دیگری از واکنش های جابه جایی یگانه اند.



گاز کلر تولید شده در ارلن سمت چپ با محلول KBr در ارلن سمت راست واکنش می دهد.

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



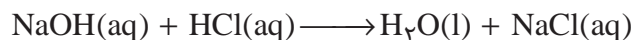
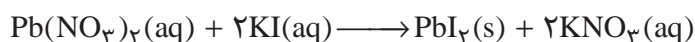
**واکنش جابه‌جایی دوگانه:** اگر محلولی از نقره نیترات بر روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به سرعت تشکیل می‌شود، شکل ۴. معادله این واکنش به شرح زیر است:



شیمی دان‌ها این گونه واکنش‌ها را جابه‌جایی دوگانه می‌خوانند. دلیل این نام‌گذاری

چیست؟

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه‌اند.



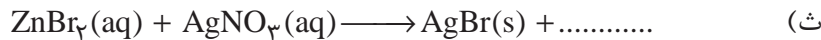
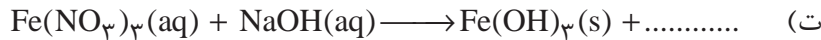
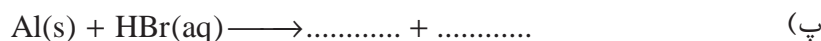
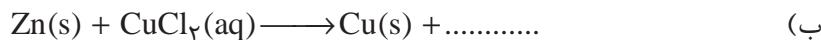
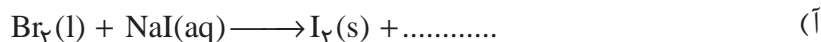
برلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی‌دهد و پایین‌تر از  $600^\circ C$  در هوا نیز اکسایش نمی‌یابد.



**شکل ۴** یک واکنش جابه‌جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید ( $AgCl(s)$ ) در اثر مخلوط کردن محلول‌های نقره نیترات ( $AgNO_3(aq)$ ) و سدیم کلرید ( $NaCl(aq)$ ).

### خود را بیازمایید

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



### آزمایش کنید

**هدف:** شناسایی یون‌های  $Ag^+$  و  $Fe^{3+}$ ،  $Pb^{2+}$  در محلول نمک‌های آنها در آب

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

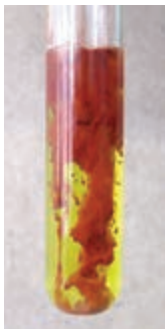
**مواد مورد نیاز:** محلول‌های رقیقی از سرب (II) نیترات، آهن (III) کلرید،



واکنش محلول سرب (II) نیترات با محلول پتاسیم یدید



واکنش محلول آهن (III) کلرید با محلول سدیم هیدروکسید



واکنش محلول نقره با محلول پتاسیم کرومات

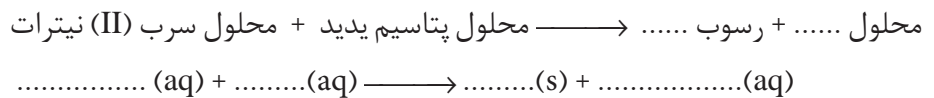
پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، نقره نیترات و پتاسیم کرومات

برای تهیه این محلول ها کافی است مقدار اندکی (به اندازه نوک یک قاشقک) از هریک از این مواد جامد برداشته، در یک لوله آزمایش بریزید. سپس در لوله آزمایش تا نیمه آب مقطر ریخته به هم بزنید.

### روش کار:

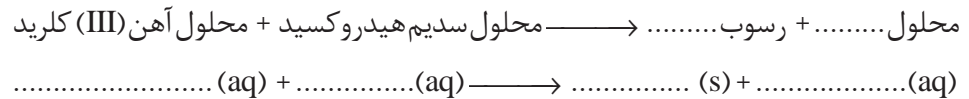
#### آ) شناسایی یون $Pb^{2+}$

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



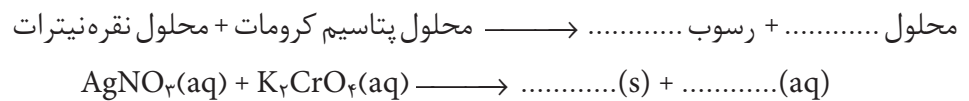
#### ب) شناسایی یون $Fe^{3+}$

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



#### پ) شناسایی یون $Ag^+$

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



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

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

## استوکیومتری؛ روابط کمی در واکنش های شیمیایی

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عناصر 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 موازنه شده واکنش استفاده می شود؛ زیرا معادله شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش دهنده ها و فراورده ها، نسبتی معین را مشخص می کند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می شوند.

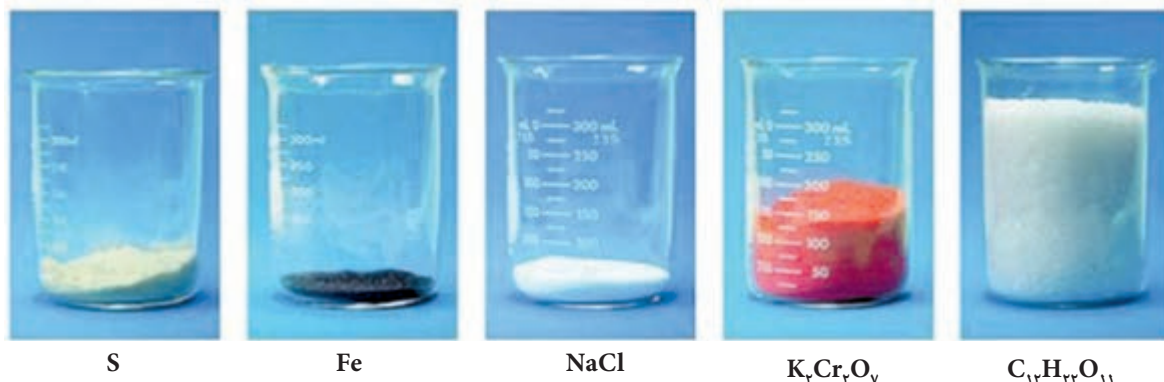
## مول و جرم مولی در محاسبه های استوکیومتری

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

همچنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم بر حسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول های یک ماده بر حسب گرم) و شیوه محاسبه آن، آموختید که شیمی دان ها به جای این دو، مفهوم عمومی تر جرم مولی را به کار می برند و آن را بر حسب 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 آنها سبب شد که برای نمونه های طبیعی عنصرها از جرم اتمی میانگین آنها 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، شکل ۵.

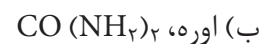
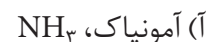
عدد  $6.022 \times 10^{23}$  را عدد آووگادرو می گویند و آن را با  $N_A$  نمایش می دهند. ثابت آووگادرو برابر  $6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$  است.



شکل ۵ مقدار ۱ مول از مواد شیمیایی مختلف

## خود را بیازمایید

در هر مورد با استفاده از جدول تناوبی عنصرها، جرم مولی گونه را حساب کنید.

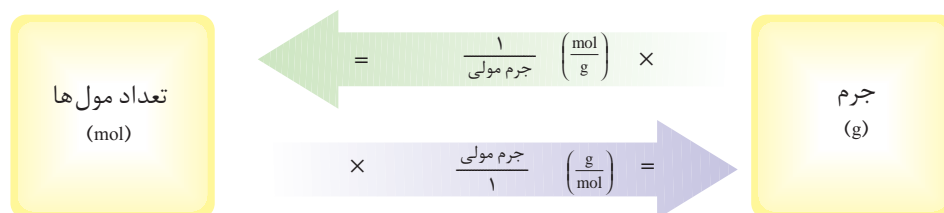


در ترکیب‌های یونی، مولکول وجود ندارد، به همین دلیل به جای واژه مولکول گرم از واژه جرم مولی برای آنها استفاده می‌شود.

## تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و برعکس

جرم از جمله کمیت‌هایی است که به آسانی در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این رو یافتن توانایی تبدیل جرم به تعداد مول‌ها و برعکس یعنی تبدیل تعداد مول‌ها به جرم، مهارت مهمی در مبحث استوکیومتری است.

برای این تبدیل از جرم مولی استفاده می‌شود، شکل ۶.



شکل ۶ تبدیل تعداد مول‌ها و جرم به یکدیگر

## نمونه حل شده

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

پاسخ:

۱- فهرست داده‌های مسئله را بنویسید.

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

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

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

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

ضریب تبدیل



مس یک فلز سکه‌زنی است.

## خود را بیازمایید

۱-  $83/5 \text{ g}$  مس چند مول است؟

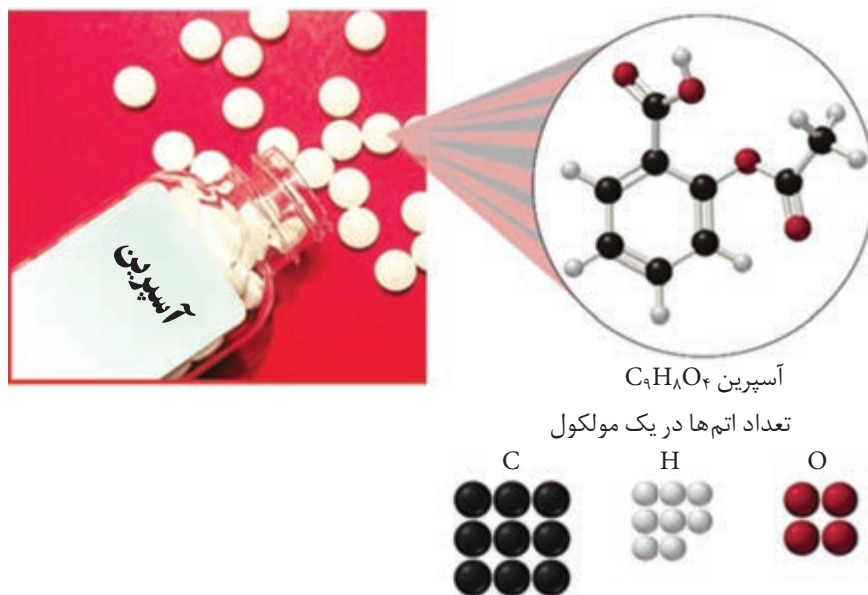
۲-  $128/9 \text{ g}$  کربن دی اکسید چند مول است؟

## تجزیه عنصری و استوکیومتری فرمولی

چگونه می توان فرمول مولکولی یک ماده شیمیایی را به دست آورد؟

در شیمی ۲ آموختید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان دهنده نوع و تعداد اتم های

تشکیل دهنده آن است. برای نمونه، در آسپرین با فرمول مولکولی  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ :



شکل ۷ مدل مولکولی آسپرین و نسبت اتم های سازنده آن

در هر مولکول، ۹ اتم کربن، ۸ اتم هیدروژن و ۴ اتم اکسیژن وجود دارد، شکل ۷.

در نتیجه هر مول آسپرین، ۹ مول C، ۸ مول H و ۴ مول O دارد. به بیان دیگر اتم های

C، H و O به نسبت مولی ۹، ۸ و ۴ وجود دارند.

بنابراین با دانستن نسبت های مولی عنصرهای سازنده در یک ماده می توان فرمول

مولکولی آن را حدس زد. برای نمونه در فرمالدهید به ازای یک مول اتم کربن، ۲ مول اتم

هیدروژن و یک مول اتم اکسیژن وجود دارد. فرمول مولکولی فرمالدهید چیست؟

به نظر شما آیا با دانستن نسبت مولی عنصرهای یک ترکیب، همواره می توان

فرمول مولکولی آن را حدس زد؟ برای نمونه، در یک هیدروکربن به ازای یک مول اتم کربن،

آسپرین به طور طبیعی در پوست درخت بید یافت می شود، به طوری که مصرف محلولی از گرد پوست درخت بید، سبب کاهش تب و لرز در بیماران مبتلا به مالاریا می شود. این موضوع شیمی دان ها را تشویق کرد تا در پی یافتن فرمول مولکولی آسپرین باشند. از این رو، آنها با انجام واکنش های شیمیایی بر روی پوست درخت بید و با استفاده از استوکیومتری موفق شدند فرمول مولکولی آسپرین را کشف کنند. سپس با دانستن فرمول مولکولی آسپرین، توانستند آن را در آزمایشگاه از واکنش سالیسیلیک اسید با استیک انیدرید تولید کنند.

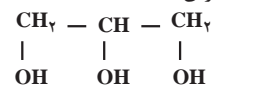
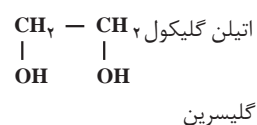
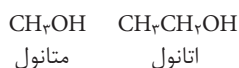
مردم سراسر جهان، سالانه ۵۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ قرص آسپرین، برای کاهش تب، التهاب، تپش های قلب و سکنه مصرف می کنند. در نتیجه شرکت های دارویی به شدت با یکدیگر رقابت می کنند تا روش های تولید آسپرین و داروهای دیگر را اصلاح کنند و با افزایش مقدار فراورده، قیمت تمام شده داروها را کاهش دهند.

در ترکیب‌های یونی، فرمول تجربی با فرمول شیمیایی ترکیب یکسان است.

شیمی دان‌ها جرم اتم‌ها و مولکول‌ها را با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی به دست می‌آورند.

تجزیهٔ عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل‌دهنده و درصد جرمی هر یک از آنها در ترکیب شیمیایی یاد شده تعیین می‌شود.

الکل‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های آلی هستند که یک یا تعداد بیشتری گروه عاملی هیدروکسیل ( $\text{-OH}$ ) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل‌ها مانند متانول یک گروه  $\text{-OH}$  دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱)، ۲-اتان دی‌آل و گلیسرین (۱، ۲، ۳) پروپان تری‌آل) به ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.

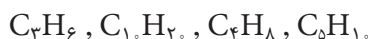


متانول به الکل چوب معروف است و از گرم کردن چوب در غیاب اکسیژن تا دمای  $400^\circ\text{C}$  به دست می‌آید. در حالی که اتانول، الکل میوه نام دارد و در اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات‌های موجود در میوه‌ها توسط آنزیم‌ها تولید می‌شود.

دومول اتم هیدروژن وجود دارد. فرمول شیمیایی این هیدروکربن را حدس بزنید. آیا فرمول به دست آمده، می‌تواند فرمول مولکولی هیدروکربن باشد؟ (چرا؟)

در برخی موارد، دانستن نسبت مولی عنصرهای تشکیل‌دهندهٔ یک ماده برای تعیین فرمول مولکولی آن کافی نیست و تنها فرمول تجربی آن را نشان می‌دهد.

همان‌طور که می‌دانید فرمول تجربی، ساده‌ترین نسبت مولی عنصرهای سازندهٔ یک ترکیب را مشخص می‌کند؛ برای نمونه، فرمول تجربی  $\text{CH}_2$  نشان می‌دهد که در مولکول‌های این هیدروکربن، همواره تعداد اتم‌های هیدروژن دو برابر اتم‌های کربن است، بنابراین فرمول مولکولی آن کدام یک از فرمول‌های زیر است؟



برای یافتن پاسخ، باید جرم مولی هیدروکربن مشخص باشد. حال فرض کنید که جرم مولی این هیدروکربن برابر با  $70^\circ$  گرم بر مول باشد؛ در آن صورت، با توجه به آنچه در شیمی ۲ آموختید، می‌توان نوشت:

$$n \times (\text{جرم فرمول تجربی}) = \text{جرم فرمول مولکولی}$$

$$70 = (12 + 2) \times n$$

$$n = 5$$

$$n (\text{فرمول تجربی}) = \text{فرمول مولکولی}$$

$$\text{فرمول مولکولی} = (\text{CH}_2)_5 = \text{C}_5\text{H}_{10}$$

اما این پرسش که «فرمول تجربی را چگونه می‌توان به دست آورد؟» بی‌پاسخ مانده است. فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از تجزیهٔ عنصری آن با انجام محاسبه‌های استوکیومتری به دست می‌آید. به طوری که می‌توان، نوع عنصرهای سازنده و درصد جرمی آنها را به دست آورد. سپس با استفاده از این داده‌ها فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن را تعیین کرد.

## نمونهٔ حل شده

تجزیهٔ عنصری ۱- پروپانول نشان می‌دهد که این ترکیب آلی از  $60\%$  کربن (C)،  $13/4\%$  هیدروژن (H) و  $26/6\%$  اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به دست آورید.

**پاسخ:**

درصد جرمی عنصرهای سازنده نشان می‌دهد که در هر  $100^\circ$  گرم از ۱- پروپانول  $60^\circ$  گرم کربن،  $13/4^\circ$  گرم هیدروژن و  $26/6^\circ$  گرم اکسیژن وجود دارد؛