بخش ۱

واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری

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

اگر با دقت به اطراف خود بنگریم، درمی‌یابیم که شیمی هر لحظه و هرجا 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، موادّ 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 هزارهٔ سوم میلادی یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی کشورهای جهان، تأمین غذاست.

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

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

LED مخفف شده عبارت Light Emitting Diode بـه معنای دیود نشردهندهٔ نور است.

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.

حال این پرسش‌ها مطرح می‌شوند:

چگونه فرمول شیمیایی یک آفت‌کش و یک کود شیمیایی به‌دست می‌آید؟ برای تولید مقدار زیادی از یک آفت‌کش در کارخانه (مقیاس صنعتی)، چه مقدار از مواد اولیه باید با هم واکنش بدهند؟ به‌ازای 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 ذوب‌شدن، تبخیر و میعان را از جمله تغییرهای فیزیکی و زنگ‌زدن آهن، سوختن کاغذ، ترش‌شدن 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 مادهٔ شیمیایی (عنصر/ ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای تولید می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادلهٔ انرژی نیز همراه‌اند.

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

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 **معادلهٔ نوشتاری** به‌صورت زیر توصیف کرد:

$$\underbrace{\text{متان} + \text{اکسیژن}}_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}} \xrightarrow{\text{می‌دهد}} \underbrace{\text{آب} + \text{کربن دی‌اکسید} + \text{انرژی}}_{\text{فراورده‌ها}}$$

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

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

$$CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) + CO_2(g)$$

یک معادلهٔ نمادی چه اطلاعاتی در اختیار ما می‌گذارد؟

نمادهای به‌کار رفته برای نمایش حالت فیزیکی مواد در معادله‌های شیمیایی

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

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	CN^-
نیترات	NO_3^-
فسفات	PO_4^{3-}
کلرات	ClO_3^-
پرمنگنات	MnO_4^-
منگنات	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.

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 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.

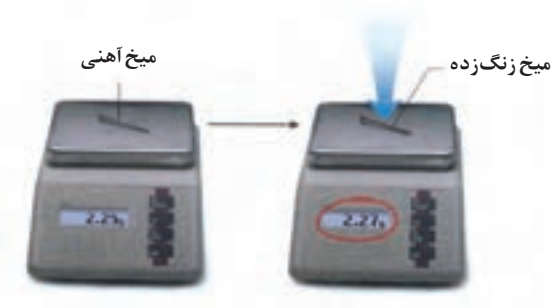
فکر کنید

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

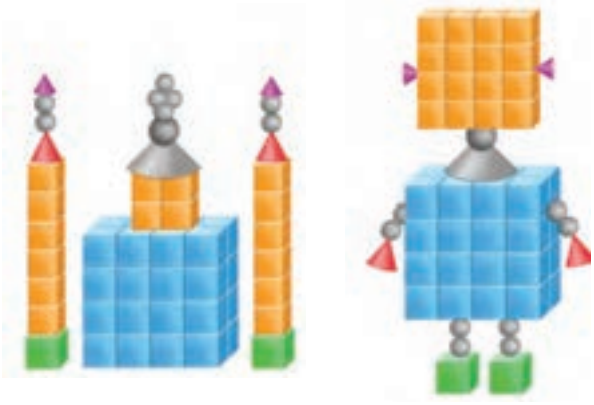
آ) فلز آهن با گوگرد واکنش می‌دهد و به آهن (II) سولفید تبدیل می‌شود.

$$Fe(s) + S(s) \xrightarrow{\Delta} FeS(s)$$

ب) میخ آهنی در مجاورت هوای مرطوب به‌آرامی زنگ می‌زند.



۲ـ 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.



(همان‌طورکه 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 واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت می‌دهند.

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

برای نمونه، معادلهٔ نمادی سوختن کامل پروپان به‌صورت زیر است:

$C_3H_8(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ (معادلهٔ موازنه‌نشده)

معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
$\longrightarrow$	تولید می‌کند یا می‌دهد
$\xrightarrow{\Delta}$	واکنش‌دهنده‌ها براثر گرم شدن واکنش می‌دهند.
$\xrightarrow{۲۰atm}$	واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می‌شود.
$\xrightarrow{۱۲۰۰^\circ C}$	واکنش در دمای ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود.
$\xrightarrow{Pd}$	برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به‌عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.

برای موازنه معادله‌های شیمیایی، روش‌های گوناگونی وجود دارد.

برای موازنه به C_3H_8 ضریب **۱** بدهید.

$$1C_3H_8(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$$

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.

$$1C_3H_8(g) + O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

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 عنصرها در دو سوی معادله برابر می‌شوند.

$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

همان‌طورکه مشاهده کردید، هنگام موازنه‌کردن یک معادلهٔ شیمیایی، نباید **زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی** واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر داد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که هریک از ضریب‌های به‌کار رفته در معادلهٔ موازنه شده، باید **کوچک‌ترین عدد صحیح (غیرکسری) ممکن** باشند.

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

$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$ (معادلهٔ موازنه نشده)

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

$$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 1H_2O(g)$$

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.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$$

در پایان، برای از بین‌بردن ضریب کسری اکسیژن، همهٔ ضریب‌ها را در عدد **۲** ضرب می‌کنیم، درنتیجه:

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ (معادلهٔ موازنه شده)

خود را بیازمایید

معادلهٔ واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

آ) $KNO_3(s) \rightarrow KNO_2(s) + O_2(g)$

ب) $Ca(OH)_2(aq) + H_3PO_4(aq) \rightarrow Ca_3(PO_4)_2(s) + H_2O(l)$

پ) $C_2H_5OH(l) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$

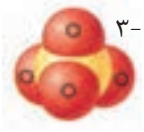
ت) $N_2(g) + H_2(g) \rightarrow NH_3(g)$

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 واردآوردن 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 چنداتمی مانند PO_4^{3-}، NO_3^- و ... را به‌صورت یک گونهٔ شیمیایی جدا در دو سوی معادله شمارش و موازنه کنید.



انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعهٔ همهٔ آنها غیرممکن به‌نظر می‌رسد. به‌علت شباهتی که میان بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، مشاهده می‌شود، می‌توان آنها را در دسته‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی کرد و به این ترتیب مطالعهٔ آنها را ممکن ساخت. دسته‌بندی پنجگانهٔ زیر رایج‌ترین شیوهٔ طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۱.

شکل ۱ دسته‌بندی پنجگانهٔ واکنش‌های شیمیایی

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 لایهٔ ترد و سفیدرنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدی بر این مدعاست.)

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 به‌سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می‌شود و افزون بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی به‌صورت نور و گرما، اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار را به‌وجود می‌آورد.

$$\underset{\text{اتین}}{2C_2H_2(g)} + 5O_2(g) \longrightarrow \underbrace{4CO_2(g) + 2H_2O(g)}_{\text{ترکیب‌های اکسیژن‌دار}} + \underbrace{\text{نور و گرما}}_{\text{انرژی}}$$

$$\underset{\text{نافلز}}{S(s)} + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g) + \text{نور و گرما}$$

$$\underset{\text{فلز}}{2Mg(s)} + O_2(g) \longrightarrow 2MgO(s) + \text{نور و گرما}$$

همچنین می‌دانید که واکنش همهٔ مواد با اکسیژن به شدت و سرعت سوختن نیست. چنین واکنش‌هایی را **اکسایش** می‌گویند. زنگ‌زدن آهن، نوعی واکنش اکسایش است.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Fe_2O_3(s)$$

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

اطلاعات جمع‌آوری کنید

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

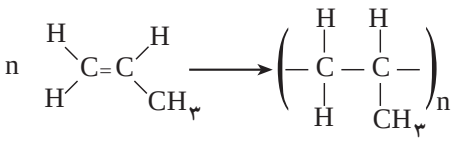
واکنش سنتز یا ترکیب

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

$$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(s)$$

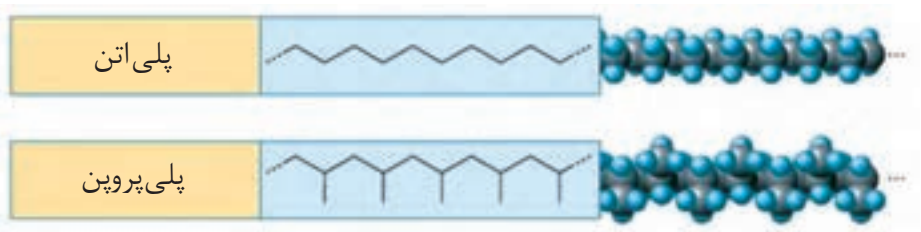
شکل ۲ بر اثر واکنش بخار NH_3 و بخار HCl گَردِ سفید رنگ NH_4Cl تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیب است.

واکنش بسپارش (پلیمرشدن) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب شده، درشت‌مولکول‌هایی به نام بسپار (پلیمر) تولید می‌شود. تولید پلی‌تِن (پلی‌اتیلن)، پلی‌پروپن و پلی‌تترافلوئوراتن (تفلون) از جمله مهم‌ترین واکنش‌های بسپارش (پلیمرشدن) در صنعت است.



n $C_3H_6(g)$، پروپن $(C_3H_6)_n(s)$، پلی‌پروپن

به ساختار پلی‌اتن و پلی‌پروپن توجه کنید.



از پلی‌پروپن برای تولید ریسمان استفاده می‌شود.

واکنش تجزیه

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

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

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

$$2KClO_3(s) \xrightarrow{\Delta} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

$$2NaNO_3(s) \xrightarrow{\Delta} 2NaNO_2(s) + O_2(g)$$

آزمایش کنید

هدف: تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات

وسایل مورد نیاز: بشر، لولهٔ آزمایش، هم‌زن شیشه‌ای، شیشه ساعت، توری نسوز و کبریت

مواد مورد نیاز: آمونیوم دی کرومات، جامدی بلوری و نارنجی‌رنگ به فرمول $(NH_4)_2Cr_2O_7$

روش کار:

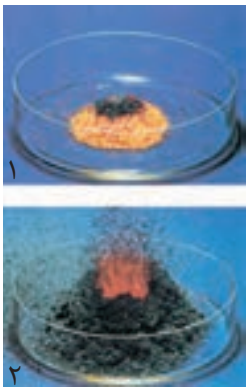
۵g آمونیوم دی کرومات را روی توری نسوز یا درون یک تشتک شیشه‌ای بریزید. سپس توری را روی یک کاغذ A۴ قرار دهید. برای شروع واکنش، کبریت را روشن کنید و به‌مدت چند ثانیه به‌طورمستقیم روی آمونیوم دی کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعلهٔ کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام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

۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵۰ mL را به‌طور 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 مادهٔ اولیه و فراورده را حساب کنید. علت این اختلاف را توضیح دهید.

۳) به کمک معلم خود، معادله واکنش تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات را نوشته، موازنه کنید.

۴) ویژگی‌های ظاهری و انحلال‌پذیری واکنش‌دهنده و فراوردهٔ جامد را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده یا فراورده را در یک لولهٔ آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطر اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



واکنش تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات

خود را بیازمایید

۱ـ در هر مورد معادلهٔ واکنش داده‌شده را موازنه کنید.

آ) $CdCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CdO(s) + CO_2(g)$

ب) $CH_3OH(g) \xrightarrow{\Delta} CO(g) + H_2(g)$

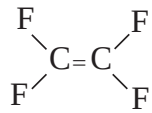
واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.

پ) $Al_2(SO_4)_3(s) \xrightarrow{\Delta} Al_2O_3(s) + SO_3(g)$

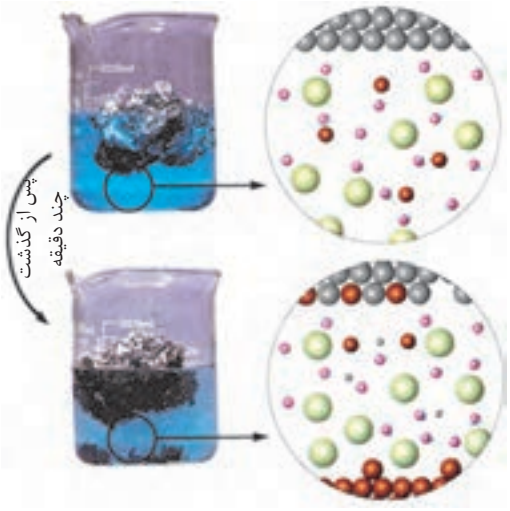
۲ـ در هر مورد، معادلهٔ واکنش داده‌شده را کامل و موازنه کنید.

آ) $Ca(s) + O_2(g) \longrightarrow .....(s)$

ب) $ZnCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + ...(g)$

پ) n  $(g) \longrightarrow ..... (s)$

واکنش جابه‌جایی یگانه: هنگامی که یک قطعه ورقهٔ آلومینیمی درون محلولی از مس (II) سولفات قرار می‌گیرد، تشکیل فلز سرخ فام مس بر سطح ورقهٔ آلومینیمی به‌خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولیدشده نیز به ته ظرف فرو خواهد ریخت، شکل ۳.



شکل۳ واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات

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

$$2Al(s) + 3CuSO_4(aq) \longrightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + 3Cu(s)$$

با نگاهی به معادلهٔ 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 یگانه‌اند.

$$Cl_2(g) + 2KBr(aq) \longrightarrow 2KCl(aq) + Br_2(aq)$$

$$Zn(s) + 2AgNO_3(aq) \longrightarrow Zn(NO_3)_2(aq) + 2Ag(s)$$

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

بریلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی‌دهد و پایین‌تر از ۶۰۰°C در هوا نیز اکسایش نمی‌یابد.

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

$$2K(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow H_2(g) + 2KOH(aq)$$

$$Ba(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow H_2(g) + Ba(OH)_2(aq)$$

واکنش جابه‌جایی دوگانه: اگر محلولی از نقره نیترات بر روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به‌سرعت تشکیل می‌شود، شکل ۴. معادلهٔ این واکنش به‌شرح زیر است:

$$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$

شیمی‌دان‌ها این گونه واکنش‌ها را جابه‌جایی دوگانه می‌خوانند. دلیل این نام‌گذاری چیست؟

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه‌اند.

$$Pb(NO_3)_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

$$Ba(OH)_2(aq) + 2HNO_3(aq) \longrightarrow Ba(NO_3)_2(aq) + 2H_2O(l)$$

$$NaOH(aq) + HCl(aq) \longrightarrow H_2O(l) + NaCl(aq)$$

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، معادلهٔ واکنش داده‌شده را کامل و موازنه کنید.

آ) $Br_2(l) + NaI(aq) \longrightarrow I_2(s) + ...$

ب) $Zn(s) + CuCl_2(aq) \longrightarrow Cu(s) + ...$

پ) $Al(s) + HBr(aq) \longrightarrow ..... + ...$

ت) $Fe(NO_3)_3(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Fe(OH)_3(s) + ...$

ث) $ZnBr_2(aq) + AgNO_3(aq) \longrightarrow AgBr(s) + ...$

آزمایش کنید

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

وسایل مورد نیاز: قاشقک، چند لولهٔ آزمایش و قطره‌چکان

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

پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، نقره نیترات و پتاسیم کرومات

برای تهیهٔ این محلول‌ها کافی است مقدار اندکی (به اندازهٔ نوک یک قاشقک) از هریک از این مواد جامد برداشته، در یک لولهٔ آزمایش بریزید. سپس در لولهٔ 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 لولهٔ آزمایش بریزید سپس قطره‌قطره محلول پتاسیم یدید به آن اضافه کرده، مشاهده‌های خود را یادداشت کنید. معادلهٔ شیمیایی واکنش را کامل و موازنه کنید.

محلول ..... + رسوب ..... ⟶ محلول پتاسیم یدید + محلول سرب (II) نیترات

..... (aq) + ...(aq) ⟶ .....(s) + ...(aq)

ب) شناسایی یون Fe^{3+}

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

محلول.....+ رسوب..... ⟶ محلول سدیم هیدروکسید + محلول آهن (III) کلرید

.....(aq) + ... (s) ⟶ .....(aq) + ...(aq)

پ) شناسایی یون Ag^{+}

محلول پتاسیم کرومات را قطره قطره به محلول نقره نیترات اضافه کرده، مشاهده‌های خود را یادداشت کنید. معادلهٔ واکنش را کامل و موازنه کنید.

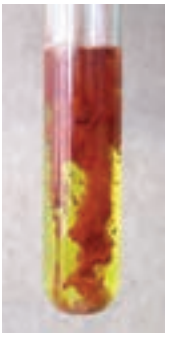
محلول .....+ رسوب ..... ⟶ محلول پتاسیم کرومات + محلول نقره‌نیترات

$AgNO_3(aq) + K_2CrO_4(aq)$ ⟶ .....(s) + ...(aq)

توجه: پس از انجام هر مرحله قطره‌چکان را با آب مقطر بشویید (چرا؟). در مصرف مواد صرفه‌جویی کنید و به توصیهٔ مربی آزمایشگاه برای دور ریختن محلول‌ها دقت کنید.

واکنش محلول سرب (II) نیترات با محلول پتاسیم یدید

واکنش محلول آهن (III) کلرید با محلول سدیم هیدروکسید



واکنش محلول نقره نیترات با محلول پتاسیم کرومات

استوکیومتری؛ روابط کمّی در واکنش‌های شیمیایی

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عنصرها در ترکیب‌ها و نیز ارتباط کمّی میان مقادیر مواد شرکت‌کننده در واکنش‌های شیمیایی (واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها) سروکار دارد. با استفاده از روابط استوکیومتری می‌توان بین مقدار مواد واکنش‌دهنده و مقدار فراورده‌ها یک ارتباط کمّی برقرار کرد. در محاسبه‌های استوکیومتری

استوکیومتری (stoichiometry) واژه‌ای یونانی است که از ترکیب دو واژهٔ استویکیون (stoicheion) به معنای عنصر و مترون (metron) به معنای سنجش گرفته شده است.

تنها از معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش استفاده می‌شود؛ زیرا معادلهٔ شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها، نسبتی معین را مشخص می‌کنند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می‌شوند.

مول و جرم مولی در محاسبه‌های استوکیومتری

مفهوم مول در بحث استوکیومتری را می‌توان هم‌ارز با واحد پول در یک کشور دانست. همان‌طور که تنها با پول رایج یک کشور می‌توان در آنجا به خرید و فروش اقدام کرد، در بحث استوکیومتری و محاسبه‌های مربوط به آن نیز **مول** رایج است. بنابراین آشنایی با مول و شیوه‌های 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 مجموعه‌ای شامل $۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}$ ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود.

عدد $۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}$ را عدد آووگادرو می‌گویند و آن را با N_A نمایش می‌دهند. ثابت آووگادرو برابر $۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳} mol^{-۱}$ است.

همچنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم برحسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول‌های یک ماده برحسب گرم) و شیوهٔ محاسبهٔ آن، آموختید که شیمی‌دان‌ها به جای این دو، مفهوم عمومی‌تر جرم مولی را به‌کار می‌برند و آن را برحسب گرم بر مول ($g.mol^{-۱}$) بیان می‌کنند.

از شیمی ۲ نیز به یاد دارید که وجود ایزوتوپ‌های مختلف و تفاوت در فراوانی آنها سبب شد که برای نمونه‌های طبیعی عنصرها از جرم اتمی میانگین آنها استفاده شود. بنابراین جرم مولی عنصرها یا ترکیب‌ها را به‌آسانی می‌توان از داده‌های تجربی موجود در جدول تناوبی عنصرها به دست آورد، شکل ۵.

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.

آ) آمونیاک، NH_3

ب) اوره، $CO(NH_2)_2$

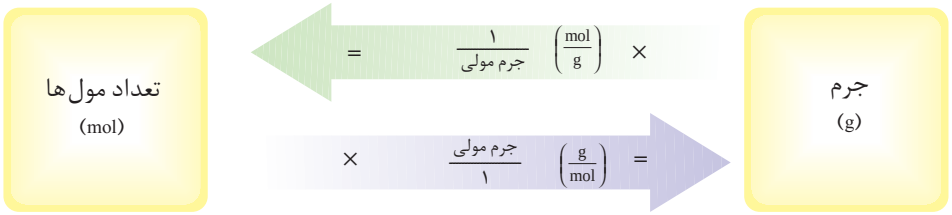
پ) آمونیوم هیدروژن فسفات $(NH_4)_2HPO_4$

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

تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و برعکس

جرم از جمله کمیت‌هایی است که به‌آسانی در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این‌رو 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

نمونهٔ حل شده

جرم $3/50\ mol$ مس چند گرم است؟

پاسخ:

۱ـ فهرست داده‌های مسئله را بنویسید.

* تعداد مول‌های مس: $3/50\ mol$

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

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

$$?\ g\ Cu = 3/50\ \cancel{mol\ Cu} \times \underbrace{\frac{63/55\ g\ Cu}{1\ \cancel{mol\ Cu}}}_{\text{ضریب تبدیل}} = 222/4\ g\ Cu$$

مس یک فلز سکه‌زنی است.

آسپرین به طور طبیعی در پوست درخت بید یافت می‌شود، به‌طوری که مصرف محلولی از گرد پوست درخت بید، سبب کاهش تب و لرز در بیماران مبتلا به مالاریا می‌شود. این موضوع شیمی‌دان‌ها را تشویق کرد تا در پی یافتن فرمول مولکولی آسپرین باشند. از این رو، آنها با انجام واکنش‌های 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 آن‌را در آزمایشگاه از واکنش سالیسیلیک اسید با استیک‌انیدرید تولید کنند.

مردم سراسر جهان، سالانه ۵۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ قرص آسپرین، برای کاهش تب، التهاب، تپش‌های قلب و سکته مصرف می‌کنند. درنتیجه شرکت‌های دارویی به شدت با یکدیگر رقابت می‌کنند تا روش‌های تولید آسپرین و داروهای دیگر را اصلاح کنند و با افزایش مقدار فراورده، قیمت تمام‌شدهٔ داروها را کاهش دهند.

خود را بیازمایید

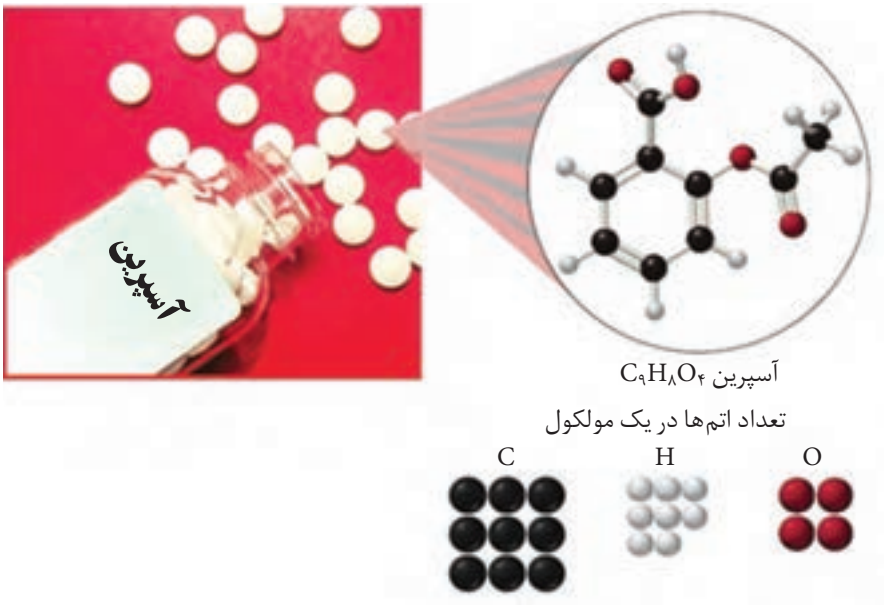
۱ـ ۸۳/۵ g مس چند مول است؟

۲ـ ۱۲۸/۹ g کربن دی‌اکسید چند مول است؟

تجزیهٔ عنصری و استوکیومتری فرمولی

چگونه می‌توان فرمول مولکولی یک مادهٔ شیمیایی را به‌دست آورد؟

در شیمی ۲ آموختید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان‌دهندهٔ نوع و تعداد اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن است. برای نمونه، در آسپرین با فرمول مولکولی $C_9H_8O_4$:



شکل ۷ مدل مولکولی آسپرین و نسبت اتم‌های سازنده آن

در هر مولکول، ۹ اتم کربن، ۸ اتم هیدروژن و ۴ اتم اکسیژن وجود دارد، شکل ۷. درنتیجه هر مول آسپرین، ۹ مول C، ۸ مول H و ۴ مول O دارد. به بیان دیگر اتم‌های C، Hو O به نسبت مولی ۹، ۸ و ۴ وجود دارند.

بنابراین با دانستن نسبت‌های مولی عنصرهای سازنده در یک ماده می‌توان فرمول مولکولی آن را حدس زد. برای نمونه در فرمالدهید به‌ازای 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 می‌توان فرمول مولکولی آن‌را حدس زد؟ برای نمونه، در یک هیدروکربن به‌ازای یک مول اتم کربن،

دومول اتم هیدروژن وجود دارد. فرمول شیمیایی این هیدروکربن را حدس بزنید. آیا فرمول به‌دست‌آمده، 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 آن‌را نشان می‌دهد.

همان‌طورکه می‌دانید فرمول تجربی، ساده‌ترین نسبت مولی عنصرهای سازندهٔ یک ترکیب را مشخص می‌کند؛ برای نمونه، فرمول تجربی 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؟

C_3H_6 , $C_{10}H_{20}$, C_4H_8 , C_5H_{10}

برای یافتن پاسخ، باید جرم مولی هیدروکربن مشخص باشد. حال فرض کنید که جرم مولی این هیدروکربن برابر با ۷۰ گرم بر مول باشد؛ در آن صورت، با توجه به آنچه در شیمی ۲ آموختید، می‌توان نوشت:

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

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

$$n = 5$$

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

$$\text{فرمول مولکولی} = (CH_2)_5 = C_5H_{10}$$

اما این پرسش که «فرمول تجربی را چگونه می‌توان به‌دست آورد؟» بی‌پاسخ مانده است.

فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از تجزیهٔ عنصری آن با انجام محاسبه‌های استوکیومتری به‌دست می‌آید. به‌طوری که می‌توان، نوع عنصرهای سازنده و درصد جرمی آنها را به‌دست آورد. سپس با استفاده از این داده‌ها فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن‌را تعیین کرد.

نمونهٔ حل شده

تجزیهٔ عنصری ۱ـ پروپانول نشان می‌دهد که این ترکیب آلی از ۶۰٪ کربن (C)، ۱۳/۴٪ هیدروژن (H) و ۲۶/۶٪ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به‌دست آورید.

پاسخ:

درصد جرمی عنصرهای سازنده نشان می‌دهد که در هر ۱۰۰ گرم از ۱ـ پروپانول ۶۰ گرم کربن، ۱۳/۴ گرم هیدروژن و ۲۶/۶ گرم اکسیژن وجود دارد؛

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

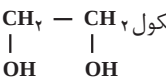
شیمی‌دان‌ها جرم اتم‌ها و مولکول‌ها را با استفاده از دستگاه طیف سنج جرمی به‌دست می‌آورند.

تجزیهٔ عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل دهنده و درصد جرمی هریک از آنها در ترکیب شیمیایی یاد شده تعیین می‌شود.

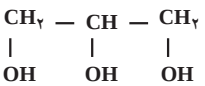
الکل‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های آلی هستند که یک یا تعداد بیشتری گروه عاملی هیدروکسیل(OH-) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل‌ها مانند متانول یک گروه OH- دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱، ۲ـ اتان دی اُل) و گلیسرین (۱، ۲، ۳ـ پروپان تری اُل) به‌ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.

CH_3CH_2OH اتانول — CH_3OH متانول

اتیلن گلیکول



گلیسرین



متانول به الکل چوب معروف است و از گرم کردن چوب در غیاب اکسیژن تا دمای ۴۰۰°C به‌دست می‌آید. در حالی که اتانول، الکل میوه نام دارد و در اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات‌های موجود در میوه‌ها توسط آنزیم‌ها تولید می‌شود.