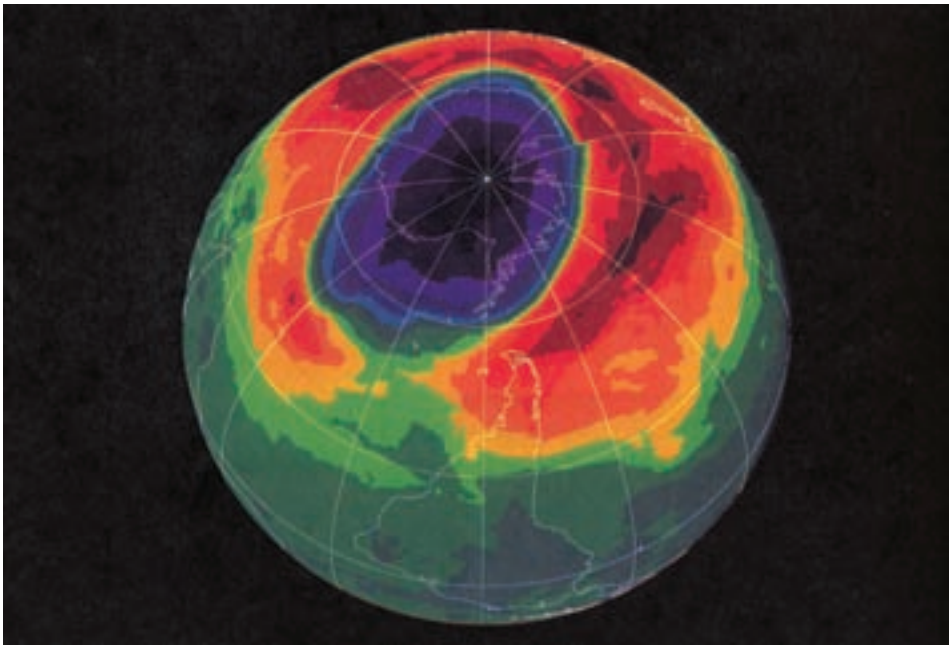
بخش ۱

واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری



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

$CFCl_3$

CF_2Cl_2

فریون-۱۱ ($CFCl_3$) و فریون-۱۲ (CF_2Cl_2) دو نمونه از پرکاربردترین کلروفلوئورو کربن‌ها هستند.

دو دهه است که کاهش ضخامت لایه‌ی اوزون در هوا کره بویژه کاهش ۵۰ 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 (CFCها) 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 پرانرژی و خطرناک فرابنفش خورشید می‌انجامد، در واکنش‌های شیمیایی دیگری درگیر

می‌شوند. این واکنش‌ها به دلیل حضور اتم‌های کلر به‌وقوع می‌پیوندد، اتم‌های کلری که از شکسته‌شدن مولکول‌های CFC در لایه‌ی استراتوسفر به‌وجود می‌آیند.

$$Cl(g) + O_3(g) \longrightarrow ClO(g) + O_2(g)$$

کلر مونواکسید (ClO) حاصل نیز بسیار واکنش‌پذیر است و از طریق واکنش با اتم اکسیژن حاصل از تجزیه‌ی مولکول اوزون، اتم کلر مصرف شده در واکنش پیش را دوباره آزاد می‌کند.

$$ClO(g) + O(g) \longrightarrow Cl(g) + O_2(g)$$

این واکنش، اتم اکسیژن مورد نیاز برای تشکیل مولکول اوزون را از بین می‌برد، ضمن آن‌که اتم کلرِ تخریب‌کننده‌ی مولکول اوزون را دوباره تولید می‌کند. تکرار پیاپی این دو واکنش سبب می‌شود که یک اتم کلر به‌تنهایی بتواند هزارها مولکول اوزون را از بین ببرد. به‌نظر شما برای جلوگیری از وقوع این دو واکنش یا کنترل آن‌ها چه باید کرد؟ آیا حذف یا کاهش مقدار یکی از واکنش‌گرها راه مناسبی است؟ کدام‌یک؟ چه مقدار؟ چرا؟ پاسخ به این پرسش‌ها و بسیاری دیگر به داشتن درک عمیقی از واکنش‌های شیمیایی و انواع آن‌ها و رابطه‌ی کمی میان واکنش‌دهنده‌ها نیازمند است. آشنایی با این مفاهیم شما را در برآورد کمی و کیفی آثار مطلوب و نامطلوب تغییرهای شیمیایی بر زندگی یاری می‌دهند. این‌ها همگی موضوع‌هایی هستند که در این بخش به آن‌ها می‌پردازیم.

واکنش شیمیایی و شیوه‌های نمایش آن

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.

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 و حتی 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 ماده‌ی شیمیایی (عنصر/ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای ایجاد می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادله‌ی انرژی نیز همراه هستند.

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 **معادله‌ی 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 تنها نام واکنش‌دهنده‌ها (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 به‌دست می‌آید که به آن **معادله‌ی نمادی** می‌گویند. در این معادله حالت فیزیکی هر ماده‌ی شرکت‌کننده نیز باید مشخص شود.

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

یک معادله‌ی نمادی چه اطلاعاتی را در اختیار ما می‌گذارد؟

نمادهای به کار 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 معادله‌ی نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.

آ. از واکنش گاز هیدروژن با گاز کلر، گاز هیدروژن کلرید تولید می‌شود.

ب. آلومینیم و آهن (III) اکسید با یک‌دیگر واکنش می‌دهند و آلومینیم اکسید و آهن 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.

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 **موازنه‌شده** می‌گویند. معادله‌ی شیمیایی سوختن گاز متان را دوباره در نظر بگیرید. آیا این معادله موازنه شده است؟

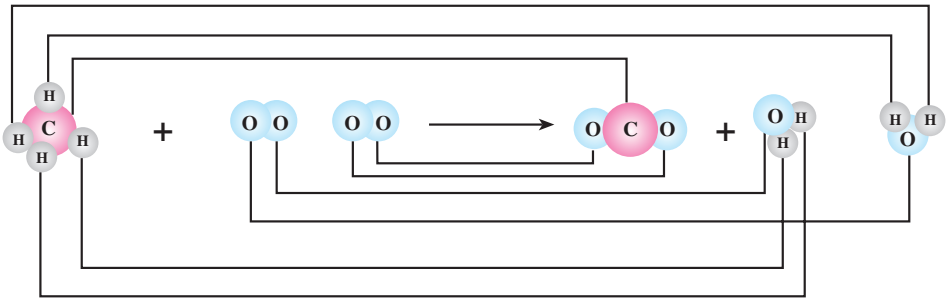
با به‌کاربردن ضریب ۲ برای H_2O (در سمت راست) و O_2 (در سمت چپ)، معادله‌ی این واکنش موازنه می‌شود.

$$CH_4(g) + \textcircled{2}\, O_2(g) \longrightarrow \textcircled{2}\, H_2O(g) + CO_2(g)$$

تعداد اتم‌های C	۱	✓	۱
تعداد اتم‌های H	۴	✓	۴
تعداد اتم‌های O	۴	✓	۴

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. درحالی که اطلاعاتی هم چون چگونگی و ترتیب مخلوط کردن واکنش‌دهنده‌ها و نکته‌های ایمنی را دربرندارد. 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.

همان گونه که مشاهده می کنید با این کار تعداد اتم‌های هر سه عنصر شرکت کننده در واکنش، در دو سوی معادله برابر شده است. معادله‌ی واکنش یاد شده نشان می‌دهد که در سوختن کامل گاز متان، هر مولکولِ این گاز با دو مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب و یک مولکول کربن دی‌اکسید تولید می کند، شکل ۱.



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

همان‌طوری که مشاهده می کنید به هنگام موازنه کردن این معادله‌ی شیمیایی زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده ها جابه‌جا نشد، بلکه ضرایب غیرکسری مناسبی انتخاب و پیش از فرمول شیمیایی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها قرار گرفت. به‌طورکلی این ضرایب به گونه‌ای انتخاب می‌شود که تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله‌ی واکنش برابر شود. بر طبق قرارداد ضرایب نهایی موجود در یک معادله‌ی موازنه‌شده بایستی **کوچک‌ترین عدد صحیح** (غیرکسری) ممکن باشد. از این‌رو، معادله‌ی موازنه شده‌ی سوختن کامل گاز متان را **نباید** به شکل‌های زیر نوشت: (چرا؟)

$$\frac{1}{2}CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) + \frac{1}{2}CO_2(g)$$

$$2CH_4(g) + 4O_2(g) \longrightarrow 4H_2O(g) + 2CO_2(g)$$

بلکه بایستی آن را به‌صورت زیر نمایش داد:

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

چگونه می‌توان این معادله را از دو معادله‌ی بالا به‌دست آورد؟

خود را بیازمایید

معادله‌های شیمیایی زیر را موازنه کنید.

آ. $Mg(s) + N_2(g) \longrightarrow Mg_3N_2(s)$

ب. $CS_2(l) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + SO_2(g)$

صرف نظر از نوع واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها، آیا واکنش انجام‌شده از قانون پایستگی جرم پیروی می کند؟

معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
$\longrightarrow$	تولید می کند یا می‌دهد
$\xrightarrow{\Delta}$	واکنش‌دهنده‌ها براثر گرم‌شدن واکنش می کنند.
$\xrightarrow{20\,atm}$	واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می‌شود.
$\xrightarrow{1200^\circ C}$	واکنش در دمای ۱۲۰۰ درجه‌ی سلسیوس انجام می‌شود.
$\xrightarrow{Pd}$	برای انجام‌شدن واکنش از پالادیم (Pd) به‌عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.

پ. $Al(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + H_2(g)$

ت. $Al(NO_3)_3(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Al(OH)_3(s) + NaNO_3(aq)$

موازنه کردن معادله‌ی واکنش‌های شیمیایی به‌روش وارسی

موازنه کردن معادله‌ی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی به‌سادگی موازنه کردن معادله‌ی سوختن کامل گاز متان نیست. در اغلب موارد لازم است برای برابر کردن تعداد اتم‌های هریک ازعنصرها در دو سوی معادله، عنصر به عنصر مراحل انتخاب ضریب (برای یک واکنش‌دهنده 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 وارسی** می‌گویند. همواره به هنگام موازنه کردن یک معادله‌ی شیمیایی به روش وارسی 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 وارسی کرد؟ تلاش برای پاسخ به این پرسش به یافتن راه‌های گوناگونی برای موازنه کردن معادله‌ی واکنش‌های شیمیایی به روش وارسی انجامیده است. یکی از این راه‌ها در موازنه‌ی معادله شیمیایی زیر معرفی شده است.

$$Fe_2O_3(s) + H_2(g) \longrightarrow Fe(s) + H_2O(g)$$

برای موازنه‌ی معادله‌ی این واکنش به روش وارسی گام های زیر پیشنهاد شده است.

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

$$Fe_2O_3(s) + H_2(g) \longrightarrow Fe(s) + H_2O(g)$$

	واکنش‌دهنده‌ها		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 (واکنش‌دهنده یا فراورده) با بیش‌ترین تعداد اتم از عنصری غیر از هیدروژن و اکسیژن*

در این جا موازنه را از Fe_2O_3 آغاز می‌کنیم. با به کارگیری ضریب ۲ برای Fe در سمت راست معادله و شمارش دوباره‌ی تعداد اتم‌های آهن موازنه را پی می‌گیریم.

$$Fe_2O_3(s) + H_2(g) \longrightarrow ② Fe(s) + H_2O(g)$$

	واکنش‌دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم‌های H	۲	✓	۲
تعداد اتم‌های O	۳		۱

اکنون تعداد اتم‌های آهن نیز موازنه شده است.

گام سوم: *موازنه‌ی تعداد اتم‌های اکسیژن*

با وارد کردن ضریب ۳ برای H_2O در سمت راست معادله، تعداد اتم‌های O در هر دو سوی معادله برابر می‌شود. با این کار، موازنه‌ی تعداد اتم‌های هیدروژن به‌هم می‌ریزد.

$$Fe_2O_3(s) + H_2(g) \longrightarrow ② Fe(s) + ③ H_2O(g)$$

	واکنش‌دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم‌های H	۲		۶
تعداد اتم‌های O	۳	✓	۳

گام چهارم: *موازنه‌ی تعداد اتم‌های هیدروژن*

با وارد کردن ضریب ۳ برای H_2 در سمت چپ معادله، اتم‌های هیدروژن نیز موازنه می‌شود.

$$Fe_2O_3(s) + ③ H_2(g) \longrightarrow ② Fe(s) + ③ H_2O(g)$$

	واکنش‌دهنده‌ها		فراورده‌ها
تعداد اتم‌های Fe	۲	✓	۲
تعداد اتم‌های H	۶	✓	۶
تعداد اتم‌های O	۳	✓	۳

این گام‌ها یعنی ابتدا موازنه کردن اتم‌های غیر از هیدروژن و اکسیژن و سپس، به‌ترتیب موازنه کردن اتم‌های اکسیژن و هیدروژن یک راه پیشنهادی است که بر مبنای روش وارسی به اجرا درمی‌آید. شاید شما بتوانید راه‌های بهتر دیگری پیشنهاد کنید. راه‌هایی که از طریق وارسی انتخابی و پی در پی تعداد اتم‌های هریک از عنصرها در دو سوی معادله، به موازنه‌ی آن بینجامد.

نمونه‌ی حل شده

معادله‌ی شیمیایی زیر را موازنه کنید.

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

گام نخست: از آن‌جا که یون‌های چنداتمی فسفات در دو سوی معادله تغییری نکرده است می‌توان آن‌ها را به‌صورت یک گونه یا واحد شیمیایی جداگانه در نظر گرفت. به این علت، از محاسبه‌ی تعداد اتم‌های اکسیژن موجود در یون‌های چنداتمی فسفات چشم‌پوشی می‌شود.

فراورده‌ها	واکنش‌دهنده‌ها	
۳	۱	تعداد اتم‌های Ca
۲	۵	تعداد اتم‌های H
۱	۲	تعداد اتم‌های O
۲	۱	تعداد یون‌های چنداتمی PO_4^{3-}

گام دوم: موازنه کردن را از ترکیب $Ca_3(PO_4)_2$ در سمت راست آغاز می کنیم 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 PO_4^{3-} موجود است، با وارد کردن ضریب ۲ برای H_3PO_4 در سمت چپ، این یون هم موازنه می‌شود.

$$③Ca(OH)_2(aq) + ②H_3PO_4(aq) \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2(s) + H_2O(l)$$

فراورده‌ها		واکنش‌دهنده‌ها	
۳	✓	۳	تعداد اتم‌های Ca
۲		۱۲	تعداد اتم‌های H
۱		۶	تعداد اتم‌های O
۲	✓	۲	تعداد یون‌های چنداتمی PO_4^{3-}

گام سوم: اکنون به‌ترتیب تعداد اتم‌های دو عنصر O و H موازنه می‌شود. به‌راحتی با به‌کارگیری ضریب ۶ برای H_2O در سمت راست، موازنه‌ی این دو عنصر نیز هم‌زمان انجام می‌شود.

$$③Ca(OH)_2(aq) + ②H_3PO_4(aq) \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2(s) + ⑥H_2O(l)$$

فراورده‌ها		واکنش‌دهنده‌ها	
۳	✓	۳	تعداد اتم‌های Ca
۱۲	✓	۱۲	تعداد اتم‌های H
۶	✓	۶	تعداد اتم‌های O
۲	✓	۲	تعداد یون‌های چنداتمی PO_4^{3-}

به منظور سرعت‌بخشیدن به موازنه کردن یک معادله‌ی شیمیایی، پیشنهاد می‌شود که به جای نوشتن تعداد گونه‌ها یا اتم‌های تک تک عنصرها 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 به‌صورت زیر نوشت:

$$\checkmark \qquad \checkmark \qquad \checkmark$$
$$③\,Ca(OH)_2(aq) + ②\,H_3PO_4(aq) \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2(s) + H_2O(l)$$

خود را بیازمایید

در هر مورد به کمک روش وارسی معادله‌ی واکنش داده‌شده را موازنه کنید.

آ. $KNO_3(s) \longrightarrow KNO_2(s) + O_2(g)$

ب. $C_4H_{10}(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$

پ. $H_2SO_4(aq) + CaBr_2(aq) \longrightarrow CaSO_4(s) + HBr(aq)$

ت. $HCl(aq) + CaCO_3(s) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(l) + CaCl_2(aq)$

انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعه‌ی همه‌ی 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 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 سوختن

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

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

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

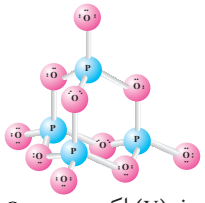
$$\underset{\text{فلز}}{2Mg(s)} + O_2(g) \longrightarrow \underset{\text{اکسید فلز}}{2MgO(s)}$$

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

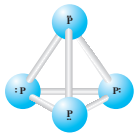
$$4Fe(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Fe_2O_3(s)$$

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

واکنش سوختن نوار منیزیم با آزادشدن نور و گرمای زیادی همراه است. *لازم به یادآوری است که Mg به‌آرامی و بدون شعله نیز با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود. در این واکنش نیز MgO سفید رنگ تولید می‌شود. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش اکسایش می‌گویند. (تشکیل آرام لایه‌ی ترد و سفید رنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدی بر این مدعاست).*



فسفر (V) اکسید P_4O_{10}



فسفر سفید P_4

همواره 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، تخلیه‌ی الکتریکی یا واردآوردن یک شوک مانند زدن ضربه یا افزایش ناگهانی فشار این انرژی را تأمین می‌کند.

خود را بیازمایید

واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

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

ب. $Li(s) + O_2(g) \longrightarrow Li_2O(s)$

پ. $P_4(s) + O_2(g) \longrightarrow P_4O_{10}(s)$

اطلاعات جمع‌آوری کنید

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

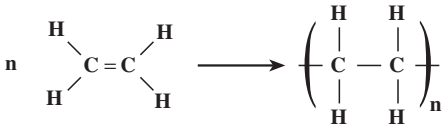
واکنش سنتز یا ترکیب

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

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

شکل ۳ بر اثر واکنش بخار NH_3 و بخار HCl گرد سفیدرنگ NH_4Cl تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیبی است.

واکنش پلیمرشدن (بسپارش) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یک دیگر ترکیب شده، درشت‌مولکول‌هایی به نام پلیمر (بسپار) تولید می‌شود. تولید پلی‌تِن (پلی‌اتیلن) از جمله پرکاربردترین واکنش پلیمرشدن در صنعت است.



$nC_2H_4(g)$ — $(C_2H_4)_n(s)$

اِتن — پلی‌تِن

واکنش تجزیه

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

$$2NaHCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} Na_2CO_3(s) + H_2O(g) + CO_2(g)$$

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

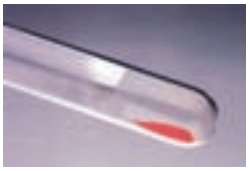
ترکیب‌هایی مانند نیترات‌ها و کلرات‌ها نیز بر اثر گرما تجزیه می‌شوند. گاز اکسیژن فراورده‌ی مهم این دسته از واکنش‌هاست.

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

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

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

$$BaCl_2.2H_2O(s) \longrightarrow BaCl_2(s) + 2H_2O(g)$$



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

$2HgO(s) \longrightarrow 2Hg(l) + O_2(g)$

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

آزمایش کنید

هدف: تجزیه‌ی آمونیوم دی‌کرومات

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 $(NH_4)_2Cr_2O_7$)

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 طورمستقیم روی آمونیوم دی کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعله‌ی کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

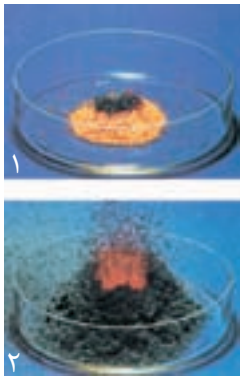
۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵۰mL را به‌طور وارونه چند سانتی‌متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده می‌کنید؟ چه نتیجه‌ای از این مشاهده می‌گیرید؟

۲) بعد از پایان واکنش، جامد باقی‌مانده را 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، موزانه کنید.

۴) ویژگی‌های ظاهری و حل‌شوندگی واکنش‌دهنده و فراورده را در آب مقایسه کنید.

برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده 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

خود را بیازمایید

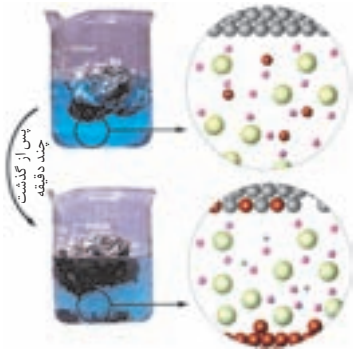
در هر مورد معادله‌ی واکنش داده‌شده را موازنه کنید.

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

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

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

واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.



(یون سولفات ■ مولکول آب)

شکل ۴ واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات نمونه‌ای از واکنش‌های جابه‌جایی یگانه است. آیا می‌توانید اتم‌ها و یون‌های جابه‌جا شده را روی شکل مشخص 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 به‌خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولیدشده 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 به‌صورت فلز مس آزاد کرده است.

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

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.

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

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

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

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.

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

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

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.

$$Sn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow SnCl_2(aq) + H_2(g)$$

این واکنش نیز مثالی از واکنش‌های جابه‌جایی یگانه است.

خود را بیازمایید

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

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

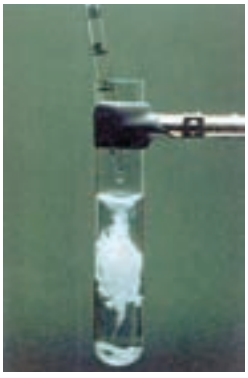
ب. $Zn(s) + CuCl_2(aq) \longrightarrow Cu(s) + \cdots$

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

واکنش جابه‌جایی دوگانه

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

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



شکل ۵ یک واکنش جابه‌جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید ($AgCl(s)$) بر اثر مخلوط کردن محلول‌های نقره نیترات ($AgNO_3(aq)$) و سدیم‌ـ کلرید ($NaCl(aq)$).

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

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه هستند.

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

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

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

خود را بیازمایید

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

آ. $Cd(NO_3)_2(aq) + H_2S(g) \longrightarrow CdS(s) + \cdots$

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

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

آزمایش کنید

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

وسایل مورد نیاز: قاشقک، چند لوله‌ی آزمایش و قطره‌چکان

مواد مورد نیاز: محلول‌های رقیقی از سرب (II) نیترات، آهن (III) کلرید، باریم کلرید، پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، سدیم سولفات، نقره نیترات و پتاسیم کرومات

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

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

..... (aq) + ... (aq) ⟵ .....(s) + ... (aq)

پ. شناسایی یون Ba^{2+}

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

محلول ..... + رسوب ..... ⟶ محلول سدیم سولفات + محلول باریم کلرید

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

ت. شناسایی یون Ag^+

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

محلول ..... + رسوب ..... ⟶ محلول پتاسیم کرومات + محلول نقره نیترات

$AgNO_3(aq) + K_2CrO_4(aq) \longrightarrow$ .....(s) + ...(aq)

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

خود را بیازمایید

در هر مورد مشخص کنید که واکنش داده‌شده جزو کدام دسته از واکنش‌ها است. در ضمن در صورت نیاز آن را موازنه کنید.

آ. $C_2H_4(g) + O_2(g) \xrightarrow{\text{جرقه}} CO_2(g) + H_2O(g)$

ب. $Li_2CO_3(s) \xrightarrow{\Delta} Li_2O(s) + CO_2(g)$

پ. $PbO_2(s) \longrightarrow PbO(s) + O_2(g)$

ت. $CuSO_4(aq) + Na_2S(aq) \longrightarrow CuS(s) + Na_2SO_4(aq)$

ث. $NH_3(g) + HBr(g) \longrightarrow NH_4Br(s)$

ج. $NaNO_3(s) \longrightarrow NaNO_2(s) + O_2(g)$

استوکیومتری؛ روابط کمی در واکنش‌های شیمیایی

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عنصرها در ترکیب‌ها و نیز ارتباط کمی 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 کمی برقرار کرد. در محاسبه‌های استوکیومتری تنها از معادله‌ی موازنه‌شده‌ی واکنش استفاده می‌شود زیرا معادله‌ی 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.

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

روابط مولی ـ مولی در محاسبه‌های استوکیومتری

مفهوم مول در بحث استوکیومتری را می‌توان هم‌ارز واحد پول در یک کشور دانست.

همان‌طورکه تنها با پول رایج یک کشور می‌توان در آن جا به خرید و فروش اقدام کرد، در بحث استوکیومتری و محاسبه‌های 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.

عدد $۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}$ را عدد آووگادرو می‌گویند.

یادآوری مفهوم مول

در کتاب شیمی ۱ با مفهوم مول آشنا شدید. آموختید که یک مول به مجموعه‌ای شامل $۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}$ ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود و آن را به‌طور خلاصه با نماد mol نمایش می‌دهند.

هم‌چنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم ـ جرم اتمی برحسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول های یک ماده ـ جرم مولکولی برحسب گرم) و شیوه‌ی محاسبه‌ی 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 از 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.

خود را بیازمایید

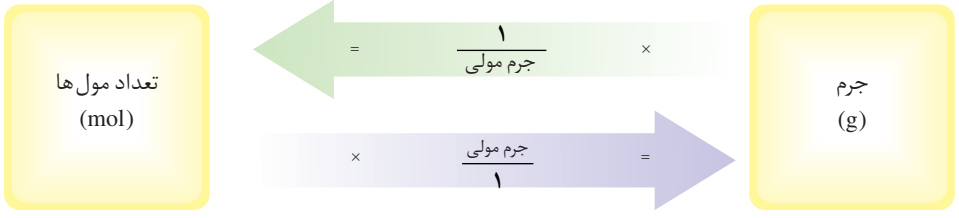
در هر مورد با استفاده از جدول تناوبی عنصرها جرم مولی گونه‌های زیر را معین کنید.

آ) کلر　　ب) کلر مونواکسید　　پ) کربن تتراکلرید

تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و برعکس

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

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



شکل ۶ تبدیل تعداد مول‌ها و جرم به یک‌دیگر