بنابراین:

$$\text{mol C} = ۶۰/۰\ \text{g C} \times \frac{۱\ \text{mol C}}{۱۲/۰\ \text{g C}} = ۵/۰\ \text{mol C}$$

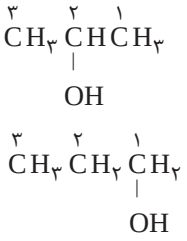
$$\text{mol H} = ۱۳/۴\ \text{g H} \times \frac{۱\ \text{mol H}}{۱/۰\ \text{g H}} = ۱۳/۴\ \text{mol H}$$

$$\text{mol O} = ۲۶/۶\ \text{g O} \times \frac{۱\ \text{mol O}}{۱۶/۰\ \text{g O}} = ۱/۷\ \text{mol O}$$

حال برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عنصرها، تعداد مول هر عنصر را به تعداد مول عنصری که مقدار آن از همه کمتر است، تقسیم می‌کنیم.

$$\left.\begin{aligned} \text{C}: \frac{۵/۰\ \text{mol C}}{۱/۷} &= ۲/۹\ \text{mol C} \\ \text{H}: \frac{۱۳/۴\ \text{mol H}}{۱/۷} &= ۷/۹\ \text{mol H} \\ \text{O}: \frac{۱/۷\ \text{mol O}}{۱/۷} &= ۱\ \text{mol O} \end{aligned}\right\} \Rightarrow C_۳H_۸O$$

الکل‌های راست زنجیر هم کربن را با مشخص کردن شمارهٔ اتم کربنی مشخص می‌کنند که گروه هیدروکسیل به آن متصل شده است.



۱ـ پروپانول و ۲ـ پروپانول

در فرمول شیمیایی، زیروند **۱** نوشته نمی‌شود.

هنگام انجام محاسبه برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عنصرها، عددهای نهایی به‌دست آمده را می‌توانید حداکثر تا تقریب یک دهم گرد کنید. برای نمونه؛

۵/۰۹ ≃ ۵

۴/۹۱ ≃ ۵

خود را بیازمایید

۱ـ یک ترکیب یونی که برای تولید شیشه‌های لوازم الکترونیکی به‌کار می‌رود، شامل ۵۶/۵٪ پتاسیم، ۸/۹٪ کربن و ۳۴/۶٪ اکسیژن است. فرمول تجربی این ترکیب را به‌دست آورید.

۲ـ مادهٔ معطر و خوش‌طعم موجود در آناناس دارای ۶۲/۱٪ کربن، ۱۰/۳٪ هیدروژن و ۲۷/۶٪ اکسیژن است. اگر جرم مولی آن برابر ۱۱۶ گرم برمول باشد، فرمول مولکولی آن را به‌دست آورید.

۳ـ تجزیهٔ عنصری نمونه‌ای از یک مادهٔ شیمیایی نشان داد که در این نمونه ۱۲/۴g کلسیم و ۶/۴ g فسفر وجود دارد. فرمول تجربی مادهٔ شیمیایی موجود در این نمونه چیست؟

بیشتر بدانید

برای تأمین غذای جمعیت رو به فزونی جهان، کشاورزان ناگزیرند فراورده‌های بیشتر و مغذی‌تری را تولید کنند. آنها هر سال، صدها میلیون تُن کود شیمیایی را به خاک می‌افزایند تا فراورده‌های با کیفیت بالاتری به‌دست آورند. گیاهان برای رشد مناسب، افزون بر کربن دی‌اکسید و آب، به شش عنصر دیگر نیز نیاز دارند. این شش عنصر عبارت‌اند از N، P، K، Ca، S و Mg.

کودهای نیتروژن‌دار دارای نمک‌های نیترات (ترکیب‌های دارای یون NO_3^-)، نمک‌های آمونیوم (ترکیب‌های دارای یون NH_4^+) و ترکیب‌های دیگر است. گیاهان می‌توانند نیتروژن را به‌طور مستقیم به‌صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک (NH_3) و نمک‌های آمونیوم ابتدا باید به‌وسیلهٔ باکتری‌های خاک به نیترات‌ها تبدیل شوند. آمونیاک مادهٔ اولیهٔ کودهای نیتروژن‌دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به‌دست می‌آید.

$$3H_2(g) + N_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

همچنین، آمونیاک را می‌توان براساس واکنش‌های زیر به آمونیوم نیترات (NH_4NO_3)، آمونیوم سولفات ($(NH_4)_2SO_4$)، یا آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات ($(NH_4)H_2PO_4$) تبدیل کرد:

$$NH_3(aq) + HNO_3(aq) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$$

$$2NH_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

$$NH_3(aq) + H_3PO_4(aq) \rightarrow (NH_4)H_2PO_4(aq)$$

از واکنش دو مرحله‌ای زیر نیز به‌عنوان روش دیگری برای تهیهٔ آمونیوم سولفات استفاده می‌شود:

مرحلهٔ یک $2NH_3(aq) + CO_2(aq) + H_2O(l) \rightarrow (NH_4)_2CO_3(aq)$

مرحلهٔ دو $(NH_4)_2CO_3(aq) + CaSO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq) + CaCO_3(s)$

برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر آن است که مواد اولیهٔ آن (گچ، کربن دی‌اکسید و آب) از سولفوریک اسید ارزان‌ترند.

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

درصد جرمی نیتروژن در پنج کود شیمیایی رایج

نام	فرمول شیمیایی	٪N
آمونیاک	NH_3	۸۲/۴
آمونیوم نیترات	NH_4NO_3	۳۵
آمونیوم سولفات	$(NH_4)_2SO_4$	۲۱/۲
آمونیوم دی هیدروژن فسفات	$(NH_4)H_2PO_4$	۱۲/۲
اوره	$(NH_2)_2CO$	۴۶/۷

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

(۱) قیمت مواد اولیهٔ لازم برای تهیهٔ کود

(۲) آسانی انبار کردن، حمل و نقل و به‌کارگیری

(۳) درصد جرمی عنصر موردنظر

(٤) مناسب بودن ترکیب از نظر انحلال‌پذیری در آب یا آسانی جذب آن به‌وسیلهٔ گیاهان.

با توجه به همهٔ این عوامل، به‌نظر شما کدام یک از این کودها مهم‌ترین کود شیمیایی نیتروژن‌دار در جهان به‌شمار می‌آید؟ در این‌باره تحقیق کنید.

استوکیومتری واکنش

یک معادلهٔ موازنه‌شده، رابطهٔ کمّی بین شمار ذره‌های واکنش‌دهنده(ها) و فراورده(ها) را نشان می‌دهد. واکنش سوختن کامل گاز متان را در نظر بگیرید:

$$CH_۴(g) + ۲O_۲(g) \longrightarrow CO_۲(g) + ۲H_۲O(g)$$

این معادله نشان می‌دهد که برای سوختن کامل هر مولکول متان، به دو مولکول اکسیژن نیاز است. در این واکنش یک مولکول کربن دی‌اکسید و دو مولکول آب تولید می‌شود. به همین ترتیب می‌توان گفت به‌ازای هر مول گاز متان به دو مول گاز اکسیژن نیاز است و با انجام واکنش یک مول گاز کربن دی‌اکسید و دو مول بخار آب تولید می‌شود.

خود را بیازمایید

با توجه به معادلهٔ واکنش سوختن کامل متان، نسبت‌های مولی زیر را کامل کنید:

$$\text{نسبت مولی اکسیژن به متان} = \frac{۲\,mol\ O_۲}{۱\,mol\ CH_۴} = ۲$$

$$\text{نسبت مولی کربن دی‌اکسید به متان} = _____$$

$$\text{نسبت مولی آب به کربن دی‌اکسید} = _____$$

$$\text{نسبت مولی متان به آب} = _____$$

با استفاده از نسبت‌های مولی می‌توان تعداد مولِ فراورده(ها)ی به‌دست‌آمده از واکنش یا تعداد مولِ واکنش‌دهنده(ها)ی مورد نیاز را به‌دست آورد.

نمونهٔ حل شده

فلز روی با هیدروکلریک اسید به‌صورت زیر واکنش می‌دهد.

$$Zn(s) + ۲HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_۲(aq) + H_۲(g)$$

آ) از واکنش ۰/۲ mol فلز روی با هیدروکلریک اسید، چند مول گاز هیدروژن تولید می‌شود؟

ب) برای تولید ۰/۳ mol روی کلرید به چند مول هیدروکلریک اسید نیاز است؟

پاسخ:

مرحلهٔ ۱:

به‌دست‌آوردنِ نسبت‌های مولی از روی معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش

$$\text{نسبت مولی گاز هیدروژن به فلز روی} = \frac{۱\ \text{mol}\ H_۲}{۱\ \text{mol}\ Zn}$$

$$\text{نسبت مولی هیدروکلریک اسید به روی کلرید} = \frac{۲\ \text{mol}\ HCl}{۱\ \text{mol}\ ZnCl_۲}$$

مرحلهٔ ۲:

به‌دست آوردنِ تعداد مول‌های مادهٔ خواسته شده از روی تعداد مول مادهٔ داده شده با استفاده از نسبت‌های مولی به‌دست آمده

پاسخ قسمت آ:

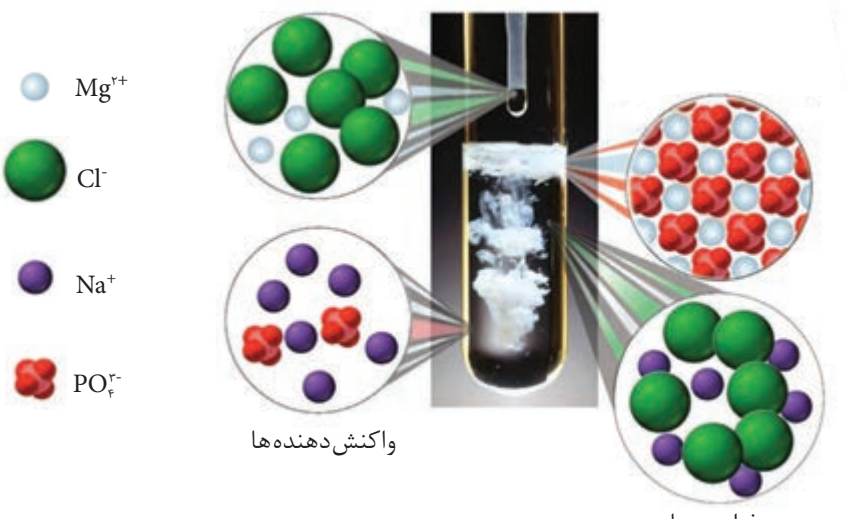
$$?\,\text{mol}\ H_۲ = \underbrace{۰/۲\ \text{mol}\ Zn}_{\text{تعداد مول مادهٔ داده شده}} \times \underbrace{\frac{۱\ \text{mol}\ H_۲}{۱\ \text{mol}\ Zn}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{۰/۲\ \text{mol}\ H_۲}_{\text{تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده}}$$

پاسخ قسمت ب:

$$?\,\text{mol}\ HCl = \underbrace{۰/۳\ \text{mol}\ ZnCl_۲}_{\text{تعداد مول مادهٔ داده شده}} \times \underbrace{\frac{۲\ \text{mol}\ HCl}{۱\ \text{mol}\ ZnCl_۲}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{۰/۶\ \text{mol}\ HCl}_{\text{تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده}}$$

خود را بیازمایید

آ) با توجه به شکل زیر، معادلهٔ واکنش شیمیایی انجام شده را بنویسید و موازنه کنید.

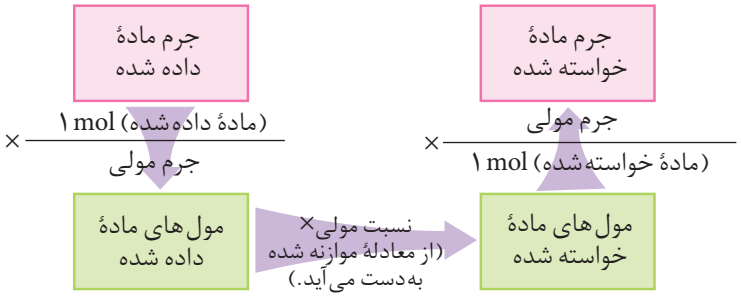


ب) از واکنش ۰/۵ مول سدیم فسفات با منیزیم کلرید کافی، چند مول منیزیم فسفات جامد تولید می‌شود؟

روابط جرمی ـ جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان‌گونه که می‌دانید جرم مولی میانگین هر ترکیب، از جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های تشکیل دهندهٔ آن به دست می‌آید. برای مثال جرم مولی میانگین آب و کربن‌دی‌اکسید به‌ترتیب ۱۸/۰ و ۴۴/۰ گرم بر مول است.

برای محاسبهٔ مقدار جرم فراورده(ها)ی حاصل از یک واکنش یا جرم مورد نیاز از واکنش‌دهنده(ها) برای تولید جرم مشخصی از یک فراورده، می‌توان از روابط استوکیومتری استفاده کرد. در چنین مواردی، معادلهٔ شیمیایی موازنه‌شدهٔ واکنش مبنای محاسبه‌های کمّی قرار می‌گیرد. استوکیومتری واکنش‌ها برحسب مول تفسیر می‌شود، بنابراین ابتدا باید با استفاده از جرم مولی، جرم مادهٔ داده شده را به مول تبدیل کرد. سپس با استفاده از نسبت‌های مولی، تعداد مول مادهٔ داده شده را به تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده تبدیل کرد. سرانجام می‌توان با استفاده از جرم مولی مادهٔ خواسته شده، مقدار جرم آن را محاسبه کرد. شکل ۸، روند حل بسیاری از مسائل استوکیومتری را نشان می‌دهد.



شکل ۸ بسیاری از مسائل استوکیومتری، تبدیل جرم به مول و برعکس و استفاده از نسبت مولی در واکنش‌های شیمیایی را در بر می‌گیرد.

نمونهٔ حل شده

از واکنش ۱۷/۰ g نقره نیترات با مقدار کافی محلول سدیم کلرید چند گرم نقره کلرید به‌دست می‌آید؟

۱ـ نوشتن معادلهٔ موازنه‌شده

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

۲ـ محاسبهٔ تعداد مول‌های مادهٔ داده شده (نقره نیترات) با استفاده از جرم مولی آن

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

$$?\,\text{mol } AgNO_3 = 17/0\,\text{g } \cancel{AgNO_3} \times \frac{1\,\text{mol } \cancel{AgNO_3}}{170\,\text{g } \cancel{AgNO_3}} = 0/100\,\text{mol } AgNO_3$$

۳ـ محاسبهٔ تعداد مول‌های مادهٔ خواسته‌شده (نقره کلرید) با استفاده از نسبت مولی به‌دست آمده از معادلهٔ موازنه‌شده

$$\text{تعداد مول نقره نیترات} \times \text{نسبت مولی} = \text{تعداد مول نقره کلرید}$$

$$?\,\text{mol } AgCl = 0/100\,\text{mol } \cancel{AgNO_3} \frac{1\,\text{mol } AgCl}{1\,\text{mol } \cancel{AgNO_3}} = 0/100\,\text{mol } AgCl$$

حفظ کردن واکنش‌های شیمیایی و اطلاعات داده شده در صورت پرسش‌ها، جزء هدف‌های کتاب درسی نیست و طرح سؤال از این موارد مجاز نیست.

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

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

$$?\,\text{g } AgCl = 0/100\,\text{mol } \cancel{AgCl} \times \frac{143/5\,\text{g } AgCl}{1\,\text{mol } AgCl} = 14/4\,\text{g } AgCl$$

همان‌گونه 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. به‌عبارتی در هر گام با یک تبدیل عددی ـ ابعادی روبه‌رو هستیم و به این ترتیب یک گام به حل نهایی (عددی با یکای دلخواه) نزدیک می‌شویم.

خود را بیازمایید

۱ـ کدام یک از گزینه‌های زیر جرم آب تولید شده از واکنش ۳/۲ مول گاز اکسیژن با گاز هیدروژن سولفید کافی را به درستی نشان می‌دهد؟

$$2H_2S(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g) + 2SO_2(g)$$

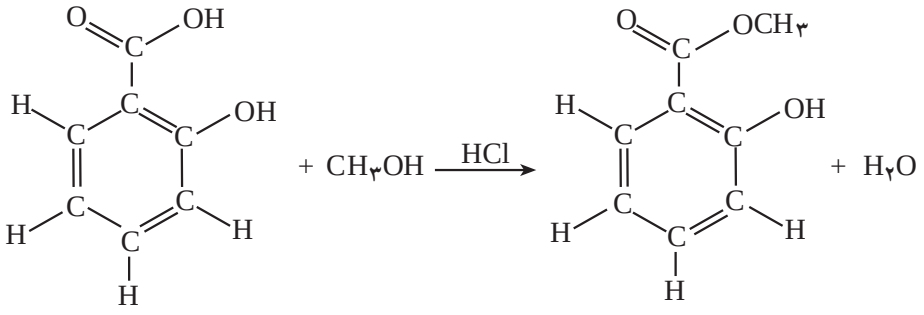
آ) $3/2\,\text{mol } O_2 \times \frac{18\,\text{g } H_2O}{2\,\text{mol } H_2O}$

ب) $3/2\,\text{mol } O_2 \times \frac{32\,\text{g } O_2}{1\,\text{mol } O_2} \times \frac{18\,\text{g } H_2O}{32\,\text{g } O_2}$

پ) $3/2\,\text{mol } O_2 \times \frac{2\,\text{mol } H_2O}{3\,\text{mol } O_2} \times \frac{18\,\text{g } H_2O}{1\,\text{mol } H_2O}$

ت) $۳/۲\ \text{mol}\ O_۲ \times \frac{۳۲\ \text{g}\ O_۲}{۱\ \text{mol}\ O_۲} \times \frac{۲\ \text{mol}\ H_۲O}{۳\ \text{mol}\ O_۲}$

۲ـ متیل سالیسیلات به عنوان طعم‌دهنده در مواد غذایی و دارویی، استفاده می‌شود. این ماده از واکنش متانول با سالیسیلیک اسید به‌دست می‌آید:



سالیسیلیک اسید (جرم مولی=۱۳۸/۱ g/mol)

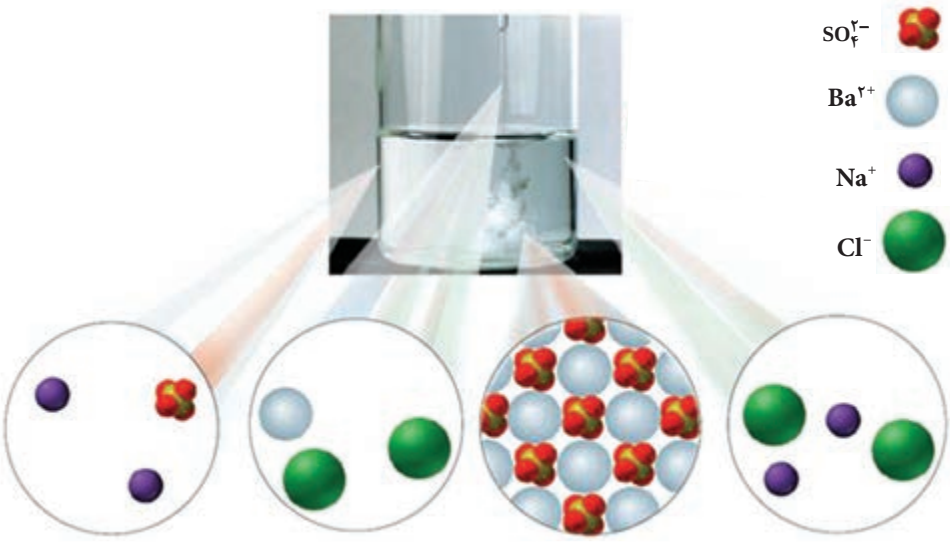
متانول

متیل سالیسیلات (جرم مولی= ۱۵۲/۲ g/mol)

چند گرم سالیسیلیک اسید برای تولید ۳۲۵/۰ g متیل سالیسیلات لازم است؟

۳ـ شکل زیر واکنش بین محلول‌های سدیم سولفات و باریم کلرید را نشان می‌دهد.

آ) معادلهٔ واکنش شیمیایی را بنویسید و موازنه کنید.



ب) از واکنش ۱۰۴/۱ گرم از باریم کلرید با مقدار اضافی از سدیم سولفات، چند گرم باریم سولفات رسوب می‌دهد؟

درصد خلوص مواد

در شکل زیر، دو نمونه گندمِ برداشت شده از زمین‌های کشاورزی را مشاهده می کنید. به‌نظر شما برای تهیهٔ مقدار معین و یکسانی از آرد گندم، از کدام نمونه باید مقدار بیشتری برداریم؟ چرا؟

آ) گندم خالص

ب) گندم ناخالص

شکل ۹

همان‌طور که مشاهده می کنید، یکی از این نمونه‌ها دارای ناخالصی است. در صنعت و آزمایشگاه نیز، اغلب واکنش‌دهنده‌ها ناخالص‌اند. به بیان دیگر، افزون بر مادهٔ شیمیایی مورد نظر، برخی ترکیب‌های دیگر نیز در آنها وجود دارند. برای نمونه، سدیم کلرید (نمک خوراکی) در طبیعت به‌صورت کانهٔ هالیت یافت می‌شود. به‌طوری‌که در هر ۲۰۰ گرم از این نمونه، ۱۹۵ گرم سدیم کلرید وجود دارد. ۵ گرم باقی‌مانده برای این کانه، ناخالصی به شمار می‌رود، شکل ۱۰. به‌نظر شما درصد خلوص برای این هالیت چند است؟

کانهٔ هالیت، یک نمونه ناخالص از سدیم کلرید است.

آ) کانهٔ هالیت

ب) نمک خوراکی

شکل ۱۰

شیمی‌دان‌ها برای بیان میزان خلوص یک نمونه، از درصد خلوص استفاده می کنند. بنابراین، در حین کار در آزمایشگاه و صنعت برای تأمین مقدار معینی از یک مادهٔ خالص، همواره باید مقدار بیشتری ازمادهٔ ناخالص را به‌کار برد.

با استفاده از رابطهٔ درصد خلوص و محاسبات کمّی، می‌توان مقادیر موردنیاز از مادهٔ ناخالص را به‌دست آورد.

$$\text{درصد خلوص} = \frac{\text{جرم مادهٔ خالص}}{\text{جرم نمونهٔ ناخالص}} \times ۱۰۰$$

نمونهٔ حل شده

یکی از روش‌های تولید گاز کلر در آزمایشگاه، واکنش دادن هیدروکلریک اسید با منگنز (IV) اکسید طبق معادلهٔ زیر است:

$$MnO_۲(s) + ۴HCl(aq) \longrightarrow MnCl_۲(aq) + Cl_۲(g) + ۲H_۲O(l)$$

برای تهیهٔ ۲۰/۰ g گاز کلر، به چند گرم نمونهٔ ناخالص منگنز (IV) اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالصی‌ها بی‌اثرند و در واکنش شرکت نمی‌کنند.

پاسخ: ابتدا باید جرم منگنز (IV) اکسید خالص مورد نیاز را محاسبه کرد. سپس با استفاده از درصد خلوص، جرم منگنز (IV) اکسید ناخالص را به‌دست آورد.

از واکنش ترمیت برای جوش‌دادن خطوط راه‌آهن استفاده می‌شود.

$$?\ mol\ Cl_۲ = ۲۰/۰\ \cancel{g\ Cl_۲} \times \frac{۱\ mol\ Cl_۲}{۷۰/۹\ \cancel{g\ Cl_۲}} = ۰/۲۸۲\ mol\ Cl_۲$$

$$?\ mol\ MnO_۲ = ۰/۲۸۲\ \cancel{mol\ Cl_۲} \times \frac{۱\ mol\ MnO_۲}{۱\ \cancel{mol\ Cl_۲}} = ۰/۲۸۲\ mol\ MnO_۲$$

$$\text{جرم } MnO_۲ \text{ خالص موردنیاز} = ۰/۲۸۲\ \cancel{mol\ MnO_۲} \times \frac{۸۶/۹\ g\ MnO_۲}{۱\ \cancel{mol\ MnO_۲}} = ۲۴/۵ g\ MnO_۲$$

$$\text{نمونهٔ ناخالص } ۲۷/۲ g = \text{جرم } MnO_۲ \text{ ناخالص مورد نیاز} = ۲۴/۵\ \cancel{g\ MnO_۲} \times \frac{۱۰۰\ g \text{ نمونهٔ ناخالص}}{۹۰\ \cancel{g\ MnO_۲}}$$

خود را بیازمایید

در واکنش آلومینیم با آهن (III) اکسید (واکنش ترمیت)، آهن مذاب تولید می‌شود. از آهن مذاب تولید شده برای جوشکاری استفاده می‌کنند.

حساب کنید برای تولید ۲۷۹ گرم آهن، چند گرم آلومینیم با درصد خلوص ۸۰ درصد لازم است تا با مقدار کافی از آهن (III) اکسید واکنش بدهد؟

$$Fe_۲O_۳(s) + ۲Al(s) \longrightarrow Al_۲O_۳(s) + ۲Fe(l)$$

روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری

محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایهٔ کارهای ژوزف لویی گی‌لوساک شیمی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به معرفی **قانون نسبت‌های**

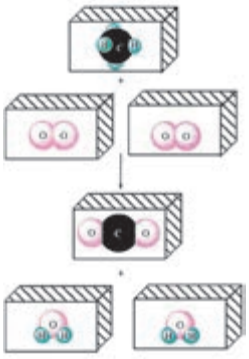
ترکیبی منجر شد. برطبق این قانون:

در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت‌های حجمی معینی با هم واکنش می‌دهند.

این نسبت‌ها به‌طور مستقیم با نسبت ضریب‌های آنها در معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش متناسب هستند. برای مثال، واکنش سوختن کامل متان را درنظر بگیرید.

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

اگر همهٔ مواد شرکت‌کننده در واکنش به حالت گازی و در فشار و دمای یکسانی قرار داشته باشند، می‌توان گفت که یک حجم گاز CH_4 با دو حجم گاز O_2 واکنش می‌دهد و یک حجم گاز CO_2 و دو حجم گاز H_2O تشکیل می‌شود، شکل ۱۱.



شکل ۱۱ معادلهٔ حجمی ترکیب شدن متان و اکسیژن. هر مکعب L ۱ از آن گاز را نشان می‌دهد.

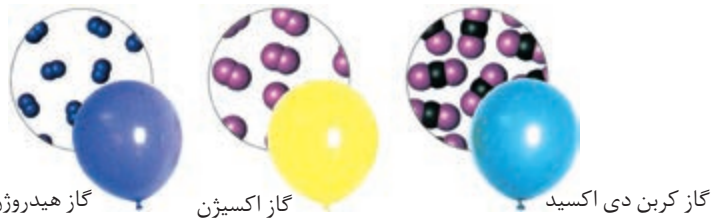
از بررسی معادلهٔ تصویری نمایش داده شده در شکل ۱۱ می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

در فشار و دمای یکسان، 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 $0^\circ C$ (۲۷۳K) و فشار ۱ اتمسفر (۷۶۰mmHg) بیان می‌کنند. در این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است، هر مول گاز حجمی برابر با ۲۲/۴L را اشغال می‌کند. این مقدار را **حجم مولی گازها در شرایط STP** می‌نامند، شکل ۱۲.

STP کوتاه‌شدهٔ Standard Temperatuer and Pressure است.



شکل ۱۲ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد

ژوزف گی لوساک
(۱۷۷۸ ـ ۱۸۵۰)

در حل بعضی مسائل استوکیومتری مربوط به گازها می‌توان با استفاده از قانون نسبت‌های حجمی، ضریب تبدیل حجمی ـ حجمی مناسب را از روی معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش پیدا کرد.

نمونهٔ حل شده

حجم اکسیژن مورد نیاز و نیز حجم‌های CO_2 و H_2O تولیدشده در هنگام سوختن کامل ۱/۵۰ L گاز اتان (C_2H_6) را در دما و فشار ثابت محاسبه کنید.

$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

پاسخ:

$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = 1/50\ L\ C_2H_6 \times \frac{7\ L\ O_2}{2\ L\ C_2H_6} = 5/25\ L\ O_2$$

$$\text{حجم } CO_2 \text{ تولید شده} = 1/50\ L\ C_2H_6 \times \frac{4\ L\ CO_2}{2\ L\ C_2H_6} = 3/00\ L\ CO_2$$

$$\text{حجم } H_2O \text{ تولید شده} = 1/50\ L\ C_2H_6 \times \frac{6\ L\ H_2O}{2\ L\ C_2H_6} = 4/50\ L\ H_2O$$

خود را بیازمایید

گاز نیتروژن با گاز هیدروژن طبق معادلهٔ زیر واکنش می‌دهد و گاز آمونیاک تولید می‌کند:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$

در دما و فشار ثابت برای واکنش کامل $10/0\ L$ نیتروژن، به چند لیتر هیدروژن نیاز است؟ در این شرایط چند لیتر آمونیاک به‌دست می‌آید؟

در حل برخی دیگر از مسائل استوکیومتری گازها، می‌توان با استفاده از حجم مولی، ضرایب تبدیل مولی ـ حجمی مناسب را به‌دست آورد و از روی آن مقدار مادهٔ مورد نظر را محاسبه کرد.

نمونهٔ حل شده

بدن انسان در هر شبانه‌روز به‌طور متوسط $445g$ گلوکز مصرف می‌کند. در این مدت هر انسان به‌طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکز نیاز دارد؟

$$C_6H_{12}O_6(aq) + 6O_2(g) \longrightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$$

پاسخ: ابتدا تعداد مول‌های گلوکز را از روی جرم مولی آن ($180/0\ g.mol^{-1}$) حساب می‌کنیم:

$$?mol\ C_6H_{12}O_6 = 445\ g\ C_6H_{12}O_6 \times \frac{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}{180/0\ g\ C_6H_{12}O_6} = 2/47\ mol\ C_6H_{12}O_6$$

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

$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = 2/47\ mol\ C_6H_{12}O_6 \times \frac{6\ mol\ O_2}{1\ mol\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{22/4\ L\ O_2}{1\ mol\ O_2} = 332\ L\ O_2$$

خود را بیازمایید

در شرایط استاندارد چند لیتر گاز H_2 از واکنش ۴/۸۰ g منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می‌شود؟

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

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.

نمونهٔ حل شده

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

$$2NaHCO_3(s) \longrightarrow H_2O(g) + Na_2CO_3(s) + CO_2(g)$$

از گرم کردن ۱/۵۰ g سدیم هیدروژن کربنات چند میلی لیتر گاز CO_2 آزاد می‌شود؟ چگالی CO_2 در دمای واکنش، $1/10\ g.L^{-1}$ است.

پاسخ: ابتدا تعداد مول‌های سدیم هیدروژن کربنات را با استفاده از جرم مولی آن ($84/0\ g.mol^{-1}$) حساب می‌کنیم.

$$\text{تعداد مول‌های } NaHCO_3 = 1/50\ g\ NaHCO_3 \times \frac{1\ mol\ NaHCO_3}{84/0\ g\ NaHCO_3}$$

$$= 1/79 \times 10^{-2}\ mol\ NaHCO_3$$

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

$$?\ g\ CO_2 = 1/79 \times 10^{-2}\ mol\ NaHCO_3 \times \frac{1\ mol\ CO_2}{2\ mol\ NaHCO_3} \times \frac{44/0\ g\ CO_2}{1\ mol\ CO_2}$$

$$= 0/393\ g\ CO_2$$

جرم CO_2 تولید شده را با استفاده از چگالی آن به حجم تبدیل می‌کنیم:

$$?\ mL\ CO_2 = 0/393\ g\ CO_2 \times \frac{1\ L\ CO_2}{1/10\ g\ CO_2} \times \frac{1000\ mL\ CO_2}{1\ L\ CO_2}$$

$$= 357\ mL\ CO_2$$

یک فضانورد در حال تعویض قوطی‌های تصفیهٔ هوای فضا پیما است.

خود را بیازمایید

برای تصفیهٔ هوای درون فضاپیماها مطابق واکنش‌های زیر از تأثیر کربن دی‌اکسید بر لیتیم پراکسید (Li_2O_2) یا لیتیم هیدروکسید (LiOH) استفاده می‌شود:

$$2Li_2O_2(aq) + 2CO_2(g) \rightarrow 2Li_2CO_3(aq) + O_2(g)$$

$$2LiOH(aq) + CO_2(g) \rightarrow Li_2CO_3(aq) + H_2O(l)$$

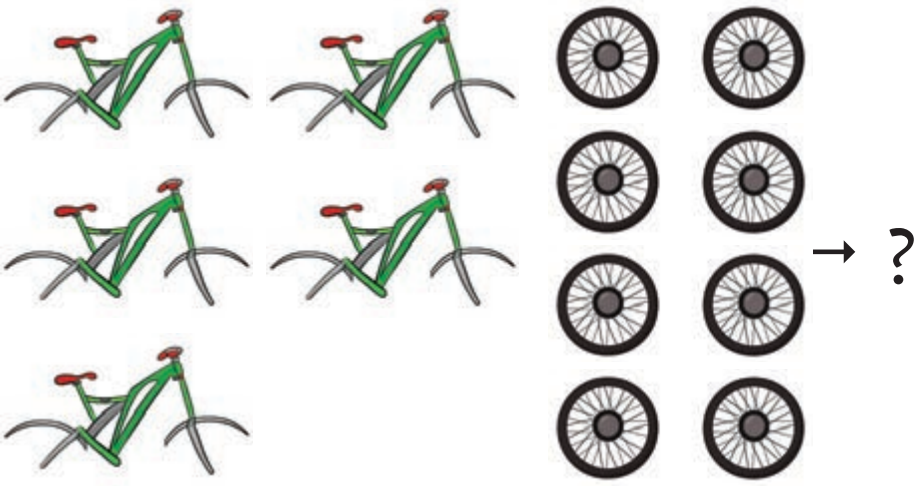
هر فضانورد در شبانه‌روز به‌طور متوسط ۰/۲ مول CO_2 تولید می‌کند.

آ) اگر از واکنش اول برای تصفیهٔ هوا استفاده شود و در این واکنش همهٔ کربن‌دی‌اکسید تولید شده به‌مصرف برسد، مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه‌روز چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را $1/4\ g.L^{-1}$ درنظر بگیرید.)

ب) به‌نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیهٔ هوای درون فضاپیما مناسب‌تر است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.

واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

همان‌طور که می‌دانید برای تولید هر دوچرخه به یک عدد بدنه و دو حلقه چرخ نیاز است. حال اگر ۸ حلقه چرخ و ۵ عدد بدنه در اختیار داشته باشید، چند عدد دوچرخه می‌توانید بسازید؟ شکل ۱۳.



شکل ۱۳ برای تولید دوچرخه، تعداد بدنه‌ها کمتر است یا چرخ‌ها؟

برای ساختن دوچرخهٔ پنجم، به دو حلقه چرخ دیگر نیاز داریم. به بیان دیگر در این مثال تعداد دوچرخه‌های تولید شده، به تعداد بدنه‌های موجود بستگی ندارد؛ بلکه به تعداد چرخ‌ها بستگی دارد.

در واکنش‌های شیمیایی نیز چنین است. برای نمونه، در واکنش سوختن هیدروژن همواره ۲ مول گاز هیدروژن با ۱ مول گاز اکسیژن به‌طور کامل ترکیب می‌شود.

$$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$$

حال اگر در یک آزمایش، ۲ مول هیدروژن را با ۲ مول اکسیژن واکنش دهیم، انتظار دارید که کدام یک از واکنش‌دهنده‌ها به‌طور کامل مصرف شوند؟

به واکنش‌دهنده‌ای که به‌طور کامل مصرف می‌شود، **واکنش‌دهندهٔ محدودکننده** می‌گویند؛ بنابراین در آزمایش بالا، گاز H_2، محدودکننده است. هر چند نسبت‌های مولی مواد در واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی جرم به‌دست می‌آید؛ اما، در آزمایشگاه و صنعت می‌توانیم به‌طور اختیاری مقدار یکی از واکنش‌دهنده‌ها را کمتر از مقدار استوکیومتری آن به‌کار ببریم تا از مصرف کامل آن اطمینان حاصل کنیم.

مقدار فراوردهٔ تولید شده به مقدار محدودکننده بستگی دارد.

انتخاب محدود کننده در صنعت به عوامل متعددی مانند قیمت، سهولت کاربرد و... بستگی دارد.

برای نمونه، برای تولید ۴۰۰ مول آهن از سنگ معدن آن، می‌توان ۲۰۰ مول Fe_2O_3 را با ۳۰۰ مول C واکنش داد .

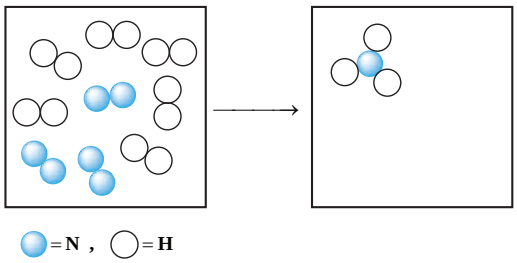
$$2Fe_2O_3(s) + 3C(s) \longrightarrow 4Fe(l) + 3CO_2(g)$$

اما از آنجا که کربن ارزان‌تر است و جداسازی تمام آهن از سنگ معدن آن اهمیت فراوانی دارد، مقدار کربن را بیشتر از ۳۰۰ مول (برای نمونه ۳۳۰ مول) به کار می‌برند. از این رو در این واکنش، Fe_2O_3 محدودکننده است و تمام آن مصرف می‌شود.

فکر کنید

۱ـ آمونیاک را می‌توان از واکنش گاز H_2 با گاز N_2 به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$



هرگاه مقداری از این دو گاز را مطابق شکل روبه‌رو در یک ظرف دربسته بریزیم و اجازه بدهیم با یکدیگر واکنش دهند:

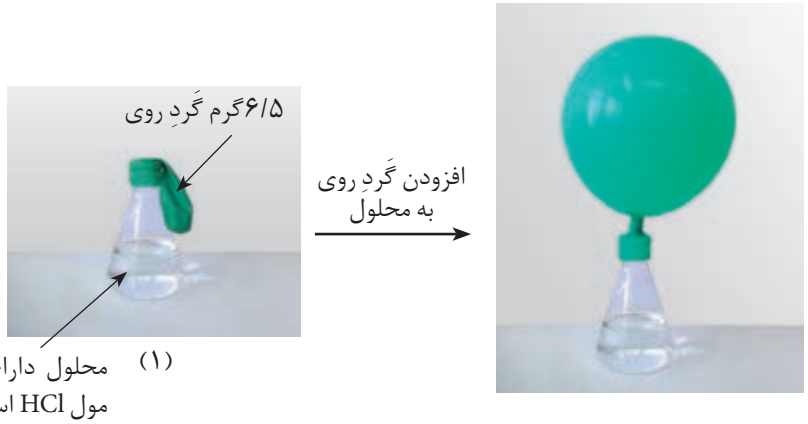
آ) تعداد مولکول‌های فراورده را تعیین و شکل سمت راست را کامل کنید.

ب) کدام واکنش دهنده، محدودکننده است؟

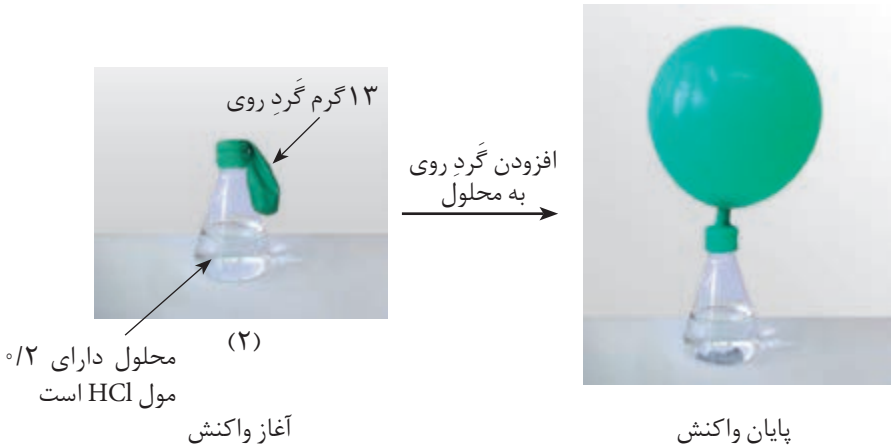
۲ـ شکل‌های زیر، واکنش گَردِ فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید را در دو آزمایش متفاوت نشان می‌دهد (دما $25^{\circ}C$ است).

آزمایش اول:

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



آزمایش دوم:



آ) با بررسی شکل‌ها و بدون محاسبه توضیح دهید، چرا حجم گاز تولید شده در دو آزمایش برابر است؟

ب) با محاسبهٔ تعداد مول‌های روی و با استفاده از ضرایب استوکیومتری، مشخص کنید که در آزمایش دوم کدام واکنش‌دهنده، محدودکننده است؟

برای تشخیص واکنش‌دهندهٔ محدودکننده در مسائل، می‌توان به شیوه‌های گوناگونی عمل کرد. یکی از این روش‌هایی را که طی دو مرحله به اجرا درمی‌آید با هم بررسی می‌کنیم.

گام نخست: جرم یا حجم واکنش‌دهنده‌ها را به تعداد مول آنها تبدیل کنید.

گام دوم: تعداد مول هر یک از واکنش‌دهنده‌ها را به ضریب استوکیومتری آن تقسیم کنید. سپس، هر واکنش‌دهنده‌ای که این «نسبت» برای آن عدد کوچک‌تری باشد، محدودکننده است.

نمونهٔ حل شده

برای تولید آمونیاک، ۲۵/۰۰ kg نیتروژن و ۵/۰۰ kg هیدروژن با یکدیگر مخلوط شده، واکنش می‌دهند. در این فرایند آ) واکنش‌دهندهٔ محدودکننده کدام است؟ ب) چه مقدار آمونیاک به‌دست می‌آید؟

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

پاسخ:

آ)

گام نخست: تبدیل جرم واکنش‌دهنده‌ها به مول

$$?\ mol\ N_2 = 25/0\ \cancel{kg\ N_2} \times \frac{10^3\ \cancel{g\ N_2}}{1\ \cancel{kg\ N_2}} \times \frac{1\ mol\ N_2}{28/0\ \cancel{g\ N_2}}$$

$$= 8/93 \times 10^2\ mol\ N_2$$

$$?\ mol\ H_2 = 5/00\ \cancel{kg\ H_2} \times \frac{10^3\ \cancel{g\ H_2}}{1\ \cancel{kg\ H_2}} \times \frac{1\ mol\ H_2}{2/02\ \cancel{g\ H_2}}$$

$$= 2/48 \times 10^3\ mol\ H_2$$

گام دوم: انتخاب واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

$$\frac{\text{مول ماده}}{\text{ضریب استوکیومتری ماده}}$$

$$N_2: \frac{8/93 \times 10^2\ mol}{1\ mol} = 8/93 \times 10^2$$

$$H_2: \frac{2/48 \times 10^3\ mol}{3\ mol} = 8/27 \times 10^2$$

بنابراین H_2 محدود کننده است.

گام سوم: اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش‌دهندهٔ محدودکننده یعنی H_2 محاسبه می‌کنیم.

$$?\ g\ NH_3 = 2/48 \times 10^3\ \cancel{mol\ H_2} \times \frac{2\ \cancel{mol\ NH_3}}{3\ \cancel{mol\ H_2}} \times \frac{17/03\ \cancel{g\ NH_3}}{1\ \cancel{mol\ NH_3}}$$

$$\times \frac{1\ kg\ NH_3}{10^3\ \cancel{g\ NH_3}} = 28/2\ kg\ NH_3$$

خود را بیازمایید

۱ـ متانول (CH_3OH) به‌عنوان یک حلال و واکنش‌دهندهٔ مناسب برای تولید بسیاری از مواد شیمیایی در صنعت شناخته می‌شود. به تازگی نیز در برخی کشورها به‌عنوان یک سوخت تمیز برای خودروها کاربرد یافته است. متانول را می‌توان از واکنش گازهای کربن مونواکسید و هیدروژن به‌دست آورد:

$$CO(g) + 2H_2(g) \rightarrow CH_3OH(l)$$

از واکنش کامل ۳۵۶ g CO با ۶۵ g H_2 چند گرم متانول به‌دست می‌آید؟

۲ـ سیلیسیم خالصی را که در تراشه‌های الکترونیکی و نیز در سلول‌های خورشیدی به‌کار می‌برند، از واکنش سیلیسیم تتراکلرید مایع و منیزیم خالص، طبق واکنش زیر تهیه می‌کنند:

$$SiCl_4(l) + 2Mg(s) \rightarrow Si(s) + 2MgCl_2(s)$$

چند گرم سیلیسیم خالص از واکنش کامل ۲۲۵ g $SiCl_4$ و ۲۲۵ g Mg به‌دست می‌آید؟

بازده واکنش‌های شیمیایی

در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که برای تهیهٔ مواد شیمیایی به‌کار می‌روند، مقدار فراورده‌های به‌دست آمده کمتر از مقدار محاسبه شده است. مقدار فراورده‌های مورد انتظار از محاسبه‌های استوکیومتری، **مقدار نظری** واکنش است، درحالی که **مقدار عملی** یعنی مقدار فراورده‌ای که در عمل تولید می‌شود، اغلب کمتر از مقدار نظری است.

بازده درصدی یک واکنش نسبت این دو مقدار است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times ۱۰۰$$

شیمی‌دان‌ها همواره برای افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می‌کنند، با این حال بازده اغلب واکنش‌ها کمتر از صددرصد است.

بازده درصدی واکنش را می‌توان با استفاده از روش گام‌به‌گام زیر به‌دست آورد:

۱ـ تعیین واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

۲ـ محاسبهٔ مقدار نظری (بیشترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

۳ـ محاسبهٔ بازده درصدی واکنش با استفاده از رابطهٔ بالا

نمونهٔ 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 به‌دست می‌آید. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.

$$Zn(s) + Cl_2(g) \rightarrow ZnCl_2(s)$$

۱ـ پیدا کردن واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

گاز کلر به‌مقدار اضافی وجود دارد، پس فلز روی واکنش‌دهندهٔ محدودکننده است.

۲ـ محاسبهٔ مقدار نظری واکنش با استفاده از مقدار واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

$$?\ mol\ Zn = ۳۵/۵\ g\ Zn \times \frac{۱\ mol\ Zn}{۶۵/۳۸\ g\ Zn} = ۰/۵۴۳\ mol\ Zn$$

$$?\ mol\ ZnCl_2 = ۰/۵۴۳\ mol\ Zn \times \frac{۱\ mol\ ZnCl_2}{۱\ mol\ Zn}$$

$$= ۰/۵۴۳\ mol\ ZnCl_2$$

$$\text{مقدار نظری واکنش} = ۰/۵۴۳\ mol\ ZnCl_2 \times \frac{۱۳۶/۲۸\ g\ ZnCl_2}{۱\ mol\ ZnCl_2}$$

$$= ۷۴/۰\ g\ ZnCl_2$$

۳ـ محاسبهٔ بازده درصدی واکنش

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times ۱۰۰ = \frac{۶۵/۲\ g\ ZnCl_2}{۷۴/۰\ g\ ZnCl_2} \times ۱۰۰ = ٪۸۸/۱$$

خود را بیازمایید

۱ـ برای تولید روی سولفید از واکنش دادن روی و گوگرد طبق معادلهٔ زیر استفاده می‌کنند.

$$Zn(s) + S(s) \xrightarrow{\Delta} ZnS(s)$$

در یک آزمایش ۳۶/۰ g روی را با ۳۰/۰ g گوگرد واکنش داده‌اند و مقدار ۴۲/۵ g روی سولفید به‌دست آورده‌اند. بازده درصدی واکنش را حساب کنید.

۲ـ گاز متان را می‌توان از واکنش زغال‌سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد.

$$۲C(s) + ۲H_2O(g) \xrightarrow{\Delta} CH_4(g) + CO_2(g)$$

درصورتی که بازده درصدی واکنش ٪۸۵/۰ باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش ۲/۰۰ kg زغال‌سنگ با مقدار اضافی بخار آب به‌وجود می‌آید؟

بیشتر بدانید

در برخی از شاخه‌های شیمی برای مثال شیمی تجزیه، تنها واکنش‌هایی سودمندند که بازده آنها ۱۰۰٪ باشد. در شاخه‌های دیگر، به‌ندرت می‌توان به بازده ۱۰۰٪ در یک واکنش دست یافت، از این‌رو بهبود بازده درصدی یک واکنش اهمیت زیادی پیدا می‌کند. محاسبهٔ بازده همواره در واکنش‌های سنتزی به‌ویژه در سنتز مواد آلی بسیار مهم است. به‌عنوان مثال، واکنش تولید دی‌اتیل‌اتر از اتانول را درنظر بگیرید. این واکنش که یک واکنش تراکمی است (چرا؟) درحضور سولفوریک اسید غلیظ به‌عنوان کاتالیزگر انجام می‌شود.

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OCH_2CH_3 + H_2O$$

اتانول — دی‌اتیل‌اتر — آب

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

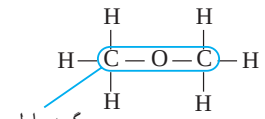
$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_2=CH_2 + H_2O$$

اتانول — اِتن — آب

بدیهی است مولکول‌های اتانولی که به اِتن تبدیل شده‌اند، دیگر نمی‌توانند به دی‌اتیل‌اتر تبدیل شوند، از این رو، بازده تولید دی‌اتیل‌اتر کاهش می‌یابد.

افزون بر مشکلی که به آن اشاره شد، تنگناهای عملی نیز وجود دارد. به‌عنوان مثال، دی‌اتیل‌اتر خالص را از طریق تقطیر مخلوط واکنش تهیه می‌کنند، اما همواره مقداری دی‌اتیل‌اتر در ظرف تقطیر باقی می‌ماند. همچنین، مقداری اتانول ممکن است همراه با اتر تبخیر شود. حتی در بهترین شرایط، دست‌یافتن به بازده بیشتر از ۸۰ تا ۸۵ درصد دشوار است. اغلب، شیمی‌دان‌ها ناچارند به بازدهٔ ۵۰ درصد یا حتی کمتر از آن بسنده کنند. از این رو دانشمندان شیمی آلی در صدد یافتن واکنش‌هایی با بازده بالا هستند یا تلاش می‌کنند با بهینه کردن شرایط واکنش، بازده واکنش‌های شناخته شده را افزایش دهند. تلاش در این مسیر زمینه‌ساز تحول‌های چشمگیری در دانش شیمی و کاربردهای آن در صنعت بوده است.

اتر به دسته‌ای از ترکیب‌های آلی گفته می شود که در ساختار آنها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن متصل شده است.



دی‌اتیل‌اتر شناخته شده‌ترین اتر است. این مایع فرّار و آتش‌گیر در گذشته به‌عنوان بی‌هوش‌کننده کاربرد گسترده‌ای داشت اما به‌دلیل آثار نامطلوب آن روی مجاری تنفسی و احتمال آتش‌گیری و انفجار امروزه به‌ندرت از آن استفاده می‌شود.

$CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$

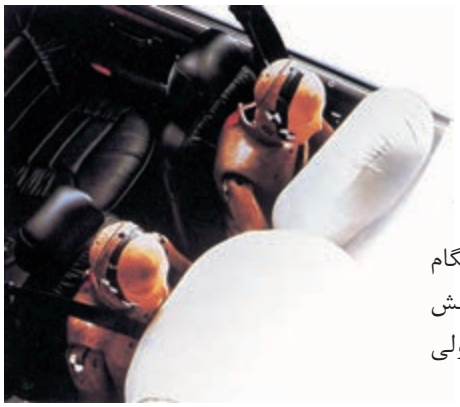
دی‌اتیل اتر

استوکیومتری و زندگی

در این بخش با برخی کاربردهای استوکیومتری آشنا شدید. در اینجا به چند کاربرد دیگر استوکیومتری به‌ویژه در صنایع خودروسازی اشاره می‌کنیم. طراحان خودرو از استوکیومتری برای افزایش ایمنی و بازده موتورها و کاهش آلودگی محیط زیست استفاده می‌کنند. درواقع افزایش ایمنی ناشی از کاربرد کیسه‌های هوا در خودروها و بازده بالای ناشی از بهسوزی سوخت، آن هم با کمترین اثرهای تخریبی روی محیط زیست، به رعایت اصول استوکیومتری وابسته است.

کیسه‌های هوا

کیسه‌های هوا یکی از تازه‌ترین دستاوردهای صنایع خودروسازی است که در جهت افزایش ایمنی سرنشینان طراحی و تولید شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه‌هایی که در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند، به‌سرعت از گاز پر می‌شوند و از برخورد سرنشینان به شیشه و قسمت جلویی اتاق، جلوگیری به عمل می‌آورند. کارایی این مجموعه به تولید گاز کافی در کمترین زمان ممکن بستگی دارد.



شکل ۱۴ باد شدن سریع کیسه‌های هوا هنگام برخورد شدید خودرو ناشی از انجام یک واکنش سریع شیمیایی است که طی آن حجم زیاد ولی کنترل شده‌ای از گاز نیتروژن تولید می‌شود.

تولید گاز در این کیسه‌ها به‌علت انجام سریع یک واکنش شیمیایی است. حسگرهایی در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند که در هنگام برخورد شدید، فعال می‌شوند و باعث منفجر شدن یک کلاهک انفجاری کوچک می‌شوند. این انفجار، انرژی موردنیاز برای آغاز واکنشی را فراهم می‌آورد که **مولد گاز** نام دارد.

گازی که به سرعت کیسه‌ها را پر می‌کند، گاز نیتروژن (N_2) است. این گاز از واکنش زیر فراهم می‌شود:

$$2NaN_3(s) \rightarrow 2Na(s) + 3N_2(g)$$

این واکنش به‌تنهایی نمی‌تواند باعث پرشدن ناگهانی کیسه‌ها شود. به‌علاوه در این واکنش سدیم فلزی نیز تولید می‌شود که مادهٔ فعال(واکنش‌پذیر) و خطرناکی است. برای حل این مشکل از واکنش بسیار سریع آهن (III) اکسید با سدیم فلزی استفاده می‌شود.

$$6Na(s) + Fe_2O_3(s) \xrightarrow{\text{گرما}} 3Na_2O(s) + 2Fe(s)$$

این واکنش دما را به‌طور ناگهانی تا بیش از یک‌صد درجه بالا می‌برد و باعث انبساط سریع گاز درون کیسه‌ها می‌شود (چرا؟). سدیم اکسید حاصل در اثر مجاورت با کربن دی‌اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده‌ای بی‌خطر است، تبدیل می‌شود.

$$Na_2O(s) + 2CO_2(g) + H_2O(g) \rightarrow 2NaHCO_3(s)$$

هشدار

متأسفانه، در یک بررسی که در آن بیش از ۱۰۰ مورد گزارش تصادف ارائه شده بود نه تنها کیسهٔ هوا از تلفات جانی جلوگیری نکرده، بلکه علت اصلی مرگ نیز بوده است. بیشتر این قربانیان، نوزادان یا کودکان خردسال بوده‌اند؛ از این رو، کارشناسان توصیه می‌کنند که از نشاندن کودکان زیر ۱۲ سال روی صندلی جلوی خودروها به ویژه خودروهایی که مجهز به کیسهٔ هوا هستند، خودداری شود. همچنین، باز شدن کیسهٔ هوا در برخی موارد موجب زخمی شدن یا حتی مرگ رانندگانی شده که فاصلهٔ آنها تا فرمان خودرو بسیار کم بوده است. حداقل این فاصله باید ۲۵ سانتی‌متر باشد. رعایت این فاصله برای رانندگان بلندقد آسان است، اما رانندگان کوتاه قد، برای آنکه پایشان به پدال گاز، ترمز و کلاچ برسد، ناچارند که بیش از اندازه، خود را به فرمانِ خودرو نزدیک کنند. برای حل این مشکلات به تازگی نسل جدیدی از کیسه‌های هوا به بازار آمده است که به آن **هوشمند** گفته می‌شود. سرعت بازشدن این کیسه‌ها برحسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصلهٔ سر راننده تا فرمان خودرو تغییر می‌کند.

حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسهٔ هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبهٔ مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه‌های هوا، طراحان این کیسه‌ها باید با استوکیومتری واکنش‌ها و تغییر انرژی آنها (که باعث تغییر دما و بنابراین تغییر چگالی گازها می‌شود) به‌خوبی آشنا باشند.

خود را بیازمایید

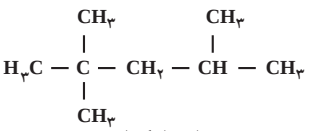
فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسهٔ هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز N_2 نیاز است. برای تولید این مقدار گاز N_2، دستگاه مولد گاز به چند گرم $NaN_3(s)$ نیاز دارد؟ چگالی گاز N_2 در دمای واکنش به‌طور تقریبی $0/916\ g.L^{-1}$ است.

افزایش کارایی موتورها

بهسوزی موتور خودرو به‌رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. وقتی رانندگان برای افزایش سرعت، پا را بر پدال گاز می‌فشارند، سرعت جریان سوخت به موتور بیشتر می‌شود. بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می‌یابد. معادلهٔ نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می‌دهد:

انرژی + آب + کربن‌دی‌اکسید ← اکسیژن هوا + بنزین

در واقع این معادلهٔ نوشتاری، واکنش‌دهنده‌ها را به‌خوبی مشخص نمی‌کند، زیرا بنزین یک مادهٔ شیمیایی ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت با ۵ تا ۱۲ اتم کربن است. به‌طور میانگین می‌توان بنزین مورد استفاده در خودروها را ایزواوکتان خالص (با ۸ اتم کربن) درنظر گرفت و معادلهٔ سوختن را برای آن به‌صورت زیر نوشت:


ایزواوکتان

$$2C_8H_{18}(l) + 25O_2(g) \rightarrow 16CO_2(g) + 18H_2O(g) + 10900\ kJ$$

دو واکنش‌دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت‌های مولی معادلهٔ موازنه شدهٔ واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود ۲۰ درصد از حجم هوا را اکسیژن تشکیل می‌دهد و بنابراین راه مناسب بهسوزی موتور، تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت است. اگر هریک از واکنش‌دهنده‌ها به مقداری بیشتر از نسبت استوکیومتری استفاده شود، موتور کارایی خوبی نخواهد داشت و حتی ممکن است خاموش شود. کارکرد نادرست موتور خودرو که به واسطهٔ سوختن ناقص بنزین به وقوع می‌پیوندد، نه تنها باعث کاهش توان خودرو می‌شود بلکه مصرف سوخت را بالا می‌برد و این خود افزایش آلودگی هوا را درپی خواهد داشت.

فکر کنید

نسبت مولی سوخت به اکسیژن در موتور خودرویی که با سرعت معمولی حرکت می‌کند، به‌جای نسبت استوکیومتری ۱ به ۱۲/۵ در نسبت ۱ به ۱۶ نگهداری می‌شود. این درحالی است که هنگام روشن کردن موتور این نسبت ۱ به ۱۲ و در هنگامی که موتور درجا کار می‌کند، این نسبت ۱ به ۹ است. در هر حالت واکنش‌دهندهٔ محدودکننده کدام است؟

بیشتر بدانید

جابربن حیان بنیانگذار مسلمان شیمی

ابوموسی جابربن‌حیان کیمیاگر برجستهٔ مسلمان در سال ۱۰۰ هجری شمسی (۷۲۱ میلادی) در شهر طوس از توابع خراسان دیده به جهان گشود. مدت کوتاهی پس از تولد جابر، پدرش که خود یک داروساز شناخته شدهٔ عرب و مسلمان پیرو اهل‌بیت (ع) بود به دلیل نقشی که در طرح براندازی حکومت اموی داشت دستگیر شد و به شهادت رسید. پیشهٔ پدر و مطالعهٔ یادداشت‌های به‌جای مانده از او نقش مهمی در علاقه‌مند شدن جابر به داروسازی و کیمیاگری داشت. با این حال با شوق فراوان به یادگیری علوم دیگر نیز می‌پرداخت. اشتیاق فراگیری قرآن مجید و بهره‌مند شدن از محضر پرفیض حضرت امام جعفر صادق (ع) سبب شد که به شهر کوفه کوچ کند. هجرتی که بی‌تردید موجبات شکوفایی استعدادهای نهفتهٔ جابر را فراهم آورد.

شهرت جابر بیشتر به‌دلیل سهمی است که در پیشرفت دانش شیمی داشته است. او همواره بر اجرای هدفمند و نظام‌دار فعالیت‌های تجربی تأکید داشت و تلاش بسیاری برای خرافه‌زدایی از کیمیاگری و تبدیل آن به یک علم تجربی کرد. نوآوری انواع گوناگونی از وسایل آزمایشگاهی از جمله **انبیق** به‌نام وی ثبت شده است. کشف مواد شیمیایی متعددی مانند هیدروکلریک اسید، نیتریک اسید، تهیهٔ تیزاب (مخلوطی از دو اسید یاد شده که از جمله اندک موادی است که طلا را در خود حل می‌کند)، سیتریک اسید (جوهر لیمو) و استیک اسید (جوهر سرکه) همچنین معرفی فرایندهای تبلور و تقطیر که هر دو سنگ بنای شیمی امروزی به‌شمار می‌آیند همگی از نتایج تلاش خستگی‌ناپذیر این شیمی‌دان سرشناس است. وی یافته‌های زیادی دربارهٔ روش‌های استخراج و خالص‌سازی طلا، جلوگیری از زنگ زدن آهن، حکاکی روی طلا، رنگرزی و نم‌ناپذیر کردن پارچه‌ها و تجزیهٔ مواد شیمیایی ارائه داد. همچنین بذر دسته‌بندی امروزی عنصرها به فلز و نافلز را می‌توان در دست‌نوشته‌های وی یافت.

جابر کتاب‌ها و رساله‌های بسیاری نوشت که سال‌ها بعد توجه کیمیاگران اروپایی را به خود جلب کرد. اروپایی‌ها تعدادی از این کتاب‌ها را به زبان لاتین ترجمه کردند و سال‌ها از آنها به‌عنوان منابع علمی معتبر استفاده می‌کردند. به گفتهٔ بسیاری از غربی‌ها، محتوای کتاب‌های جابر تأثیر ژرفی بر دیدگاه کیمیاگران اروپایی گذاشت و سال‌ها بعد مبدأ تحولات شگرفی در دانش شیمی شد. اگرچه

ابوبکر محمدبن‌زکریای رازی
(۲۰۹-۲۴۲ هجری شمسی)
(۹۲۰-۸۶۴ میلادی)
شیمی‌دان، ریاضی‌دان، فیلسوف، ستاره‌شناس و پزشک ایرانی؛ وی ترکیب‌های شیمیایی متعددی را تهیه کرد که از آن میان می‌توان به اتانول اشاره کرد. با مراجعه به شبکهٔ جهانی وب دربارهٔ این شخصیت برجستهٔ ایرانی ـ اسلامی اطلاعات جمع‌آوری کرده، نتیجه را به‌صورت روزنامهٔ دیواری در کلاس ارائه دهید.

این نقاشی توسط اروپایی‌های سده پانزدهم میلادی کشیده شده است.

جابربن‌حیان در سال ۱۹٤ هجری شمسی (۸۱۵ میلادی) ـ نزدیک به هزار و دویست سال پیش ـ در شهر کوفه در عراق چشم از جهان فرو بست ولی نام و دستاوردهای این چهرهٔ گران‌سنگ تاریخ تمدن اسلامی هرگز از یادها نرفت.

انبیق، وسیلهٔ ساده‌ای که جابر به منظور تقطیر مواد طراحی کرد. این ظرف برای گرم‌کردن مخلوط‌ها و جمع‌آوری و هدایت بخارهای حاصل به کار می‌رفت.