نمونه‌ی حل شده

جرم $۳/۵۰\,mol$ مس چند گرم است؟

۱ـ فهرست داده‌های مسأله را بنویسید.

* تعداد مول‌های مس: $۳/۵۰\,mol$

* جرم مولی مس: $۶۳/۵۵\,g.mol^{-۱}$ یعنی: $\frac{۶۳/۵۵gCu}{۱molCu}$

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

$$؟\,gCu = ۳/۵۰\,\cancel{molCu} \times \underbrace{\frac{۶۳/۵۵gCu}{۱\,\cancel{molCu}}}_{\text{ضریب تبدیل}} = ۲۲۲/۴gCu$$

خود را بیازمایید

۱ـ $۸۳/۵g$ مس چند مول مس است؟

۲ـ $۱۲۸/۹g$ کربن دی‌اکسید چند مول است؟

۳ـ $۵۵/۵mol$ آب چند لیتر آب است؟ (چگالی آب را $۱g.mL^{-۱}$ در نظر بگیرید.)

استوکیومتری فرمولی

می‌دانید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان‌دهنده‌ی نوع و تعداد اتم‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن است. برای مثال فرمول مولکولی کربن دی‌اکسید، $CO_۲$، نشان می‌دهد که هر مولکول $CO_۲$ از یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. به همین ترتیب در هر مول $CO_۲$ یک مول اتم کربن و دو مول اتم اکسیژن وجود دارد. از این رو می‌توان نسبت تعداد اتم‌ها(یا مول‌ها)ی کربن به اکسیژن را به‌صورت زیر نشان داد:

$$\frac{\text{تعداد مول‌های C در یک مول } CO_۲}{\text{تعداد مول‌های O در یک مول } CO_۲} = \frac{\text{تعداد اتم‌های C در یک مولکول } CO_۲}{\text{تعداد اتم‌های O در یک مولکول } CO_۲} = \frac{۱}{۲}$$

خود را بیازمایید

در هر مورد نسبت عنصرهای تشکیل‌دهنده‌ی ترکیب‌های داده شده را به‌دست آورید.

آ) $NH_۳$ ب) $C_۲H_۶$ پ) $SO_۳$

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

نوع و تعداد عنصرهای سازنده‌ی مولکول، ساده‌ترین نسبت اتم‌های موجود در آن را نیز مشخص می کند. اما این پرسش که چگونه این فرمول به دست می آید؟ بی پاسخ ماند. فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از طریق تجزیه‌ی عنصری آن ترکیب در آزمایشگاه به‌دست می آید. *تجزیه‌ی عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل‌دهنده و درصد جرمی هریک از آن‌ها در ترکیب شیمیایی یاد شده*، معین می‌شود. با کمک این درصدهای جرمی و جرم مولی عنصرهای سازنده، فرمول تجربی آن ترکیب به‌آسانی از راه محاسبه به‌دست می آید.

نمونه‌ی حل شده

تجزیه‌ی عنصری پروپیل الکل (۱ـ پروپانول) نشان می‌دهد که این ترکیب آلی از ۶۰/۰٪ کربن (C)، ۱۳/۴٪ هیدروژن (H) و ۲۶/۶٪ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به‌دست آورید.

۱ـ فهرست داده‌های مسأله را بنویسید.

* ۶۰/۰٪ C یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۶۰/۰g کربن وجود دارد.
* ۱۳/۴٪ H یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۱۳/۴g هیدروژن وجود دارد.
* ۲۶/۶٪ O یعنی در هر ۱۰۰g ترکیب، ۲۶/۶g اکسیژن وجود دارد.
* جرم مولی C: $12/0\ g.mol^{-1}$
* جرم مولی H: $1/0\ g.mol^{-1}$
* جرم مولی O: $16/0\ g.mol^{-1}$

۲ـ جرم هر عنصر را به مول تبدیل کنید.

$$60/0gC \times \frac{1molC}{12/0gC} = 5/0molC$$

$$13/4gH \times \frac{1mol\,H}{1/0gH} = 13/4mol\,H$$

$$26/6gO \times \frac{1mol\,O}{16/0gO} = 1/7mol\,O$$

۳ـ نسبت مولی عنصرها را به‌دست آورید.

برای این کار تعداد مول‌های هر عنصر را بر تعداد مول‌های عنصری تقسیم کنید که مقدار آن از همه کم‌تر است.

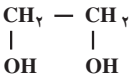
۱/۷ کوچک‌ترین مقدار است.

$$\frac{1/7molO}{1/7} = 1/0molO = 1molO$$

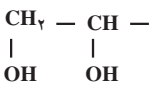
الکل‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های آلی هستند که یک یا تعداد بیش‌تری گروه عاملی هیدروکسیل (−OH) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل‌ها مانند متانول (الکل چوب ــ در غیاب اکسیژن با گرم کردن چوب تا دمای $400^\circ C$ به حالت بخار به‌دست می‌آید.) و اتانول (الکل میوه ــ بر اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات‌های موجود در مواد غذایی و برخی میوه‌ها توسط آنزیم‌ها تولید می‌شود.) یک گروه OH− دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱، ۲ـ اتان دی‌اُل) و گلیسرین (۱، ۲، ۳ـ پروپان تری‌اُل) به‌ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.

CH_3OH متانول　　CH_3CH_2OH اتانول

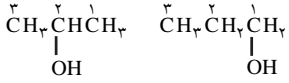
اتیلن گلیکول



گلیسرین



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



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

$$\frac{۵/۰۰\ \text{molC}}{۱/۷} = ۲/۹\text{molC} \approx ۳\text{molC}$$

$$\frac{۱۳/۴\ \text{molH}}{۱/۷} = ۷/۹\text{molH} \approx ۸\text{molH}$$

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

به دیگر سخن: ۱O:۳C:۸H

بنابراین، فرمول تجربی پروپیل الکل باید $C_۳H_۸O$ باشد.

ابوبکر محمدبن زکریای رازی (۳۰۹-۲۴۳ هجری شمسی) (۹۳۰-۸۶۴ 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 شبکه‌ی جهانی وب درباره‌ی این شخصیت برجسته‌ی ایرانی ـ اسلامی اطلاعات جمع‌آوری کرده نتیجه را به‌صورت روزنامه‌ی دیواری در کلاس ارایه دهید.

خود را بیازمایید

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

۲ـ فرمول تجربی ترکیبی را به‌دست آورید که شامل ۵/۷۲g اکسیژن و ۴/۴۳g فسفر است.

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

۴ـ فرمول مولکولی ترکیبی را به‌دست آورید که جرم مولی آن $۹۲/۰۱\ g.mol^{-۱}$ است و دارای ۰/۶۱g نیتروژن و ۱/۳۹g اکسیژن است.

بیش‌تر بدانید

برای تأمین غذای جمعیت رو به فزونی جهان، کشاورزان ناگزیرند فراورده‌های بیش‌تر و مغذی‌تری تولید کنند. هر سال، آن‌ها صدها میلیون تُن کود شیمیایی را به خاک میفزایند تا فراورده‌های با کیفیت بالاتری به‌دست آورند. گیاهان برای آن که به‌طور مناسب‌تری رشد کنند، 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 $NO_۳^-$)، نمک‌های آمونیوم (ترکیب‌های دارای یون $NH_۴^+$) و ترکیب‌های دیگر است. گیاهان می‌توانند نیتروژن را به‌طور مستقیم به‌صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک ($NH_۳$) و نمک‌های آمونیوم ابتدا باید به‌وسیله‌ی باکتری‌های خاک به نیترات‌ها تبدیل شوند. آمونیاک ماده‌ی اولیه‌ی کودهای نیتروژن‌دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به‌دست می‌آید.

$$۳H_۲(g) + N_۲(g) \rightarrow ۲NH_۳(g)$$

آمونیاک مایع را می‌توان به‌طور مستقیم به خاک تزریق کرد.

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 تهیه‌ی آمونیوم سولفات استفاده می‌شود:

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

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

برتری این روش آن است که مواد اولیه‌ی 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	۸۲/٤
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	$(NH_2)_2CO$	٤٦/۷

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

(۱) قیمت مواد اولیه‌ی لازم برای تهیه‌ی 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 به‌وسیله‌ی گیاهان.

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

استوکیومتری واکنش

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

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

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

اکسیژن نیاز است. طی این واکنش یک مولکول کربن دی‌اکسید و دو مولکول آب نیز تولید می‌شود. به همین ترتیب می‌توان گفت به‌ازای هر مول متان به دو مول اکسیژن نیاز است و براثر انجام واکنش یک مول کربن دی‌اکسید و دو مول آب تولید می‌شود.

خود را بیازمایید

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

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

نسبت مولی کربن دی‌اکسید به متان = ———————

نسبت مولی آب به کربن دی‌اکسید = ———————

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. هم‌چنین می‌توان تعداد مولِ واکنش‌دهنده(ها)ی لازم را برای تولید تعداد مول مشخصی از فراورده(ها) محاسبه کرد.

نمونه‌ی حل شده

فلز روی با هیدروکلریک اسید به‌صورت زیر واکنش می‌کند.

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

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

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

مرحله‌ی ۱:

به‌دست‌آوردنِ نسبت‌های مولی از روی معادله‌ی موازنه‌شده‌ی واکنش

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

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

مرحله‌ی ۲:

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

پاسخ قسمت آ:

$$?\,mol\ H_2 = \underbrace{0/2\,mol\ Zn}_{\text{تعداد مول ماده‌ی داده شده}} \times \underbrace{\frac{1\,mol\ H_2}{1\,mol\ Zn}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{0/2\,mol\ H_2}_{\text{تعداد مول ماده‌ی خواسته‌شده}}$$

پاسخ قسمت ب:

$$?\,mol\ HCl = \underbrace{0/3\,mol\ ZnCl_2}_{\text{تعداد مول ماده‌ی داده شده}} \times \underbrace{\frac{2\,mol\ HCl}{1\,mol\ ZnCl_2}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{0/6\,mol\ HCl}_{\text{تعداد مول ماده‌ی خواسته‌شده}}$$

خود را بیازمایید

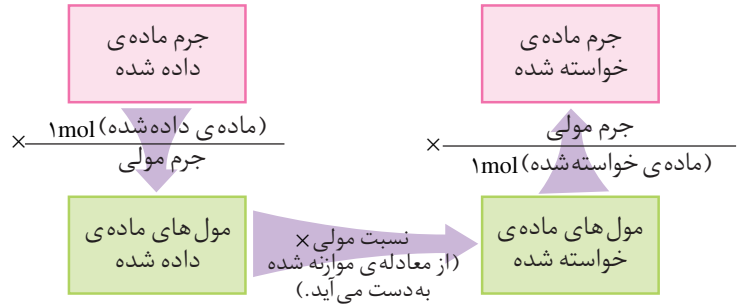
بر طبق واکنش زیر برای تولید هر $0/2\,mol$ کلسیم فسفات به چند مول کلسیم هیدروکسید نیاز است؟

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

روابط جرمی ـ جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان گونه که می‌دانید جرم مولی میانگین هر ترکیب، از جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آن به‌دست می‌آید. برای مثال جرم مولی میانگین آب و کربن دی‌اکسید به‌ترتیب $18/0$ و $44/0$ گرم بر مول است.

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



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

نمونه‌ی حل شده

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

۱ـ نوشتن معادله‌ی موازنه شده

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

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

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

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

۳ـ محاسبه‌ی تعداد مول‌های ماده‌ی خواسته شده (نقره کلرید) با استفاده از نسبت مولی به‌دست آمده از معادله‌ی موازنه شده

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

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

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

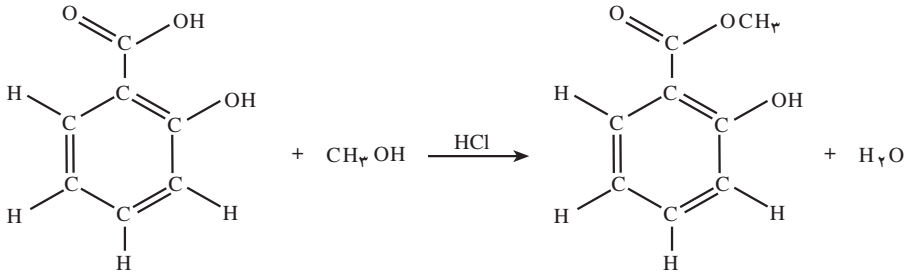
$$\text{جرم نقره کلرید (g)} = \text{تعداد مول نقره کلرید} \times \frac{\text{جرم مولی نقره کلرید(g)}}{1\,mol\ \text{نقره کلرید}}$$

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

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

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



سالیسیلیک اسید | متانول | متیل سالیسیلات

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

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

درصد خلوص مواد

مواد مورد استفاده در آزمایشگاه یا صنعت کاملاً خالص نیستند و معمولاً مقادیر مختلفی ناخالصی به همراه دارند. خلوص مواد معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌شود، برای مثال سدیم کلرید ۹۹/۸٪. از آن‌جا که درصد خلوص، مقدار گرم ماده‌ی خالص موجود در ۱۰۰ گرم ماده‌ی ناخالص را مشخص می‌کند، این مثال بیان می‌کند که هر ۱۰۰ g سدیم کلرید مورد نظر شامل ۹۹/۸ g سدیم کلرید خالص و ۰/۲ g ناخالصی است. از این رو، در حین کار در آزمایشگاه و بویژه در صنعت برای تأمین مقدار معینی از یک ماده‌ی خالص همواره باید مقدار بیش‌تری از ماده‌ی ناخالص در دسترس را به کار برد. با وارد کردن درصد خلوص در محاسبه‌ها می‌توان مقادیر مورد نیاز از ماده‌ی ناخالص را به‌دست آورد.

$$\text{درصد خلوص ماده} = \frac{\text{جرم ماده‌ی خالص}}{\text{جرم ماده‌ی ناخالص}} \times ۱۰۰$$

به عبارت دیگر:

$$\text{جرم ماده‌ی خالص} = \frac{\text{درصد خلوص ماده} \times \text{جرم ماده‌ی ناخالص}}{۱۰۰}$$

نمونه‌ی حل شده

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

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

برای تهیه‌ی ۲۰/۰g گاز کلر، به چند گرم نمونه‌ی ناخالص منگنز دی‌اکسیدباخلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالصی‌ها بی‌اثرند و در واکنش شرکت نمی‌کنند.

پاسخ: ابتدا باید جرم منگنز دی‌اکسید خالص مورد نیاز را محاسبه کرد و سپس با

استفاده از درصد خلوص، جرم منگنز دی‌اکسید ناخالص مورد نیاز را به‌دست آورد.

$$?\,mol Cl_2 = 20/0\,g\,Cl_2 \times \frac{1\,mol\ Cl_2}{70/9\,g\,Cl_2} = 0/282\,mol\ Cl_2$$

$$?\,mol MnO_2 = 0/282\,mol\,Cl_2 \times \frac{1\ mol\ MnO_2}{1\ mol\,Cl_2} = 0/282\,mol\ MnO_2$$

$$\text{جرم } MnO_2 \text{ خالص مورد نیاز} = 0/282\,mol\,MnO_2 \times \frac{86/9\ g\ MnO_2}{1\,mol\,MnO_2} = 24/5\ g\ MnO_2$$

$$\text{جرم } MnO_2 \text{ ناخالص مورد نیاز} = 24/5\,g\ MnO_2 \times \frac{\text{نمونه‌ی ناخالص } 100\,g}{90\,g\ MnO_2} = \text{نمونه‌ی ناخالص } 27/2\,g$$

روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری

ژوزف گی‌لوساک
(۱۷۷۸ ـ ۱۸۵۰)

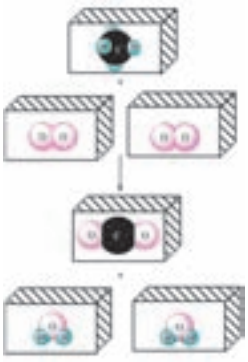
محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایه‌ی کارهای ژوزف لویی گی‌لوساک شیمی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به‌معرفی **قانون نسبت‌های ترکیبی** بینجامید. برطبق این قانون:

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

این نسبت‌ها به‌طور مستقیم با نسبت ضریب‌های آن‌ها در معادله‌ی موازنه‌شده‌ی واکنش متناسب است. برای مثال، واکنش سوختن متان را درنظر بگیرید.

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

اگر همه‌ی مواد شرکت‌کننده در واکنش در 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 ۸.



شکل ۸ معادله‌ی حجمی ترکیب شدن متان و اکسیژن. هر مکعب 1 L از آن گاز را نشان می‌دهد.

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

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

این همان نتیجه‌ای است که نخستین بار آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به آن دست یافت. فرضیه‌ای که بعدها به **قانون آووگادرو** معروف شد.

همان گونه که می‌دانید حجم گازها تابعی از فشار و دمای آن‌ها است. از این رو معمولاً حجم گازها را در دمای $0^\circ C$ (۲۷۳K) و فشار ۱ اتمسفر (۷۶۰mmHg) بیان می‌کنند. در این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است هر مول گاز، حجمی برابر ۲۲/۴L را اشغال می‌کند. این مقدار را **حجم مولی گازها در شرایط STP** می‌نامند، شکل ۹.

STP کوتاه‌شده‌ی ***S****tandard* ***T****emperature and* ***P****ressure است.*

گاز هیدروژن　　گاز اکسیژن　　گاز کربن دی‌اکسید

شکل ۹ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد

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

نمونه‌ی حل شده

حجم اکسیژن مورد نیاز و نیز حجم‌های CO_2 و H_2O تولیدشده در هنگام سوختن کامل $1/50\ L$ گاز اتان (C_2H_6) را محاسبه کنید.

$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

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

حجم CO_2 تولیدشده $= 1/50\ \cancel{L\ C_2H_6} \times \frac{4\ L\ CO_2}{2\ \cancel{L\ C_2H_6}} = 3/00\ L\ CO_2$

حجم H_2O تولیدشده $= 1/50\ \cancel{L\ C_2H_6} \times \frac{6\ L\ H_2O}{2\ \cancel{L\ C_2H_6}} = 4/50\ L\ H_2O$

خود را بیازمایید

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

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

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

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

نمونه‌ی 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 معادله‌ی موازنه‌شده‌ی 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 $4/80\,g$ منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می‌شود؟

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

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.

نمونه‌ی حل شده

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

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

از گرم کردن $1/50\,g$ سدیم هیدروژن کربنات چند میلی لیتر گاز CO_2 آزاد می‌شود؟ در دمای واکنش چگالی CO_2، $1/10\,g.L^{-1}$ 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 معادله‌ی 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 می کنیم:

$$?mL\ CO_2 = ۰/۳۹۳g\,CO_2 \times \frac{۱L\,CO_2}{۱/۱۰g\,CO_2} \times \frac{۱۰۰۰mL\,CO_2}{۱L\,CO_2}$$

$$= ۳۵۷mL\ CO_2$$

خود را بیازمایید

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

$$۲Li_2O_2(aq) + ۲CO_2(g) \rightarrow ۲Li_2CO_3(aq) + O_2(g)$$

$$۲LiOH(aq) + CO_2(g) \rightarrow Li_2CO_3(aq) + H_2O(l)$$

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

۱ـ اگر از واکنش اول برای تصفیه‌ی هوا استفاده شود و در این واکنش همه‌ی کربن دی‌اکسید تولید شده به مصرف برسد، مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه‌روز چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را $۱/۴g.L^{-1}$ درنظر بگیرید.)

۲ـ به نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیه‌ی هوای درون فضاپیما مناسب‌تر است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.

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

استوکیومتری در محلول‌ها

غلظت مولی

بیش‌تر واکنش‌های شیمیایی در حالت محلول انجام می‌شود. واکنش‌های زیست‌شیمیایی بسیاری مانند فرایندهایی که در بدن ما صورت می‌گیرند در محلول‌ها روی می‌دهد. در صنعت و آزمایشگاه نیز معمولاً ابتدا واکنش‌دهنده‌ها را در یک حلال مناسب حل می‌کنند و سپس محلول‌های به‌دست آمده را به هم میفزایند.

بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در محلول‌های آبی انجام می‌شود. محلول‌هایی که در آن‌ها آب به عنوان حلال به کار می‌رود. مقدار هر واکنش‌دهنده در حالت محلول به حجم به کار رفته و نیز غلظت آن ماده در محلول بستگی دارد. غلظت هر محلول، معرف مقدار ماده‌ی حل شده در حجم مشخصی از محلول است.

از آن جا که استوکیومتری واکنش‌ها نیز برحسب مول مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، بنابراین در محاسبه‌های استوکیومتری محلول‌ها، از **غلظت مولی** یا مولار استفاده می‌شود. *غلظت مولی تعداد مول‌های حل شده از یک ماده در یک لیتر محلول است و*

با یکای $mol.L^{-1}$ بیان می‌شود.

برای نمونه محلولی که دارای ۲/۰۰ مول NaCl در ۱۰/۰ لیتر محلول است غلظتی معادل $mol.L^{-1}$ یا $\frac{mol}{L}$ ۰/۲۰۰ دارد. $\frac{۲/۰۰ mol NaCl}{۱۰/۰ L \text{ محلول}} = ۰/۲۰۰ \frac{mol}{L}$

نمونه‌ی حل شده

برای تهیه‌ی ۲/۰۰ لیتر محلول سدیم کلرید ۰/۱۰ مول در لیتر چه‌قدر سدیم کلرید خالص نیاز است؟

پاسخ:

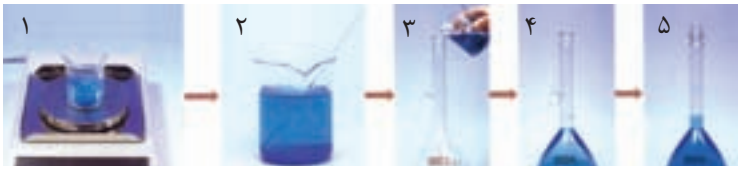
$$\text{جرم NaCl} = \frac{۰/۱۰ \text{ mol NaCl}}{۱ \text{ L محلول}} \times ۲/۰۰ \text{ L NaCl محلول} \times \frac{۵۸/۴۴ \text{ g NaCl}}{۱ \text{ mol NaCl}} = ۱۱/۷ \text{ g NaCl}$$

آزمایش کنید

۱ـ تصویرهای زیر مراحل تهیه‌ی محلولی از یک ماده را با غلظت مولی مشخص در آزمایشگاه نشان می‌دهد. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبه‌ی مقدار حل‌شونده‌ی مورد نیاز، محلول‌های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

آ. ۱۰۰ mL محلول سدیم کلرید $۲ mol.L^{-1}$

ب. ۲۵۰ mL محلول مس (II) سولفات $۰/۵ mol.L^{-1}$



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

۱ــ اندازه‌گیری جرم ماده

۲ــ حل کردن ماده در آب

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

۴ــ افزودن آب بیش‌تر و تکان دادن بالون به منظور همگن سازی محلول

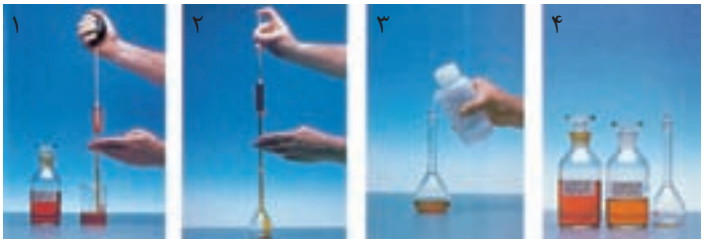
۵ ــ افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم‌رساندن)

۲ـ برای تهیه‌ی محلول‌های رقیق می‌توان از رقیق کردن محلول‌های غلیظ‌تر استفاده کرد.

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

آ. ۲۵۰ mL محلول $۰/۰۴ mol.L^{-۱}$ پتاسیم دی کرومات از محلول $۰/۲ mol.L^{-۱}$ آن

ب. ۱۰۰ mL محلول $۰/۱ mol.L^{-۱}$ سدیم کلرید از محلول $۲/۰ mol.L^{-۱}$ آن



تهیه‌ی محلولی با غلظت معین به روش رقیق کردن حجم معینی از یک محلول غلیظ

۱ـ برداشتن حجم معینی از محلول غلیظ
۲ـ انتقال آن حجم به درون یک بالون حجمی
۳ـ افزایش آب تا خط نشانه و سپس تکان دادن بالون به منظور همگن‌سازی محلول تهیه شده
۴ـ انتقال محلول تهیه شده به ظرف مناسب برای نگهداری.

محاسبه‌های استوکیومتری در واکنش‌های انجام شده در حالت محلول

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

نمونه‌ی حل شده

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

$$AgNO_۳(aq) + NaBr(aq) \rightarrow AgBr(s) + NaNO_۳(aq)$$

چند میلی لیتر محلول NaBr $۰/۱۲۵ mol.L^{-۱}$ برای واکنش با $۲۵/۰ mL$ از محلول $AgNO_۳$ $۰/۱۱۵ mol.L^{-۱}$ لازم است؟

پاسخ:

$$\text{حجم محلول NaBr} = ۲۵/۰\,\text{mL}\ \text{AgNO}_۳\ \text{محلول} \times \frac{۰/۱۱۵\,\text{mol AgNO}_۳}{۱\,\text{L AgNO}_۳\ \text{محلول}}$$

$$\times \frac{۱\,\text{mol NaBr}}{۱\,\text{mol AgNO}_۳} \times \frac{۱\,\text{L NaBr محلول}}{۰/۱۲۵\,\text{mol NaBr}} = ۲۳/۰\,\text{mL NaBr محلول}$$

خود را بیازمایید

چند میلی‌لیتر محلول HCl $۰/۵۵۶\,\text{mol.L}^{-۱}$ برای واکنش کامل با $۲۵/۰\,\text{mL}$ از محلول $NaOH$ $۰/۴۵۸\,\text{mol.L}^{-۱}$ لازم است؟

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow H_۲O(l) + NaCl(aq)$$

در مثال‌های بالا نسبت استوکیومتری در واکنش‌دهنده‌ها یک به یک است، اما در مواردی هم این نسبت می‌تواند متفاوت باشد.

نمونه‌ی حل شده

برطبق واکنش زیر چند میلی‌لیتر محلول HCl $۰/۱۱۲\,\text{mol.L}^{-۱}$ برای واکنش کامل با $۲۱/۲\,\text{mL}$ از محلول $Na_۲CO_۳$ $۰/۱۵۰\,\text{mol.L}^{-۱}$ لازم است؟

$$۲HCl(aq) + Na_۲CO_۳(aq) \rightarrow ۲NaCl(aq) + H_۲O(l) + CO_۲(g)$$

پاسخ:

$$\text{حجم محلول HCl} = ۲۱/۲\,\text{mL}\ Na_۲CO_۳\ \text{محلول} \times \frac{۰/۱۵۰\,\text{mol } Na_۲CO_۳}{۱\,\text{L } Na_۲CO_۳}$$

$$\times \frac{۲\,\text{mol HCl}}{۱\,\text{mol } Na_۲CO_۳} \times \frac{۱\,\text{L HCl محلول}}{۰/۱۱۲\,\text{mol HCl}} = ۵۶/۸\,\text{mL HCl محلول}$$

خود را بیازمایید

چند میلی‌لیتر محلول $NaOH$ $۰/۱۲۴\,\text{mol.L}^{-۱}$ برای واکنش کامل با $۱۵/۴\,\text{mL}$ از محلول $H_۲SO_۴$ $۰/۱۰۸\,\text{mol.L}^{-۱}$ بر طبق واکنش زیر لازم است؟

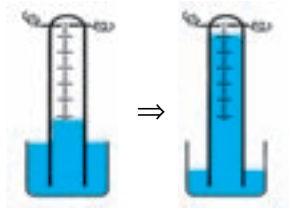
$$۲NaOH(aq) + H_۲SO_۴(aq) \rightarrow Na_۲SO_۴(aq) + ۲H_۲O(l)$$

واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده و واکنش‌دهنده‌ی اضافی

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

فکر کنید

۲/۰ مول هیدروژن و ۲/۰ مول اکسیژن در یک دستگاه آب‌سنج در مجاورت هم قرار گرفته‌اند. با زدن یک جرقه‌ی الکتریکی این دو گاز با هم واکنش می‌کنند. با کامل کردن جدول زیر واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده را در این واکنش معین کنید. درضمن از کدام واکنش‌دهنده به چه‌مقدار باقی می‌ماند؟



پیش از زدن جرقه — پس از زدن جرقه

آب‌سنج

معادله‌ی موازنه شده‌ی واکنش	$\square H_2(g) + \square O_2(g) \rightarrow \square H_2O(l)$		
تعداد مول‌های واکنش‌دهنده‌ها و فراورده پیش از انجام واکنش	☐	☐	☐
تعداد مول‌های واکنش‌دهنده‌ها و فراورده پس از انجام واکنش	☐	☐	☐

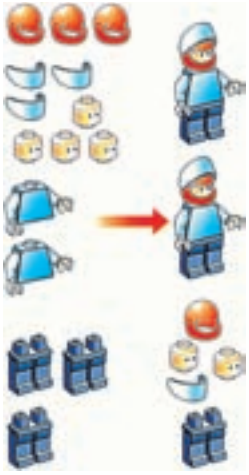
قیمت مواد شیمیایی یک عامل بسیار مهم در انتخاب واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده است. در صنعت برای به‌دست آوردن بیش‌ترین مقدار ممکن از یک فراورده همواره واکنش‌دهنده‌های ارزان قیمت‌تر را به عنوان واکنش‌دهنده‌ی اضافی به کار می‌برند. در این صورت، تبدیل واکنش‌دهنده‌ی گران قیمت کامل‌تر خواهد شد. برای تشخیص واکنش‌دهنده‌ی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

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

گام دوم: یکی از واکنش‌دهنده‌ها به‌عنوان محدودکننده فرض می‌شود.

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

گام سوم: مقایسه‌ی مقدار(های) موردنیاز محاسبه شده از دیگر واکنش‌دهنده(ها)



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

با مقدار (های) داده شده در مسأله.

اگر مقدار محاسبه شده‌ی موردنیاز برای هریک از واکنش‌دهنده‌ها کم‌تر از مقدار داده شده در مسأله باشد، انتخاب واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده درست بوده است. درصورتی که برای یکی از واکنش‌دهنده‌ها مقدار داده شده در مسأله کم‌تر از مقدار محاسبه شده‌ی موردنیاز باشد، این واکنش‌دهنده محدود کننده است و باید محاسبه‌ها را بر پایه‌ی آن انجام داد.

نمونه‌ی حل شده

برای تولید آمونیاک، $۲۵/۰\,kg$ نیتروژن و $۵/۰۰\,kg$ هیدروژن با یک‌دیگر مخلوط شده واکنش می‌دهند. در این فرآیند آ) واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده کدام است؟ ب) چه مقدار آمونیاک به‌دست می‌آید؟

$$N_۲(g) + ۳H_۲(g) \rightarrow ۲NH_۳(g)$$

پاسخ

آ.

گام نخست: تبدیل جرم واکنش‌دهنده‌ها به مول

$$\text{تعداد مول‌های نیتروژن} = ۲۵/۰\,\cancel{kg\,N_۲} \times \frac{۱۰^۳\,\cancel{g\,N_۲}}{۱\,\cancel{kg\,N_۲}} \times \frac{۱\,mol\,N_۲}{۲۸/۰\,\cancel{g\,N_۲}}$$

$$= ۸/۹۳ \times ۱۰^۲\,mol\,N_۲$$

$$\text{تعداد مول‌های هیدروژن} = ۵/۰۰\,\cancel{kg\,H_۲} \times \frac{۱۰^۳\,\cancel{g\,H_۲}}{۱\,\cancel{kg\,H_۲}} \times \frac{۱\,mol\,H_۲}{۲/۰۲\,\cancel{g\,H_۲}}$$

$$= ۲/۴۸ \times ۱۰^۳\,mol\,H_۲$$

گام دوم: انتخاب یک واکنش‌دهنده به‌عنوان واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده‌ی فرضی و محاسبه‌ی مقدار لازم از واکنش‌دهنده‌های دیگر.

فرض می‌کنیم نیتروژن واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده است. از آن‌جا که به‌ازای هر ۱ مول $N_۲$، ۳ مول $H_۲$ لازم است، تعداد مول‌های هیدروژن موردنیاز برای واکنش کامل با این مقدار نیتروژن را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{تعداد مول‌های موردنیاز از } H_۲ = ۸/۹۳ \times ۱۰^۲\,\cancel{mol\,N_۲} \times \frac{۳\,mol\,H_۲}{۱\,\cancel{mol\,N_۲}}$$

$$= ۲/۶۸ \times ۱۰^۳\,mol\,H_۲$$

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

مقدار موردنیاز محاسبه شده برای $H_۲$ بیش از مقدار موجود آن $(۲/۴۸ \times ۱۰^۳\,mol)$

است. بنابراین انتخاب N_2 به‌عنوان واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده درست نبوده است و درواقع H_2 واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده است.

ب. اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده یعنی H_2 محاسبه می‌کنیم.

$$\text{جرم آمونیاک} = ۲/۴۸\times۱۰^{۳}\,\text{mol } H_2 \times \frac{۲\,\text{mol } NH_3}{۳\,\text{mol } H_2} \times \frac{۱۷/۰۳\,\text{g } NH_3}{۱\,\text{mol } NH_3}$$

$$\times \frac{۱\,\text{kg } NH_3}{۱۰^{۳}\,\text{g } NH_3} = ۲۸/۲\,\text{kg } NH_3$$

خود را بیازمایید

متانول (CH_3OH) به‌عنوان یک حلال و واکنش‌دهنده‌ی 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 کربن مونواکسید و هیدروژن به‌دست آورد:

$$CO(g) + ۲H_2(g) \rightarrow CH_3OH(l)$$

از واکنش کامل ۳۵۶g CO با ۶۵g 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 تتراکلریدمایع و منیزیم بسیار خالص بر طبق واکنش زیر تهیه می‌کنند:

$$SiCl_4(l) + ۲Mg(s) \rightarrow Si(s) + ۲MgCl_2(s)$$

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

بازده واکنش‌های شیمیایی

در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که برای تهیه‌ی 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 درجهت افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می‌کنند، با این حال اغلب واکنش‌ها بازده‌ای کم‌تر از صددرصد دارند.

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

۱ـ تعیین واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده

۲ـ محاسبه‌ی مقدار نظری (بیش‌ترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده.

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

نمونه‌ی حل شده

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

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

۱ـ پیدا کردن واکنش‌دهنده‌ی محدودکننده

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

۲ـ محاسبه‌ی مقدار نظری واکنش از روی مقدار واکنش‌دهنده‌ی 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 محاسبه‌ی بازده درصدی واکنش

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

خود را بیازمایید

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

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

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

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

$$2C(s) + 2H_2O(g) \xrightarrow{\Delta} CH_4(g) + CO_2(g)$$

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

بیش‌تر بدانید

در برخی از شاخه‌های شیمی برای مثال شیمی تجزیه، تنها واکنش‌هایی سودمند هستند 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. محاسبه‌ی بازده همواره در واکنش‌های سنتزی بویژه 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.

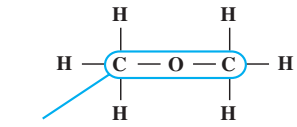
$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_2 = CH_2 + H_2O$$

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 بازده‌ی ۵۰٪ یا حتی کم‌تر از آن بسنده کنند. از این رو شیمی آلی‌دان‌ها 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 می‌شود که در ساختار آن‌ها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن متصل شده است.



گروه عاملی اتر — دی متیل اتر

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

کیسه های هوا

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

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

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

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

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

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

هشدار

*متأسفانه، در یک بررسی که در آن بیش از ۱۰۰ مورد گزارش تصادف ارایه شده بود نه تنها کیسه ی 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 می کنند که از نشاندن کودکان زیر ۱۲ سال روی صندلی جلوی خودروها و بویژه آن هایی که مجهز به کیسه ی هوا هستند، خودداری شود. هم‌چنین، باز شدن کیسه ی هوا در برخی موارد موجب زخمی شدن یا حتی مرگ رانندگانی شده که فاصله ی آن ها تا فرمان خودرو بسیار کم بوده است. حداقل این فاصله باید ۲۵ سانتی‌متر باشد. رعایت این فاصله برای رانندگان بلندقد آسان است، اما رانندگان کوتاه قد، برای آن که پایشان به پدال گاز، ترمز و کلاچ برسد، ناچارند که بیش از اندازه، خود را به فرمان خودرو نزدیک کنند. برای حل این مشکلات به تازگی نسل جدیدی از کیسه های هوا به بازار آمده است که **هوشمند** گفته می‌شود. سرعت بازشدن این کیسه ها برحسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصله ی سر راننده تا فرمان خودرو تغییر می کند.*

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

$$۶Na(s) + Fe_۲O_۳(s) \xrightarrow{\text{گرما}} ۳Na_۲O(s) + ۲Fe(s)$$

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 بر اثر مجاورت با کربن دی‌اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده‌ای بی‌خطر است، تبدیل می‌شود.

$$Na_۲O(s) + ۲CO_۲(g) + H_۲O(g) \rightarrow ۲NaHCO_۳(s)$$

حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه‌ی هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبه‌ی 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

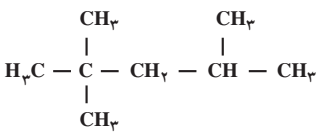
فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسه‌ی هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز $N_۲$ نیاز است. برای تولید این مقدار گاز $N_۲$ دستگاه مولد گاز به چند گرم $NaN_۳(s)$ نیاز دارد؟ چگالی گاز $N_۲$ در دمای واکنش به‌طور تقریبی $۰/۹۱۶\ g.L^{-۱}$ است.

افزایش کارآیی 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 و بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می‌یابد. معادله‌ی نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می‌دهد:

بنزین + اکسیژن هوا ⟶ کربن دی‌اکسید + آب + انرژی

درواقع این معادله‌ی نوشتاری، واکنش‌دهنده‌ها را به‌خوبی مشخص نمی‌کند، زیرا بنزین یک ماده‌ی 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 معادله‌ی نمادی سوختن بنزین را برای آن به‌صورت زیر نوشت:


ایزواوکتان

$$۲C_۸H_{۱۸}(g) + ۲۵O_۲(g) \rightarrow ۱۶CO_۲(g) + ۱۸H_۲O(g) + ۱۰۹۰۰kJ$$

دو واکنش‌دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت‌های مولی معادله‌ی موازنه شده‌ی واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود ۲۰٪ از حجم هوا را اکسیژن تشکیل می‌دهد و بنابراین راه مناسب بهسوزی موتور، تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت است. اگر

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

فکر کنید

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

بیش تر بدانید

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

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

بیش تر بخوانید

۱ـ واکنش های شیمیایی و *استوکیومتری*، علی مؤیدی، عادل پیرنجفی، چاپ نخست، ۱۳۸٤، انتشارات محراب قلم.

۲ـ *حل کردن مسأله ها در شیمی*، ترجمه ی احمد خواجه نصیر طوسی، چاپ نخست، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.