

سینتیک شیمیایی



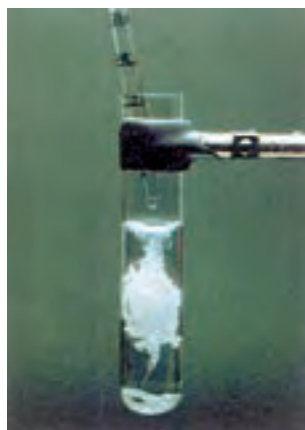
هریک از شهروندان چه سهمی در میزان آلودگی هوای شهر خود دارند؟

هوای آلوده، بوی بدی دارد و چهره شهر را زشت می کند. چنین هوایی فرسودگی ساختمان ها و پوسیدگی خودروها را سرعت می بخشد. همچنین کاهش فراورده های کشاورزی و از بین رفتن برخی گونه های جانوری را در پی دارد. افزون بر این ها باعث به وجود آمدن و تشدید بیماری های تنفسی مانند برونشیت، آسم، سرطان ریه و بسیاری از بیماری های دیگر نیز می گردد. از این رو، امروزه داشتن هوایی پاک و سالم، دغدغه روزافزون بسیاری از ساکنان شهرهای صنعتی و کلان شهرها شده است.

آیا شیمی به ویژه سینتیک شیمیایی و کاربردهای آن برای حل این مشکلات و داشتن هوایی

پاک تر، راهگشا است؟

در شیمی ۳ آموختید که هر واکنش شیمیایی توصیفی برای یک تغییر شیمیایی است. در هر واکنش شیمیایی، چه تند و چه کند از یک یا چند واکنش دهنده، فرآورده‌هایی با خواص متفاوت تولید می‌شود. شکل ۱، برخی واکنش‌های شیمیایی را نشان می‌دهد که با تغییر رنگ، تولید رسوب، آزاد شدن گاز، داد و ستد گرما و ایجاد نور و صدا همراه هستند.



ب) افزودن محلول سدیم کلرید به محلول نقره نیترات باعث تشکیل سریع رسوب سفیدرنگ نقره کلرید می‌شود.



الف) انفجار، یک واکنش شیمیایی بسیار سریع است که در آن از مقدار کمی از یک ماده منفجرشونده به حالت جامد یا مایع، حجم بسیار زیادی از گازهای داغ تولید می‌شود.

در انفجار مواد شیمیایی، انبساط بسیار سریع گازهای آزاد شده، شوک موجی بسیار قوی با فشار بیش از $700,000$ اتمسفر در سرتاسر محیط پیرامون منتشر کرده که با سرعتی بیش از 9000 ms^{-1} باعث تخریب فیزیکی بناها می‌شود.



ت) بسیاری از کتاب‌های دست‌نویس و چاپی قدیمی در گذر زمان، زرد و پوسیده شده‌اند. این پدیده نشان می‌دهد که واکنش تجزیه سلولز کاغذ بسیار کند رخ می‌دهد.



پ) اشیای آهنی در هوای مرطوب به کندی زنگ می‌زنند. زنگار تولیدشده در این واکنش ترد و شکننده است و فرو می‌ریزد.

شکل ۱- نمایش برخی واکنش‌های شیمیایی با سرعت‌های گوناگون



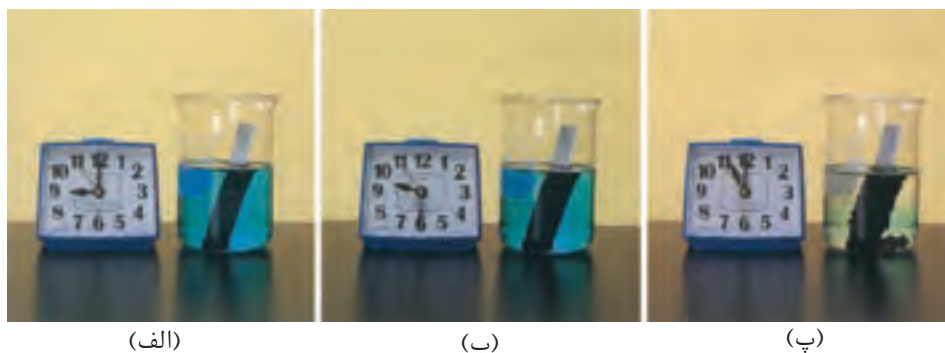
بررسی شکل ۱ نشان می‌دهد که زمان انجام واکنش‌ها متفاوت است به طوری که گستره‌ای از چندصدم ثانیه تا چندسده را در برمی‌گیرد.

روزانه واکنش‌های شیمیایی بسیاری در اطراف ما و حتی درون بدن ما با سرعت‌های گوناگونی رخ می‌دهند. برخی از این واکنش‌ها مفید و ضروری بوده در حالی که برخی دیگر زیان‌بار و ناخواسته‌اند. از این‌رو، برخی شیمی‌دان‌ها در پی یافتن راه‌هایی برای کاهش سرعت یا متوقف کردن واکنش‌های ناخواسته و برخی دیگر به دنبال سرعت بخشیدن به واکنش‌هایی هستند که بتوانند فرآورده‌هایی گوناگون با صرفه اقتصادی تولید کنند.

آشکار است که این توانایی به دست نخواهد آمد مگر آنکه شیمی‌دان‌ها درباره شرایط و چگونگی انجام واکنش‌های شیمیایی و عوامل مؤثر بر سرعت انجام آنها، آگاهی لازم را داشته باشند. سینتیک شیمیایی شاخه‌ای از شیمی است که این آگاهی‌ها را در اختیار ما می‌گذارد.

سرعت متوسط مصرف و تولید مواد شرکت‌کننده در واکنش

می‌دانید که در یک واکنش شیمیایی با گذشت زمان، واکنش‌دهنده‌ها مصرف و فرآورده‌ها تولید می‌شوند. در سینتیک شیمیایی آهنگ مصرف واکنش‌دهنده‌ها و تولید فرآورده‌ها در بازه‌ای از زمان اهمیت ویژه‌ای دارد. برای نمونه، به واکنش تیغه روی با محلول مس (II) سولفات توجه کنید، (شکل ۲).



شکل ۲- پیشرفت واکنش $Zn(s)$ با $Cu^{2+}(aq)$

در این واکنش با گذشت زمان به تدریج از شدت رنگ آبی محلول کاسته شده و در پایان واکنش، محلول بی‌رنگ می‌شود. این ویژگی بیانگر آن است که مقدار یون‌های $Cu^{2+}(aq)$ کاهش یافته و جرم $Cu(s)$ تولید شده، افزایش می‌یابد. این واکنش تا جایی پیش می‌رود که مقدار یون‌های $Cu^{2+}(aq)$ تقریباً به صفر می‌رسد. به نظر شما در این واکنش، جرم $Zn(s)$ چه تغییری می‌کند؟

خودبه‌خودی بودن یک واکنش از دید ترمودینامیک به این معنا نیست که واکنش یادشده بایستی با سرعت انجام شود. واکنش‌های بسیاری وجود دارند که ترمودینامیک، امکان وقوع آنها را پیش‌بینی می‌کند اما از دید سینتیک شیمیایی راه مناسبی برای وقوع آنها وجود ندارد.

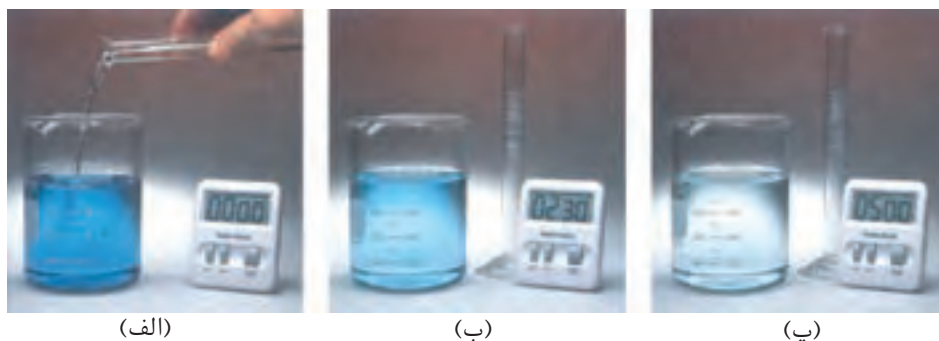
سینتیک و ترمودینامیک شیمیایی را می‌توان مکمل یکدیگر دانست، زیرا ترمودینامیک با تعیین ΔG واکنش، امکان وقوع آن را بررسی می‌کند در حالی که سینتیک شیمیایی به بررسی چگونگی و سرعت انجام واکنش می‌پردازد.



فکر کنید

۱- دانش‌آموزی یک محلول محتوی ۰/۰۲ مول مس (II) سولفات در اختیار دارد. او تیغه‌ای از فلز روی را درون محلول قرار می‌دهد و پس از ۲۰ دقیقه محلول بی‌رنگ می‌شود. آهنگ مصرف یون‌های $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ را بر حسب مول بر دقیقه ($\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$) به دست آورید. ۲- اگر تعداد مول‌های مصرف شده از یک واکنش دهنده در واحد زمان بیانگر سرعت مصرف آن باشد، با بررسی شکل‌های زیر، سرعت متوسط مصرف ماده رنگی را بر حسب مول بر دقیقه ($\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$) حساب کنید.

سرعت مصرف یا تولید یک ماده شرکت کننده در واکنش در گستره زمانی قابل اندازه‌گیری را سرعت متوسط آن ماده می‌گویند و آن را با \bar{R} نمایش می‌دهند. از این‌رو، \bar{R} (A) سرعت متوسط تولید یا مصرف ماده A را نشان می‌دهد.



واکنش محلول سفیدکننده با ۰/۰۵ مول از نوعی رنگ غذا

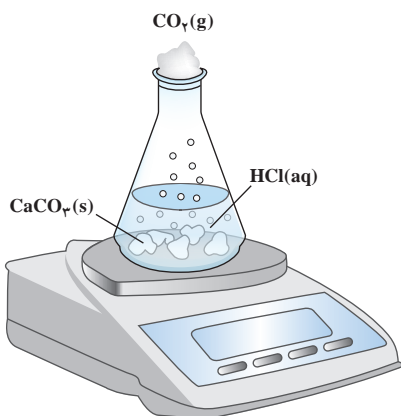
R حرف اول واژه Rate به معنای نرخ، آهنگ یا سرعت است.

تجربه نشان می‌دهد که اندازه‌گیری و محاسبه سرعت متوسط مصرف یا تولید مواد شرکت کننده در یک واکنش به ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری مانند جرم، حجم، فشار و ... بستگی دارد.

همچون دانشمندان

واکنش کلسیم کربنات را با محلول هیدروکلریک اسید در دما و فشار اتاق مطابق

شکل زیر در نظر بگیرید.



جدول زیر، جرم مخلوط واکنش را برحسب زمان برای این آزمایش نشان می دهد.

با توجه به داده های جدول، به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید:

زمان (ثانیه)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
جرم مخلوط واکنش (گرم)	۶۵/۹۸	۶۵/۳۲	۶۴/۸۸	۶۴/۶۶	۶۴/۵۵	۶۴/۵۰	۶۴/۵۰
جرم کربن دی اکسید (گرم)	۰	۰/۶۶	۱/۱۰	.....	.....	.....	.....

الف) چرا با گذشت زمان از جرم مخلوط واکنش کاسته می شود؟

ب) جدول را کامل کنید.

پ) با گذشت زمان جرم گاز آزاد شده چه تغییری می کند؟ چرا؟

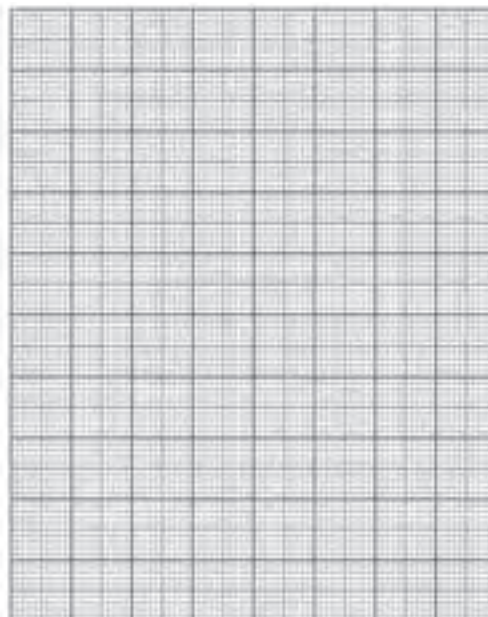
ت) در چه زمانی واکنش به پایان می رسد؟ چرا؟

ث) جدول زیر را کامل کنید. ($1 \text{ mol CO}_2 = 44 \text{ g}$)

اگر شمار مول های یک ماده را با n نمایش دهیم، $\Delta n = n_2 - n_1$ تغییر تعداد مول های آن ماده را نشان می دهد. $\Delta n > 0$ افزایش شمار مول های فرآورده و $\Delta n < 0$ کاهش شمار مول های واکنش دهنده را در واکنش نشان می دهد.

زمان (s)	$n(\text{CO}_2), (\text{mol})$	$\Delta n(\text{CO}_2), (\text{mol})$	$\bar{R}(\text{CO}_2) = \frac{\Delta n(\text{CO}_2)}{\Delta t}, (\text{mol.s}^{-1})$
۰	۰		
۱۰	$1/50 \times 10^{-2}$	$1/50 \times 10^{-2}$	$1/50 \times 10^{-3}$
۲۰	$2/50 \times 10^{-2}$	$1/00 \times 10^{-2}$	$1/00 \times 10^{-3}$
۳۰	$3/00 \times 10^{-2}$	.....	.....
۴۰	.....	.....	.....
۵۰	.....	.....	.....

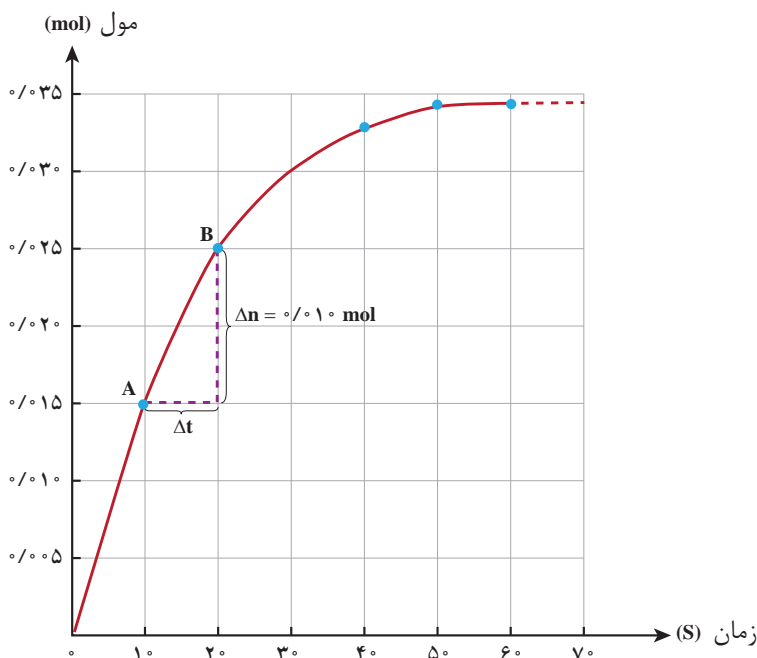
ج) نمودار مول - زمان را برای گاز CO_2 بر روی کاغذ میلی متری زیر رسم کنید.



چ) سرعت متوسط تولید CO_2 با گذشت زمان چه تغییری می کند؟ چرا؟
 ح) آزمایش نشان می دهد که نمودار مول - زمان برای هر سه فرآورده در واکنش کلسیم کربنات با محلول هیدروکلریک اسید از هر لحاظ یکسان است. چرا؟

سرعت متوسط و شیب نمودار مول - زمان

با چگونگی محاسبه سرعت متوسط تولید فرآورده در یک واکنش شیمیایی آشنا شدید. نمودار ۱، نمودار مول - زمان را برای کلسیم کلرید تولید شده در واکنش کلسیم کربنات با محلول هیدروکلریک اسید نشان می دهد.



نمودار ۱- نمودار مول - زمان برای فرآورده

در نمودار ۱، نقطه A نشان می دهد که در زمان $t_1 = 10\text{ s}$ ، مول های کلسیم کلرید برابر با $n_1 = 0.15\text{ mol}$ و نقطه B نشان می دهد که در زمان $t_2 = 20\text{ s}$ ، مول های این ماده برابر با $n_2 = 0.25\text{ mol}$ است. از این رو:

$$\Delta n(\text{CaCl}_2) = n_2 - n_1 = 0.25\text{ mol} - 0.15\text{ mol} = 0.10\text{ mol}$$

این مقدار، تغییر مول های کلسیم کلرید را در گستره زمانی ۱۰ تا ۲۰ ثانیه

نشان می دهد. نسبت $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ ، شیب خط AB در نمودار

مول - زمان است. این نسبت علامت مثبت دارد و سرعت متوسط تولید کلسیم کلرید را در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ ثانیه مشخص می کند.



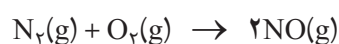
نمودار ۱ همچنان نشان می‌دهد هرچه واکنش به پایان آن نزدیک‌تر می‌شود، شیب نمودار مول - زمان کندتر شده تا اینکه از ثانیه ۵۰ به بعد برابر با صفر می‌شود. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت این واکنش با گذشت ۵۰ ثانیه به پایان رسیده است و پس از آن دیگر فرآورده‌ای تولید نمی‌شود.

فکر کنید

۱- در واکنش $\text{CaCO}_3(\text{s})$ با $\text{HCl}(\text{aq})$ ، چه رابطه‌ای بین سرعت متوسط مصرف این دو ماده وجود دارد؟ این رابطه را بنویسید.

۲- یکی از آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودروها گاز نیتروژن مونوکسید (NO) است.

این گاز درون موتور خودرو در دماهای بالا مطابق واکنش زیر تولید می‌شود:

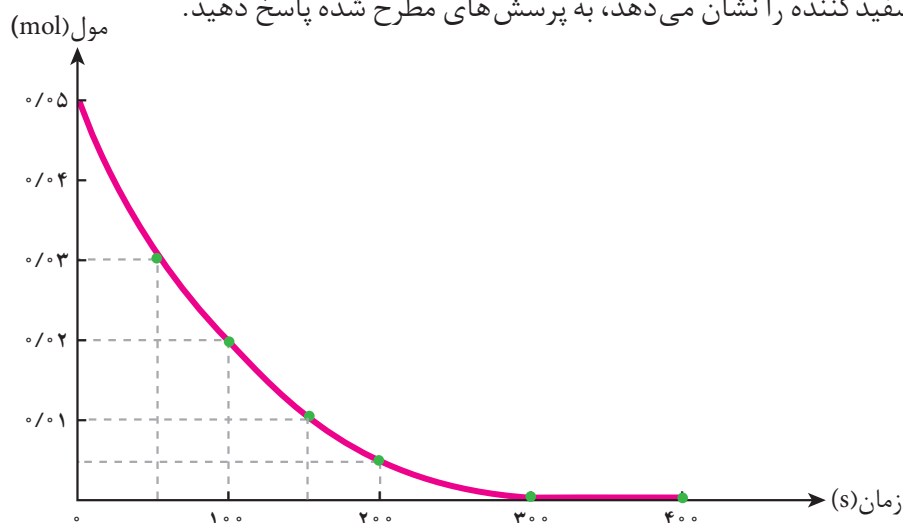


اگر در شرایط معینی $\bar{R}(\text{N}_2) = 0.15 \text{ mol.s}^{-1}$ باشد، $\bar{R}(\text{O}_2)$ و $\bar{R}(\text{NO})$ را برحسب

mol.min^{-1} به دست آورید.

۳- با توجه به نمودار زیر که تغییر مول‌های نوعی رنگ غذا در واکنش با یک محلول

سفیدکننده را نشان می‌دهد، به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



الف) مول‌های واکنش دهنده (رنگ غذا) با گذشت زمان چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

ب) شیب نمودار مول - زمان چه علامتی دارد؟ چرا؟

پ) توضیح دهید چرا علامت منفی در رابطه زیر نوشته می‌شود.

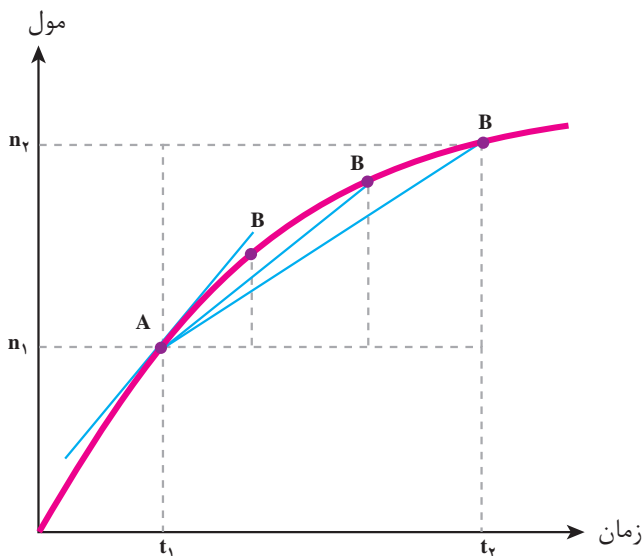
$$\bar{R}(\text{واکنش دهنده}) = - \frac{\Delta n(\text{واکنش دهنده})}{\Delta t}$$

ت) سرعت متوسط مصرف رنگ غذا را برحسب مول بر دقیقه به دست آورید.



بیشتر بدانید

در نمودار مول - زمان، هر نقطه روی نمودار، سرعت لحظه‌ای را در آن لحظه نشان می‌دهد. برای درک بهتر، سرعت لحظه‌ای مصرف یا تولید هر شرکت‌کننده را می‌توان از روی سرعت متوسط آن تعریف کرد. در نمودار زیر، $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ ، شیب خط AB و سرعت متوسط تولید فراورده نامیده می‌شود. اگر گستره زمانی Δt ، کوچک و کوچک‌تر شود (t_1 به t_2 نزدیک‌تر شود)، نقطه B به نقطه A نزدیک و نزدیک‌تر شده تا اینکه سرانجام خط AB بر نقطه A بر نمودار مماس خواهد شد.



در این حالت با سرعت لحظه‌ای تولید فراورده روبه‌رو هستیم؛ به طوری که سرعت لحظه‌ای همان

حد سرعت متوسط تولید فراورده است، هنگامی که Δt به سمت صفر میل می‌کند.

$$\text{حد} \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{dn}{dt} = \text{سرعت لحظه‌ای تولید فراورده}$$

سرعت واکنش

دیدید که شیب نمودار مول - زمان برای هر یک از شرکت‌کننده‌ها در واکنش متناسب با ضریب استوکیومتری آن است. به طوری که اگر ضریب استوکیومتری شرکت‌کننده‌ها یکسان نباشد، سرعت متوسط آنها متفاوت خواهد بود. شیمی‌دان‌ها برای درک آسان پیشرفت واکنش در واحد زمان، از یک مفهوم کاربردی به نام سرعت واکنش استفاده می‌کنند.



۱- سرعت متوسط تولید گاز اکسیژن در واکنش زیر:



در گستره زمانی معینی برابر با $10^{-4} \text{ mol.s}^{-1} \times 5$ است.

الف) سرعت متوسط مصرف $N_2O_5(g)$ و $NO_2(g)$ را در این گستره زمانی به دست آورید.

ب) سرعت متوسط تولید یا مصرف هر شرکت کننده را به ضریب استوکیومتری آن

تقسیم کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پ) حاصل تقسیم در قسمت ب، سرعت واکنش نام دارد. برای این واکنش با استفاده

از سرعت متوسط تولید یا مصرف مواد شرکت کننده، رابطه سرعت واکنش را بنویسید.

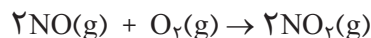
ت) ارتباط معادله شیمیایی موازنه شده واکنش با رابطه زیر را توضیح دهید.

$$R(\text{واکنش}) = -\frac{\Delta n(N_2O_5)}{2\Delta t} = +\frac{\Delta n(NO_2)}{4\Delta t} = +\frac{\Delta n(O_2)}{\Delta t}$$

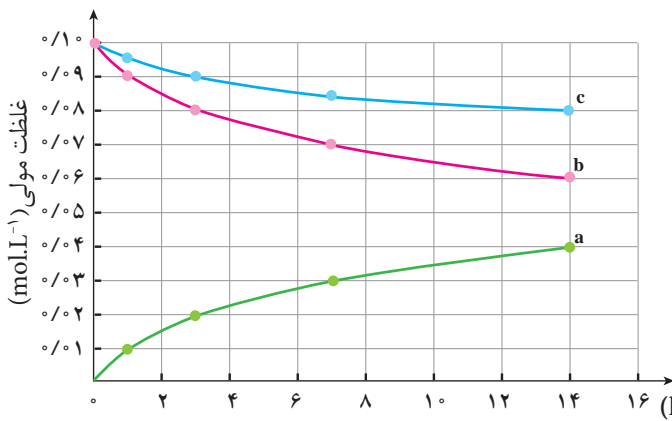
ث) سرعت متوسط کدام ماده با سرعت واکنش برابر است؟ توضیح دهید.

۲- گاز نیتروژن مونوکسید (آلاینده‌ای که از آگزوز خودروها وارد هواکره می‌شود) در

هواکره مطابق واکنش زیر به گاز نیتروژن دی‌اکسید قهوه‌ای رنگ تبدیل می‌شود.



با توجه به جدول و نمودار داده شده، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.



زمان (ساعت)	غلظت مولی (mol.L ⁻¹)
۰	۰
۱	۰/۰۱
۳	۰/۰۲
۷	۰/۰۳
۱۴	۰/۰۴
۰	۰/۱۰
۱	۰/۰۹
۳	۰/۰۸
۷	۰/۰۷
۱۴	۰/۰۶
۰	۰/۱۰
۱	۰/۰۹۵
۳	۰/۰۹
۷	۰/۰۸۵
۱۴	۰/۰۸

الف) در سه ساعت نخست، $\bar{R}(O_2)$ و $\bar{R}(NO_2)$ را بر حسب $\text{mol.L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ حساب کنید.

ب) سرعت واکنش را در هفت ساعت نخست و هفت ساعت دوم حساب کنید.

کدام یک بیشتر است؟ چرا؟

پ) هر یک از منحنی‌های a، b و c مربوط به کدام شرکت کننده است؟ توضیح دهید.



عوامل مؤثر بر سرعت واکنش

در زندگی روزمره با پدیده‌ها، فرایندها و تغییرهای شیمیایی گوناگونی روبه‌رو می‌شوید

که سرعت واکنش در آنها اهمیت بسزایی دارد. به نمونه‌های زیر توجه کنید:



شکل ۴- بیمارانی که مشکلات تنفسی دارند، در شرایط اضطراری نیاز به تنفس از کیپسول گاز اکسیژن خالص دارند.



شکل ۳- برای نگهداری طولانی مدت فراورده‌های گوشتی، آنها را به حالت منجمد ذخیره می‌کنند.



شکل ۶- حبه قند آغشته به خاک باغچه سریع‌تر و آسان‌تر می‌سوزد.



شکل ۵- بارگاه ملکوتی امامان معصوم (ع) را با ورقه‌های نازک طلا تزیین می‌کنند. با گذشت زمان، این گنبدها همچنان درخشان باقی می‌مانند؛ درحالی که طاق مسی مقبره حافظ (حافظیه شیراز) با گذشت زمان سبزنگ شده است.



شکل ۷- تراشه‌های چوب، سریع‌تر از تکه‌های چوب می‌سوزند.

در نمونه‌هایی از این دست، نقش عوامل مؤثر بر سرعت واکنش را به صورت پنهان یا

آشکار می‌توان جست‌وجو کرد.



بررسی هان نشان می‌دهد که سرعت واکنش‌ها با تغییر فعالیت شیمیایی (واکنش‌پذیری) واکنش‌دهنده‌ها، دما، غلظت، کاتالیزگر و سطح تماس میان ذره‌های واکنش‌دهنده دستخوش تغییر می‌شود.

به نظر شما در هریک از نمونه‌های بالا اهمیت کدام عامل در سرعت واکنش بیان شده است؟

فکر کنید

۱- در هریک از موارد زیر با توجه به شکل، علت اختلاف در سرعت واکنش را توضیح

دهید.



ب) شعله‌آتش، گرد آهن موجود در کپسول چینی را داغ و سرخ می‌کند؛ در حالی که پاشیدن و پخش کردن گرد آهن بر روی شعله، سبب سوختن آن می‌شود.



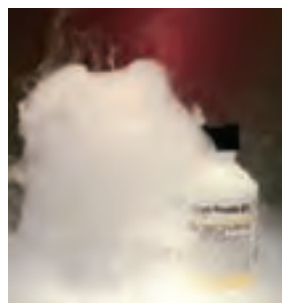
الف) فلزهای قلیایی سدیم و پتاسیم در شرایط یکسان با آب سرد به شدت واکنش می‌دهند. اما سرعت این دو واکنش متفاوت است.



ت) الیاف آهن داغ و سرخ شده در هوا نمی‌سوزد، در حالی که همان مقدار الیاف آهن داغ و سرخ شده در یک ارلن پر از اکسیژن می‌سوزد.



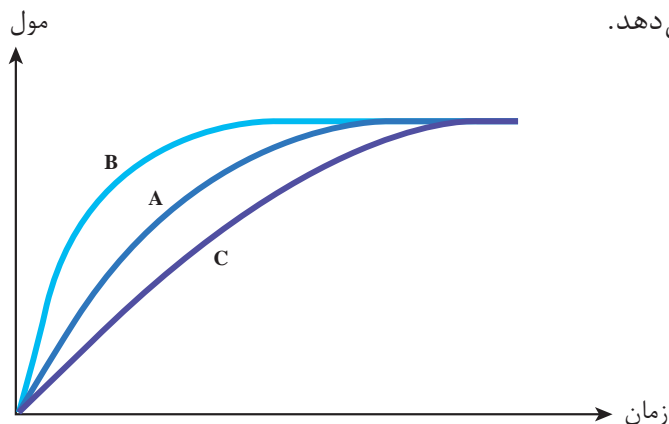
پ) محلول بنفش رنگ پتاسیم پرمنگنات با یک اسید آلی در دمای اتاق به کندی واکنش می‌دهد، اما با گرم شدن، محلول به سرعت بی‌رنگ می‌شود.



ث) محلول هیدروژن پراکسید در دمای اتاق به کندی تجزیه شده و گاز اکسیژن تولید می‌کند، در حالی که افزودن دو قطره از محلول پتاسیم یدید، سرعت واکنش را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.



۲- در نمودار زیر، منحنی A برای واکنش کلسیم کربنات با محلول هیدروکلریک اسید 1 mol. L^{-1} در دمای اتاق رسم شده است. با دلیل مشخص کنید در هر یک از موارد زیر، کدام منحنی (B یا C) تغییر مول‌های کربن دی‌اکسید را با گذشت زمان به درستی نشان می‌دهد.



الف) قرار دادن ظرف واکنش در حمام محتوی آب و یخ
ب) انجام واکنش با محلول 2 mol. L^{-1} اسید

قانون سرعت

تاکنون دریافته‌اید که افزایش غلظت واکنش دهنده‌ها اغلب منجر به افزایش سرعت واکنش می‌شود، اما نمی‌توان به طور نظری مشخص کرد که با چه نسبتی سرعت واکنش افزایش می‌یابد؛ زیرا سرعت واکنش، کمیتی تجربی است. برای نمونه اگر در واکنش تجزیه گرمایی دی‌نیتروژن پنتوکسید، غلظت این ماده سه برابر شود، سرعت واکنش چه تغییری می‌کند؟ به این پرسش براساس معادله واکنش نمی‌توان پاسخی قطعی داد!

برای پاسخ دادن به این پرسش، باید داده‌های تجربی در اختیار باشد تا بتوان رابطه‌ای میان سرعت واکنش و غلظت واکنش دهنده یافت. به چنین رابطه‌ای، قانون سرعت می‌گویند. جدول زیر داده‌های تجربی را برای واکنش:



در یک دمای معین نشان می‌دهد.

شماره آزمایش	غلظت آغازی N_2O_5 (mol. L^{-1})	سرعت آغازی ($\text{mol. L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
۱	0.10	$3/30 \times 10^{-6}$
۲	0.20	$6/60 \times 10^{-6}$
۳	0.50	$1/65 \times 10^{-5}$



به طور کلی می توان نوشت:

$$R \propto [N_2O_5]^n \text{ (R)}$$

برای تبدیل این نسبت به یک تساوی، آن را در ثابت تناسب ضرب می کنیم. این ثابت، ثابت سرعت نام دارد (k) که کمیتی تجربی و وابسته به دما است. بنابراین، شکل کلی قانون سرعت این واکنش به صورت زیر خواهد شد:

$$R = k [N_2O_5]^n$$

واکنش کلی $aA + bB \rightarrow \dots$ را در نظر بگیرید. برای این واکنش می توان نوشت: $R = k[A]^m[B]^n$ در این رابطه m و n به ترتیب مرتبه واکنش را نسبت به واکنش دهنده های A و B نشان می دهند که از داده های تجربی به دست می آیند.

حال برای یافتن رابطه دقیق سرعت واکنش با $[N_2O_5]$ ، باید مقدار n را بیابیم. برای این منظور، داده های آزمایش (۱) را با (۲) مقایسه می کنیم. این مقایسه نشان می دهد که با دو برابر شدن $[N_2O_5]$ ، سرعت واکنش نیز دو برابر شده است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که سرعت واکنش با $[N_2O_5]$ ، رابطه مستقیم دارد و $n=1$ است. از این رو گفته می شود این واکنش، مرتبه اول است.

شماره آزمایش	$[N_2O_5]$	R $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$
۱	۰/۱۰	$3/30 \times 10^{-6}$
۲	۰/۲۰	$6/60 \times 10^{-6}$
۳	۰/۵۰	$1/65 \times 10^{-6}$

$\Rightarrow R = k[N_2O_5]^1$

مولکول CO واکنش پذیری بالایی دارد. به طوری که تمایل آن برای واکنش با هموگلوبین به مراتب بیشتر از مولکول O_2 است. این ویژگی سبب می شود که مولکول های CO موجود در هوای دم، جایگزین مولکول O_2 در هموگلوبین شده و مانع از رسیدن اکسیژن به بافت ها خواهد شد.

خود را بیازمایید

شیمی دان ها سرعت واکنش میان هموگلوبین (Hb) و کربن مونوکسید را در دمای $20^\circ C$ بررسی کرده اند. جدول زیر، نتایج این پژوهش ها را نشان می دهد.

شماره آزمایش	غلظت آغازی واکنش دهنده ها		سرعت آغازی واکنش ($mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$)
	[Hb]	[CO]	
۱	$2/2 \times 10^{-6}$	$1/0 \times 10^{-6}$	$6/10 \times 10^{-7}$
۲	$4/4 \times 10^{-6}$	$1/0 \times 10^{-6}$	$1/22 \times 10^{-6}$
۳	$4/4 \times 10^{-6}$	$3/0 \times 10^{-6}$	$3/66 \times 10^{-6}$

الف) سرعت واکنش با [Hb] چه رابطه ای دارد؟ چرا؟

ب) در رابطه زیر، مقدار m و n را به دست آورید.

$$R = k [Hb]^n [CO]^m$$

در قانون سرعت، سرعت آغازی (R) هم ارز با سرعت لحظه ای واکنش است.



نظریه‌های سینتیک شیمیایی

تا به حال سرعت واکنش‌های شیمیایی را به صورت تجربی بررسی کردیم و بیشتر به جنبه‌های ماکروسکوپی آنها پرداختیم، ولی برای یافتن پاسخ بسیاری از پرسش‌های مطرح شده در ذهن شما باید واکنش‌ها را در سطح مولکولی بررسی کرد. برای این منظور دو نظریه مهم و اساسی مطرح شده است که واکنش‌های شیمیایی را در سطح مولکولی بررسی می‌کند.

(آ) نظریه برخورد

(ب) نظریه حالت گذار

گرچه اساس هر دو نظریه، برخورد بین ذره‌های واکنش دهنده است، ولی میان آنها تفاوت‌هایی اساسی وجود دارد.

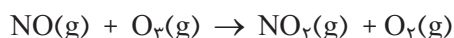
نظریه برخورد

این نظریه تنها برای توصیف واکنش‌های بنیادی در فاز گاز به کار می‌رود. مطابق با این نظریه یک واکنش بنیادی هنگامی رخ می‌دهد که بین ذره‌های واکنش دهنده برخوردی مؤثر صورت گیرد. برخورد هنگامی مؤثر است و به تولید فراورده می‌انجامد که طی آن، ذره‌های برخوردکننده، جهت‌گیری مناسب و انرژی کافی داشته باشند. البته افزایش تعداد برخوردها میان ذره‌ها نیز احتمال وقوع برخوردهای مؤثر را افزایش می‌دهد (چرا؟).

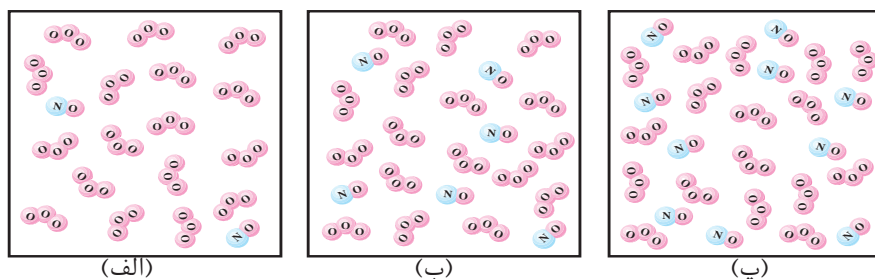
واکنش بنیادی، واکنشی است که در آن فراورده‌ها از برخورد مستقیم ذره‌های واکنش دهنده تولید می‌شوند. در این واکنش‌ها، ضریب استوکیومتری هر واکنش دهنده مرتبه آن را در قانون سرعت نشان می‌دهد.

تعداد برخوردها

واکنش نیتروژن مونوکسید با اوزون را در نظر بگیرید.



در شکل ۸ واکنش میان این دو گاز در دمای ثابت نشان داده شده است. این شکل ظرفی با حجم ثابت را نشان می‌دهد که از (الف) به (پ) تعداد مولکول‌های O_3 ثابت، ولی تعداد مولکول‌های NO افزایش یافته است.



شکل ۸- اثر غلظت بر سرعت واکنش‌های شیمیایی. بررسی افزایش تعداد برخوردها در واکنش $\text{NO}(\text{g})$ با $\text{O}_3(\text{g})$



خود را بیازمایید

۱. با کمی دقت در شکل ۸ مشخص کنید که احتمال برخورد بین مولکول های NO

با مولکول های O₃ از (الف) به (پ) چه تغییری کرده است؟ چرا؟

۲. سرعت واکنش در کدام ظرف بیشتر است؟ چرا؟

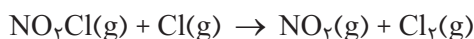
جهت گیری مناسب ذره های برخورد کننده

برای اینکه برخورد بین ذره های واکنش دهنده به واکنش و تولید فرآورده بینجامد،

باید این ذره ها در جهت مناسبی به یکدیگر نزدیک شده، برخورد کنند.

فکر کنید

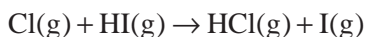
۱. واکنش زیر را در نظر بگیرید:



برای انجام این واکنش دو برخورد در شکل روبه رو پیشنهاد شده است.

کدام جهت برای برخورد، به تولید فرآورده می انجامد؟ چرا؟

۲. واکنش Cl(g) با HI(g) را در نظر بگیرید:



بر طبق نظریه برخورد برای انجام این واکنش باید بین Cl(g) با HI(g) برخوردی

صورت گیرد. با رسم یک شکل این برخورد مناسب را نشان دهید.

انرژی کافی ذره ها هنگام برخورد

از میان همه برخوردها فقط تعداد بسیار کمی منجر به انجام واکنش می شود. این

تعداد افزون بر داشتن جهت گیری مناسب باید انرژی کافی نیز داشته باشند. برای درک

اثر این عامل بر سرعت واکنش های شیمیایی، واکنش NO(g) با O₃(g) را دوباره در نظر

بگیرید. در شکل ۹، برخورد بین مولکول های واکنش دهنده از سه جهت مختلف نشان

داده شده است.

مولکول های O₃ و NO انرژی جنبشی دارند و در ظرف واکنش پیوسته با یکدیگر

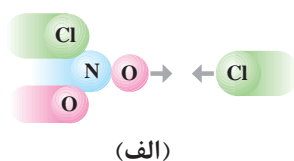
برخورد می کنند، ولی همه برخوردهای بین مولکول های واکنش دهنده به واکنش

نمی انجامد؛ زیرا همه آنها انرژی کافی ندارند. همان طوری که در شکل ۹ دیده می شود،

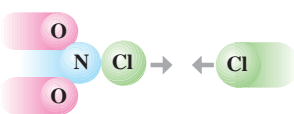
فقط برخوردهای a به واکنش می انجامد و فرآورده ها را تولید می کند، ولی برخوردهای b

و c فرآورده ای تولید نمی کنند(چرا؟).

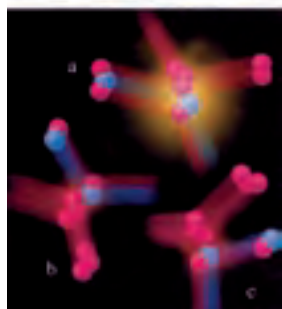
در نظریه برخورد ذره های واکنش دهنده به صورت گوی های سخت در نظر گرفته می شوند. بر طبق این نظریه، سرعت واکنش به تعداد برخوردها بین ذره های واکنش دهنده (در واحد حجم و در واحد زمان) بستگی دارد.



(الف)



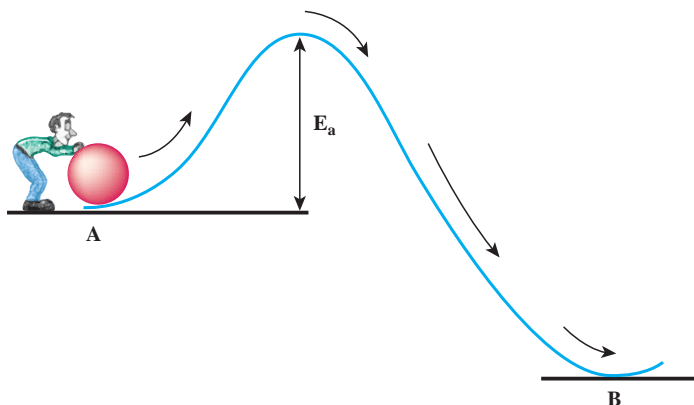
(ب)



شکل ۹- انرژی برخورد و سرعت واکنش. اگرچه تعداد زیادی برخورد به وقوع می پیوندد، اما تنها شمار اندکی که انرژی کافی و جهت گیری مناسب دارند به تولید فرآورده می انجامند.



برای درک بهتر وجود انرژی کافی برای ذره‌های واکنش دهنده هنگام برخورد، به مثالی توجه کنید. گلوله‌ای در نقطه A قرار دارد و شخصی می‌خواهد آن را به نقطه B منتقل کند، ولی بین این دو نقطه یک قله وجود دارد، (شکل ۱). برای منتقل کردن گلوله از نقطه A به نقطه B، گلوله باید از این قله بگذرد. برای این منظور، دست کم باید انرژی لازم برای رساندن گلوله به بالای قله فراهم باشد؛ زیرا از آن به بعد گلوله بر اثر نیروی گرانش روی سطح شیب‌دار به پایین سرازیر می‌شود.



شکل ۱- نمایش انرژی فعال‌سازی (E_a)

همچون این مثال، در واکنش‌های شیمیایی نیز برای تبدیل واکنش دهنده‌ها به فرآورده‌ها (حرکت از نقطه A به نقطه B)، مقداری انرژی لازم است. این مقدار انرژی، حداقل مقدار انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی است و از آن با عنوان **انرژی فعال‌سازی** یاد می‌شود. آیا می‌دانید انرژی فعال‌سازی صرف چه عملی می‌شود؟

بیشتر بدانید

هر نظریه چارچوبی با فرض‌های روشن دارد. هریک از این فرض‌ها (اصول موضوعه) می‌تواند یک قانون علمی نیز باشد. نظریه تا جایی که مشاهده‌های تجربی را تفسیر می‌کند، معتبر است. در غیراین‌صورت، نارسایی دارد. نظریه برخورد، نارسایی‌هایی دارد که برخی از آنها عبارت‌اند از:

- ۱- نظریه برخورد برای واکنش‌های بنیادی در فاز گازی به کار می‌رود. از این نظریه نمی‌توان برای توجیه واکنش‌هایی استفاده کرد که در حالت محلول انجام می‌شوند، زیرا در حالت محلول فاصله بین ذره‌های واکنش دهنده کم است و نمی‌توان مانند فاز گازی ذره‌ها را جدا از یکدیگر و مستقل در نظر گرفت.
- ۲- در نظریه برخورد، ذره‌های واکنش دهنده به صورت گوی‌هایی سخت در نظر گرفته می‌شوند که برخوردی کشسان دارند (برخوردی که مجموع انرژی جنبشی انتقالی ذره‌ها پیش و پس از برخورد ثابت می‌ماند)، در صورتی که می‌دانیم ذره‌های واکنش دهنده ضمن مبادله انرژی، بر یکدیگر نیز اثر می‌گذارند.



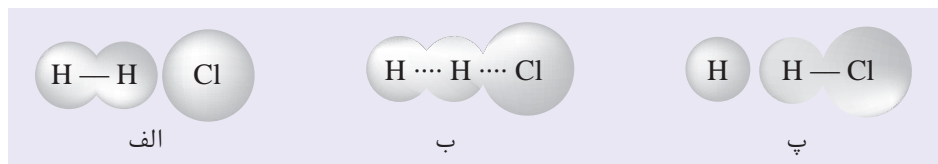
۲- در نظریه برخورد، فقط حرکت‌های انتقالی ذره‌های واکنش‌دهنده در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که حرکت‌های چرخشی و ارتعاشی ذره‌های واکنش‌دهنده نیز در نحوه انجام واکنش نقش دارند. این نارسایی‌ها نشان می‌دهند که به نظریه‌ای نو و کامل‌تر نیاز است، نظریه‌ای که فرض‌های درست و کاربردی نظریه پیشین را در برداشته و تا آنجا که می‌تواند نارسایی‌های آن را برطرف می‌کند.

نظریه حالت گذار

در نظریه حالت گذار، برخی از نارسایی‌های نظریه برخورد برطرف شده است. از جمله آنکه این نظریه افزون بر واکنش در فاز گازی برای فاز محلول نیز قابل استفاده است. واکنش $H_2(g) + Cl(g)$ را در نظر بگیرید:



هنگامی که ذره‌های واکنش‌دهنده، یعنی H_2 و Cl با هم برخورد کنند، مدت زمانی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. در این هنگام (یعنی هنگام برخورد) پیوندهای موجود در ذره‌های واکنش‌دهنده دچار دگرگونی می‌شوند. به واقع پیوندهای اولیه آنها تا حدودی سست شده و تشکیل پیوندهای تازه‌ای خودنمایی می‌کند (شکل ۱۱).



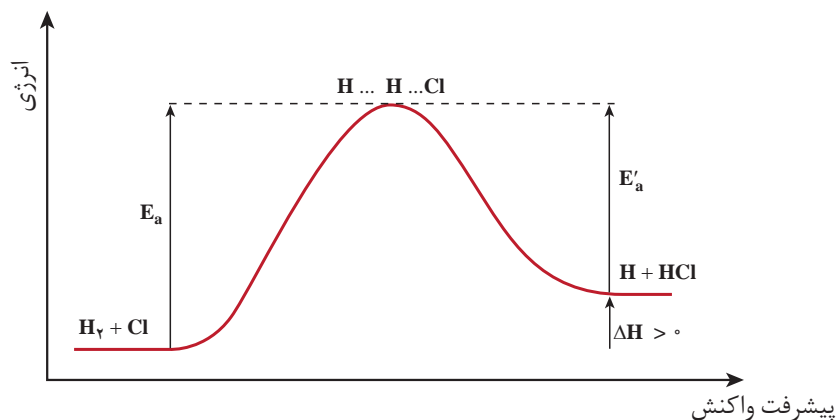
شکل ۱۱- تشکیل پیچیده فعال در واکنش $H_2(g)$ با $Cl(g)$. خط‌چین‌ها پیوندهای شیمیایی در حال گسستن یا در حال تشکیل را نشان می‌دهند.

احمد زویل (Ahmad H. Zewail) شیمی‌دان مسلمان مصری در سال ۱۹۹۹ میلادی (۱۳۷۸ شمسی) موفق به دریافت جایزه نوبل شیمی گردید. او و همکارانش روی حالت گذار در واکنش‌های شیمیایی تحقیق می‌کنند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که حالت گذار، طول عمر بسیار کوتاهی در حدود فمتوثانیه (10^{-15} ثانیه) دارد.

همان طوری که ملاحظه می‌کنید برای تشکیل مولکول‌های HCl ، پیوند $H-H$ به تدریج شکسته و پیوند $H-Cl$ به تدریج تشکیل می‌شود. حالت‌های (الف) تا (پ) مراحل تشکیل HCl را نشان می‌دهند. به حالت (ب) که در آن هم‌زمان پیوند اولیه در حال شکستن و پیوند جدید در حال تشکیل است، **حالت گذار یا پیچیده فعال** می‌گویند. به همین دلیل این نظریه، به نظریه حالت گذار یا نظریه پیچیده فعال شهرت یافته است. پیچیده فعال، گونه بسیار ناپایداری است، به طوری که نمی‌توان آن را حین واکنش‌ها جداسازی و شناسایی کرد.

شیوه نمایش سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها، حالت گذار و فراورده این واکنش در شکل ۱۲ نشان داده شده است.





شکل ۱۲- نمودار انرژی - پیشرفت واکنش Cl با H₂ در فاز گازی

فرآورده‌های این واکنش نیز ممکن است بتوانند با هم واکنش داده، واکنش دهنده‌ها را دوباره تولید کنند. چنین واکنش‌هایی برگشت‌پذیر نامیده می‌شوند. در شکل ۱۲، E'_a انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت را نشان می‌دهد. همان طوری که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، مقدار انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت کمتر از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت است. از این رو، سرعت واکنش برگشت بیشتر از سرعت واکنش رفت است (چرا؟). با توجه به شکل ۱۲، مشخص کنید چه رابطه‌ای بین ΔH واکنش با انرژی‌های فعال‌سازی واکنش رفت و برگشت وجود دارد؟ آن را بنویسید.

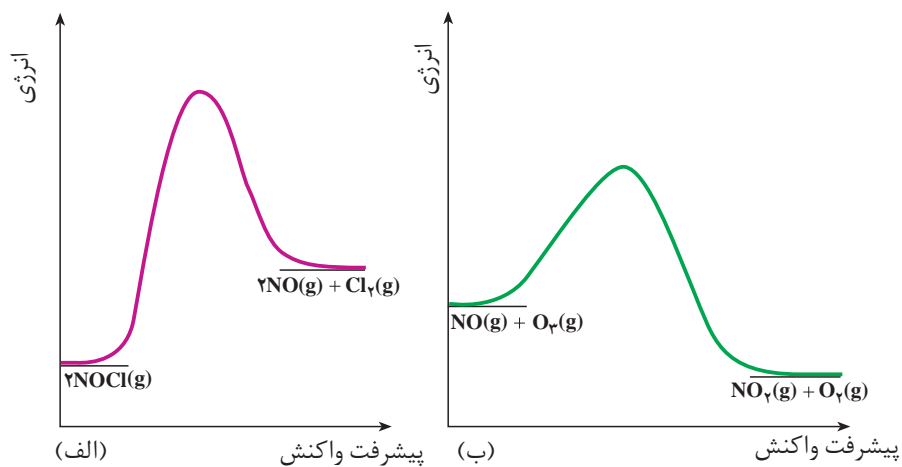
فکر کنید

مخلوط هیدروژن - اکسیژن به شدت انفجاری و خطرناک است. اما می‌توان این مخلوط را در دمای اتاق برای مدتی طولانی (شاید هزارها سال!) نگه داشت، بدون اینکه واکنشی میان این دو گاز رخ دهد. این تناقض ظاهری را توجیه کنید.

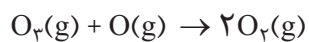
خود را بیازمایید

- ۱- هر یک از شکل‌های صفحه بعد به یک واکنش خاص تعلق دارد. الف) انرژی فعال‌سازی و ΔH هر واکنش را روی شکل مشخص کنید. ب) سرعت کدام واکنش در شرایط یکسان کمتر است؟ چرا؟





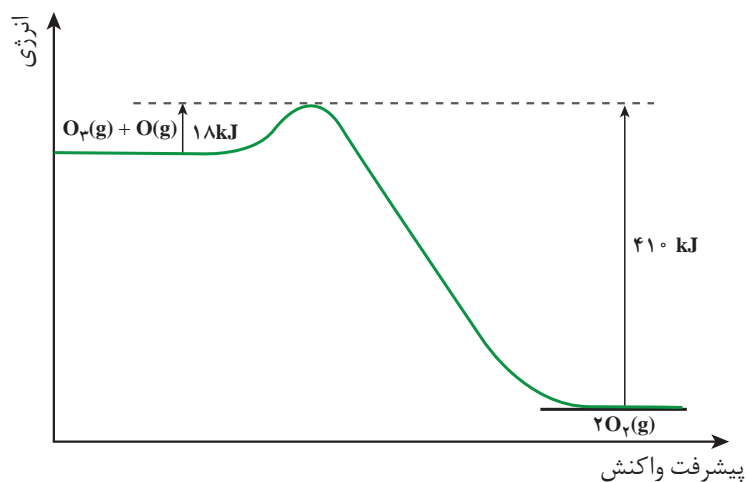
۲- واکنش زیر را در نظر بگیرید:



با توجه به نمودار انرژی این واکنش به پرسش‌ها پاسخ دهید.

(الف) آنتالپی واکنش را محاسبه کنید.

(ب) در شرایط یکسان سرعت واکنش رفت را با برگشت مقایسه کنید.

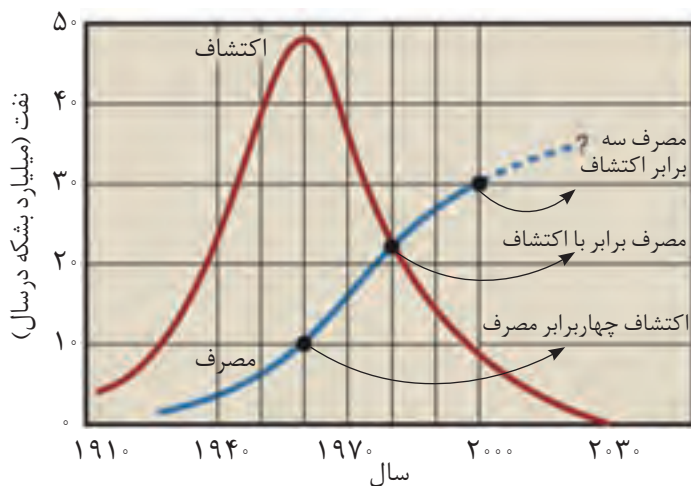


شیمی و زندگی

آلودگی هوا

دستیابی به دانش فنی تولید فولاد و همچنین اختراع ماشین بخار در پایان سده هجدهم میلادی منجر به تحول صنعتی بسیار بزرگی در جهان شد. بر پایه این تحول، ماشین آلات سنگینی طراحی و ساخته شد و نیز فرآورده‌های کشاورزی، دارویی، غذایی، نساجی و ... به صورت انبوه و در مقیاس صنعتی تولید شدند. با گذشت دوره کوتاهی، وضع جهان سر و سامان تازه‌ای یافت، سطح بهداشت همگانی بالا رفت و در نتیجه جمعیت جهان به طور چشمگیری افزایش پیدا کرد و شهرهای جدید و بزرگ‌تر پا به عرصه حضور گذاشتند.

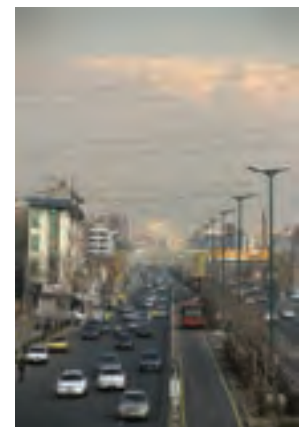
رشد روزافزون صنایع، گسترش صنعت حمل و نقل و ادامه تحولات صنعتی در گرو یافتن منابع انرژی ارزان قیمت بود. از این رو، انسان‌ها سرخوش از پیشرفت صنایع گوناگون، بی‌وقفه در پی شناسایی، کشف، استخراج و مصرف سوخت‌های فسیلی بودند، نمودار (۲).



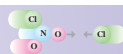
نمودار ۲- مصرف سالانه نفت خام از سال ۱۹۱۰ تاکنون

اما این خوشحالی دیری نپایید و مشکلات تازه‌ای پدیدار شد. یکی از آنها آلودگی هوا بود. به طوری که هوای شهرهای صنعتی آن زمان بسیار آلوده و گاهی خفه کننده بود. آسمان دیگر رنگ آبی نداشت، بیماری‌های تنفسی به سرعت گسترش یافته بود و بیشتر مردم از آسم و تنگی نفس رنج می‌بردند. متأسفانه امروزه این شرایط به صورت کم و بیش، بر شهرهای بزرگ و صنعتی کشور ما نیز حاکم شده است (شکل ۱۳).

در دهه ۱۹۷۰ میلادی (۱۳۵۰ شمسی) روزانه نزدیک به ۴۵,۰۰۰,۰۰۰ بشکه نفت در جهان مصرف می‌شد. هر بشکه نفت خام برابر با ۱۵۹ L است.



شکل ۱۳- هوای آلوده



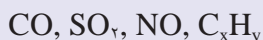
امروزه داشتن هوای پاک دغدغهٔ شمار روزافزونی از مردم و مسئولان شده است. به‌راستی منشأ این آلودگی‌ها چیست و این آلاینده‌ها از کجا می‌آیند؟ چگونه می‌توان سرعت روزافزون تولید آنها را کاهش داد و یا کنترل کرد؟ آیا شناسایی واکنش‌های شیمیایی و همچنین سینتیک شیمیایی آنها می‌تواند راهکاری برای حل این مسئله ارائه کند؟

فکر کنید

۱- الف) از آگزوز خودروها، چه گازهایی وارد هوا کره می‌شوند؟



ب) پژوهش‌ها نشان می‌دهند که آلاینده‌های زیر در خروجی آگزوز خودروها وجود دارند.



وجود یا پیدایش این گازها را توجیه کنید.

۲- مقدار برخی آلاینده‌های موجود در گازهای خروجی از آگزوز خودروها در جدول زیر داده شده است. با توجه به آنها به پرسش مطرح شده پاسخ دهید.

فرمول شیمیایی آلاینده	CO	C _x H _y	NO
مقدار آلاینده برحسب گرم به ازای طی یک کیلومتر	۵/۹۹	۱/۶۷	۱/۰۴

گازهای NO و NO_۲ به دلیل داشتن الکترون تک (جفت نشده) در ساختار خود، بسیار واکنش‌پذیرند.

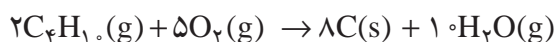
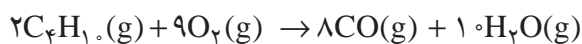


از این رو، هنگامی که وارد بدن جانداران و انسان می‌شوند به بافت‌های مختلف بدن آسیب می‌رسانند.

اگر در کشور ما روزانه ۱,۰۰۰,۰۰۰ خودرو در بخش‌های گوناگون فعالیت کنند و هر خودرو به‌طور میانگین، ۵۰ km مسافت طی کند، حساب کنید چند تن از هریک از آلاینده‌ها، وارد هوا کره می‌شود؟



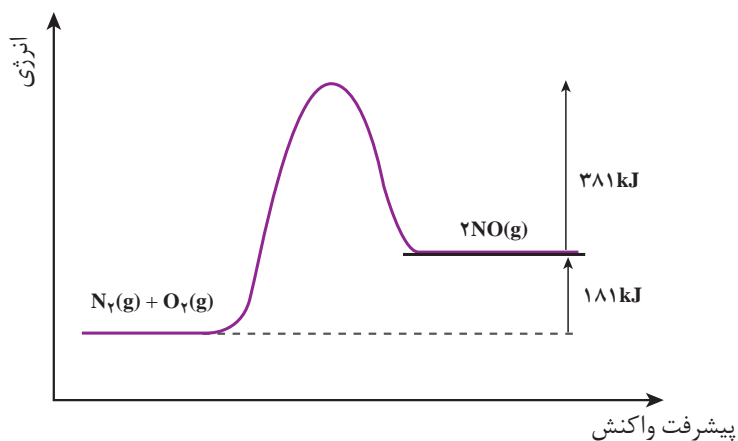
زغال سنگ، نفت خام، گازوئیل و بنزین با کیفیت پایین، مقادیر متفاوتی گوگرد دارند. از این رو، در اثر سوزاندن این مواد در نیروگاه‌ها و خودروها، گوگرد موجود در آنها نیز می‌سوزد و گاز گوگرد دی‌اکسید تولید می‌شود. از سوی دیگر، سوختن ناقص هیدروکربن‌های موجود در این سوخت‌ها، منجر به تولید CO(g) و C(s) (دوده) می‌شود. هریک از معادله‌های شیمیایی زیر، نوعی از سوختن ناقص بوتان را نشان می‌دهند.



پیش از این نیز دیدید که واکنش ناخواسته گاز نیتروژن با اکسیژن هوا در موتور خودرو به دلیل دمای بالا انجام می‌شود و گاز نیتروژن مونوکسید تولید می‌کند.

فکر کنید

به نمودار انرژی - پیشرفت واکنش برای تولید گاز نیتروژن مونوکسید در دمای اتاق توجه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



دمای موتور خودرو بالای 1000°C است.

الف) در شرایط یکسان سرعت واکنش رفت بیشتر است یا برگشت؟ چرا؟

ب) در دمای اتاق، تشکیل گاز NO خود به خودی است یا غیر خود به خودی؟ (ΔS)

این واکنش برابر با $25\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ است.

پ) با این وجود چرا در گازهای خروجی از آگزوز خودروها، گاز NO مشاهده می‌شود؟

ت) چرا هیچ‌یک از واکنش‌های رفت و برگشت در دمای 25°C و فشار 1atm تقریباً

انجام نمی‌شوند؟



به دنبال هوایی پاک

به منظور کاهش آلودگی و داشتن هوای پاک‌تر و سالم‌تر، بایستی آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروها، کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها را حذف کرد تا مانع از ورود آنها به هوا کره شویم. همان‌طور که می‌دانید گاز گوگرد دی اکسید از سوختن گوگرد موجود در سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود. برای حذف گاز گوگرد دی اکسید می‌توان به دو روش زیر گوگردزدایی کرد.

• گوگرد موجود در سوخت خودروها را جداسازی و سوخت با کیفیت بالاتر تولید کرد.

• گاز گوگرد دی اکسید خارج شده از نیروگاه‌ها را به دام انداخت تا از ورود آنها به هوا کره جلوگیری کرد. برای این منظور می‌توان گازهای خروجی را از روی کلسیم اکسید عبور داد.

برای حذف گازهای کربن مونوکسید (CO)، نیتروژن مونوکسید (NO) و هیدروکربن‌های نسوخته موجود در گازهای خروجی از اگزوز خودروها چه باید کرد؟

گفتنی است که مدت زمان خروج این گازها از موتور خودرو و ورود آنها به هوا کره بسیار کوتاه است. همچنین در این مدت، دمای آنها به سرعت کاهش می‌یابد از این رو، پاسخ شما باید راهکاری ارائه بدهد که بتواند در این شرایط راهگشا باشد.

گاهی یک واکنش، فقط در دمای خیلی بالا و فشار زیاد رخ می‌دهد، اما انجام واکنش در این شرایط بسیار پرهزینه است (چرا؟). بنابراین، انجام واکنش در دمای پایین‌تر و فشار کمتر مطلوب‌تر است.

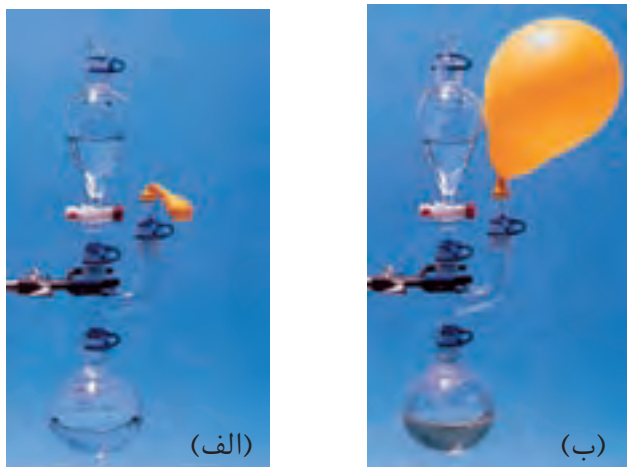
پیش از این آموختید که کاتالیزگر، یکی از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌هاست. کاتالیزگر ماده‌ای است که سرعت واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد، در حالی که خودش در پایان واکنش دست نخورده باقی می‌ماند. برای نمونه، هیدروژن پراکسید در حضور یون $I^{-}(aq)$ و در دمای اتاق به سرعت تجزیه می‌شود (شکل ۱۴).

در واقع کاتالیزگر در واکنش شرکت می‌کند؛ اما در پایان واکنش مصرف نشده و باقی می‌ماند. از این رو، می‌توان آن را بارها و بارها به کار برد.

گاز گوگرد دی اکسید و اکسیدهای نیتروژن با آب و اکسیژن موجود در هوا واکنش می‌دهند و در نهایت به سولفوریک اسید و نیتریک اسید تبدیل می‌شوند. این اسیدها هنگام بارش، باران‌های اسیدی تولید می‌کنند و به شدت محیط زیست را تخریب می‌کنند.

شیمی‌دان‌ها و مهندسان شیمی می‌توانند با بهره‌گیری از روش‌های جداسازی و اصول حاکم بر واکنش‌های شیمیایی، راه‌هایی برای تولید سوخت‌های با کیفیت بالاتر ارائه کنند.



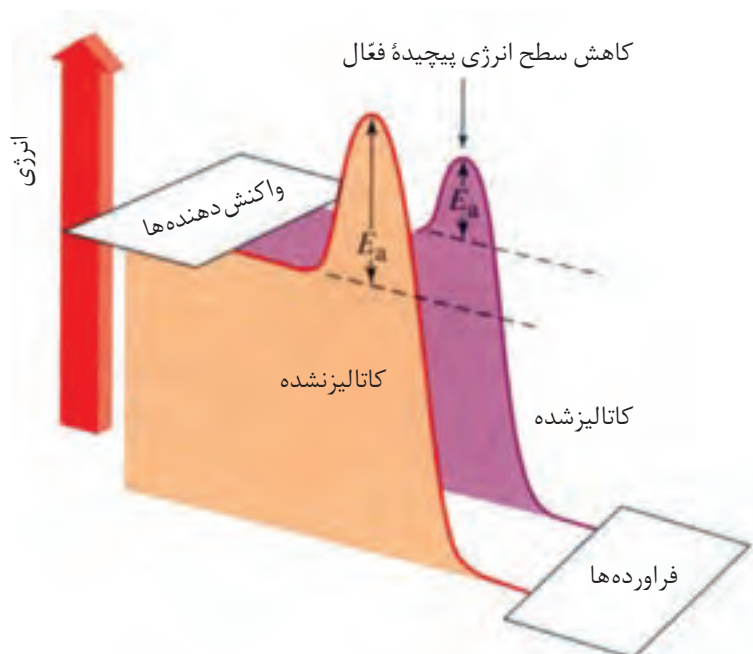


شکل ۱۴- واکنش تجزیه هیدروژن پراکسید در حضور محلول آبی دارای یون $I^-(aq)$ به عنوان کاتالیزگر. (الف) پیش از افزایش محلول $KI(aq)$ (ب) پس از افزایش محلول $KI(aq)$

فکر کنید

چرا استفاده از کاتالیزگرها در صنایع گوناگون، سبب کاهش آلودگی محیط زیست می شود؟

اینک فرض کنید که نمودار انرژی - پیشرفت واکنش برای تجزیه هیدروژن پراکسید در حضور و در غیاب کاتالیزگر به صورت نشان داده شده در نمودار ۳ است. همان گونه که مشاهده می کنید کاتالیزگر از طریق کاهش انرژی فعال سازی، سرعت واکنش را افزایش می دهد، از این رو با استفاده از کاتالیزگر می توان واکنش ها را در دماهای پایین تری انجام داد.



نمودار ۳- نمودار انرژی - پیشرفت واکنش در حضور کاتالیزگر

برخی از فلزهای واسطه و ترکیب های آنها می توانند واکنش های گوناگون را سرعت ببخشند. به همین دلیل، این فلزها در بدن انسان، گیاهان و جانوران به مقدار بسیار کم یافت می شوند.

این مواد در واکنش های آنزیمی شرکت می کنند. برای مثال، در مغز، کبد و کلیه انسان برخی از این فلزها وجود دارند.

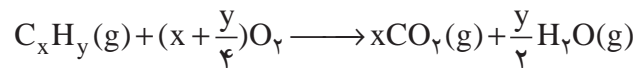
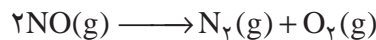
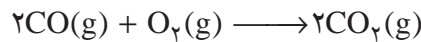
بافت	مقدار فلز واسطه (ppm)		
	مس	کبالت	منگنز
مغز	۱۷/۵	-	۰/۳۴
کبد	۲۴/۹	۰/۱۸	۱/۶۸
کلیه	۱۷/۳	۰/۲۳	۰/۹۳



خود را بیازمایید

مخلوط هیدروژن و اکسیژن را می‌توان در دمای اتاق برای مدتی طولانی نگه داشت، بدون آنکه واکنشی میان دو گاز رخ دهد؛ اما در حضور پلاتین، در همین دما، واکنش به سرعت انجام شده و آب تشکیل می‌شود. علت را توضیح دهید.

به نظر شما چگونه می‌توان آلاینده‌های هوا را از گازهای خروجی اگزوز حذف کرد؟ شیمی‌دان‌ها پیشنهاد کردند که با انجام واکنش‌های زیر پیش از خروج گازها از اگزوز خودرو می‌توان آلاینده‌گی آنها را تا حد زیادی کاهش داد.



اما واقعیت این است که این واکنش‌ها فقط در دماهای بالا با سرعت مناسب انجام می‌شوند. بنابراین، برای انجام آنها در دماهای پایین و زمان بسیار کوتاه به یک کاتالیزگر مناسب نیاز است. برای یافتن کاتالیزگر مناسب باید به موارد زیر توجه داشت:

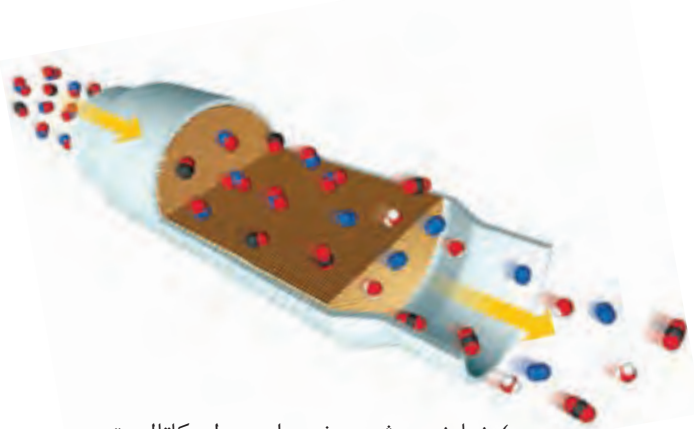
اغلب کاتالیزگرهای جامد با گذشت زمان با برخی مواد شیمیایی گوگرددار و فسفردار کارایی خود را از دست می‌دهند، در این حالت می‌گویند کاتالیزگر مسموم شده است. از این رو، مبدل‌های کاتالیستی بایستی به صورت دوره‌ای تعویض شوند.

- هر سه واکنش باید هم‌زمان انجام شوند.
- یک کاتالیزگر نمی‌تواند همه واکنش‌ها را سرعت ببخشد.
- هر کاتالیزگر، واکنش ویژه‌ای را سرعت می‌بخشد.
- در حضور کاتالیزگر واکنش‌های ناخواسته دیگری انجام نشود.
- کاتالیزگر باید پایداری شیمیایی و گرمایی بالا داشته باشد.

شیمی‌دان‌ها با بهره‌گیری از سینتیک شیمیایی و انجام آزمایش‌های فراوان درباره سرعت واکنش‌ها و عوامل مؤثر بر آنها دریافتند که فلزهای پلاتین (Pt)، پالادیم (Pd) و رودیم (Rh) کاتالیزگرهای مناسبی برای این واکنش‌ها هستند.

حال اگر این کاتالیزگرها را با استفاده از قطعه‌ای مناسب در مسیر خروج گازها (اگزوز) قرار دهیم، واکنش‌های مورد نظر با وجود پایین بودن دما، با سرعت‌های مناسب و بالا انجام می‌شوند. به این ترتیب، می‌توان این آلاینده‌ها را حذف کرد یا مقدار آنها را به میزان قابل توجهی کاهش داد (شکل ۱۵).





(ب) نمایش برش عرضی از مبدل کاتالیستی و گازهای ورودی و خروجی

شکل ۱۵- مبدل کاتالیستی در خودرو

نصب مبدل‌های کاتالیستی در سراسر جهان روی خودروها از سال‌ها پیش اجباری شده است. این مبدل‌ها در طول چندین سال مانع از ورود میلیاردها تن آلاینده به هوا کرده‌اند. به طوری که استفاده از این وسیله، تولید خودروهای با کیفیت بالاتر و مصرف سوخت‌های با کیفیت بالاتر سبب شده است از آلودگی هوای اغلب شهرهای صنعتی کاسته شود.

مبدل‌های کاتالیستی در واقع توری‌هایی از جنس سرامیک هستند که سطح آنها با فلزهای پلاتین، پالادیم و رودیم پوشانده شده است.

فکر کنید

۱- چرا مبدل کاتالیستی را به شکل توری می‌سازند؟

۲- الف) در گازهای خروجی از اگزوز خودروها در هنگام روشن و گرم شدن خودرو (به ویژه در روزهای سرد زمستان) با وجود مبدل کاتالیستی، گازهای CO ، NO و C_xH_y مشاهده می‌شوند؟ چرا؟

ب) چه راهکاری برای برطرف کردن این مشکل پیشنهاد می‌کنید؟

۳- در برخی از مبدل‌های کاتالیستی، سرامیک را به شکل مش‌های (دانه‌های) ریز درمی‌آورند و کاتالیزورها را روی سطح آن می‌نشانند. تجربه نشان می‌دهد که این مبدل‌ها کارایی بالاتری دارند! علت را توضیح دهید.

۴- جدول زیر مقدار برخی آلاینده‌ها را در گازهای خروجی از اگزوز خودروها در غیاب و در حضور مبدل کاتالیستی نشان می‌دهد. با توجه به آن، به پرسش زیر پاسخ دهید.

NO	C_xH_y	CO	فرمول شیمیایی آلاینده	
۱/۰۴	۱/۶۷	۵/۹۹	در غیاب مبدل	مقدار آلاینده بر حسب گرم به ازای طی یک کیلومتر
۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۶۱	در حضور مبدل	

در سطح سرامیک‌ها در مبدل کاتالیستی، توده‌های فلزی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر وجود دارند.

گسترش مبدل‌های کاتالیستی و افزایش کارایی آنها نیازمند مطالعات گسترده و دقیق واکنش‌های شیمیایی است که در موتور خودرو اتفاق می‌افتند؛ البته شناسایی کاتالیزگرهای کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر از نظر اقتصادی نیز روی این مسئله تأثیرگذار است. به امید روزی که با بهره‌گیری از دانش شیمی و علوم مهندسی، خودروهایی با استاندارد بالا، هوای پاک و آسمان آبی داشته باشیم.

اگر در کشور ما روزانه ۱,۰۰۰,۰۰۰ خودرو در بخش‌های گوناگون فعالیت کنند



و هر خودرو به طور میانگین، ۵°km مسافت طی کند، حساب کنید استفاده از مبدل کاتالیستی از ورود چند تن آلاینده به هوا کره جلوگیری می کند؟

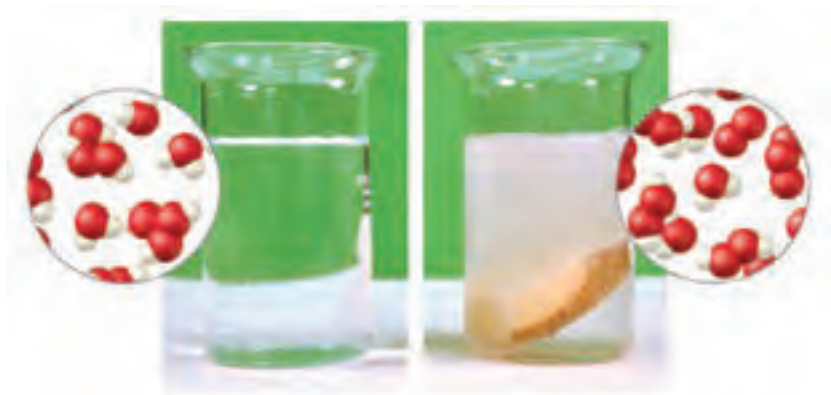
۵- در تجزیه نیتروژن مونوکسید انرژی فعال سازی واکنش رفت در غیاب و در حضور کاتالیزگر مناسب به ترتیب برابر ۳۸۱ kJ و ۱۳۸ kJ است.



الف) نمودار انرژی - پیشرفت واکنش را در غیاب و در حضور کاتالیزگر رسم کنید.
ب) انرژی فعال سازی واکنش برگشت را در غیاب و حضور کاتالیزگر حساب کنید.

بیشتر بدانید

طبیعت طراح و استفاده کننده از انواع کاتالیزگرهاست. حتی ساده ترین باکتری ها هم صدها نوع از کاتالیزگرهای زیستی را مورد استفاده قرار می دهند که آنزیم نامیده می شوند. آنزیم ها واکنش های شیمیایی گوناگونی را سرعت می بخشند که در سلول ها انجام می شود. به طوری که می توان گفت که زندگی هر موجود زنده ای بدون وجود آنزیم ها ممکن نیست.



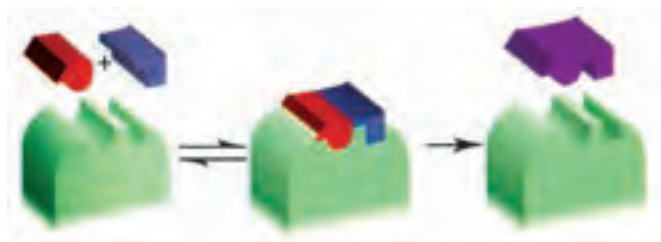
تجزیه آب اکسیژنه در حضور سیب زمینی

در بدن انسان مجموعه ای از واکنش های پیچیده انجام می شود. همه این واکنش ها باید با سرعت های کنترل شده و دقیقی انجام شوند تا انسان را زنده نگه دارند. آنزیم ها برای کنترل این واکنش ها نقش حیاتی دارند. بیشتر آنزیم ها پروتئین هایی با مولکول های بزرگ هستند. هر واکنشی که در بدن انسان انجام می شود، آنزیم ویژه ای به آن سرعت می بخشد. نکته جالب این است که برخی آنزیم ها فقط تولید یک ماده خاص در یک واکنش ویژه را کنترل می کنند.

اگر چه آنزیم ها مولکول های بزرگی هستند، ولی واکنش ها فقط در جایگاه های ویژه ای از آنزیم کاتالیز می شود. موادی که در این جایگاه ها واکنش می دهند را سوبسترا می گویند. با یک مدل ساده که به مدل



قفل و کلید مشهور است می توان ویژه بودن عمل کاتالیزی آنزیم ها را نشان داد. در شکل زیر، سوبسترا به صورتی که نشان داده شده است در جایگاه خاصی از آنزیم قرار می گیرد و واکنش مورد نظر به وقوع می پیوندد. این جایگاه خاص جایگاه فعال نامیده می شود.



نمایش ساده ای از شیوه عمل آنزیم ها به عنوان کاتالیزگرهای زیستی

